

**BİTKİ SU TÜKETİMİ BİLEŞENLERİNİN ve
SULAMA ZAMANI PLANLAMASININ BİBER
(*Capsicum annuum* L.) YETİŞTİRİCİLİĞİ
ÜZERİNDE ARAŞTIRILMASI**

Levent TUNA

**Yüksek Lisans Tezi
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Yeşim AHİ**

2014

T.C.
NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**BİTKİ SU TÜKETİMİ BİLEŞENLERİNİN VE SULAMA ZAMANI
PLANLAMASININ BİBER (*Capsicum annuum* L.) YETİŞTİRİCİLİĞİ
ÜZERİNDE ARAŞTIRILMASI**

Levent TUNA

BIYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: Prof. Dr. Yeşim AHİ

TEKİRDAĞ - 2014

Her hakkı saklıdır

Prof. Dr. Yeşim AHİ danışmanlığında, Levent TUNA tarafından hazırlanan “Bitki Su Tüketimi Bileşenlerinin ve Sulama Zamanı Planlamasının Biber (*Capsicum annuum* L.) Yetiştiriciliği Üzerinde Araştırılması” isimli bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı : Prof. Dr. A. Halim ORTA

İmza :

Üye : Prof. Dr. Levent ARIN

İmza :

Üye : Prof. Dr. Yeşim AHİ (Danışman)

İmza :

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Prof. Dr. Fatih KONUKCU
Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BİTKİ SU TÜKETİMİ BİLEŞENLERİNİN VE SULAMA ZAMANI PLANLAMASININ BİBER (*Capsicum annuum* L.) YETİŞTİRİCİLİĞİ ÜZERİNDE ARAŞTIRILMASI

Levent TUNA

Namık Kemal Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Yeşim AHİ

Bu çalışmada, biber (*Capsicum annuum* L.) bitkisinin Tekirdağ koşullarında, damla sulama yöntemi altında; bitki su tüketimi ve uygun sulama programlarının geliştirilebilmesi için Penman Monteith modelinden yararlanılarak FAO - 56 dual kc metodu bileşenlerinin, ayrıca su - verim ilişkileri ve su - üretim fonksiyonlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Araştırma, 2011 ve 2012 yıllarında yürütülmüş, büyüme mevsimi boyunca toplam su ihtiyacının %0, %25, %50, %75 ve %100'ü kadar sulama suyu uygulanan deneme konularından oluşturulmuştur.

Her bir deneme yılında gerçekleşen mevsimlik bitki su tüketimi değerleri tam su alan (%100) konuda en yüksek değere ulaşmış, araştırma yıllarına göre sırasıyla 788 ve 803 mm olarak hesaplanmıştır. En düşük değerler ise sulama suyu uygulanmayan (%0) konuda sırasıyla 346 ve 221 mm olarak gerçekleşmiştir. Penman - Monteith ve FAO - 56 dual kc metodu ile hesaplanan mevsimlik ET_o ve ET_c değerleri, 2011 yılı için 653 ve 744 mm, 2012 yılı için 586 ve 646 mm olarak elde edilmiştir. Sonuçlar istatistiksel açıdan karşılaştırıldığında hesaplanan ve gerçekleşen değerlerin oldukça birbirine yakın sonuçlar verdiği ve bu metodların bitki su tüketiminin eldesinde kullanılabileceği belirlenmiştir.

Araştırma sonucunda, en yüksek biber verimi, %100 sulama düzeyinden ilk yıl $45,82 \text{ t ha}^{-1}$, ikinci yıl $57,14 \text{ t ha}^{-1}$ olarak elde edilmiştir. Genel olarak farklı sulama uygulamalarının verim üzerine istatistiksel açıdan önemli düzeyde etkileri olduğu görülmüştür. En yüksek sulama suyu kullanım randımanı (IWUE) 2011 yılında $4,38 \text{ kg m}^{-3}$, 2012 yılında $10,24 \text{ kg m}^{-3}$ olarak su ihtiyacının %25' inin karşılandığı en düşük sulama düzeyinde elde edilmiştir. Su kullanım randımanları (WUE) ise, araştırmanın ilk yılında $5,75 - 6,48 \text{ kg m}^{-3}$, ikinci yılında $5,09 - 11,19 \text{ kg m}^{-3}$ arasında değişmiştir. Toplam büyüme mevsimi için su - verim ilişkisi faktörü 0,93 olarak belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Biber (*Capsicum annuum* L.), bitki katsayıları, damla sulama sistemi, su - üretim fonksiyonları, bitki su stresi indeksi (CWSI)

2014, 78 sayfa

ABSTRACT

MSc. Thesis

RESEARCH ON EVAPOTRANSPIRATION COMPONENTS AND IRRIGATION SCHEDULING UNDER PEPPER (*Capsicum annuum* L.) CULTIVATION

Levent TUNA

Namık Kemal University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Biosystem Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Yeşim AHİ

The aim of this study was to determine FAO - 56 dual k_c method's components by utilizing Penman Monteith model in order to develop appropriate irrigation scheduling program and evapotranspiration and also to evaluate, yield response functions of pepper (*Capsicum annuum* L.) in irrigated with drip method under Tekirdağ conditions. Field trials were conducted during the year 2011 and 2012 under the condition of which 0, 25, 50, 75 and 100% of water requirement was supplied during the whole growing season.

The seasonal evapotranspiration (ET) in treatment 100% was the highest in both years, suggesting that the irrigation water applied was adequate to meet the full crop water requirements and was calculated as 788 and 803 mm, respectively. The lowest ET occurred in treatment 0% control (no irrigation) as 346 and 221 mm, respectively. The seasonal ET_o and ET_c value calculated with Penman - Monteith and FAO - 56 dual k_c method was 653 and 744 mm for 2011 and 586 and 646 mm for 2012 years. When the results compared as statistically, the significant correlations were found between calculated and actual evapotranspiration. So, these methods could be useful for determining evapotranspiration.

As a result of research, the greatest pepper yield was obtained from I_{100} irrigation level as 45,82 t ha⁻¹ in the first year and as 57,14 t ha⁻¹ in the second year. Generally, the effects of different irrigation programs on yield were statistically significant. The highest irrigation water use efficiency (IWUE) was obtained from low-irrigated treatment level (25%) as 4,38 kg m⁻³ for 2011, 10,24 kg m⁻³ for 2012 years. Water use efficiency values (WUE) ranged between 5,75 - 6,48 kg m⁻³ in the first experimental year, 5,09 - 11,19 kg m⁻³ in the second year. The yield response factor was found to be 0,93 for whole growing season.

Key Words: Pepper (*Capsicum annuum* L.), crop coefficients, drip irrigation system, water - yield production, crop water stress index (CWSI)

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ÇİZELGE DİZİNİ	v
ŞEKİL DİZİNİ	vi
SİMGELER DİZİNİ	vii
ÖNSÖZ	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
2.1. Biber Bitkisinin Su - Üretim Fonksiyonları.....	4
2.2. Bitki Su Tüketiminin Belirlenmesinde Bitki Katsayısı Yaklaşımları.....	8
3. MATERYAL ve YÖNTEM	14
3.1. Materyal.....	14
3.1.1. Araştırma alanı.....	14
3.1.2. İklim özellikleri.....	14
3.1.3. Toprak özellikleri ve topoğrafya.....	14
3.1.4. Sulama sistemi.....	20
3.1.5. Kullanılan biber tohumunun özellikleri.....	20
3.1.6. Kullanılan bilgisayar paket programları.....	21
3.2. Yöntem.....	21
3.2.1. Araştırma alanı topraklarının fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	21
3.2.2. Deneme düzeni ve araştırma konuları.....	21
3.2.3. Tarım tekniği.....	22
3.2.4. Sulama suyu uygulamaları.....	24
3.2.5. Damla sulama yönteminde projelendirme kriterlerinin belirlenmesi.....	24
3.2.6. Bitki su tüketiminin saptanması.....	25
3.2.6.1. Su bütçesi yaklaşımı	25
3.2.6.2. Penman - Monteith ve dual bitki katsayısı (k_{c-dual}) yaklaşımı.....	26
3.2.7. Su - üretim fonksiyonları ve verim ilişkileri.....	31
3.2.8. Verim ve verim parametrelerinin belirlenmesi.....	32

3.2.9. İstatistiksel analizler.....	33
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	34
4.1. Toprağın Fiziksel ve Kimyasal Analiz Sonuçları.....	34
4.2. Fenolojik Gözlemlere İlişkin Sonuçları.....	34
4.3. Damla Sulama Sisteminin Boyutlandırılmasına İlişkin Sonuçlar.....	37
4.4. Sulama Suyu Sonuçları.....	37
4.5. Bitki Su Tüketimi Sonuçları.....	37
4.5.1. Su bütçesi yaklaşımı sonuçları.....	37
4.5.2. Dual bitki katsayısı (k_{c-dual}) yaklaşımı sonuçları.....	39
4.6. Verim ve Verim Ögelerine İlişkin Sonuçlar.....	43
4.6.1. Toplam pazarlanabilir verim.....	44
4.6.2. Meyve boyu.....	46
4.6.3. Meyve eni.....	46
4.6.4. Ortalama meyve ağırlık.....	46
4.7. Su - Üretim Fonksiyonlarına İlişkin Sonuçlar.....	50
4.7.1. Su verim ilişkisi sonuçları.....	50
4.7.2. Sulama suyu kullanım ve su kullanım randımanları.....	51
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	56
6. KAYNAKLAR.....	58
EKLER.....	62
EK ÇİZELGELER.....	63
ÖZGEÇMİŞ.....	78

ÇİZELGE DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 3.1. Araştırma alanına ilişkin iklim değerlerinin uzun yıllar ortalamaları (1939-2011).....	17
Çizelge 3.2. Araştırma alanının deneme süresince 2011 yılına ait iklim verileri verileri.....	17
Çizelge 3.3. Araştırma alanının deneme süresince 2012 yılına ait iklim verileri verileri.....	18
Çizelge 3.4. Sulama ya da yağışın ardından oluşan ıslak alan faktörü (f_w).....	32
Çizelge 4.1. Araştırma alanı topraklarının fiziksel özellikleri.....	36
Çizelge 4.2. Araştırma alanı topraklarının kimyasal özellikleri.....	36
Çizelge 4.3. I ₁ konusuna 2011 ve 2012 yıllarında uygulanan sulama suyu miktarları (mm)....	39
Çizelge 4.4. Büyüme mevsimi boyunca deneme konularına göre hesaplanan mevsimlik toplam bitki su tüketimi değerleri (mm/60 cm).....	40
Çizelge 4.5. Toplam pazarlanabilir verime ilişkin varyans analizi sonuçları.....	46
Çizelge 4.6. Deneme konularına ilişkin toplam pazarlanabilir verim ortalamaları (t ha ⁻¹) ve Duncan testi sonuçları.....	46
Çizelge 4.7. Meyve boyuna ilişkin varyans analizi sonuçları.....	47
Çizelge 4.8. Deneme konularına ilişkin meyve boyları (cm) ve Duncan testi sonuçları.....	48
Çizelge 4.9. Meyve enine ilişkin varyans analizi sonuçları.....	48
Çizelge 4.10. Deneme konularına ilişkin meyve enleri (cm) ve Duncan testi sonuçları.....	48
Çizelge 4.11. Ortalama meyve ağırlıklarına ilişkin varyans analizi sonuçları.....	49
Çizelge 4.12. Deneme konularına ilişkin ortalama meyve ağırlıkları (g) ve Duncan testi sonuçları.....	49
Çizelge 4.13. Büyüme mevsimi boyunca oransal su tüketimi açığına karşılık oransal verim azalması değerleri.....	51
Çizelge 4.14. Sulama suyu kullanım randımanı (IWUE) ve su kullanım randımanı (WUE) değerleri (kg m ⁻³).....	53
Çizelge 4.15. Sulama suyu kullanım randımanına (IWUE) ilişkin varyans analizi sonuçları.....	54
Çizelge 4.16. Su kullanım randımanına (WUE) ilişkin varyans analizi sonuçları.....	55
Çizelge 4.17 Su kullanım randımanına ilişkin Duncan testi sonuçları.....	55

ŞEKİL DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 3.1. Araştırma alanı.....	16
Şekil 3.2. Deneme planı.....	20
Şekil 3.3. Deneme parselinin ayrıntısı.....	19
Şekil 3.4. Tarım tekniklerinden görüntüler.....	23
Şekil 4.1. Biber bitkisinin büyüme periyodu uzunlukları.....	36
Şekil 4.2. Yıllara göre referans (ET_o) ve hesaplanan bitki su tüketimi ($ET_{c\text{-hesap}}$).....	40
Şekil 4.3. Hesaplanan ve gerçekleşen mevsimlik bitki su tüketimleri.....	40
Şekil 4.4. Bitki büyüme mevsimi boyunca 2011 (a) ve 2012 yılı (b) f_c ve f_{ew} değerleri.....	41
Şekil 4.5. Bitki yetişme dönemlerine göre hesaplanan K_r , K_e ve K_{cb} değerleri.....	43
Şekil 4.6. Mevsimlik sulama suyu miktarı (a) ve bitki su tüketimine (b) karşılık elde edilen pazarlanabilir verim.....	50
Şekil 4.7. Mevsimlik su – verim ilişkisi faktörü (K_y).....	52
Şekil 4.8. Farklı su uygulama düzeylerinde elde edilen sulama suyu kullanım randımanı (a) ve su kullanım randımanı (b) değerleri.....	54

SİMGELER DİZİNİ

%	: Yüzde
A	: Alan (m^2)
atm	: Atmosfer
cm	: Santimetre
cm^2	: Santimetrekare
C_p	: Kılcal yükselişle kök bölgesine giren su miktarı(mm)
da	: Dekar
d_n	: Sulamada uygulanacak net sulama suyu miktarı (mm)
d_t	: Her sulamada uygulanacak toplam sulama suyu miktarı (mm)
DOY	: Yılın günü (day of year)
D_p	: Derine sızma kayıpları (mm)
E_a	: Sulama randımanı (%)
ET	: Bitki su tüketimi (mm)
g	: Gram
h	: Saat
ha	: Hektar
H_m	: Manometrik yükseklik (m)
I	: Uygulanan sulama suyu miktarı (mm)
IWUE	: Sulama suyu kullanım randımanı ($kg\ m^{-3}$)
WUE	: Su kullanım randımanı ($kg\ m^{-3}$)
K_c	: Bitki katsayısı
K_{cb}	: Basal bitki katsayısı
K_e	: Toprakta olan buharlaşma
kg	: Kilogram
L	: Litre
m	: Metre
m^2	: Metrekare
m^3	: Metreküp
mm	: Milimetre
N	: Bir parseldeki damlatıcı sayısı (adet)
NDVI	: Normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi (Normalized Difference Vegetation Index).

μ	: Mikron
P	: Islatılan alan yüzdesi (%)
PE	: Polietilen
q	: Damlatıcı yada başlık debisi ($L h^{-1}$)
Q	: Sistem debisi ($L s^{-1}$)
s	: Saniye
S_d	: Damlatıcı aralığı (m)
S_l	: Lateral aralığı (m)
t	: Ton
T	: Bir sezondaki toplam sulama süresi (h)
T_a	: Sulama süresi (h)
TSE	: Türk Standartlar Enstitüsünün
γ_t	: Toprağın hacim ağırlığı ($g cm^{-3}$)
Δ	: Buhar basıncı eğrisinin eğimi
ΔS	: Kök bölgesindeki toprak nemindeki değişimler (mm)

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Trakya Bölgesi son yıllara kadar ülkemizin en önemli tarımsal üretim bölgelerinden birisi olmasına rağmen, İstanbul gibi büyük bir anakent nüfusunun bölgeye doğru hareketlenmesinden dolayı bu özelliğini gün geçtikçe kaybetmektedir. İstanbul' un yeniden yapılandırma çalışmaları ve Avrupa' ya ulaşım kolaylığı açısından ağır sanayi adını verdiğimiz tekstil fabrikalarının tamamına yakınının bölgeye yayılımı tamamlanmak üzeredir. Bu hızlı yayılım, bölge halkı tarafından ilk bakışta, işsizliğe çözüm ve arazi fiyatlarındaki artış nedeniyle çok cazip gelmiştir. Fakat hızla gelişen bu sürecin etkileri yavaş yavaş ortaya çıkmış, insan ve doğaya verilen olumsuz etkiler yoğun olarak tartışılmaya başlanmıştır.

Bölgedeki tarım alanlarının azalması, çiftçinin ayçiçeği - buğday münavebe sisteminden elde ettiği birim alan gelir değerlerinin düşük düzeyde kalması, toprak ve su kaynaklarındaki kirlenmenin insan sağlığına verdiği zararın artması, İstanbul gibi büyük bir tüketim merkezine yakınlık birim alan üretim miktarlarının arttırılmasını dolayısıyla yeni sulama programları ile sulama tekniklerinin kullanılmasını zorunlu kılmaktadır.

Tezin hazırlanmasında hiçbir yardımı esirgemeyen, büyük bir sabırla, çok fazla emek sarfeden Hocam Sayın Prof. Dr. Yeşim AHİ'ye, araştırma ve tezin yazımı süresince her türlü desteği gösteren Sayın Yrd. Doç. Dr. Hüseyin T. GÜLTAŞ'a, sevgili arkadaşlarım Ziraat Yük. Mühendisi Abdülhakim BOSTANCI, Ziraat Yük. Mühendisi İlker BALABAN, Ziraat Yük. Mühendisi Ali KAYHAN, Ziraat Yük. Mühendisi Selçuk ÖZER, Ziraat Yük. Mühendisi Ferhan BALCI, Ziraat Mühendisi Sencer VARDAR, Ziraat Mühendisi Ahmet YILMAZ'a ve staj boyunca yardım eden öğrenci arkadaşlarıma, denemenin yürütüldüğü arazi koşullarını bizlere sağlayarak, bütün imkânlarını hizmetimize sunan Ziraat Fakültesi Dekanlığına ve en önemlisi eğitimim süresince maddi ve manevi desteğini esirgemeyen aileme şükranlarımı sunmayı bir borç bilirim.

Haziran 2014

Levent TUNA

1. GİRİŞ

Sulama projelerinin temelini oluşturan ve toprak - bitki - atmosfer döngüsü içerisinde çok önemli bir yere sahip olan sulama suyu miktarı ve bitki su tüketimi, gerek tarım gerekse diğer çok amaçlı projelerin planlanması, yapımı ve işletilmesinde vazgeçilmez bir öğedir. Bu nedenle sulama projelerinin doğru planlanması ve işletilmesi, bölge koşullarında yetiştirilen bitkilerin aylık veya daha kısa dönemlere ilişkin bitki su tüketim miktarlarının doğru ölçülmesine bağlıdır (Jensen ve ark. 1990, Burman ve Pochop 1994). Sulama zamanının programlanması ve bitki su tüketiminin en doğru şekilde belirlenebilmesi için bitki - toprak - atmosfer ilişkilerinin çok iyi tanımlanması gerekir.

Sulama zamanı programlarının hazırlanmasında, toprağın su içeriği, atmosferik koşullar ve bitkiyi baz alan ölçümlerin birlikte ya da ayrı olarak değerlendirildiği çok sayıda araştırmacı tarafından geliştirilmiş pek çok teknik bulunmaktadır. Bu çalışma ile bu tekniklerin, beslenmeyi tamamlayıcı ve dengeleyici rol oynayan biber yetiştiriciliğinde kullanım olanaklarının araştırılması amaçlanmaktadır. Bu konuda yapılmış çok sayıda araştırma, farklı su stresi düzeylerine bağlı olan üretim miktarlarının, bitki ve iklim koşullarına göre değiştiğini ortaya koymuştur (Moreno ve ark. 2003, Khan ve ark. 2005, Sezen ve ark. 2006, Ertek ve ark. 2007, Liu ve ark. 2012).

Dünya biber üretimi 2012 yılında 31 milyon ton olup, Çin 16 milyon ton ile ilk sırada, 2,4 milyon ton ile Meksika ikinci sırada ve ülkemiz 2,1 milyon ton üretimle üçüncü sırada gelmektedir (FAO 2012). Devlet İstatistik Enstitüsünün 2013 yılı rakamlarına göre, ülkemizde toplam biber üretimi yaklaşık 78 700 ha alanda 2 159 348 ton, sivri biber üretiminin toplam üretim içerisindeki payı ise %44 ile 946 506 ton' dur. İstatistiki bölge birimleri sınıflandırmasına göre Tekirdağ, Edirne, Kırklareli illerini kapsayan TR21 kodlu alanda sivri biber yetiştiriciliği 419 ha alanda, 5 437 ton olarak gerçekleşmektedir. Bu miktarın 949 ton' u 92,9 ha alanda Tekirdağ ilinde üretilmektedir (Anonim 2013).

Trakya bölgesinde, su kaynaklarının kısıtlı olması, son yıllarda hızlı ve plansız gelişen sanayinin bu mevcut kaynakları kalite ve kantite açısından her geçen gün daha büyük boyutlarda tehdit etmesi tarımsal sulamada kullanılacak su miktarını kısıtlamaktadır. Diğer yandan, bölgede iyi mekanizasyon, bilinçli gübreleme, etkin tarımsal mücadele, iyi tohumluk seçimi gibi etmenlerin yarattığı verim artışı bir noktada kalmış ve bu da yetersiz olmaya başlamıştır. Yörede ulaşılan üretim değerlerini daha da arttırmanın ve tarımı yapılan ürün gruplarında çeşitliliğe gidebilmenin yolu, bilinçli ve ekonomik sulama uygulamalarının

hayata geçirilmesidir. Ancak bu şekilde tarımsal üretimin, artan nüfusun beslenme ihtiyacını karşılaması, yerel ve yabancı pazarlarda rekabet edebilmesi, böylelikle belki de bölgede verimli tarım alanlarının sanayi sektörüne geçmesi önlenecektir.

Sulama yöntemleri içerisinde damla sulama yöntemi, uygulama kolaylığı ve su kaynaklarını koruma açısından ön plana çıkmakta ve tarımda söz sahibi ülkelerde entansif üretim için kaçınılmaz olmaktadır. Ülkemizde ise, damla sulama yöntemi kullanım oranının, sulanan alanlarda %10 gibi düşük seviyelerde olması ve uygulama alanlarının Akdeniz Bölgesi civarında toplanması araştırmacılar için önemli bir göstergedir. Sulama bir yatırım programıdır ve ortaya çıkan üretimden kar elde edilmesi belli bir süreci kapsamaktadır. Ülke çiftçisi genellikle, İç ve Doğu Anadolu Bölgesi'nde olduğu gibi iki yılda bir buğday üretimine ya da Trakya Bölgesi'ndeki ayçiçeği - buğday ekim nöbetine benzer şekilde, kuru tarıma yönelmektedir. Bu da, tarımdan elde edilecek gelir ve tarımla geçinen nüfusta önemli azalmalara neden olmaktadır. Bu nedenle, sulama ile birlikte bitkilerden elde edilecek verim ve kalite artışı ile sağlanacak faydaların yanı sıra ülke ekonomisine kazandıracak faydaların göz ardı edilmemesi gerekir. Özellikle damla sulama ile elde edilecek yüksek verim ve kalitedeki ürünler ile öncelikle ülke talebinin karşılanması ve yurtdışı standartlarına uygun ürünler ile ihracatımızı artırma olasılığı vardır. Ayrıca, sulama ve entansif tarım ile ülke ekonomisinde önemli bir yer tutan işsizlik sorunu ve kırsal alandaki insan nüfusunun büyük şehirlere taşınması da engellenebilir.

Son yıllarda, tarımsal üretimde yeni metotların kullanımı ile birim alandan elde edilen verim ile dolayısıyla gelir, en yüksek seviyeye çıkarılmaya çalışılmaktadır. Tarımda kullanılan yeni metotlardan biri de bitki su tüketiminin hassasiyetle elde edilmesine olanak sağlayan, FAO - 56 dual K_c metodolojisidir. Bu amaçla, sulama zamanı programlarının oluşturulmasında iklim ve toprak parametrelerinin yanısıra bitkiye ilişkin bazı ölçümler de önemli hale gelmiştir ve bitki su tüketiminin (ET) tahmininde kullanılmaktadır.

Bitki su tüketimi (ET), sulama suyu yönetimi, su kaynaklarının planlaması ve su tahsisinde önemli rol oynar. Ayrıca ET; sulama, drenaj, toprak sıcaklığı ve bitki verimi ile doğrudan ilişkisi olan sulama ve drenaj mühendisleri için önemli bir konudur. Sulama ve drenaj sistemlerinin projelenmesi, su haklarının saptanması, hidrolojik çalışmaların yapılabilmesi ve sulama tesislerinin işletme ve idaresinin sağlanabilmesi için ET'nin doğru bilinmesi gerekir (Özer 1993).

Evapotranspirasyonun belirlenmesinde son yıllarda sıkça kullanılan yaklaşım referans bitkilerde bitki su tüketiminin belirlenmesi ve bitki katsayıları ile düzeltilerek gerçek bitki su tüketimine yaklaştırılmasıdır. Referans bitki su tüketimi, iklim faktörlerinin bitki su tüketimi

üzerine olan etkisini yansıtmaktadır. Bitki özelliklerinin bitki su tüketimi üzerine olan etkisini yansıtmak için ise bitki katsayılarından yararlanılır. Bitki katsayısı; bitki su tüketiminin referans bitki su tüketimine oranı olarak tanımlanabilir. Bu katsayılar, geniş tarlalarda serbestçe, hastaliksız, yeterli toprak nemi ve bitki besin maddelerinin var olduğu yetişme koşulları için elde edilirler.

Allen ve ark. (1998) tarafından FAO - 56'da açıklandığı üzere FAO bitki katsayıları yöntemi ile tekil bitki katsayısı (K_c) deneysel olarak elde edilebilir ve bitkinin fizyolojisini, örtü derecesini, verilerin toplandığı yöreyi, referans bitki su tüketimi (ET_0) değerlerinin hesaplandığı yöntemi yansıtır. Bitki katsayılarının eldesinde kullanılan bir diğer yaklaşım ise evaporasyon ve transpirasyonun etkisini ayrı ayrı yansıtan dual K_c nin belirlenmesidir. Bu yöntem ile bitki su tüketiminin belirlenmesinde günlük daha sağlıklı ve hassasiyeti yüksek sonuçlar elde edilebilmektedir.

FAO - 56 dual K_c yaklaşımı (Allen ve ark. 1998) ile sulama yöntemi, toprağın ıslanma oranı, buharlaşma katsayısı, bitkinin taç gelişimi ve bazı iklim fonksiyonları gibi birçok karakteristik hesaplamalarda kullanılmaktadır. Bu çalışma ile dual K_c metodolojisine ait bileşenler ve su - üretim fonksiyonları belirlenmeye çalışılmıştır. Bu verilerden yararlanılarak maksimum faydayı sağlayacak sulama programları hazırlanacaktır. Trakya Bölgesinde, farklı bitki su stresi düzeylerine karşı elde edilecek su - verim parametreleri, su yönetimi stratejilerinin geliştirilmesinde ve yöntem kullanımına karar vermede oldukça önemli olacaktır. Bu amaçla, damla sulama sistemi ile farklı sulama suyu altında yetiştirilecek biberin sulama zamanı planlamasında ve bitki su tüketiminin belirlenmesinde bitki - toprak - atmosfer ölçümlerini kapsayan metotlardan özellikle FAO - 56 dual K_c metodu ve Stewart modeli kullanılmaya çalışılmıştır.

Araştırma ile birlikte;

- Bitkinin gerçek su tüketiminin ve bitki katsayılarının belirlenmesi ile bu katsayıların bölge koşullarında kullanılabilirliğinin sınılanması,
- Az su kullanımı ve üniform su dağılımı gibi özelliklere sahip damla sulama yönteminin biber bitkisinde uygulanabilirliği;
- Farklı sulama suyu miktarlarının, biberin verimine etkisinin araştırılması, sulama ekonomisinin irdelenmesinin sağlanması amaçlanmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Biber Bitkisinin Su - Üretim Fonksiyonları

Türkiye'nin farklı iklim ve toprak yapısına sahip olması nedeniyle sebze üretimi hemen her bölgeye yayılmakla birlikte bölgenin ekolojik yapısına bağlı olarak toplam üretim içindeki oranı değişmektedir. Genellikle üretimin en fazla yapıldığı Akdeniz Bölgesi örtü altı sebze yetiştiriciliği, Ege ve Trakya ile Anadolu bölümünü içine alan Marmara ise açıkta sebze yetiştiriciliği açısından ön plandadır. Biber üretiminin %82'si açık alan, %18'lik kısmı da örtüaltı tarımından elde edilmektedir. Akdeniz Bölgesi biber üretiminde %28 üretim payı ile bölgeler arasında ilk sıradadır (Özalp 2010).

Biber, ülkemizde olduğu gibi bütün dünyada yaygın olarak ve çok fazla tüketilen bir sebze türüdür. Domates ve patlıcan gibi Solanaceae - Patlıcangiller familyasından ve Capsicum cinsi içindedir. Biber, vitaminler yönünden zengin ve çok önemli bir sebzedir. Özellikle C vitamini miktarı bakımından çok değerlidir. Biberin 100 gramında 160 mg vitamin C vardır. İçerdiği değişik mineral ve vitaminler yanında, acı biberlerde acı ve yakıcı tadı veren kapsaisin alkaloidi kanser hastalıklarına karşı önemli bir antioksidanttır. Biber insan sağlığı açısından da önemli bir sebzedir. Sinir, mide ve salgı bezlerinin çalışmasında faydalıdır. İdrar söktürür. Değişik şekillerde sınıflandırılır. Meyve şekil ve renklerine göre uzun sivri biberler, dolmalık biberler, kiraz biberi, süs biberleri, konik biberler ve domates biberi gibi çok farklı tipleri bulunmaktadır (Özalp, 2010).

Dünyada ve ülkemizde yüksek verim ve kalitede ürün sağlanabilmesi için çeşitli bitki ve özellikle sebzelerin su - üretim fonksiyonlarının belirlenmesi ve sulama programlaması üzerine birçok araştırma yürütülmüştür.

Orta (1994) tarafından yapılan çalışmada, biber bitkisi yüzey (karıklarda göllendirme), yağmurlama ve damla sulama yöntemleriyle sulanmıştır. Sulamalara, 60 cm kök derinliğindeki kullanılabilir su tutma kapasitesinin %30, %40 ve %50'si tüketildiğinde başlanmıştır. Bunun yanında, 10 günlük periyotlarda toprak neminin azalması yöntemine göre bitki su tüketimi değerleri elde edilmiştir. Ölçülen bitki su tüketimi değerleri ile farklı yöntemlerle hesaplanan referans bitki su tüketimi değerleri karşılaştırılmıştır. Sonuçta, sulama yöntemleri ve sulamaya başlanacak nem düzeyinin meyve verimini etkilediği, en yüksek verimin damla sulama yönteminde elde edildiği ve bu yöntemde kullanılabilir su tutma kapasitesinin %40'ı tüketildiğinde sulamaya başlanması gerektiği bulunmuştur. Uygulanan

sulama suyu ve mevsimlik toplam bitki su tüketimi açısından yağmurlama ve yüzey sulama yöntemleri arasında önemli düzeyde farklılık olmamış, ancak damla sulama yönteminde, diğer yöntemlere oranla, uygulanan sulama suyu %27 - %45, mevsimlik bitkisi tüketimi ise %33 - %43 kadar daha düşük olmuştur. Meyve yaş ağırlığına göre belirlenen su kullanım randımanları damla sulama yönteminde ortalama 0,78 - 0,93 kg / da - mm, yüzey sulama yönteminde 0,35 - 0,54 kg/da - mm ve yağmurlama sulama yönteminde 0,22 - 0,33 kg/da - mm arasında bulunmuştur. Deneme koşulları için en uygun bitki su tüketimi tahmin eşitliğinin Penman yönteminin FAO modifikasyonu olduğu saptanmıştır.

Öztürk ve ark. (1996) yapmış oldukları çalışmada, sulama suları ile toprağa iletilen tuzların toprağı ya da bitkiyi etkileyerek verimde azalmalara neden olduğunu açıklamışlardır. Bu çalışmada ekonomik değeri yüksek olan sivri biberde, çimlenme ve fide oluşumu dönemleri ile gelişme dönemlerindeki sulama suyu tuzluluklarının, bazı verim parametrelerine olan etkileri araştırılmıştır. Serada saksı denemeleri biçiminde yapılan çalışmalar sonucunda; çimlenmeye ve fide biomas değerine 3,0 dS/m'lik tuzluluk düzeyinin önemli bir etkisi olmadığı, fide boylarının ise bu tuzluluk düzeyinde %13 kadar arttığı gözlenmiştir. Bitki gelişme dönemlerindeki tuzluluk düzeylerinin ise bitki verimi ve biomas'ını %1, meyve boyu ve meyvede toplam kül değerlerini %5 düzeyinde etkilediği gözlenmiştir. Yaprak ve dallardaki toplam kül değerleri ise deneme konularından etkilenmemiştir. Ayrıca ele alınan verim parametrelerinin hiçbirisinde faktörler arası etkileşim (interaksiyon) önemli bulunmamıştır.

Moreno ve ark. (2003) tarafından İspanya'da yürütülen bir çalışmada, damla sulamanın biber bitkisinin yaprak su potansiyeli (Ψ_{leaf}), stoma direnci (R_s) vb. fizyolojik özellikleri üzerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu sebepten, şafak öncesi ve sonrası gün içerisinde düzenli aralıklarla ölçümler yapılmış ve kayıt altına alınmıştır. Araştırmacılar bitkinin ihtiyaç duyduğu su miktarının, büyüme oranı (dönemler; kuru madde miktarı-yaprak yüzey alanı) ve verim (pazarlanabilir ve toplam) ile direkt ilişkili olduğunu belirtmişlerdir. Denemede verilecek sulama suyu ET' nin 1,25, 1,00, 0,75 ve 0,50 katı olacak şekilde planlanıp uygulanmıştır. Sulamaların 0,75 - 1,25 oranları arasında yapılmasının biber bitkisinin verim ve fizyolojik parametreleri üzerinde herhangi bir soruna yol açmadan benzer sonuçlar verdiği açıklanmıştır. Bunun yanında belirtilen oranlar haricinde yapılan ciddi su kısıtlarının biber bitkisi gelişim parametrelerinde ve verim üzerinde ciddi olumsuzluklara yol açtığı açıklanmıştır. Fakat sulamaların biber bitkisinde yaprak su potansiyeli ve stoma direnci vb. fizyolojik parametreler üzerinde önemli bir etkisinin bulunmadığı araştırma sonucunda

belirtilmiştir. Araştırmada elde edilmiş ET değerlerinin ortalama yaklaşık 520 mm olduğu ifade edilmiştir.

Antony ve Singandhupe (2004) yaptıkları çalışmada, farklı sulama metotları ve programlamasının biber bitkisinde (*Capsicum annuum* L. var. *California Wonder*) morfolojik, biyofiziksel özellikler, verim ve su kullanım randımanı üzerine etkilerini incelemişlerdir. Damla sulama yöntemi ile yetiştirilen biberin yüzey sulama ile sulanan bibere göre daha fazla boylandığı, kol ve meyve oluşumunun hızlı gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Bu ve benzeri sebeplerden ötürü damla sulama yönteminin biber bitkisi sulamasında kullanımının verim ve verim parametreleri, fizyolojik ve morfolojik özellikler kök uzunluğu ve kalitesi, meyve - çiçek sayısı üzerine son derece olumlu etkilerinin olduğu ve bunların kullanılması gerektiği belirtilmiştir.

Rawalpindi Tarım Üniversitesinde yapılmış olan çalışmada, araştırmacılar 3 farklı sulama aralığı (3, 6 ve 9 gün) ve kontrol konusu olmak üzere oluşturulan denemede biber verim ve verim parametreleri üzerindeki sulama etkisini incelemişlerdir. Maksimum tohum çimlenme ve çıkışı sırasıyla 3 ve 6 gün sulama aralığından %93 ve %85 düzeylerinde elde edilmiştir. Sonuçta; en yüksek bitki boyu, bitkideki yaprak sayısı ve yaprak alanı değerleri (cm^2), meyve sayısı ve meyve ağırlığı değerlerinin 3 gün sulama aralığında elde edildiği, dolayısıyla bölgede bu konunun kullanılabileceği araştırmacılar tarafından açıklanmıştır (Khan ve ark. 2005).

Sezen ve ark. (2006) tarafından yürütülen araştırmada, biber bitkisinin damla sulama yöntemi altında farklı su kısıtlarında verim ve kalitesinde meydana gelen etkiler incelenmiştir. A sınıfı buharlaşma kabından oluşan buharlaşma baz alınarak oluşturulan 3 farklı sulama aralığı ($I_1 = 18 - 22$ mm, $I_2 = 38 - 42$ mm ve $I_3 = 58 - 62$ mm) kullanılmış, bunun yanısıra 3 farklı bitki - kap katsayısı ($K_{cp1} = 0,50$, $K_{cp2} = 0,75$ ve $K_{cp3} = 1,00$) dikkate alınmıştır. Sulamalara kümülatif buharlaşma değerlerine ulaşıldığında başlanmış ve gerekli su miktarı uygulanmıştır. Sulama aralıkları bu durumda I_1 'de 3 - 6 gün, I_2 'de 6 - 11 gün ve I_3 konusunda 9 - 15 gün arasında değişmiştir. Maksimum ve minimum verim değerleri ilk yıl 33,140 - 21,620 kg ha^{-1} ikinci yıl 35,298 - 21,010 kg ha^{-1} olarak sırasıyla I_1K_{cp3} , I_3K_{cp1} konularında elde edilmiştir. Bitki su tüketimleri (ET) ilk yıl 365 - 528 mm, ikinci yıl 309 - 511 mm değerleri aralığında bulunmuştur. Su kullanım ve sulama suyu kullanım randımanları sulama aralığı, bitki - pan katsayıları ve yıllardan ($Y_1 = 2002$ ve $Y_2 = 2003$) istatistiki olarak %1 önemlilik düzeyinde etkilenmiştir. WUE değerleri 2002 - 2003 yıllarında sırasıyla 4,7 - 7,6 kg m^{-3} , 6,4 - 7,9 kg m^{-3} olarak elde edilmiştir. Bunun yanında IWUE minimum ve maksimum değerlerinin sırasıyla 4,8 - 7,7 kg m^{-3} aralığında değiştiği belirtilmiştir.

Çelik (2007) tarafından yapılan çalışmada, topraktaki bor toleransı 1,0 - 2,0 mg/L olan sivri biber (*Capsicum annuum* L.) bitkisinin, sulama suyundaki değişik bor konsantrasyonlarına karşı dayanımı, verim ve kalite yönünden kontrolsüz sera koşullarında saksı denemeleri ile araştırılmıştır. Araştırma, B₁ = 0,06 mg/L (şahit), B₂ = 1,00 mg/L, B₃ = 2,00 mg/L, B₄ = 4,00 mg/L, B₅ = 6,00 mg/L ve B₆ = 10,00 mg/L olmak üzere 6 farklı bor konsantrasyonlarını içeren sulama suları ile yürütülmüştür. Tesadüf parselleri denemesinde kurulan deneme 5 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Deneme sonucunda, bitkinin yeşil aksamı ve meyve verimi, bitki su tüketimi, kimyasal ve fiziksel kalite unsurları ve bitkinin bünyesine aldığı bor miktarları ile deneme sonunda toprakta biriken bor miktarları istatistiksel yöntemlerle değerlendirilmiş, meyve verimlerinin deneme konularında bor düzeyinden etkilendiği açıklanmıştır. B₁ konusundan alınan verim 75,65 g/saksı olarak elde edilirken, bu değer baz alındığında B₂, B₃ ve B₄ konularında verim sırası ile şahit parselde göre %13, 6 ve %10 oranında yükseliş gözlenmiş, B₅ ve B₆ konularında sırası ile %26 ve %27 oranında düşüş gözlemlendiği açıklanmıştır. Araştırmada bor konsantrasyonlarına göre meyve sayısı ve meyve çapı değerlerinde önemli farklılıklara rastlanmadığı; bunun yanında meyvede, yapraklarda ve toprakta oluşan bor birikimi değerlerinin de uygulanan sulama suyunun bor içeriğine paralel olarak artış gösterdiği belirtilmiştir.

Ertek ve ark. (2007) nin yürüttüğü çalışmada, Van ilinde karık sulama yöntemi ile sulanan, sulama zamanı planlanmasında A sınıfı buharlaşma kabı yöntemi kullanılan biberin sulanmasında en uygun sulama aralığı ve sulama suyu miktarının bulunması amaçlanmıştır. Kaptan olan buharlaşma baz alınarak yapılan sulama planlamasında iki sulama aralığı (I₁ = 25 ± 5 mm ve I₂ = 50 ± 5 mm) ve üç adet kap katsayısı kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre uygulanan sulama suyu miktarları ortalama 233 - 783 mm, evapotranspirasyon değerleri de ortalama 263 - 711 mm bulunmuştur. Yeşil biber verimi 5,41 - 16,85 t ha⁻¹ olarak gerçekleşmiştir. En yüksek erkenci biber ve toplam biber verimi en yüksek sulama suyu uygulanan konudan alınmıştır. Su verim ilişkisi faktörü K_y 0,91 hesaplanmıştır. Sonuç olarak, uygulanan sulama suyu ile vejetatif gelişme ve alınan toplam biber verimi arasında istatistiksel olarak pozitif bir lineer ilişki olduğu açıklanmıştır.

Gonzales - Dugo ve ark. (2007) tarafından biber bitkisinde farklı kısıt konularının damla sulama altında etkileri incelenmiştir. Sulamanın biber bitkisinde verim ve kalitenin devamlılığını sağladığı ancak yapılacak uygun su kısıtlarının da mekanik hasata izin verdiği, üretimi arttırabildiği, zaman ve kaynaklardan tasarruf sağlanabileceği ifade edilmiştir. Olgunlaşma döneminde (T₁) ya da tüm sezon boyunca (T₂) yapılacak olan kısıt, tüm sezon boyunca tam sulanan (T₃) konularla karşılaştırılmıştır. Bu konulara sırasıyla 456, 346 ve

480 mm sulama suyu uygulanmıştır. Su kısıtı beklenildiği üzere daha küçük yaprak alanları dolayısıyla biomass yaratmış ancak çiçek ve meyve sayısı üzerinde ciddi etkileri görülmemiştir. Ticari verim ve kaliteye bakıldığında T₃ konusundan elde edilen verimin diğer konulardan çok daha yüksek olduğu, vb. sebepler dolayısıyla özellikle meyve oluşumundan sonra biber bitkisinde kısıt yapılmaması gerektiği açıklanmıştır.

Damla sulama yöntemi ile farklı sulama rejimleri oluşturularak biber bitkisinde verim ve su ilişkilerinin belirlenmesi amacıyla yapılmış olan bir çalışma, 2004 yılında tarla koşullarında Tarsus Toprak - Su Araştırma Enstitüsü Mersin'de yürütülmüştür. Deneme konuları 3 sulama aralığı (IF₁: 20 ± 2, IF₂: 40 ± 2 ve IF₃: 60 ± 2 mm toplam A Kap Buharlaşması) ve 3 sulama düzeyi (DI₁: 0,50, DI₂: 0,75 ve DI₃: 1,00) şeklinde oluşturulmuştur. Sulama aralıkları ve sulama düzeylerinin biber verimi üzerine istatistiki etkisi olduğu araştırma sonucunda açıklanmıştır. Maksimum ve minimum biber veriminin IF₁DI₃ ve IF₃DI₁ konularından sırasıyla 35 920 ve 21 390 kg ha⁻¹ olarak alındığı belirtilmiştir. Verim ve verim bileşenleri sulama aralığının açılması dolayısıyla uygulanan sulama suyu miktarının düşmesi sonucu azalmış, en fazla sulama aralığının olduğu (IF₃) konusunda her üç düzey içinde en az verimin alındığı sonucu paylaşılmıştır. En düşük mevsimlik ET miktarı en çok stres oluşturulan (IF₃DI₁) konusunda 327 mm, en yüksek ET miktarı ise strese sokulmayıp tam sulanan (IF₁DI₃) konusunda 517 mm olarak hesaplanmıştır. Her üç sulama aralığında da uygulanan sulama suyu ile biber verimi arasında önemli doğrusal bir ilişki bulunduğu belirtilmiştir. Su kullanım (WUE) ve sulama suyu kullanım (IWUE) randımanları istatistiksel olarak sulama aralıkları ve düzeylerinden etkilenmiştir. WUE değerlerinin 6,0 kg m⁻³ (IF₃DI₂) ve 7,8 kg m⁻³ (IF₁DI₁) aralığında değişmiş olduğu araştırmacılar tarafından açıklanmıştır (Sezen ve ark. 2011).

Demirel ve ark. (2012) tarafından Çanakkale' de yürütülen çalışmada, farklı sulama uygulamalarının verime, kalite parametrelerine, bitki su tüketimine, su kullanım ve sulama suyu kullanım randımanına etkileri araştırılmıştır. Denemede damla sulama yöntemi ile sulanan 4 farklı sulama konusu (S₀, S₃₃, S₆₆ ve S₁₀₀) oluşturulmuştur. Konular uygulanan sulama suyu miktarının deneme yıllarına göre sırasıyla 30 - 567 mm ve 62 - 489 mm arasında olduğu, mevsimlik bitki su tüketiminin ise 322 - 796 mm arasında değiştiği belirtilmiştir. Yapılan çalışmada biber verimlerinin 4,47 - 63,69 t ha⁻¹ aralığında değiştiği açıklanmıştır. Sulama konularına göre ortalama su kullanım randımanı (WUE), sulama suyu kullanım randımanının (IWUE) sırasıyla 2,36 - 6,95 kg m⁻³ ve 0 - 9,05 kg m⁻³ arasında değiştiği, ortalama verim - tepki etmeninin (K_y) ise 1,47 hesaplandığı belirtilmiştir.

Liu ve ark. (2012) 2 yıl süreyle yürüttükleri çalışmada malçlama ve damla sulama yöntemleri kullanılarak biber bitkisinde (*Capsicum annuum* L.) en uygun sulama yöntemini bulmaya çalışmışlardır. Toprak matrik potansiyeli (SMP) dikkate alınarak kurulan 5 deneme konusu [(-10 kPa) - (-50 kPa), T₁-T₅] oluşturmuşlardır. Yaprak yüzey alanı (LAI), bitki boyu, toprak nemi, verim, toprakta çözülmüş madde değerleri ölçülmüş ve bitki su tüketimi (ET), su verimliliği (WP), sulama suyu verimliliği (IWP) değerleri de düzenli olarak hesaplanmıştır. Toprak matrik potansiyelindeki azalmaya bağlı olarak sulama suyu miktarı ve bitki su tüketimleri genellikle azalma eğilimi göstermiştir. Denemenin iki yılında ET değerleri 209 - 415 mm arasında değişim göstermiştir. Toprak matrik potansiyelinin eşik değerleri olarak kullanılan “-10 kPa - -30 kPa” değerleri aralığı sulama suyunda %22 - 43, ET’ de ise %11 - 25 azalmaya sebep olmuştur. Sonuç olarak araştırmacılar, toprakta 20 cm derinlikte “-30 - -40 kPa” SMP değerlerinin biber yetiştiriciliğinde kullanılabileceğini açıklamışlardır.

2.2. Bitki Su Tüketiminin Belirlenmesinde Bitki Katsayısı Yaklaşımları

Bitki söz konusu olduğunda elverişli suyun varlığına, bitki türü, yaprak ve kök yapısına bağlı olarak oluşan tüketim gerçek evapotranspirasyon (bitki su tüketimi, ET) olarak tanımlanır. Potansiyel ET (ET_p); su eksikliğinin olmadığı koşullarda ıslak toprak ve bitki yüzeylerinden oluşan buharlaşma ve terleme ile atmosfere aktarılan maximum su buharı miktarıdır (ET_p).

Bitkiden bitkiye değişen aerodinamik pürüzlülük ve Albedo’dan, gizli ısı ve hissedilir ısının bölgeden bölgeye değişmesinden dolayı referans ET hesaplanması tercih edilir. Referans ET ise suyun sınırlı olmadığı koşullarda; sağlıklı büyüyen, toprağı tamamen gölgeleyen, aynı boylu 8 - 15 cm çayır ya da 20 - 30 cm yeknesak boylu yonca örtüsünden oluşan evapotranspirasyon olarak tanımlanır. FAO tarafından yapılan son tanıma göre; 12 cm yüksekliğinde, taç aerodinamik direncinin 70 s m⁻¹, yüzey yansıtma katsayısının 0,23 olduğu çayırda kaplı alanda oluşan ET’ dir.

Bitki su tüketiminin belirlenmesinde; Doğrudan, su bütçesi eşitliğinden yararlanarak ve Dolaylı, (Mikrometeorolojik yöntemler, Meteorolojik (sayısal) yöntemler) bitki - toprak - iklim verilerinden yararlanarak ET’ nin tahmin edilmesi yöntemleri kullanılmaktadır.

Doğrudan ölçme yöntemlerinde kütlelerin korunumu prensiplerine dayanan Su Bütçesi eşitliği kullanılır. Belli bir toprak hacmine belli bir zaman diliminde giren su (W_{in}) ile çıkan

su (W_{out}) miktarları arasındaki fark, aynı zaman aralığında anılan toprak hacminde oluşan değişmeye eşittir.

Son yıllarda bitkinin ihtiyacının bitkiden tahmin edilecek transpirasyon ile açıklanması daha önemli olmuştur. Dolayısıyla, su tüketiminin tahmininde ve sulama zamanının belirlenmesinde bitkiyi baz alan ölçüm yöntemleri yoğun olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bitki su tüketimi; bitki toprak ve su yüzeylerinden suyun buharlaşmasında kullanılan enerji tarafından denetlenir.

FAO Bitki katsayıları yöntemine göre; K_c bitki katsayısı; deneysel olarak bulunur ve bitkinin fizyolojisini, örtü derecesini, verilerin toplandığı yöreyi, ET_o değerlerinin hesaplandığı yöntemi yansıtır. Bitki katsayısı; bitki su tüketiminin referans bitki su tüketimine oranı ($K_c = ET_c / ET_o$) olarak tanımlanabilir. Bu katsayılar, geniş tarlalarda serbestçe, hastaliksız, yeterli toprak nemi ve bitki besin maddelerinin var olduğu yetiştirme koşulları için elde edilirler. Toprak yüzeyinin bitki tarafından örtülme derecesi maksimum olduğunda, K_c değeri en yüksek noktaya ulaşır. Bu dönemden sonra olgunlaşma ve hasat dönemine kadar düşme gösterir. Bazal bitki katsayısı (K_{cb}) ise, transpirasyon için suyun kısıtlı olmadığı, toprak yüzeyinin kuru fakat transpirasyonun potansiyel hızda devam ettiği koşullarda ET_c nin ET_o 'a oranı olarak tanımlanır.

Sulama suyunun etkin kullanılması, su tüketiminin doğru ve hassas bir şekilde ölçülmesini veya tahmin edilmesini gerektirmektedir. Bitki su tüketiminin (ET_c) belirlenmesinde yapılan son çalışmalar referans olarak çim bitkisini esas alan Penman - Monteith eşitliğinin bitkilere uygulanması ve adaptasyonunu da kapsamaktadır. FAO - 56'da hem tekil K_c , (bitkiden ve topraktan olan buharlaşmanın birlikte hesaplandığı) hem de dual K_c (bitkiden ve topraktan olan buharlaşmanın ayrı ayrı hesaplandığı) hesaplama yöntemleri verilmiştir. Dual K_c kullanılması ile günlük olarak daha doğru ve hassas ET_c hesaplanabilmektedir. Aynı yayında, bitkilere ait K_c ve K_{cb} (basal bitki katsayısı) katsayıları verilmiştir. İlgili bölgenin rüzgâr hızı, nispi nem ve bitki boyu değerleri kullanılarak bu değerler o bölge için hesaplanarak bitki su tüketimi tahmininde kullanılabilir. Yapılan çalışmada, FAO - 56 metodolojisi kullanılarak damla sulama için pamukta dual K_c bileşenleri ve parametreleri hesaplanmıştır. Buna göre, dual K_c yöntemi kullanılarak Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde (Diyarbakır) pamuk bitkisi için, K_c değerleri 2007 yılı için bitkinin başlangıç, orta ve son dönemleri için sırası ile 0,15, 1,22 ve 0,19 olarak hesaplanmıştır. 2008 yılı için ise sırası ile 0,15, 1,25 ve 0,61 olarak bulunmuştur. Günlük maksimum su tüketimi ise yıllara göre sırası ile 14,5 ve 16,5 mm olarak bulunmuştur. Mevsimlik ET_c değerleri ise 2007 yılı için 832 mm, 2008 yılı için ise 920 mm olarak hesaplanmıştır. FAO - 56 dual K_c

metodolojisinin bölge iklim verilerine göre hesaplanan ET_c gerçek değerlere oldukça yakın sonuçlar verdiği ve kullanılabilmesi açıklanmıştır (Çetin ve ark. 2010).

De Medeiros ve ark. (2001) tarafından Brezilya'da yürütülen çalışmada bitki gelişim düzeyinin bitki su tüketimi ve soya verimine olan etkileri araştırılmıştır. Deneme sulanan bir alanda; (a) lizimetreye 50 bitki ekimi ve sonrasında bitki yüzeyi tamamen kapattığı zaman 25 bitkiye seyreltme, (b) 14 bitki ekiminden oluşan popülasyon ve (c) 28 bitki ekiminden oluşan popülasyon olmak üzere tesadüf blokları deneme deseninde üç popülasyon yoğunluğu ve dört tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Bitki büyümesi, kuru madde miktarı (DM), vejetatif yüzey kapatma (%GC) ve yaprak alan indeksleri (LAI) değerleri elde edilip değerlendirilmiştir. Araştırma sonuçlarında bu değerlerin yüksek istatistiksel önemde bazal bitki katsayısı (K_{cb}) ve bitki katsayısı (K_c) değerlerini etkilediği açıklanmıştır. Bu çalışma simülasyonu, K_{cb} temel alınıp, LAI dikkate alınarak oluşturulmuş ve bitki yoğunluğu - su kullanımı arasında oldukça doğrusal ilişkiler bulunduğu görülmüştür.

Kato ve Kamichika (2006) tarafından yürütülen araştırmada, süpürge darısı bitkisinde FAO - 56 dual K_c yöntemi kullanılarak, bazal bitki katsayısı (K_{cb}) ve toprak buharlaşma katsayısı (K_e) Shuttleworth - Wallace modeli ile kestirilmeye çalışılmıştır. K_{cb} değeri başlangıç periyodunda en düşük 0,10 ($K_{c\ ini}$) vejetatif dönem ortasında ($K_{c\ mid}$) 0,98 ve dönem sonunda ise ($K_{c\ end}$) 0,53 olarak gerçekleşmiştir. K_e ise toprak nem içeriğindeki değişime bağlı olarak doğrusal bir ilişki göstermiş, fakat yaprak yüzey alanının artışı ile azalmıştır. Gerçek evapotranspirasyon değeri Bowen oranı enerji dengesi (BREB) metodu kullanılarak bulunmuştur. Sulanan darı alanlarında K_{cb} ve K_e değerleri kullanılarak ET' nin bulunmasının iyi sonuçlar verdiği açıklanmıştır.

Lopez - Urrea ve ark. (2009) yaptıkları çalışmada, soğan bitkisinde yağmurlama sulama yöntemini kullanarak tartılı tip lizimetrede yetiştiricilik yapmışlardır. Tekil K_c ve dual K_c ($K_{cb} + K_e$) değerlerini elde edip, K_c yüzey kapatma oranı (GC) ve K_{cb} yüzey kapatma oranı ilişkilerini incelemişlerdir. Ölçüm sonucu elde edilmiş olunan değerler standart FAO metodolojisi kullanılarak değerlendirilmiştir. Lizimetreden ölçülen ET_c değeri (893,34 mm) FAO - 56 metodolojisi kullanılarak hesaplanan ET_c (832,20 mm) değerinden daha yüksek olmuştur. Yüzey kapatma oranı ilgili literatürlerdeki ilkeler göz önüne alınmak suretiyle dijital fotoğraflar kullanılarak bulunmuştur. Lizimetre kullanılarak elde edilmiş olan değerler; $K_{c\ ini} = 0,65$, $K_{c\ mid} = 1,20$ ve $K_{c\ end} = 0,75$ olmuş ve bu değerler FAO tarafından açıklanan değerler ile paralellik göstermiştir. Lizimetre değerleri, evaporasyonun etkisini sulama etkisi ve soğan bitkisinin yüzey kapatma oranının (GC = %72) az oluşundan dolayı net olarak ortaya koymuştur. Yapılan çalışmada K_{cb} ve K_e değerlerinin hesaplanmasına olanak

sağlanmış ve yüzey kapatma oranı ile yüksek oranlarda doğrusal bir ilişki olduğu açıklanmıştır.

Bryla ve ark. (2010) yaptıkları çalışmada, bitki su stresini belirlemek ve bitki katsayılarını hesaplamak için farklı bitkileri lizimetre koşullarında (broccoli, marul, biber ve sarımsak) yetiştirmişlerdir. 2002 yılında kurulan lizimetrelerde 4 yıl süresince farklı bitki grupları incelenmiştir. Yapılan çalışma bazal bitki katsayısının (K_{cb}) toprak yüzeyinden bir buharlaşma olmadığı, yüzeyin kuru koşullarında, sınırlı bir transpirasyonun sağlandığı koşullarda gerçekleştiğini ve vejetasyon dönemleriyle ilişkili olmak üzere yüzey kapatma oranı ile doğrusal ya da kuadratik ilişkiler içinde olduğunu göstermiştir. Vejetasyonun orta döneminde, yüzey örtme oranı %70 - 90 aralığında olduğu zaman K_{cb} değeri biber bitkisinde 1,1 olarak hesaplanmıştır. Araştırmacılar yeni bitki katsayısı belirleme yöntemlerinin sulama programlamasında aşırı su tüketimini azaltacak olması bakımından kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Er - raki ve ark. (2010) tarafından, uzaktan algılama teknikleri ve FAO - 56 dual K_c yaklaşımının kombinasyonu bir çalışma yapılmıştır. Buna göre NDVI, bitkinin vejetasyon dönemi özellikleri, bazal bitki katsayısı, yüzey kapatma katsayısı ve toprak yüzeyinden olan buharlaşma değerlerine bakılmıştır. 2002 - 2003 yıllarına ilişkin NDVI verileri kullanılarak bulunan vejetatif parametreler dual K_c yaklaşımı ile ilişkilendirilmiştir. Araştırmacılar spatial veriler kullanılarak bulunmuş olan ET_c değerleri ile dual K_c metodu kullanılması sonucu elde edilen değerlerin özellikle topraktan olan buharlaşma ve bitki su stresi değerleri ile çakışmadığı zamanlarda iyi kullanım olanakları sunduğunu belirtmişlerdir.

Lazzara ve Rana (2010) tarafından, Akdeniz bölgesinde yetiştirilen dominant bitki ve ürün gruplarının mevcut tekil ve dual K_c gibi yöntemler kullanılarak bitki katsayılarının elde edilmesi ve bu katsayılara bağlı olarak bölge ülkelerinde yapılmakta olan sulama programlarına daha sağlam veriler üretilmesi amaçlanmıştır. Tekil K_c yönteminin dünya da pek çok literatür tarafından yüksek oranlarda kullanıldığı, ancak çoğunlukla otsu bitkiler için değerlendirmelerin yapıldığı özellikle meyve ağaçları ve uzun boylu bitki ve ağaçlar için çalışmaların sürdürülmesi gerektiği açıklanmıştır. Bunun yanısıra dual K_c yöntemi için bitkinin vejetatif büyüme dönemlerinin, yaprak yüzey alanları vb. fizyolojik özelliklerinin, yüzey kapatma oranı vb. parametrelerin hesaplamalarda gerekli olduğu ve bu konuda çalışma yapılması gerekliliği açıklanmıştır.

Liu ve Luo (2010) yaptıkları çalışmada, dual K_c ve diğer bitki katsayısı hesaplama yöntemlerinin lizimetre koşulları altında buğday ve mısır bitkilerinde FAO - 56 metodolojisi kullanılmak suretiyle hesaplanmasını amaçlamışlardır. Buğday ve mısır bitkileri için

kullanılması tavsiye edilen başlangıç, orta dönem ve son dönem bazal bitki katsayısı değerleri modifiye edilmiş ve bunların varyasyonları değerlendirilmiştir. Lizimetre kullanılarak hesaplanan bitki katsayısı değerleri ise bitki yetiştirme dönemleri boyunca sırasıyla 0,80, 1,15, 1,25, 0,95; 0,90, 0,95, 1,25 ve 1,00 olarak bulunmuştur.

Abyaneh ve ark. (2011) tarafından yapılmış çalışmada sulama suyu ihtiyacının belirlenmesi, tekil ve dual K_c bitki katsayılarının lizimetre kullanılarak elde edilmesi amaçlanmıştır. 2008 - 2009 yılları arasında yürütülen denemede elde edilen bitki su tüketimi değerleri (ET_c) yıllara göre sırasıyla 546,5 – 519,2 mm olarak bulunmuştur. Referens bitki su tüketimi değeri (ET_o) yapay sinir ağları (ANN) metodu kullanılmak suretiyle simülasyonla elde edilmiştir. K_c sonuçları başlangıçtan son döneme kadar geçen dönemde sırasıyla 0,53, 1,4 ve 0,3 arasında değişmiştir. Elde edilmiş olan tekil ve dual K_c sonuçları FAO - 56'da açıklanan ilkeler göz önünde bulundurularak karşılaştırılmıştır. Sonuçta ET_c değerlerinde tekil ve dual K_c de en büyük farklılığın başlangıç ve son dönemde meydana geldiği belirtilmiştir. Bu çalışma ile dual K_c yöntemi kullanılarak hesaplanan bitki katsayılarının daha kesin, güvenli olduğunu (RMSE = %38), ancak tekil bitki katsayısı yönteminin kullanıcılara hesaplamalarda basitlik ve kolaylık sağladığı açıklanmıştır.

Odhiambo ve Irmak (2012), Nebraska Üniversitesi Tarımsal Araştırma alanında 2007 - 2008 yıllarında tekil ve dual K_c metotlarını kullanarak soya fasülyesinde (*Glycine max* L. Merr.) bitki su tüketimini (ET_c) tahmin etmeye çalışmışlardır. Toprak altı damla sulama yönteminin kullanıldığı çalışmada ET_m bowen oranı enerji dengesi (BREBS) seti ile ölçülmüş, ET_o ise Penman - Monteith yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Dual K_c katsayıları ET_m nin tahmininde tekil K_c katsayılarına göre özellikle başlangıç dönemine ait değerlerde daha doğrusal sonuçlar vermiştir.

Parekh (2013) Hindistan'da mikro sulama sistemleri ile sulanan karnabahar bitkisinde yaptığı çalışmada, bitki su tüketimini tekil ve dual bitki katsayısı yöntemlerini kullanmak suretiyle elde etmeyi, bu sayede yöntemlerin doğruluk ve kesinliklerini belirlemeyi amaçlamıştır. Gerekli olan meteorolojik verilerden yararlanarak bölge için referens ET değerini hesaplamıştır. Tekil K_c yönteminde bitki katsayısı, topraktan olan buharlaşma ve bitkiden olan terleme verilerinin ortak ölçümü sonucunda bulunmuş, dual K_c yaklaşımında ise bazal bitki katsayısı (K_{cb}) ve topraktan olan buharlaşmanın etkisi (K_e) değerleri ayrı ayrı ölçülerek elde edilmiştir. Bitkinin su ihtiyacı 256 - 237 mm olarak hesaplanmıştır. Bitki için gelişme dönemlerinde bazal bitki katsayısı değerleri 0,15, 0,55, 0,95 ve 0,85 olurken, tekil bitki katsayısı değerleri ise 0,58, 0,82, 1,05 ve 0,95 olarak hesaplanmıştır. Araştırmacı, dual K_c yönteminin daha fazla hesaplama dayalı, tekil K_c den biraz daha karmaşık bir yöntem

olduğunu açıklamıştır. Bunun yanısıra dual K_c yönteminin gerçek zamanlı sulama planlamasında en iyi sonucu verdiğini, toprak yüzey ıslaklığı ve genel nem içeriğinin sonuçlar üzerinde etkili olduğunu belirtmiştir. Tekil K_c yönteminin basit oluşuna rağmen dual K_c yönteminin daha kesin sonuçlar vermesi nedeniyle mikro sulama yöntemlerinde planlama ve etkin sulama açısından kullanılabilceğini açıklamıştır.

Sulama yarı - kurak bölgelerde bağ yetiştiriciliğinde önemli bir faktördür. Yapılmış olan çalışmada 2007 - 2009 yılları yetiştiricilik döneminde ET değerleri hesaplanmış ve FAO tarafından açıklanan değerlerle karşılaştırılmıştır. Bitkiden olan terleme sap - flow sistemi ile, ET_a ise eddy kovaryans sistemi ile izlenmiştir. ET_o değerleri P - M metoduna göre hesaplanmış, tekil ve dual metotlar kullanılarak bitki katsayıları elde edilmiştir. Bağ yetiştiriciliğinde ET_a içerisinde transpirasyon en önemli bileşen olarak görülmüştür. Yetiştiricilik dönem ortası değerlerine bakıldığında K_c değerleri FAO nun standart değerlerinden tekil K_c ve dual K_c metotlarında sırasıyla %11 - 19 daha düşük bulunmuştur. Bu durumun, bazal bitki katsayısı kullanılarak bulunan ET_a değerlerinde %10 luk bir azalmaya sebep olduğu açıklanmıştır (Poblete - Echeverria ve Ortega - Farias 2013).

Shahrokhnia ve Sepaskhah (2013) tarafından İran Fars Bölgesinde yapılan çalışmada buğday ve mısır bitkileri tartılı tip lizimitrede yetiştirilmiştir. Referens ET değeri bölge için kalibre edilmiş olan FAO P - M modeli kullanılarak hesaplanmış, tekil K_c değeri ise ET_o ın ET_c ye oranından elde edilmiştir. Bunun yanı sıra hesaplanan dual K_c için basal bitki katsayısı (K_{cb}) ve topraktan olan buharlaşma (K_e) terimleri bulunmuştur. Ölçülen maksimum ET değerleri buğday ve mısır için sırasıyla 9,9, 10 mm gün⁻¹ olmuştur. Topraktan olan buharlaşma buğday bitkisinde toplam ET_c nin yaklaşık %30' u, mısır bitkisinde ise yaklaşık %29,8' i oranında ölçülmüştür. FAO nun açıkladığı değerlerden farklılık göstermekle birlikte başlangıç, orta ve son dönem K_c değerleri mısır bitkisi için 0,48, 1,40, 0,31 ve buğday bitkisi için 0,77, 1,35, 0,26 olarak gerçekleşmiştir. Bunun yanında K_{cb} değerleri ise anılan dönemler için buğdayda 0,23, 1,14, 0,13 ve mısırdaki 0,10, 1,07, 0,06 olarak açıklanmıştır. Sonuç olarak günlük bazda tekil K_c , mevsimsel bazda ise dual K_c yöntemi daha net, kesin sonuçlar verdiği araştırmacılar tarafından belirtilmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu bölümde, araştırmada kullanılan materyal ile arazi, laboratuvar ve büro çalışmalarında uygulanan yöntemler açıklanmıştır.

3.1.1. Araştırma alanı

Araştırma, 2011 ve 2012 yıllarında Tekirdağ ili Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Uygulama Alanı'nda yürütülmüştür. Araştırma alanının denizden yüksekliği 4 m olup, enlem derecesi 40° 59' kuzey, boylam derecesi ise 27° 29' doğudur. Araştırma alanının fakülte arazisindeki konumu Şekil 3.1' de verilmiştir.

3.1.2. İklim özellikleri

Araştırmanın yürütüldüğü Tekirdağ iline ait, Meteoroloji Genel Müdürlüğü Araştırma ve Bilgi İşlem Daire Başkanlığından sağlanan 1939 - 2011 yıllarına ait her aya ilişkin uzun yıllar ortalamaları Çizelge 3.1'de ve araştırmanın yürütüldüğü 2011 - 2012 yılına ait bazı iklim elemanlarının onar günlük ortalama değerleri Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Araştırma alanı yarı kurak bir iklim kuşağı içinde yer almaktadır. Uzun yıllar ortalamaları dikkate alındığında; yıllık ortalama sıcaklık 14 °C olup, aylık sıcaklık ortalamaları açısından en soğuk ay 4,9 °C ile Ocak, en sıcak 23,7 °C ile Ağustos aylarıdır. Yıllık ortalama yağış miktarı 568,3 mm' dir. Ortalama son don tarihi 21 Mart, ilk don tarihi ise 7 Aralık'tır. Yıllık ortalama bağıl nem %78,1 olup, bu değer Temmuz ayında %70,7' ye düşmekte ve Ocak ayında %82,8'e yükselmektedir. Yıllık ortalama rüzgâr hızının 2 m yükseklikteki değeri 2,7 m s⁻¹' dir.

3.1.3. Toprak özellikleri ve topoğrafya

Araştırma alanın toprakları genellikle derin profillidir ve eğim yoktur. Toprak bünye sınıfı kil ya da killi - tındır. Araştırmanın yürütüldüğü alanda tuzluluk, sodyumluluk ve taban suyu gibi sorunlar bulunmamaktadır. Her iki yıl içinde araştırma alanı toprak analizleri yapılmıştır.



Şekil 3.1. Araştırma alanı

Çizelge 3.1. Araştırma alanına ilişkin iklim değerlerinin uzun yıllar ortalamaları (1939 - 2011)

Uzun Yıllar İklim Verileri	Aylar												Yıllık Ortalama
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	
Ortalama sıcaklık (°C)	4,9	5,3	7,2	11,8	16,7	21,2	23,7	23,7	19,9	15,4	10,9	7,3	14,0
Ortalama mak. sıcaklık (°C)	8,3	8,7	10,9	15,6	20,4	25,2	27,9	28,0	24,2	19,5	14,4	10,3	17,8
Ortalama min. sıcaklık (°C)	2,2	2,2	4,1	8,1	12,3	16,4	19,0	19,2	15,8	11,9	7,4	4,2	10,2
Ortalama bağıl nem (%)	82,8	80,9	80,7	78,6	77,2	73,8	70,7	72,0	75,4	79,6	82,3	82,8	78,1
Ortalama rüzgar hızı* (m s ⁻¹)	3,0	3,1	2,8	2,3	2,2	2,2	2,6	2,7	2,6	2,7	2,7	3,1	2,7
Ort. güneşlenme süresi (h)	3,0	3,9	4,7	6,3	8,2	9,5	10,1	9,3	7,6	5,4	3,8	2,6	6,2
Yağış (mm)	69,4	54,0	55,5	40,7	38,3	37,0	23,3	14,9	35,9	60,7	75,3	82,2	568,3
Buharlaşma (mm)	-	-	-	62,4	112,4	138,1	176,8	170,2	113,2	67,8	22,6	9,2	872,7

*: 2 m yükseklikte ölçülen değerdir.

Çizelge 3.2. Araştırma alanının deneme süresince 2011 yılına ait iklim verileri

Yıllar	Aylar	Ortalama sıcaklık (°C)	Ortalama bağıl nem (%)	Ortalama rüzgar hızı* (m s ⁻¹)	Güneşlenme süresi (h)	Buharlaşma miktarı (mm)	Yağış (mm)
2011	Mayıs						
	Mayıs 1–10	13,5	80,2	2,1	3,8	24,0	29,0
	Mayıs 11–20	16,1	78,3	2,2	9,3	34,2	12,1
	Mayıs 21–31	17,8	73,9	2,5	7,7	45,5	0,0
		15,8	77,4	2,3	6,9	103,7	41,1
	Haziran						
	Haziran 1–10	22,0	71,0	2,2	10,3	47,8	0,0
	Haziran 11–20	21,7	77,0	2,2	7,3	40,3	32,4
	Haziran 21–30	22,1	57,5	2,9	7,8	49,6	53,8
		21,9	68,5	2,4	8,5	137,7	86,2
	Temmuz						
	Temmuz 1–10	23,5	72,4	2,4	9,6	47,5	7,8
	Temmuz 11–20	26,3	64,6	2,3	11,4	55,7	0,0
	Temmuz 21–31	29,4	65,6	2,9	11,0	61,3	0,0
		23,4	67,5	2,5	10,7	164,5	7,8
	Ağustos						
	Ağustos 1–10	25,0	65,1	3,4	9,9	51,9	1,3
	Ağustos 11–20	24,1	62,3	2,7	10,0	48,7	0,2
	Ağustos 21–31	24,0	65,8	3,5	9,6	51,5	0,0
		24,4	64,4	3,2	9,8	152,1	1,5
	Eylül						
	Eylül 1–10	23,4	66,1	2,3	10,1	39,6	0,0
	Eylül 11–20	23,2	67,0	2,7	10,8	38,7	0,0
	Eylül 21–30	20,4	67,4	3,3	6,7	30,6	138,0
	22,4	66,8	2,8	9,2	108,9	138,0	
Ekim							
Ekim 1-10	17,1	75,0	2,5	7,9	22,5	10,7	
	17,1	75,0	2,5	7,9	22,5	10,7	

* : 2 m yükseklikteki değerlerdir

Çizelge 3.3. Araştırma alanının deneme süresince 2012 yılına ait iklim verileri

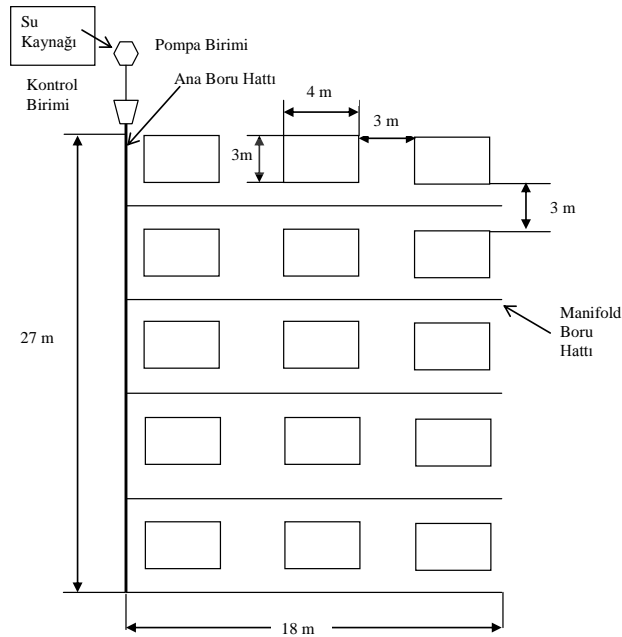
Yıllar	Aylar	Ortalama sıcaklık (°C)	Ortalama bağıl nem (%)	Ortalama rüzgar hızı* (m s ⁻¹)	Güneşlenme süresi (h)	Buharlaşma miktarı (mm)	Yağış (mm)
2012	Mayıs						
	Mayıs 1–10	19,0	82,3	2,0	9,0	36,1	0,0
	Mayıs 11–20	17,7	94,1	2,7	5,2	26,6	35,0
	Mayıs 21–31	17,8	96,7	2,5	6,9	32,2	27,4
		18,2	91,0	2,4	7,1	94,9	62,4
	Haziran						
	Haziran 1–10	21,9	86,2	2,0	10,8	44,8	0,0
	Haziran 11–20	25,0	78,7	3,7	11,5	55,7	0,0
	Haziran 21–30	25,3	69,6	2,9	10,5	53,8	0,2
		24,1	78,2	2,9	10,9	154,3	0,2
	Temmuz						
	Temmuz 1–10	25,4	66,9	2,7	10,7	54,7	6,0
	Temmuz 11–20	27,1	69,0	3,0	10,5	56,5	0,0
	Temmuz 21–31	27,9	70,1	3,2	10,6	63,1	0,0
		27,0	68,7	3,0	10,6	174,3	6,0
	Ağustos						
	Ağustos 1–10	27,6	63,1	2,6	10,8	55,7	1,4
	Ağustos 11–20	25,5	61,7	3,3	9,7	51,1	0,0
	Ağustos 21–31	25,1	63,2	3,6	10,6	50,7	6,4
		26,0	62,7	2,8	10,3	157,5	7,8
	Eylül						
	Eylül 1–10	23,2	68,4	3,8	8,6	41,0	0,0
	Eylül 11–20	26,8	77,2	2,7	6,1	30,4	8,4
	Eylül 21–30	25,4	75,3	1,9	9,6	28,4	0,0
	26,6	73,6	2,8	8,1	99,8	8,4	
Ekim							
Ekim 1-10	20,3	87,8	2,0	7,5	20,3	10,8	
	20,3	87,8	2,0	7,5	20,3	10,8	

* : 2 m yükseklikteki değerlerdir

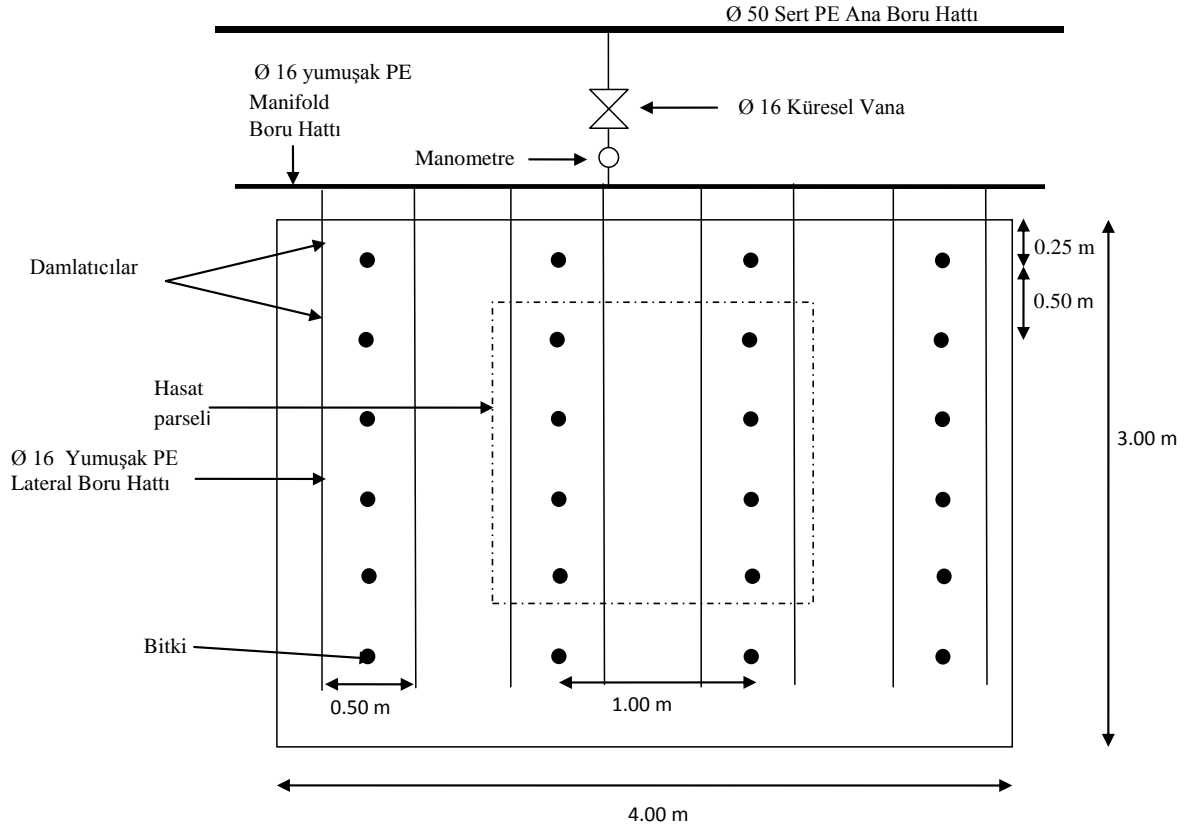
3.1.4. Sulama sistemi

Araştırmanın yürütüldüğü 2011 ve 2012 yıllarına ilişkin deneme parseli ve sulama sistemi ayrıntıları Şekil 3.2 ve 3.3’de verilmiştir. Deneme alanı 27,0 x 18,0 m boyutlarında olup, toplam 486 m²’dir. Bir deneme parseli 4,0 x 3,0 m boyutlarında olmak üzere toplam 12,0 m² alana sahiptir ve 4 adet bitki sırasından oluşmaktadır. Her deneme parselindeki bitki sayısı 24 adettir. Bitkilerin sıra aralığı 1,00 m, sıra üzeri ise 0,50 m’dir. Tüm kenarlardaki birer bitki sırası, kenar etkisi göz önüne alınarak, hasat parseli dışında bırakılmıştır. Parsellerin düzenlenmesi sırasında bloklar ve parseller arasında 3,0 m boşluk bırakılmıştır.

Sulama sistemi sırasıyla, su kaynağı, pompa birimi, kontrol birimi, boru hatları ve damlaticılardan oluşmuştur. Araştırma parsellerinin sulanması için gerekli olan sulama suyu, deneme alanı yakınından geçen şehir şebeke hattından alınarak, 10 ton hacmindeki bir tankta depolanmış, 10 L s⁻¹ debideki suyu 26 m yüksekliğe basabilen ve benzinli motor ile çalışan santrifüj pompa ile sisteme verilmiştir. Sulama suyu kontrol biriminde damlaticıları tıkamayacak biçimde süzülüp basıncı ve debisi denetlenerek deneme parsellerine dağıtılmıştır. Kontrol birimi, hidrosiklon, elekfiltre, basınç regülatörü, basınç ölçümleri için manometrelerden oluşturulmuştur. Sulama sistemi içerisinde; ana boru hattı için 50 mm dış çaplı sert PE borular, manifold boru hatları için 16 mm dış çaplı yumuşak PE borular ve lateraller için üzerinde toprağın infiltrasyon hızına göre aralıkları ve debisi belirlenmiş in-line damlaticıların bulunduğu 16 mm çapında yumuşak PE borular kullanılmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3.2. Deneme planı



Şekil 3.3. Deneme parselinin ayrıntısı

3.1.5. Kullanılan biber tohumunun özellikleri

Araştırmada kullanılan tohum, yüksek verim potansiyeline, güçlü bitki ve kök yapısına sahip, hızlı büyüyen ve kaliteli ürün sağlayan, standart çarliston tipinde biber çeşididir. “Yalova Çarliston” çeşidi biber tohumu kullanılmıştır. Meyveleri uzun konik, sarı yeşil renkli ve tatlıdır. Kalın eti olan çeşidin meyve uzunluğu ortalama 14 - 17 cm, çapı 2 - 3 cm dir. Sofralık, kızartmalık ve turşuluk özelliğine sahiptir. Açık saha, ana sezon ve turfanda yetiştiriciliğine uygundur.

3.1.6. Kullanılan bilgisayar paket programları

Araştırmada, istatistiksel analizlerin yapılmasında ve çeşitli denklemlerin elde edilmesinde SPSS, Tarist ve EXCEL isimli paket programları kullanılmıştır.

3.2. Yöntem

Bu bölümde, araştırma alanı topraklarının fiziksel özellikleri dikkate alınarak, kullanılacak sulama yönteminin gerektirdiği sistem unsurlarının projelendirilmesi, araştırma konuları, FAO - 56 bitki katsayıları metodu ve su - verim - üretim fonksiyonları hakkında bilgiler yer almaktadır.

3.2.1. Araştırma alanı topraklarının fiziksel ve kimyasal özellikleri

Araştırma alanı topraklarının fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla 2 farklı yerde 90 cm derinliğe kadar toprak profilleri açılarak 0 - 30, 30 - 60 ve 60 - 90 cm toprak katmanlarından bozulmuş ve bozulmamış toprak örnekleri alınmıştır. Bu örneklerden hacim ağırlığı, tarla kapasitesi, solma noktası ve bünye sınıfı değerleri belirlenmiştir (Blake 1965, Benami ve Diskin 1965).

Araştırmada kullanılan sulama suyu özelliklerini belirlemek için su örnekleri alınmış, Ayyıldız (1990)'da verilen esaslara göre su kalite sınıfı T₁S₁ olarak tespit edilmiştir. Damla sulama sistem unsurlarının boyutlandırmasında yararlanmak üzere, toprak örneği alınan profilin hemen yanında Güngör ve Yıldırım (1989)'da belirtilen ilkelere uygun biçimde değişken seviyeli çift silindirli infiltrometre yöntemiyle infiltrasyon testleri yapılmış ve gerçek su alma hızı değerleri Criddle ve ark. (1956)'da verilen esaslara göre belirlenmiştir.

3.2.2. Deneme düzeni ve araştırma konuları

Araştırma, 4 farklı sulama düzeyi ve sulama suyu uygulanmayan konu dikkate alınarak tesadüf blokları deneme deseninde üç tekerrürlü olarak yürütülmüştür (Şekil 3.1). Deneme konuları bloklara rasgele dağıtılmıştır (Düzgüneş 1963, Yurtsever 1984). Dikkate alınan deneme konuları aşağıda açıklanmıştır. Bu konular;

I₁: Kullanılabilir su tutma kapasitesinin %40'ı tüketildiğinde eksik nemi tarla kapasitesine çıkaracak kadar sulama suyu uygulanan konu,

I₂: I₁ konusunda uygulanan suyun %75'i kadar sulama suyu uygulanan konu,

I₃: I₁ konusunda uygulanan suyun %50'si kadar sulama suyu uygulanan konu,

I₄: I₁ konusunda uygulanan suyun %25'i kadar sulama suyu uygulanan konu,

I₅: Sulama suyu uygulanmayan konu şeklinde oluşturulmuştur.

3.2.3. Tarım tekniği

Araştırmada, fidelerin yetiştirilmesinde yetiştirme kabı olarak, her bir gözü yaklaşık 80 ml hacme sahip 45 gözlü üretim viyolleri, ortam olarak ise her üretim periyodu ve ortamında homojenliği sağlamak için, Klasman TS1; hazır fide harcı kullanılmıştır. Kullanılan torf, nematod, fungus vb. hastalık etmenleri içermez. Hava oranı yüksek, gözenekli, sabit ve ince yapılıdır. Drenajı ve su tutma özellikleri iyidir. Düşük seviyede gübre ve gerekli tüm iz elementleri içerir. Optimum çimlenme ve köklenme ortamına sahiptir.

Deneme alanı freze ve tırmıkla işlenerek ekime hazır hale getirilmiştir. Namık Kemal Üniversitesi Tekirdağ Ziraat Fakültesi'nde sera koşullarında yetiştirilen fideler 2011 yılında 17 Mayıs (DOY 137), 2012 yılında ise 21 Mayıs'ta (DOY 142) tarla hazırlığı tamamlanan parsellere dikilmiştir. Parsellerde biber fideleri sıra aralığı 1,0 m ve sıra üzeri 0,50 m olacak şekilde el ile dikilmiştir. Her iki yılda da ekimden önce taban gübresi olarak dekara 5 kg N gelecek şekilde 5 - 5 - 5 kompoze gübresi verilmiştir. Deneme süresince gerektiği zamanlarda çapa işlemleri yapılmış, böylece yabancı otlar temizlenmiş ve toprak havalandırılmıştır.

Ürün hasadı, genel olarak meyveler yaklaşık 13 - 17 cm uzunluğa ulaştığında 2011 yılında 8 Temmuz - 23 Eylül tarihleri (DOY 189 - 266), 2012 yılında ise 11 Temmuz - 25 Eylül tarihleri (DOY 193 - 269) arasında gerçekteştirilmiştir. Her parselden alınan meyve örnekleri, numaralanan torbalara konularak, laboratuara getirilmiş ve fiziksel ölçümler gerçekteştirilmiştir. Uygulanan tarım tekniklerine ve yetiştiriciliğe ait bazı görüntüler Şekil 3.4' de verilmiştir.



Şekil 3.4. Üretim döneminden görüntüler

3.2.4. Sulama suyu uygulamaları

Araştırmada, biber fideleri dikiminden sonra, sulama suyu damla sulama yöntemi ile parsellere uygulanmıştır. Sulamalarda ıslatılacak toprak derinliği olarak 60 cm'lik etkili kök derinliği dikkate alınmıştır. Toprak nemi ölçümlerine dikim ile birlikte başlanmış ve hasat sonuna kadar devam edilmiştir.

Uygulanacak sulama suyu miktarı, topraktaki mevcut nemi tarla kapasitesine çıkaracak biçimde aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır (Güngör ve Yıldırım 1989).

$$d_n = \frac{TK - P_w}{100} \gamma_t D \quad (3.1)$$

Eşitlikte;

d_n : Her sulamada uygulanacak net sulama suyu miktarı, mm,

TK : Tarla kapasitesi, %,

P_w : Mevcut nem, %,

γ_t : Toprağın hacim ağırlığı, $g\ cm^{-3}$,

D : Etkili kök derinliği, mm, değerlerini göstermektedir.

Deneme koşullarında ıslatılan alan yüzdesi (P) %100 olarak gerçekleştirilmiştir. Damla sulama yöntemi ile sulanan parsellerde mm cinsinden hesaplanan net sulama suyu miktarı sulama süresine çevrilmiştir. Sulama süresinin hesaplanmasında;

$$T_a = \frac{1000 \cdot d_t}{q \cdot N} \quad (3.2)$$

eşitliği kullanılmıştır. Eşitlikte;

T_a : Sulama süresi, h,

d_t : Her bir sulamada uygulanacak net sulama suyu miktarı, mm,

q : Bir damlatıcının debisi, $L\ h^{-1}$ ve

N : Bir parseldeki damlatıcı sayısı, adettir.

3.2.5. Damla sulama yönteminde projelendirme kriterlerinin belirlenmesi

Güngör ve Yıldırım (1989)'da belirtilen esaslara göre, her bir bitki sırasına iki lateral gelecek şekilde lateraller döşenmiştir (Şekil 3.3). Denemede, 1,0 atmosfer basınçta, $4\ L\ h^{-1}$

debiye sahip, lateral boyuna geçik (inline) damlatıcılar kullanılmıştır. Damlatıcı aralığı, seçilen işletme basıncına göre elde edilen damlatıcı debisi ve toprağın su alma hızı değerlerinden yararlanılarak aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır (Papazafrou 1980).

$$S_d = 0.9 \sqrt{\frac{q}{I}} \quad (3.3)$$

Eşitlikte;

S_d : Damlatıcı aralığı, m,

q : Damlatıcı debisi, $L h^{-1}$,

I : Toprağın su alma hızı, $mm h^{-1}$, değerlerini göstermektedir.

Damla sulama sisteminde ıslatılan alan yüzdesi ise;

$$P = \frac{2 \cdot S_d}{S_l} 100 \quad (3.4)$$

eşitliği ile belirlenmiştir (Güngör ve Yıldırım 1989). Eşitlikte;

P : ıslatılan alan yüzdesi, %,

S_d : Damlatıcı aralığı, m,

S_l : Lateral aralığı değerlerini göstermektedir.

3.2.6. Bitki su tüketiminin saptanması

3.2.6.1. Su bütçesi yaklaşımı

Araştırmada, toprak nem içeriği gravimetrik olarak 90 cm toprak derinliğinde her 30 cm' lik toprak katmanı için belirlenmiştir. Etkili kök derinliği 30 - 60 cm olup, bitki su tüketimi değerleri 60 cm toprak derinliğine göre su bütçesi yaklaşımına göre hesaplanmıştır (Walker ve Skogerboe 1987). Bu amaçla aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır.

$$ET = I + P + C_p - D_p \pm R_f \pm \Delta S \quad (3.5)$$

Eşitlikte;

- ET : Bitki su tüketimi, mm,
I : Periyot boyunca uygulanan sulama suyu miktarı, mm,
P : Periyot boyunca düşen yağış, mm,
C_p : Kılcal yükselişle kök bölgesine giren su miktarı, mm,
D_p : Derine sızma kayıpları, mm,
R_f : Deneme parsellerine giren ve çıkan yüzey akış miktarı, mm,
ΔS : Kök bölgesindeki toprak nemindeki değişimler, mm

değerlerini göstermektedir.

Deneme alanında taban suyu bulunmadığından, kılcal hareketle bitki kök bölgesine su girişi olmadığı varsayılarak C_p değeri göz önüne alınmamıştır. Ayrıca, basınçlı sulama sistemi kullanıldığından yüzey akış miktarları da ihmal edilmiştir (Kanber 1997).

3.2.6.2. Penman Monteith modeli ve bitki katsayıları yaklaşımı

Gerçek bitki su tüketiminin (ET_c) eldesinde tekil ve dual bitki katsayıları yaklaşımından yararlanılmıştır. FAO - 56'da Allen ve ark. (1998) tarafından açıklanan metoda göre, referans bitki olarak çimi baz alan Penman - Monteith kombinasyon yöntemi kullanılmıştır. Biber tekil bitki katsayıları (K_c) su bütçesi yaklaşımına göre belirlenen gerçek bitki su tüketiminin (ET) referans bitki su tüketimine oranlanması ile elde edilmiştir. Enerji dengesine dayalı Penman - Monteith eşitliği aşağıda açıklanmıştır.

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{C_n}{T+273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + C_d U_2)} \quad (3.6)$$

Eşitlikte;

- ET_o : Referans bitki su tüketimi, mm gün⁻¹,
Δ : Buhar basınç eğrisinin eğimi, kPa/°C,
γ : Psikometrik sabite, kPa/°C,
R_n : Bitki yüzeyindeki net radyasyon, MJ/m² gün⁻¹,
G : Toprakta ısı akımı, MJ/m² gün⁻¹,
T : Ortalama sıcaklık, °C,
U₂ : 2 m yükseklikte ölçülmüş rüzgâr hızı, m s⁻¹,
C_n : 900 °C mm s³Mg⁻¹d⁻¹ çim ve 1 600 °C mm, s³Mg⁻¹d⁻¹ yoncada,

C_d : 0,34 s m⁻¹ çim ve 0,38 s m⁻¹ yoncada,
 e_s : Ortalama hava sıcaklığında doygun buhar basıncı, mb,
 e_a : Ortalama hava sıcaklığında gerçek buhar basıncı, mb
 değerlerini göstermektedir.

Modelde yer alan buhar basıncı eğrisinin eğimi (Δ);

$$\Delta = \frac{4098[0,6108 \exp(\frac{17,27 T}{T+237,3})]}{(T+237,3)^2} \quad (3.7)$$

Δ : Doygun buhar basıncı eğrisinin eğimi, kPa °C⁻¹,
 T : Ortalama sıcaklık, °C,
 \exp : 2,7183

$$u_2 = u_z \frac{4,87}{\ln(67,8z-5,42)} \quad (3.8)$$

Eşitlikte;

U_2 : 2 m yükseklikte ölçülmüş rüzgar hızı, m s⁻¹,
 u_z : toprak yüzeyinden “z” metre yükseklikteki rüzgar hızı, m s⁻¹,

Psikrometrik sabite;

$$\gamma = \frac{c_p * P}{\epsilon * \lambda} = 0,665 * 10^{-3} P \quad (3.9)$$

Eşitlikte;

γ : Psikometrik sabite, kPa/°C,
 P : Atmosferik basınç, kPa,
 λ : Gizli buharlaşma ısı, 2,45 MJ kg⁻¹,
 c_p : Sabit basınçta, 1 013 10⁻³ kg, ıslak havanın özgül ısı, MJ kg⁻¹ °C⁻¹,
 ϵ : 0,622 katsayısıdır

eşitlikleri ile hesaplanmıştır.

Bitki su tüketiminin (ET_a) referans bitki su tüketiminden yararlanılarak hesaplanmasında dual bitki katsayılarından yararlanılmıştır. Evaporasyon ve transpirasyonun

etkisini ayrı ayrı belirleyen dual bitki katsayılarının bulunması için aşağıda yer alan eşitlikler (Allen ve ark. 1998, 2005) ile açıklanan dual bitki katsayısı yöntemi kullanılmıştır.

$$ET_c = (K_{cb} + K_e) ET_o \quad (3.10)$$

Eşitlikte;

ET_c : Tahmin edilen bitki su tüketimi, mm/gün,

ET_o : Referens bitki su tüketimi, mm/gün (FAO - Penman - Monteith çim için),

K_{cb} : Transpirasyon ile ilgili bazal bitki katsayısı,

K_e : Evaporasyona bağlı katsayısı.

Bazal bitki katsayısı (K_{cb}), transpirasyon için suyun kısıtlı olmadığı, toprak yüzeyinin kuru fakat transpirasyonun potansiyel hızda devam ettiği koşullarda ET_c nin ET_o ' a oranı olarak tanımlanır.

$$K_{cb} = \frac{ET_c}{ET_o} \quad (3.11)$$

Bitki topraktaki nem azalmasına bağlı su stresi altında ise; bazal bitki katsayısı (K_{cb}) su stresi katsayısı (K_s) ile düzeltilir. Su stresinin olmadığı koşullarda $K_s = 1$, kısıtlı su koşullarında ise $K_s < 1$ ' dir.

$$ET_c = (K_s * K_{cb} + K_e) ET_o \quad (3.12)$$

Metodolojiye ait bileşenlerin belirlenmesinde; bitki gelişme dönemleri, tüm büyüme mevsimine ait (ekim - hasat) iklim verileri, toprak nem değişimleri tanımlanarak K_{cb} katsayılarının ilk, orta ve son dönem değerleri FAO - 56'da yer alan tablodan alınmıştır. Bu değerler rüzgâr hızının (U_2) 2 m s^{-1} ve minimum nisbi nemin (RH_{min}) %45 olduğu iklim koşullarını için geçerlidir. Seçilen K_{cb} değerleri 0,45 değerine eşit veya büyük olması halinde değişen iklim koşullarına göre düzeltilmiştir. Düzeltilmiş K_{cb} ve yüzey evaporasyon katsayısı (K_e) hesaplamalarında aşağıda yer alan eşitlikler kullanılmıştır.

$$K_{cb} = K_{cb(Tab)} + [0,04(U_2 - 2) - 0,004 (RH_{min} - 45)] \left(\frac{h}{3}\right)^{0,3} \quad (3.13)$$

Eşitlikte;

K_{cb} : Düzeltilmiş bazal bitki katsayısı, $K_{cb} \geq 0,45$, RH_{min} ve $U_2 < ya da > \%45$ ve $2 m s^{-1}$,

K_{cb} (tablo) : Orta veya son döneme ait tablo değeri,

U_2 : 2 m yükseklikte günlük ortalama rüzgâr hızı, $m s^{-1}$,

RH_{min} : Ortalama minimum bağıl nem değeri, %,

h : Orta ve son dönem boyunca ortalama bitki yüksekliği, m' dir.

Toprak nemli ise evaporasyon maximumdur ve $K_{cb} + K_e \leq K_{c max}$ yazılabilir ya da $K_e \leq K_{c max} - K_{cb}$ olur. Toprak kurumaya başladığında, azalan buharlaşma katsayısı K_r dikkate alınmalıdır. Dolayısıyla;

$$K_e = K_r(K_{cmax} - K_{cb}) \leq f_{ew} * K_{cmax} \quad (3.14)$$

Eşitlikte;

K_e : Yüzey evaporasyon (buharlaşma) katsayısı,

f_{ew} : Buharlaşmanın meydana geldiği ıslak toprak yüzeyi,

K_r : Üst toprak yüzeyinden buharlaşma ile kaybolan birikimli su derinliğine bağlı azalan buharlaşma katsayısı,

$K_{c max}$: Yağış ya da sulamanın ardından oluşan en yüksek K_c değeridir.

Buharlaşmanın meydana geldiği ıslak toprak yüzeyi (f_{ew}), bitkinin taç gelişimi ile toprak nemliliğinin fonksiyonudur. Sulama yöntemlerine göre farklılık gösterir, özellikle damla sulama yönteminde taç alanının sınırlı olan ıslak alanı gölgelemesinden dolayı f_w in taç alanının 1/2 ya da 2/3 ü oranında düzeltilmesi gerekir. Dolayısıyla;

$$f_{ew} = \min(1 - f_c), f_{ew} \quad (3.15)$$

$$f_{ew} = \min \left[(1 - f_c), \left(1 - \left(\frac{2}{3}\right) f_c \right) f_w \right] \quad (3.16)$$

Eşitlikte;

(1- f_c) : Gölgeleyen alan dışında kalan toprak yüzeyi faktörü,

f_w : Islak alan faktörü,

f_c : Taç alanı yüzeyi faktörüdür.

“ f_c ” değeri eşitlik 3.17 ile hesaplanmıştır. “ f_w ” değeri ise FAO - 56 da Allen ve ark. (1998) tarafından açıklanan çizelge 3.4’te damla sulama yöntemi için 0,3 olarak seçilmiş ve $[1-(2/3)f_c]$ eşitliği ile düzeltilmiştir.

$$f_c = \left(\frac{K_{cb} - K_{c \min}}{K_{c \max} - K_{c \min}} \right)^{(1+0,5h)} \quad (3.17)$$

Eşitlikte;

$K_{c \max}$: Yağış ya da sulamanın ardından oluşan en yüksek K_c değeri,

$K_{c \min}$: Minimum K_c değeridir.

Yağış ya da sulamanın ardından oluşan en yüksek K_c değeri, hesaplanacak dönem boyunca ortalama bitki yüksekliği, RH_{\min} , U_2 ve K_{cb} ye göre aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$K_{c \max} = \max \left(\left(1,2 + [0,04(U_2 - 2) - 0,004 (RH_{\min} - 45)] \left(\frac{h}{3} \right)^{0,3} \right), \{ K_{cb} + 0,05 \} \right) \quad (3.18)$$

Üst toprak yüzeyinden buharlaşma ile kaybolan birikimli su derinliğine bağlı buharlaşma azalma katsayısı, yağış ve sulamanın ardından $K_r = 1$ ($D_{e,i-1} < REW$), toprak yüzeyi kurumaya başladığında $K_r < 1$, tam kuru koşullarda $K_r = 0$ olarak gerçekleşir ve

$$K_r = \frac{TEW - D_{e,i-1}}{TEW - REW}, \quad (D_{e,i-1} > REW) \quad (3.19)$$

$$TEW = 1000 (\theta_{FC} - 0,5 \theta_{WP}) Z_e \quad (3.20)$$

eşitlikleri ile ifade edilir. Eşitliklerde;

$D_{e,i-1}$: Toprak yüzeyinden gerçekleşen yığışımlı evaporasyon derinliği, mm,

TEW : Toplam buharlaşabilir su, mm,

REW : Mevcut buharlaşmaya elverişli su miktarı, mm,

Z_e : Buharlaşma yüzeyi derinliğidir, m (0,10 - 0,15 m).

Çizelge 3.4 Sulama ya da yağışın ardından oluşan ıslak alan faktörü (f_w)

Sulama Yöntemi	f_w
Yağış	1,0
Yağmurlama	1,0
Tava	1,0
Uzun tava	1,0
Karık çizgi	0,6 - 1,0
Karık	0,4 - 0,6
Değişken debili karık	0,3 - 0,5
Damla	0,3 - 0,4

3.2.7. Su - üretim fonksiyonları ve verim ilişkileri

Elde edilen sonuçların ekonomik olarak değerlendirilebilmesi için, uygulanan sulama suyu ve ölçülen bitki su tüketimi ile hasat verimi arasındaki ilişkilerden yararlanarak su - üretim fonksiyonları belirlenmiştir (Howell ve ark. 1990).

Deneme konularına uygulanan sulama suyu, ölçülen bitki su tüketimi ve elde edilen hasat verimlerine göre hesaplanan sulama suyu kullanım ve su kullanım randımanı değerleri aşağıdaki eşitlikler yardımı ile hesaplanmıştır (Zhang ve ark. 1999, Kanber ve ark. 2003).

$$IWUE = \frac{Y_1 - Y_0}{I} \quad (3.21)$$

$$WUE = \frac{Y_1}{ET} \quad (3.22)$$

Eşitliklerde;

IWUE : Sulama suyu kullanım randımanı, kg m^{-3} ,

WUE : Su kullanım randımanı, kg m^{-3} ,

Y_1 : Sulama suyu uygulanan deneme konularında belirlenen verim, t ha^{-1} ,

Y_0 : Sulama suyu uygulanmayan deneme konularında belirlenen verim, t ha^{-1} ,

I : Mevsimlik sulama suyu miktarı, mm,

ET : Mevsimlik bitki su tüketimi, mm dir.

Ayrıca, su kısıtının hasat verimi üzerindeki etkisini belirleyebilmek için, Stewart modeli olarak bilinen su - verim ilişkisi yöntemi kullanılmıştır (Doorenbos ve Kassam 1979, Korukçu ve Kanber 1981).

$$\left(1 - \frac{Y_a}{Y_m}\right) = k_y \left(1 - \frac{ET_a}{ET_m}\right) \quad (3.23)$$

Eşitlikte;

- Y_a : Gerçek verim, kg da^{-1} ,
 Y_m : Maksimum verim, kg da^{-1} ,
 Y_a/Y_m : Oransal verim,
 $1-(Y_a/Y_m)$: Oransal verim azalması,
 K_y : Su-verim ilişkisi faktörü,
 ET_a : Gerçek bitki su tüketimi, mm,
 ET_m : Maksimum bitki su tüketimi, mm,
 ET_a/ET_m : Oransal bitki su tüketimi,
 $1-(ET_a/ET_m)$: Oransal bitki su tüketimi açığıdır.

3.2.8. Verim ve verim parametrelerinin belirlenmesi

Araştırmada elde edilen verilerin varyans analizi, ortalamalar arasındaki farklılıkların önemlilik kontrolü, incelenen karakterler arasındaki korelasyonlar Yurtsever (1984) ile Düzgüneş ve ark. (1987)' de belirtilen esaslara göre belirlenmiştir.

Yetiştiricilik sonrası meyveler Türk Standartlar Enstitüsünün TSE 1205 No'lu standardında (Anonim 2007) açıklanan 13 - 17 cm boy aralığına ulaştığında hasat edilmiş ve bitkiler aşağıdaki ölçüm, sayım, tartım ve hesaplamalar yapılarak değerlendirilmişlerdir. İlk meyvelerin hasadından sonra sekonder sürgünler gelişmeye başlamış ve hasad edilmiştir.

1. Hasad (Primer sürgün) ağırlığı (g): Her bitkideki primer sürgünlerin ağırlığı (g) 0.01 g' a duyarlı terazide tartılarak tespit edilmiştir.
2. Hasad (Sekonder sürgün) ağırlığı (g): Bir bitkiden elde edilen her bir sekonder sürgünün ağırlığı ayrı ayrı tartılmıştır.
3. Verim (t ha^{-1}): Hasat parselinden elde edilen pazarlanabilir ürünlerin (primer ve sekonder sürgünlerde) ağırlıklarının toplanması ve hektara oranlanmasıyla tespit edilmiştir.
4. Meyve boyu (cm): Meyvenin iki uç noktası arasındaki uzunluk ölçülmüştür.
5. Meyve eni (cm): Meyvenin en geniş yeri ölçülmüştür. Meyve boyu, meyve eni ölçümlerinde 0,1 mm taksimli kumpas ve şeritmetre kullanılmıştır.

3.2.10. İstatistiksel analizler

Deneme konularından elde edilen verim ve verim parametreleri arasındaki farklılıkların düzeyinin belirlenmesinde varyans analizi, farklılıkların sınıflandırılmasında ise Duncan testi kullanılmış, sulama suyu ve bitki su tüketimi ile anılan verim öğeleri arasındaki ilişkiler regresyon eşitlikleri ile Yurtsever (1984) ile Düzgüneş ve ark. (1987)'de verilen esaslara göre değerlendirilmiştir.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

Bu bölümde, araştırma alanı topraklarının fiziksel ve verimlilik analizlerine ilişkin sonuçlar, uygulanan sulama suyu miktarları, ölçülen ve dual bitki katsayısı yaklaşımı ile hesaplanan bitki su tüketimi sonuçları, elde edilen verim sonuçları, su - üretim fonksiyonları, sonuçları verilmiş ve bulunan sonuçlar değerlendirilmiştir.

4.1. Toprağın Fiziksel ve Kimyasal Analiz Sonuçları

Araştırma alanında iki farklı profilden alınan toprakların fiziksel özellikleri; bünye sınıfı, hacim ağırlığı, tarla kapasitesi, solma noktası ve kullanılabilir su tutma kapasitesi değerleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1’deki sonuçlara göre, 2011 ve 2012 yıllarında, araştırma alanının tüm katmanlarındaki toprak bünye sınıfı kildir. Araştırma yıllarında hacim ağırlığı değerleri 1,57 - 1,63 g cm⁻³, 2011 yılında 0 - 60 cm’ deki kullanılabilir su tutma kapasitesi 98,66 mm, 2012 yılında ise 0 - 60 cm’ deki kullanılabilir su tutma kapasitesi 120 mm’ dir.

Deneme parsellerinden 0 - 20 cm ve 20 - 40 cm toprak derinliklerinden verimlilik analizi amacıyla alınan toprak örneklerinin analizine ilişkin sonuçlar Çizelge 4.2’de verilmiştir. Çizelge 4.2’de yer alan toprak analiz sonuçlarıyla, Trakya bölgesi sebze yetiştiriciliğinde tavsiye edilen gübre miktarları ve biberin vejetasyon döneminde kullandığı besin elementi seviyesi dikkate alınarak, toprak hazırlığı ve bitki gelişim dönemlerinde uygulanması gereken gübreleme programı çıkarılmıştır.

Çift silindir infiltrometre ölçmeleri sonucunda toprağın gerçek su alma hızı değeri 12 mm/h olarak saptanmıştır. Araştırmada kullanılan sulama suyu özelliklerini belirlemek için su örnekleri alınmış, Ayyıldız (1990)’da verilen esaslara göre su kalite sınıfı T₁S₁ olarak tespit edilmiştir.

4.2. Fenolojik Gözlemlere İlişkin Sonuçlar

Denemenin yürütüldüğü 2011 ve 2012 yıllarına ilişkin gelişme periyotları ve büyüme mevsimi uzunlukları Şekil 4.1’de verilmiştir. Denemenin ilk yılında hazırlanan fideler 17 Mayıs, ikinci yılında 21 Mayıs tarihlerinde tarlaya dikilmiştir. Şekilden izleneceği gibi bitki ilk hasat olgunluğuna 2011 yılında yaklaşık meyve gelişme periyodu içerisinde 63 gün,

2012 yılında ise aynı periyotta yaklaşık 57 günde ulaşmıştır. Toplam büyüme mevsimi sırasıyla 142 ve 134 günde tamamlanmıştır.

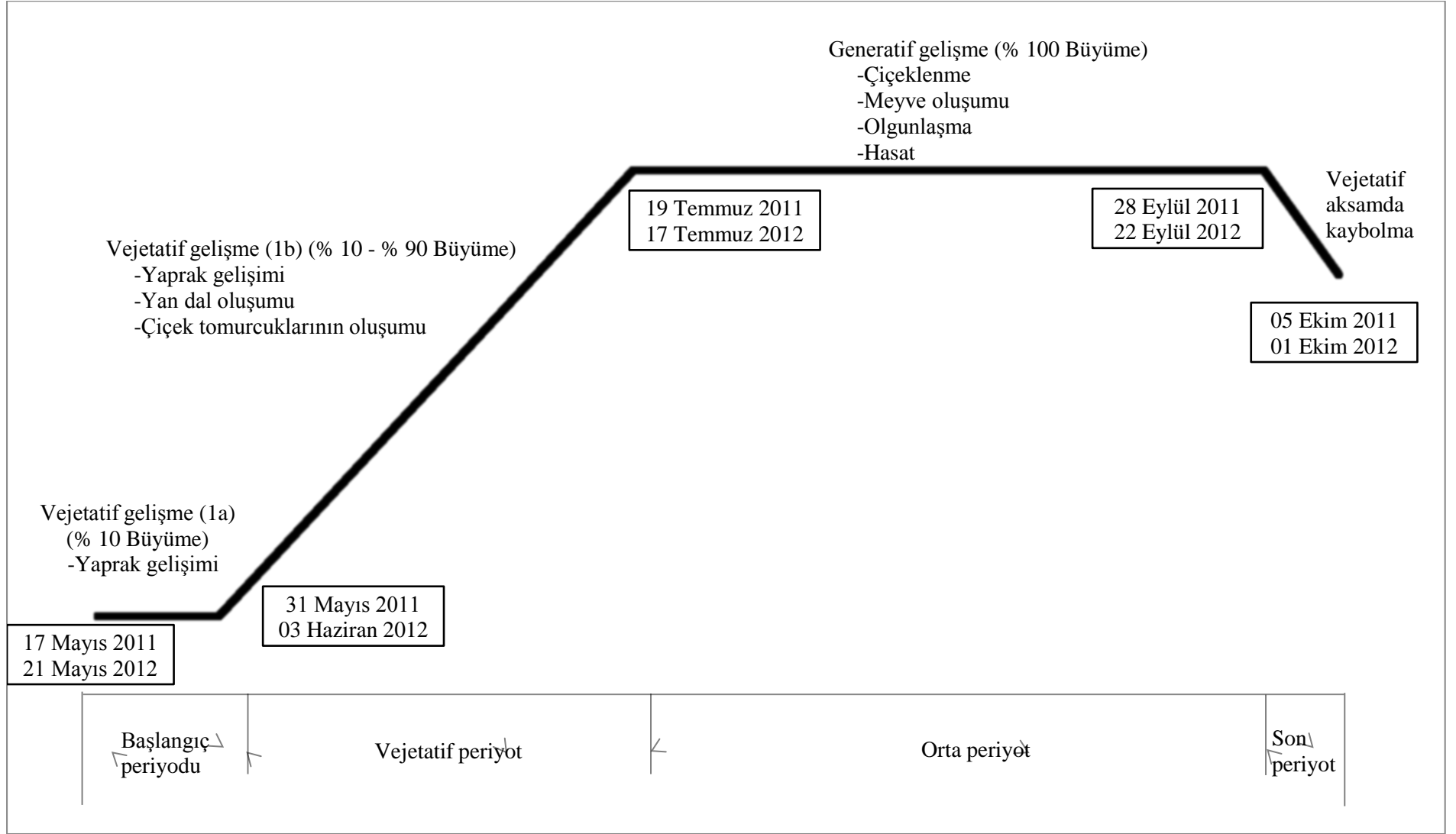
Biber bitkisinin gelişme dönemleri; araştırmada erken vejetatif gelişme dönemi (1a, yaprak gelişimi), geç vejetatif gelişme dönemi (1b, Yaprak gelişimi, yan dal oluşumu, çiçek tomurcuklarının oluşumu), generatif gelişme dönemi (çiçeklenme, meyve oluşumu, olgunlaşma) ve vejetatif aksamda kaybolma dönemleri şeklinde tanımlanmıştır. Farklı bölge koşulları ve biber çeşitlerinde yürütülen araştırmalar ile FAO - 56 incelendiğinde biberin büyüme mevsimi 4 gelişme periyoduna ayrılmıştır, periyot uzunlukları ise ilk periyot 12 - 30 gün, ikinci periyot 35 - 66 gün, üçüncü periyot 30 - 40 gün ve son periyot 5 - 20 gün olmak üzere toplam 106 - 125 gün açıklanmıştır (Alemayahu ve ark. 2009, Allen ve ark. 1998).

Çizelge 4.1. Araştırma alanı topraklarının fiziksel özellikleri

Yıl	Profil derinliği (cm)	Bünye sınıfı	Tarla kapasitesi		Solma noktası		Hacim ağırlığı (gcm ⁻³)	Kullanılabilir su tutma kapasitesi (mm)
			%	mm	%	mm		
2011	0-30	C	32,00	150,72	19,34	91,09	1,57	59,63
	30-60	C	28,00	135,24	19,92	96,21	1,61	39,03
	60-90	C	28,00	136,92	20,56	100,54	1,63	36,38
	0-60			285,96		187,30		98,66
	0-90			422,88		287,84		135,04
2012	0-30	C	31,02	146,12	18,51	87,16	1,57	58,96
	30-60	C	31,86	153,88	19,22	92,84	1,61	61,04
	60-90	C	31,17	152,41	21,99	107,51	1,63	44,90
	0-60			300,00		180,00		120,00
	0-90			452,41		287,51		164,90

Çizelge 4.2. Araştırma alanı topraklarının kimyasal özellikleri

Yıl	Profil derinliği (cm)	Su ile doygunluk (%)	Toplam tuz (%)	pH	Kireç CaCO ₃ (%)	Fosfor P ₂ O ₅ (kg da ⁻¹)	Potasyum K ₂ O (kg da ⁻¹)	Organik Madde (%)
2011	0-20	55	0,073	7,4	2,38	14,10	77,3	1,16
2012	20-40	57	0,080	7,4	2,86	10,95	59,2	0,89



Şekil 4.1. Biber bitkisinin büyüme periyodu uzunlukları

4.3. Damla Sulama Sisteminin Boyutlandırılmasına İlişkin Sonuçlar

Araştırma alanı topraklarının bünye sınıfı ve gerçek infiltrasyon hızı değerlerine göre damlatıcı debisi 4 L/h olarak seçilmiş, damlatıcı debisi ve toprağın gerçek su alma hızı ($I = 12$ mm/h) değerlerinin 3.3 no' lu eşitlikte kullanılmasıyla damlatıcı aralığı 0,50 m olarak hesaplanmıştır. Lateraller her bir bitki sırasına 2 adet olacak biçimde 0,50 m ara ile döşenmiş ve böylece ıslatılan alan yüzdesi 3.4 no' lu eşitlik ile %100 olarak bulunmuştur.

4.4. Sulama Suyu Sonuçları

Sulama sezonu boyunca, tam su alan I_1 deneme konusuna ilişkin sulama tarihleri, toprak nemleri ve uygulanan sulama suyu miktarları 2011 ve 2012 yılı için Çizelge 4.3'de, tüm deneme konularına ilişkin toplam sulama suyu miktarları Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Çizelgeden izleneceği gibi, deneme konularına her iki yılda da dikim işlemi takiben 15 mm çimlenme ve çıkış suyu uygulaması yapılmıştır. Deneme konularına, değişen gün aralıklarında, çimlenme ve çıkış suyu hariç 2011 ve 2012 yıllarında 13 kez sulama uygulaması yapılmıştır. Uygulanan toplam sulama suyu miktarları, 2011 yılında deneme konularına göre 192 ile 568 mm arasında, 2012 yılında ise 196 ile 739 mm arasında değişmiştir.

4.5. Bitki Su Tüketimi Sonuçları

4.5.1. Su bütçesi yaklaşımı sonuçları

Tüm deneme konularında 2011 ve 2012 yılı yetiştiricilik dönemleri içerisinde uygulanan sulama suyu miktarları, yağış ve topraktaki nem değişimi değerleri de dikkate alınarak su bütçesi yaklaşımı ile hesaplanan mevsimlik toplam bitki su tüketimi değerleri Çizelge 4.4' de özetlenmiştir. Deneme süresince düşen yağışın tamamı etkili yağış olarak alınmıştır. Toplam büyüme mevsimi boyunca deneme konularında ölçülen bitki su tüketimi değerleri 2011 yılı için 346 mm ile 788 mm arasında, 2012 yılı için 221 mm ile 803 mm arasında değişmiştir.

Çizelgeden görülebileceği gibi, en yüksek sulama suyu miktarı ve bitki su tüketimi her iki yılda da I_1 konusunda gerçekleşmiştir. En düşük bitki su tüketimi ise mevsim boyunca sulama suyu uygulanmayan susuz konuda gerçekleşmiştir. Denemenin iki yılı

karşılaştırıldığında ilk yıl düşen yağışın ikinci yıla göre yüksek olması sulama sayıları aynı da olsa sulama suyu miktarını azaltmıştır. Mevsimlik su tüketimi değerleri nisbeten yakın bulunmuştur. Bu çalışmada elde edilen 221 – 803 mm aralığına sahip toplam bitki su tüketimi değerleri ülkemizde ve dünyada yapılan daha önceki çalışmalardan elde edilen 233 - 1 069 mm mevsimlik bitki su tüketimi değerleri ile paralellik göstermektedir (Sezen ve ark. 2006, 2011, Miranda ve ark. 2006, Ertek ve ark. 2007, Taş ve Kırnak 2011, Demirel ve ark. 2012, Liu ve ark. 2012).

Çizelge 4.3. I₁ konusuna 2011 ve 2012 yıllarında uygulanan sulama suyu miktarları (mm)

Yıl	Sulama no	Sulama tarihi	Toprak nemi (mm/60cm)	Uygulanan sulama suyu (mm)
2011	Can suyu	17.05.2011	-	15
	1	01.06.2011	247	39
	2	07.06.2011	242	44
	3	23.06.2011	249	37
	4	05.07.2011	247	39
	5	13.07.2011	240	46
	6	20.07.2011	246	40
	7	26.07.2011	240	46
	8	03.08.2011	235	51
	9	09.08.2011	251	35
	10	17.08.2011	250	36
	11	28.08.2011	242	44
	12	09.09.2011	246	49
	13	20.09.2011	239	47
	Toplam			568
2012	Can suyu	21.05.2012	-	15
	1	06.06.2012	243	57
	2	13.06.2012	247	53
	3	20.06.2012	249	51
	4	27.06.2012	251	49
	5	11.07.2012	236	64
	6	20.07.2012	245	55
	7	02.08.2012	235	65
	8	15.08.2012	237	63
	9	30.08.2012	246	54
	10	05.09.2012	238	62
	11	11.09.2012	246	54
	12	15.09.2012	253	47
	13	23.09.2012	250	50
	Toplam			739

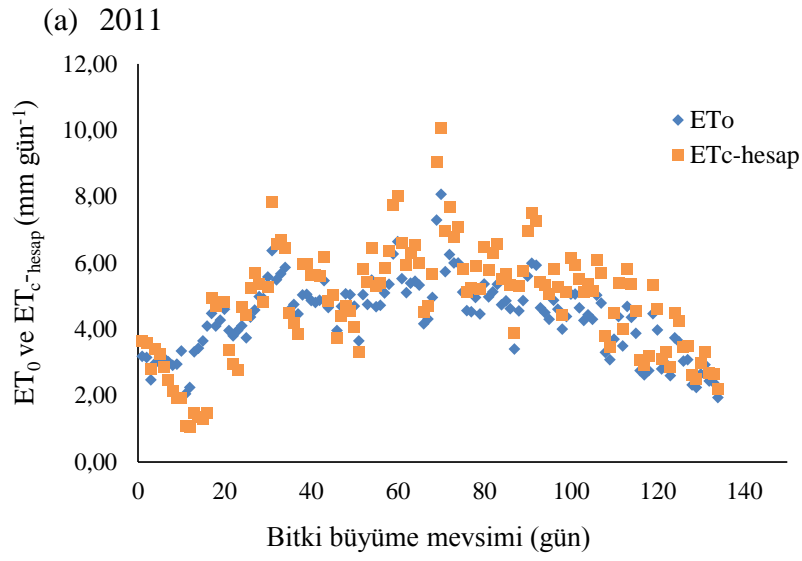
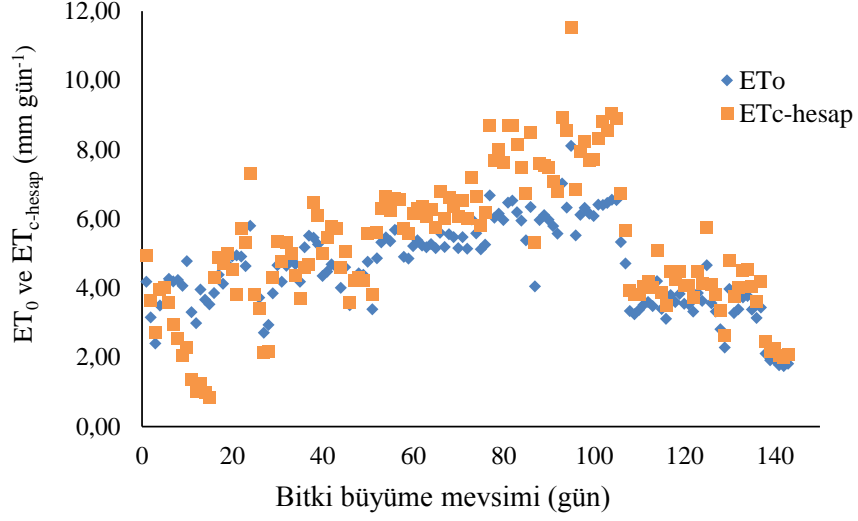
Çizelge 4.4. Büyüme mevsimi boyunca deneme konularına göre hesaplanan mevsimlik toplam bitki su tüketimi değerleri (mm/60 cm)

Yıl	Deneme konusu	Topraktaki nem değişimi (mm)	Yağış (mm)	Uygulanan sulama suyu miktarı (mm)	Toplam mevsimlik bitki su tüketimi (mm/mevsim)
2011	I ₁	-42	262	568	788
	I ₂	-42		468	688
	I ₃	41		330	633
	I ₄	55		192	509
	I ₅	69		15	346
2012	I ₁	14	50	739	803
	I ₂	21		558	629
	I ₃	33		378	461
	I ₄	34		196	280
	I ₅	156		15	221

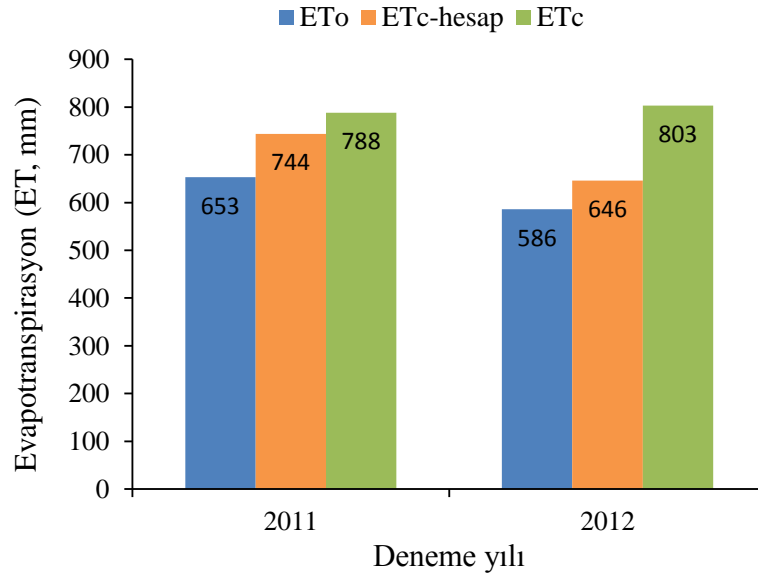
Uygulanan sulama suyu miktarı arttıkça ölçülen bitki su tüketimi değerleri artmıştır. Sulama suyu ihtiyacının % 100' ün uygulandığı I₁ deneme konusundan ortalama olarak birinci yıl 788 mm, ikinci yıl ise 803 mm bitki su tüketimi ölçülmüştür. Bu deneme konusuna göre sulama suyu uygulanan I₂, I₃, ve I₄ deneme konularında birinci yıl bitki su tüketimleri sırasıyla %13, 20 ve 65; ikinci yıl ise sırasıyla %22, 42 ve 65 daha düşük bulunmuştur.

4.5.2. Dual bitki katsayısı (K_{c-dual}) yaklaşımı sonuçları

Bitki su tüketimi tahmininde kullanılacak olan referans bitki su tüketimi (ET_o), Penman - Monteith yöntemine göre, bitki yetişme dönemi için günlük olarak hesaplanmış, dual bitki katsayıları ile düzeltilerek gerçek bitki su tüketimi ($ET_{c-hesap}$) elde edilmiş ve Şekil 4.2'de grafiklendirilmiştir. Buna göre günlük maksimum ET_o değeri 2011 ve 2012 yılında sırası ile Temmuz ayının son 10 günlük periyodunda 6,67 ve 8,07 mm olarak bulunmuştur. Sulama suyu ihtiyacının tamamının karşılandığı I₁ deneme konusunda su bütçesi yaklaşımı ile elde edilen mevsimlik su tüketimi (ET_c) ile dual K_c yaklaşımı ile hesaplanan mevsimlik bitki su tüketimi ($ET_{c-hesap}$) ve mevsimlik ET_o değerleri Şekil 4.3'te verilmiştir. Mevsimlik ET_o ve $ET_{c-hesap}$ değerleri 2011 yılı için sırasıyla 653 ve 744, 2012 yılı için 586 ve 646 mm olarak elde edilmiştir. Her iki yılda da gerçekleşen bitki su tüketimi (ET_c) değerleri hesaplanan değerlere göre daha yüksek bulunmuştur.



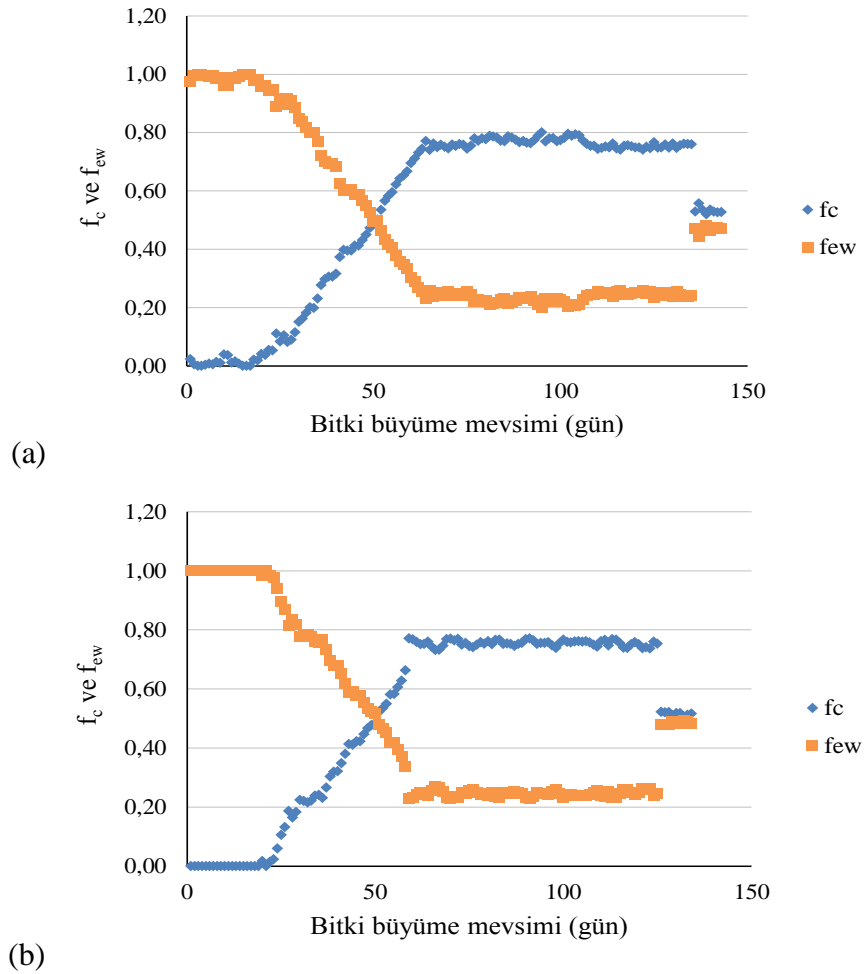
Şekil 4.2. Yıllara göre referans (ET_0) ve hesaplanan bitki su tüketimi ($ET_{c\text{-hesap}}$)



Şekil 4.3. Hesaplanan ve gerçekleşen mevsimlik bitki su tüketimleri

Dual K_c 'nin hesaplanmasında gerekli tüm bileşenler (K_c , K_{cb} , K_e ve K_r) Allen ve ark. (1998) tarafından FAO - 56'da açıklanan ve metod bölümünde ayrıntılı biçimde verilen eşitlikler yardımıyla 2011 ve 2012 yetiştiricilik periyotları için hesaplanarak Ek Çizelge 1 ve 2'de verilmiştir.

Dual K_c bileşenlerinden topraktan olan buharlaşmanın etkisinin gösterildiği K_e katsayısının hesaplanmasında gerekli olan sulama veya yağışın etkisi ile ıslatılan ortalama toprak yüzey alanı (f_w) ve bitkinin toprak yüzeyini örtme yüzdesi (f_c) 3,15, 3,16, 3,17 ve 3,18 no' lu eşitliklerden yararlanılarak hesaplanmıştır. Biber bitkisinin gelişme dönemlerine bağlı olarak günlük olarak hesaplanan bitkinin toprak yüzeyini örtme yüzdesi (f_c) ve en fazla buharlaşmanın meydana geldiği toprak yüzey alanı, buharlaşmaya maruz kalan ıslatılan toprak alanı (f_{ew}) bir başka deyişle "1 - f_c " değerleri Şekil 4.4'te verilmiştir. Dolayısıyla grafikten izlenebileceği gibi f_c ve f_{ew} değerleri birbirine ters eğilim içerisindedir. Yetiştirme mevsiminin başında taç alanı sınırlı çıplak toprak yüzeyi daha geniş olduğundan f_c değerleri küçük daha sonra giderek artan, f_{ew} değerleri ise yüksek ve giderek azalan eğilim göstermiştir.



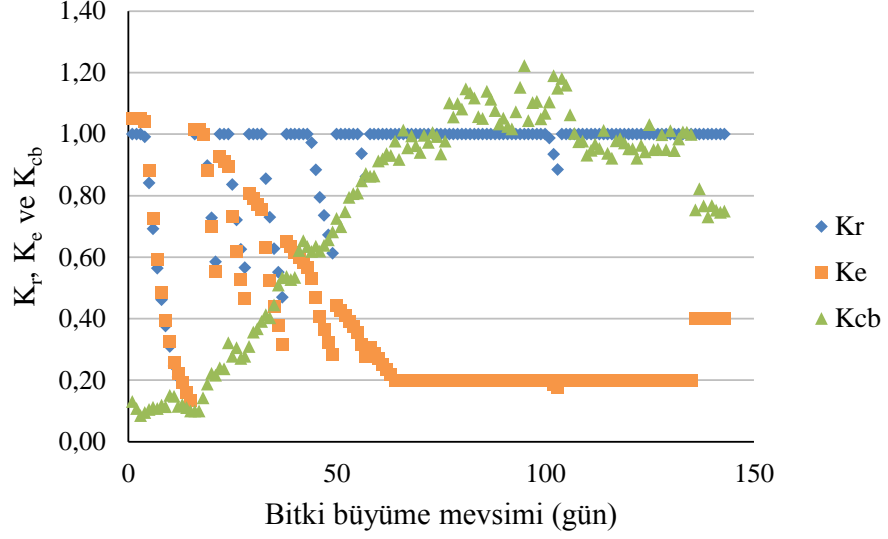
Şekil 4.4. Bitki büyüme mevsimi boyunca 2011 (a) ve 2012 yılı (b) f_c ve f_{ew} değerleri

Ek çizelge 1 ve 2'den izlenebileceği gibi, üst toprak yüzeyinden buharlaşma ile kaybolan birikimli su derinliğine bağlı buharlaşma azalma katsayısı, yağış ve sulamanın ardından $K_r = 1$ ($D_{e,i-1} < REW$), toprak yüzeyi kurumaya başladığında $K_r < 1$ olarak gerçekleşmiştir, ancak tam kuru koşullar yaşanmadığı için $K_r = 0$ değeri görülmemektedir. Toplam buharlaşabilir su (TEW) miktarı 2011 yılı için 34 mm, 2012 yılı için 37 mm hesaplanmıştır. Mevcut buharlaşmaya elverişli su miktarı (REW) ise killi toprak bünyesine bağlı olarak FAO - 56'dan tablo değeri 10 mm olarak alınmıştır. Araştırmada su ihtiyacının tam karşılandığı konuda tüketilmesine izin verilen nem miktarı sürekli kontrol altında tutulduğu yani kritik seviye aşılmadığı için su stresi katsayısı, $K_s = 1$ alınmıştır.

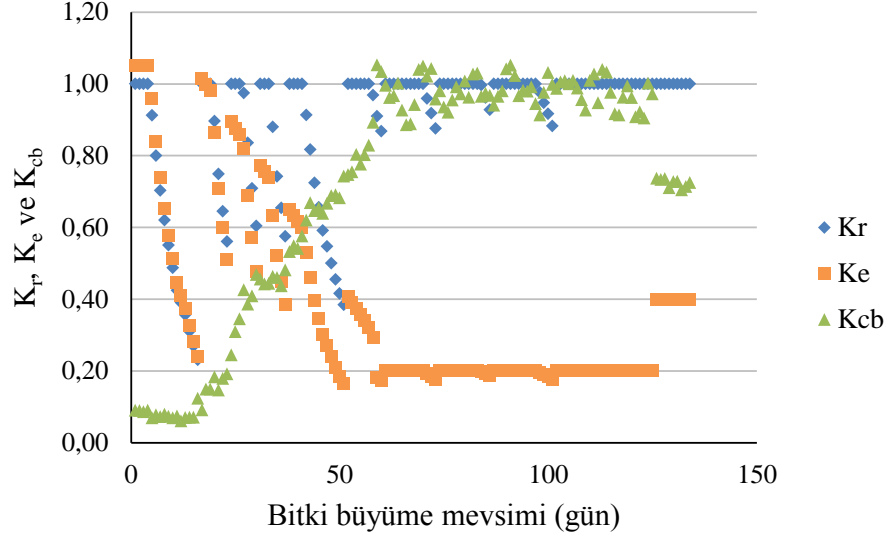
Elde edilen dual K_c ile bileşenleri K_{cb} ve K_e değerleri Şekil 4.5' te grafiklendirilmiştir. Toprak buharlaşma katsayısı (K_e), bitki yetiştirme dönemi başlangıcında bitki örtüsü en düşük düzeyde iken yüksek düzeydedir. K_e bitki gelişim döneminden bitkinin son dönemine kadar bitki örtü yüzdesinin gelişimine bağlı olarak çok düşük ya da neredeyse sıfıra yakındır. K_{cb} ise bitki gelişim dönemi başlangıcından son dönemine kadar yüksek düzeydedir. Bu nedenle, dual K_c başlangıç dönemi dışındaki dönemlerde K_{cb} 'ye eşit hale gelmektedir ve bu dönemden sonra K_e 'nin etkisi önemsiz kalmaktadır.

Penman - Monteith ve dual K_c yöntemi kullanılarak biber bitkisi için elde edilen bazal bitki katsayısı, K_{cb} değerleri bitkinin başlangıç, orta ve son dönemleri için 2011 yılında 0,11, 1,02 ve 0,76; 2012 yılında 0,08, 0,98 ve 0,72 olarak hesaplanmıştır. FAO - 56'da Allen ve ark. (1998) tarafından açıklanan tekil K_c metoduna göre belirlenen biber bitkisi K_c değerleri başlangıç döneminde 0,60, orta dönemde 1,05, son dönemde 0,90, bazal bitki katsayısı değerleri (K_{cb}) ise sırasıyla 0,15, 1,00 ve 0,80 olarak bulunmuştur. Genel olarak bulunan dönemlik bitki katsayılarının özellikle başlangıç dönemi tekil K_c bitki katsayılarından bir miktar farklılık gösterdiği, ayrıca gelişim dönemleri içerisinde hesaplanan günlük dual K_c ve dolayısıyla günlük ET_c değerlerinin farklı olduğu bulunmuştur.

Bu konuda dünyada ve ülkemizde farklı iklim, toprak ve biber çeşitlerinde yürütülmüş araştırmalar incelendiğinde; biber bitkisi için Miranda ve ark. (2006) tarafından elde edilen başlangıç, orta ve geç döneme ait 0,30, 1,22 - 1,08 ve 0,65 - 0,60 bazal K_c değerleri; Bryla ve ark. (2010) tarafından lizimetre koşullarında elde edilen orta döneme ait 1,1 bazal bitki katsayısı değerlerinin denemede elde edilen bulgularla paralellik gösterdiği açıkça görülmektedir. Ayrıca, Alemayahu ve ark. (2009) tarafından yürütülen çalışmada 11 çeşit biberde her üç döneme ait K_c değerleri sırasıyla 0,12 - 0,14, 0,70 - 1,0, 0,84 - 0,85 aralığında bulunmuştur.



(a)



(b)

Şekil 4.5. Bitki yetiştirme dönemlerine göre hesaplanan K_r , K_e ve K_{cb} değerleri

4.6. Verim ve Verim Öğelerine İlişkin Sonuçlar

Bu bölümde, hasatta ve laboratuvar koşullarında her bir deneme konusu için belirlenen toplam pazarlanabilir verim, birim meyve ağırlığı, meyve boyu ve meyve eni gibi parametrelere ilişkin elde edilen sonuçlar ve bu değerlere göre yapılan istatistiksel analizler detaylı olarak verilmiştir.

4.6.1. Toplam pazarlanabilir verim

Araştırmada dikkate alınan farklı sulama düzeyi konularından elde edilen primer ve sekonder hasat ürünlerinin toplamından oluşan pazarlanabilir verim ortalamaları Çizelge 4.6'da, varyans analizi sonuçları ise Çizelge 4.5'te verilmiştir. Çizelge 4.6'dan izleneceği gibi, 2011 ve 2012 yıllarında I_1 konusunda en yüksek ortalama verim sırasıyla $45,82 \text{ t ha}^{-1}$ ve $57,14 \text{ t ha}^{-1}$ olarak elde edilmiştir. En düşük ortalama verimlerin ise her iki yıl için sırasıyla $22,42 \text{ t ha}^{-1}$ ve $11,26 \text{ t ha}^{-1}$ olarak su uygulaması yapılmayan (I_5) konularda gerçekleştiği görülmüştür.

Sezen ve ark. (2011), ülkemiz koşullarında Tarsus bölgesinde biber için en yüksek pazarlanabilir verimi $35,9 \text{ t ha}^{-1}$, Demirel ve ark. (2012) Çanakkale ilinde ilk yıl $10,89 - 44,92 \text{ t ha}^{-1}$ ve ikinci yıl $4,47 - 63,64 \text{ t ha}^{-1}$, Ertek ve ark. (2007) Isparta ili karık sulama yöntemi ve T_3S_1 su kalitesi koşullarında $5,41 - 16,85 \text{ t ha}^{-1}$, Kırnak ve ark (2002) $24,5 - 47,5 \text{ t ha}^{-1}$ olarak bulmuşlardır. Ayrıca, biberde uygun sulama düzeyi, yöntemi ve tarım tekniklerinin uygulanması ile pazarlanabilir verimde artışlar gözlenmiş ve bu konuda dünyada yürütülen birçok araştırmada benzer biçimde verim değerini Moreno ve ark. (2003) $30 - 41,9 \text{ t ha}^{-1}$, Khan ve ark. (2005) $51,89 - 90,86 \text{ t ha}^{-1}$, Gonzales Dugo ve ark. (2007) damla sulama yöntemi için $9,17 - 15,88 \text{ t ha}^{-1}$ arasında açıklamışlardır.

Varyans analizi sonuçlarına göre (Çizelge 4.5); 2011 ve 2012 yıllarında farklı su uygulama düzeyleri istatistiksel açıdan $p < 0,01$ düzeyinde önemlilik göstermiştir. Farklılığın düzeyinin belirlenmesi için yapılan Duncan testi sonuçlarına (Çizelge 4.6) göre, ilk yıl su ihtiyacının tamamının karşılandığı I_1 konusu, ikinci yıl ise I_1 ve I_2 en yüksek verimle birinci grupta, her iki yılda da su uygulaması yapılmayan I_5 konusu en düşük verimle son grupta yer almıştır. 2011 yılında I_2 , I_3 ve I_4 konuları geçiş grubunda yer almıştır. 2012 yılında I_3 konusu geçiş grubunu, I_4 konusu ise ayrı bir grubu oluşturmuştur. Bu sonuçlar değerlendirildiğinde, sulama suyu ihtiyacının tamamının ve %75' inin uygulandığı I_1 ve I_2 konularının en iyi verim grubunu oluşturduğu dolayısıyla biber yetiştiriciliğinde bu miktarların yüksek verim için önerilebileceği söylenebilir. Ayrıca, damla sulama yöntemi ile sulanan biberde farklı su düzeyi uygulamalarının pazarlanabilir verim üzerine önemli bir etkisinin olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 4.5. Toplam pazarlanabilir verime ilişkin varyans analizi sonuçları

Yıl	Varyasyon Kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	Hesaplanan F
2011	Tekerrür	2	54,891	27,445	1,093ns
	Sulama Düzeyi	4	947,379	236,845	9,432**
	Hata	8	200,882	25,110	
	Genel	14	1 203,152	85,939	
2012	Tekerrür	2	1,976	0,988	0,078ns
	Sulama Düzeyi	4	4 119,994	1029,998	81,644**
	Hata	8	100,926	12,616	
	Genel	14	4 222,896	301,635	

ns : önemsiz

** : P<0,01 düzeyinde önemli

Çizelge 4.6. Deneme konularına ilişkin toplam pazarlanabilir verim ortalamaları (t ha⁻¹) ve Duncan testi sonuçları

Deneme Konuları	2011				2012			
	I	II	III	Ort.	I	II	III	Ort.
I ₁	43,03	49,27	45,15	45,82 a*	51,38	60,53	59,49	57,14 a*
I ₂	33,15	42,98	42,74	39,62 ab	56,00	53,75	51,23	53,66 a
I ₃	35,41	35,46	38,31	38,39 ab	42,74	37,49	40,41	40,21 ab
I ₄	31,13	32,82	28,57	30,84 ab	30,85	30,34	32,80	31,33 b
I ₅	27,11	27,99	12,17	22,42 b	15,18	10,01	8,58	11,26 c

* : a, b, ... (Duncan 0,01)

4.6.2. Meyve boyu

Deneme konularında 2011 ve 2012 yıllarında elde edilen ortalama meyve boyları Çizelge 4.8'de ve bu değerlere göre yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.7'de verilmiştir. Çizelgelerden izleneceği gibi, denemenin ilk yılında ortalama meyve boyu tüm konular arasında 12,96 ile 15,06 cm, ikinci yılında ise 12,20 ile 15,66 cm arasında yer almıştır.

Denemenin 2011 ve 2012 yılı yetiştirme dönemlerinde, ortalama meyve boyu bakımından toplam su ihtiyacının tamamının karşılandığı (I₁) deneme konularında en yüksek değerler elde edilmiş, istatistiksel olarak meyve boyları arasındaki farklılık p < 0,01 düzeyinde önemli bulunmuştur. Farklılığın düzeyinin belirlenmesi için yapılan Duncan testi sonuçları Çizelge 4.8'de verilmiştir. Çizelgeye göre, ilk yıl I₁, I₂, I₃ ve I₄ konuları birinci

grupta yer alırken susuz konu son grubu, ikinci yıl ise I₁ ilk grubu I₂, I₃, I₄ geçiş, I₅ son grubu oluşturmuşlardır.

4.6.3. Meyve eni

Deneme konularında 2011 ve 2012 yıllarında elde edilen ortalama meyve eni değerleri Çizelge 4.10'da ve bu değerlere göre yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.9'da verilmiştir. Çizelge 4.10'dan izleneceği gibi, 2011 ve 2012 yıllarında meyve enleri sırasıyla, 1,90 - 1,97 ve 1,80 - 2,03 cm arasında değişmiştir.

Farklı su uygulamaları açısından 2011 ve 2012 yıllarında ortalama meyve enleri arasındaki farklılık ilk yıl önemsiz, ikinci yıl $p < 0,01$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Farklılığın düzeyinin belirlenmesi için yapılan Duncan testi sonuçları Çizelge 4.10'da verilmiştir. Çizelgeye göre, ilk üç konu ilk grupta, I₄ geçiş ve susuz konu son grupta yer almıştır.

4.6.4. Ortalama meyve ağırlığı

Araştırmada elde edilen ortalama meyve ağırlığı değerleri ve Duncan testi sonuçları Çizelge 4.12, varyans analizi sonuçları Çizelge 4.11'de açıklanmıştır. Çizelge 4.12 incelendiğinde toplam verimde olduğu gibi en yüksek ortalama meyve ağırlığı değerleri I₁ konusundan elde edilmiş, değerler 2011 ve 2012 yetiştiricilik dönemleri için sırasıyla 15,28 g ve 18,49 g olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.7. Meyve boyuna ilişkin varyans analizi sonuçları

Yıl	Varyasyon Kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F
2011	Tekerrür	2	1,027	0,513	3,681ns
	Sulama Düzeyi	4	8,414	2,104	15,084**
	Hata	8	1,116	0,139	
	Genel	14	10,557	0,754	
2012	Tekerrür	2	1,104	0,552	0,679ns
	Sulama Düzeyi	4	24,038	6,009	7,392**
	Hata	8	6,504	0,813	
	Genel	14	31,645	2,260	

ns : önemsiz, * : **: $P < 0,01$ düzeyinde önemli

Çizelge 4.8. Deneme konularına ilişkin meyve boyları (cm) ve Duncan testi sonuçları

Deneme Konuları	2011				2012			
	I	II	III	Ort.	I	II	III	Ort.
I ₁	14,39	15,60	15,19	15,06 a*	16,04	15,84	15,09	15,66 a*
I ₂	14,56	14,92	14,70	14,73 a	15,67	15,72	15,15	15,51 ab
I ₃	14,60	14,83	14,96	14,80 a	15,00	15,73	14,80	15,18 ab
I ₄	14,67	14,84	14,25	14,59 a	14,97	13,39	15,84	14,73 ab
I ₅	12,76	13,77	12,35	12,96 b	13,30	12,54	10,78	12,20 b

* : a, b, ... (Duncan 0,01)

Varyans analizi sonuçlarının verildiği Çizelge 4.11'den görüleceği gibi sulama konuları arasındaki farklılıklar her iki yılda da $p < 0,05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Çizelge 4.12'de izlenen Duncan testi sonuçlarına göre, ilk ve ikinci yıl konular arasında I₁ düzeyi en yüksek, I₅ düzeyi ise en düşük ortalama meyve ağırlığına sahip grubu oluşturmuştur.

Çizelge 4.9. Meyve enine ilişkin varyans analizi sonuçları

Yıl	Varyasyon Kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F
2011	Tekerrür	2	0,011	0,005	3,955ns
	Sulama Düzeyi	4	0,007	0,002	1,367ns
	Hata	8	0,011	0,001	
	Genel	14	0,029	0,002	
2012	Tekerrür	2	0,014	0,007	3,164ns
	Sulama Düzeyi	4	0,095	0,024	10,996**
	Hata	8	0,017	0,002	
	Genel	14	0,126	0,009	

ns : önemsiz, * : **: P<0,01 düzeyinde önemli

Çizelge 4.10. Deneme konularına ilişkin meyve enleri (cm) ve Duncan testi sonuçları

Deneme Konuları	2011				2012			
	I	II	III	Ort.	I	II	III	Ort.
I ₁	1,97	1,98	1,95	1,97	2,12	2,06	1,92	2,03 a*
I ₂	1,99	1,97	1,88	1,95	2,02	2,01	1,93	1,99 a
I ₃	1,88	2,01	1,91	1,93	2,00	1,94	1,99	1,98 a
I ₄	1,91	1,94	1,93	1,93	1,92	1,92	1,89	1,91 ab
I ₅	1,89	1,95	1,86	1,90	1,84	1,77	1,80	1,80 b

* : a, b, ... (Duncan 0,01)

Çizelge 4.11. Ortalama meyve ağırlıklarına ilişkin varyans analizi sonuçları

Yıl	Varyasyon Kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F
2011	Tekerrür	2	1,844	0,922	2,170ns
	Sulama Düzeyi	4	10,967	2,742	6,455*
	Hata	8	3,398	0,425	
	Genel	14	16,209	1,158	
2012	Tekerrür	2	18,480	9,240	3,160ns
	Sulama Düzeyi	4	76,733	19,183	6,561*
	Hata	8	23,390	2,924	
	Genel	14	118,603	8,472	

ns : önemsiz, * : P<0,05 düzeyinde önemli

Çizelge 4.12. Deneme konularına ilişkin ortalama meyve ağırlıkları (g) ve Duncan testi sonuçları

Deneme Konuları	2011				2012			
	I	II	III	Ort.	I	II	III	Ort.
I ₁	15,80	15,43	14,62	15,28 a*	20,80	18,01	16,65	18,49 a*
I ₂	14,21	16,06	15,10	15,12 a	21,28	18,26	14,64	18,06 a
I ₃	15,91	14,97	14,41	15,10 a	18,00	18,57	14,93	17,17 a
I ₄	14,92	15,41	13,66	14,66 a	15,13	15,00	16,61	15,58 ab
I ₅	12,86	13,07	12,97	12,97 b	13,22	11,51	12,01	12,25 b

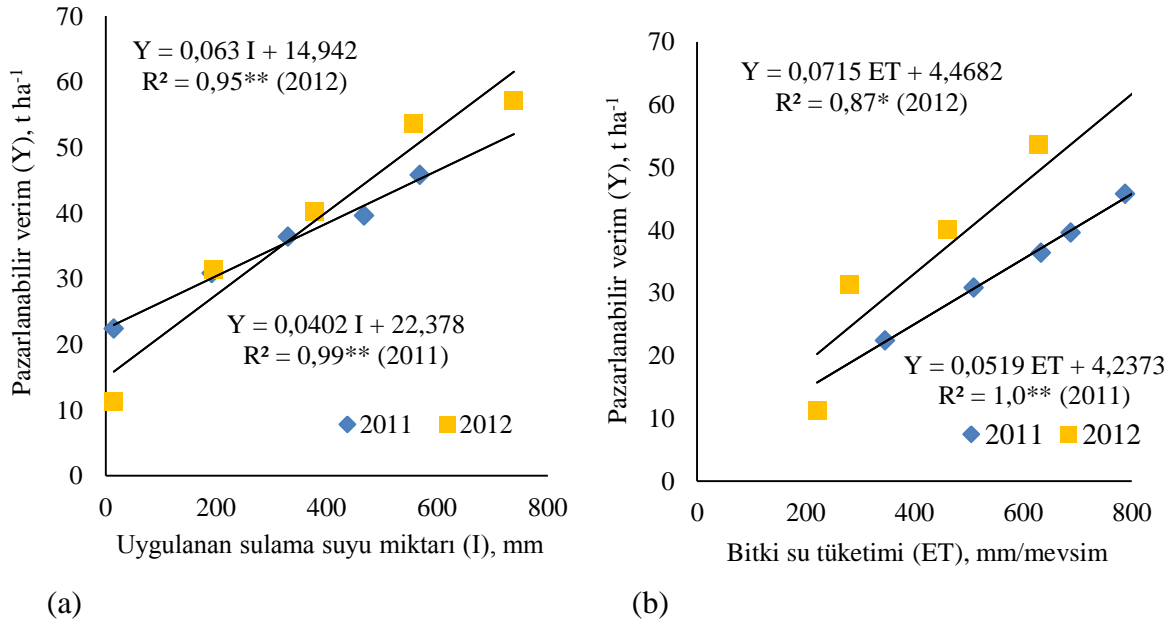
* : a, b, ... (Duncan 0,05)

4.7. Su - Üretim Fonksiyonlarına İlişkin Sonuçlar

Araştırmada her bir sulama konusu ve sulama düzeyi için elde edilen verim, bitki su tüketimi ve uygulanan sulama suyu değerleri ile hazırlanan su - üretim fonksiyonu grafikleri Şekil 4.6'da verilmiştir. Şekillerden izleneceği gibi, denemenin yürütüldüğü birinci yılda, biber bitkisine toplam büyüme mevsimi boyunca uygulanan sulama suyu miktarları ile elde edilen toplam verimler arasında istatistiksel açıdan denemenin her iki yılında $p < 0,01$ düzeyinde doğrusal bir ilişki bulunmuştur. Benzer değerlendirme aynı deneme konuları için toplam büyüme mevsimi boyunca ölçülen mevsimlik bitki su tüketimi ile toplam verim arasında yapıldığında, 2011 yılında istatistiksel açıdan $p < 0,01$ düzeyinde, 2012 yıllarında ise istatistiksel açıdan $p < 0,05$ düzeyinde önemli ilişkiler saptanmıştır. Denemenin yürütüldüğü her iki yılda da, sulama suyundaki artış ile bitki su tüketimleri ve verimlerde önemli düzeyde artış olmuştur.

4.7.1. Su verim ilişkisi sonuçları

Doorenbos ve Kassam (1979)'da açıklanan ve Bölüm 3.2.7'de verilen, mevsimlik su - verim ilişkisi faktörünü belirleyebilmek için gerekli oransal bitki su tüketimi açığı ve oransal verim azalması değerleri Çizelge 4.13'de, bu değerlere göre hazırlanan mevsimlik su verim ilişkisi grafiği Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.6. Mevsimlik sulama suyu miktarı (a) ve bitki su tüketimine (b) karşılık elde edilen pazarlanabilir verim

Şekilden görüleceği gibi, biber bitkisinin su - verim ilişkisi faktörü (K_y), denemenin ilk yılında 0,90, ikinci yılında 1,00 ve her iki yıl birlikte ilişkilendirildiğinde 0,93 olarak bulunmuştur. Biber bitkisinde Ertek ve ark. (2007) yılında yapmış oldukları çalışmada su - verim ilişkisi faktörünü (K_y) 0,91, Demirel ve ark. (2012) tarafından yürütülen bir diğer araştırmada ise (K_y) 2,36 - 6,95 olarak elde etmiştir. Tekirdağ koşullarında İstanbulluoğlu ve ark. (2010), tava sulama yöntemi için mevsimlik K_y değerini 0,87 elde etmiştir. Bu sonuçlara göre, Doorenbos ve Kassam (1979)'da teorisi açıklandığı üzere, tüm büyüme mevsimi boyunca yapılacak su kısıdının ya da bir başka ifade ile susuz koşullarda yapılacak biber tarımının sulu koşullara göre verim kaybı ile karşılaşacağı açıktır.

Söz konusu grafiğe göre, toplam büyüme mevsimi boyunca %25' lik oransal su tüketimi açığı yaratıldığında yaklaşık %23, %50' lik oransal su tüketimi açığı yaratıldığında %47 verim azalması olabileceği söylenebilir.

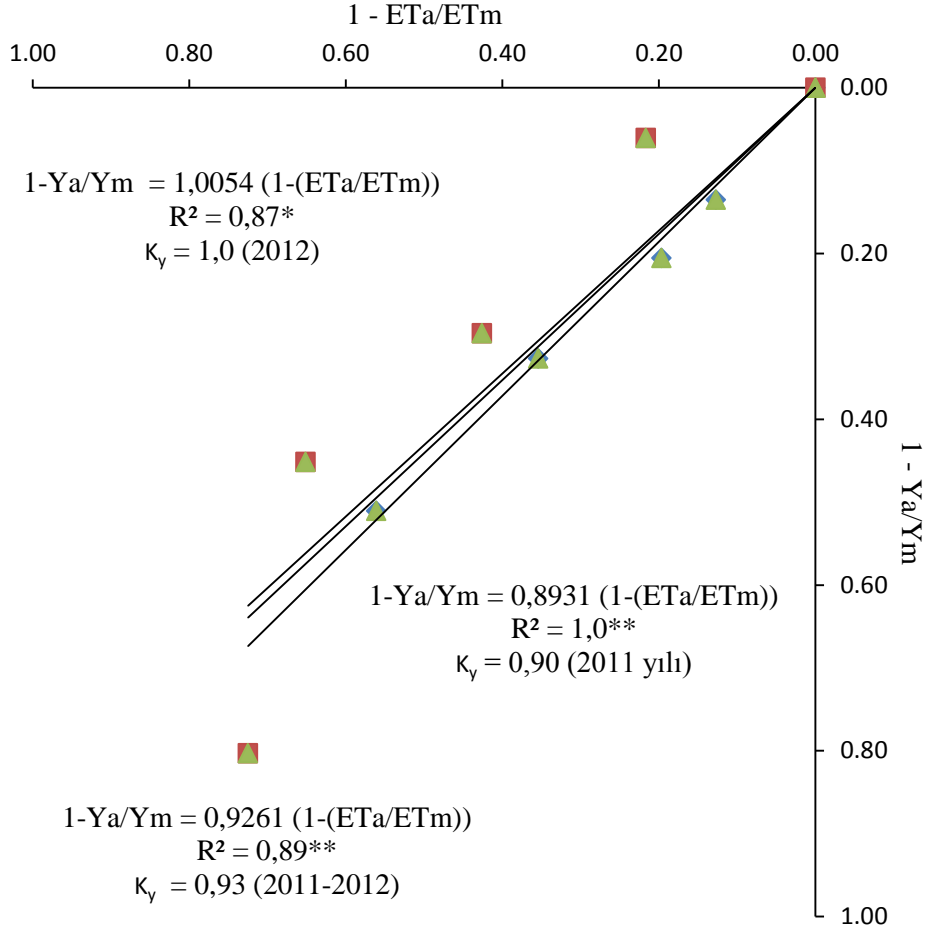
4.7.2. Sulama suyu kullanım ve su kullanım randımanları

Deneme konularına uygulanan sulama suyu miktarları, ölçülen bitki su tüketimi değerleri ve elde edilen toplam verimlerin, eşitlik 3.21 ve 3.22'de yerine konulması ile hesaplanan sulama suyu kullanım randımanı ve su kullanım randımanı sonuçları Çizelge 4.14'te verilmiştir.

Çizelgeden görüleceği gibi, ilk ve ikinci yılda en yüksek sulama suyu kullanım randımanları sırasıyla 4,38 kg m⁻³ ve 10,24 kg m⁻³ olarak I₄ konusundan, en düşük sulama suyu kullanım randımanları ise her iki yılda da sırasıyla 3,68 kg m⁻³ ile I₂ ve 6,21 kg m⁻³ ile I₁ konusundan elde edilmiştir.

Çizelge 4.13. Büyüme mevsimi boyunca oransal su tüketimi açığına karşılık oransal verim azalması değerleri

Yıl	Deneme konusu	Y _m (t ha ⁻¹)	Y _a (t/ha)	ET _m (mm)	ET _a (mm)	1-($\frac{Y_a}{Y_m}$)	1-($\frac{ET_a}{ET_m}$)
2011	I ₁	45,82		788			
	I ₂		39,62		688	0,14	0,13
	I ₃		36,39		633	0,21	0,20
	I ₄		30,84		509	0,33	0,35
	I ₅		22,42		346	0,51	0,56
2012	I ₁	57,14		803			
	I ₂		53,66		629	0,06	0,22
	I ₃		40,21		461	0,30	0,43
	I ₄		31,33		280	0,45	0,65
	I ₅		11,26		221	0,80	0,72



Şekil 4.7. Mevsimlik su - verim ilişkisi faktörü (K_y)

Benzer değerlendirme su kullanım randımanı için yapıldığında, denemenin ilk yılında WUE değerleri sırasıyla en yüksek $6,48 \text{ kg m}^{-3}$ ile I_5 , en düşük su kullanım randımanı ise $5,75 \text{ kg m}^{-3}$ ile I_3 , 2012 yılında ise en yüksek $11,19 \text{ kg m}^{-3}$ ile I_4 konusundan, en düşük su kullanım randımanı ise $5,09 \text{ kg m}^{-3}$ olarak I_5 konusundan elde edilmiştir.

Biber bitkisinde Demirel ve ark. (2012) tarafından yürütülen bir araştırmada, WUE değerleri $2,36 \text{ kg m}^{-3}$ ile $6,95 \text{ kg m}^{-3}$, IWUE değerleri ise 0 ile $9,05 \text{ kg m}^{-3}$, Ertek ve ark. (2007) $2,0 \text{ kg m}^{-3}$ ile $2,4 \text{ kg m}^{-3}$, IWUE değerleri ise 2,1 ile $2,5 \text{ kg m}^{-3}$, Sezen ve ark. (2006) $4,7 \text{ kg m}^{-3}$ ile $7,9 \text{ kg m}^{-3}$, IWUE değerlerini ise 4,6 ile $7,7 \text{ kg m}^{-3}$ olarak bulmuşlardır.

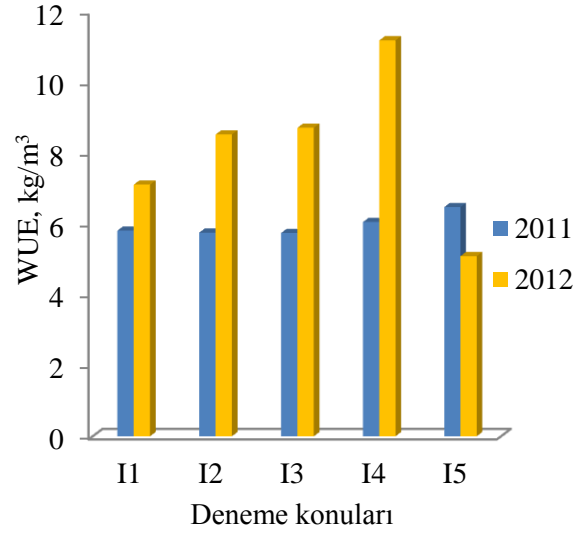
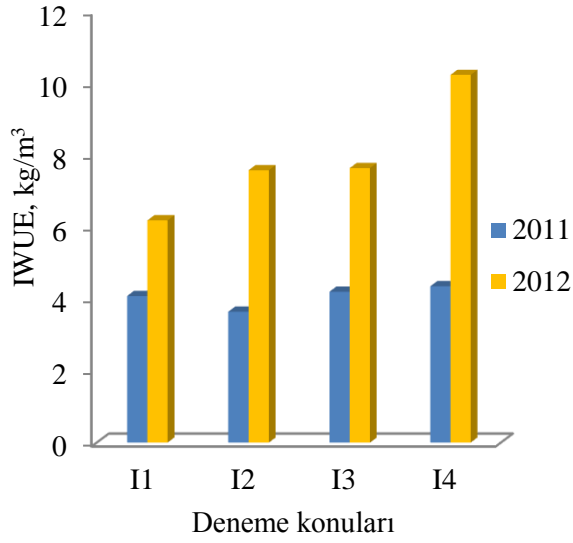
Ayrıca 2011 ve 2012 yıllarında randıman değerleri arasındaki değişimin açıkça izlenebilmesi için, her bir deneme konusuna ait su kullanım randımanı (WUE) ve sulama suyu kullanım randımanı (IWUE) değerleri Şekil 4.8'de grafiklendirilmiştir. Şekilden açıkça görülebileceği gibi, IWUE değerleri denemenin ilk yılında ikinci yıla göre daha düşük bulunmuştur. Araştırmanın ikinci yılında uygulanan sulama suyu miktarı daha yüksek,

paralelinde verim değerleri de yüksek olduğu için IWUE değerleri daha yüksek bulunmuştur. WUE değerleri 2011 yılında tüm konularda birbirine yakın bulunmuş, 2012 yılında ise değerler farklılık göstermiştir. Bu değişim yıllar arasındaki yağış ve sulama suyu dolayısıyla verim farklılığına bağlanabilir.

Sulama suyu kullanım ve su kullanım randımanı değerlerine ait varyans analizi sonuçları izelge 4.15 ve 4.16’da verilmiştir. Deneme konularına göre istatistiksel açıdan 2011 yılında IWUE değerleri arasındaki farklılık önemsiz olmuş, ancak susuz konuda son tekerrürde yer alan verim değeri diğer 2 tekerrüre göre çok düşük olduğundan tekerrürler arasındaki farklılık %1 düzeyinde önemli bulunmuştur, 2012 yılında sulama düzeylerine göre IWUE değerleri arasındaki farklılık nemsiz, WUE değerleri arasındaki farklılık ise 2011 yılında önemsiz 2012 yılında ise %1 düzeyinde önemli olmuştur.

Çizelge 4.14. Sulama suyu kullanım randımanı (IWUE) ve su kullanım randımanı (WUE) değerleri (kg m^{-3})

Deneme yılı	Deneme Konuları	IWUE				WUE			
		I	II	III	Ort.	I	II	III	Ort.
2011	I ₁	2,80	3,74	5,80	4,11	5,46	6,25	5,73	5,81
	I ₂	1,29	3,20	6,53	3,68	4,82	6,25	6,21	5,76
	I ₃	2,51	2,26	7,92	4,23	5,59	5,60	6,05	5,75
	I ₄	2,09	2,52	8,54	4,38	6,12	6,45	5,61	6,06
	I ₅	-	-	-	-	7,84	8,09	3,52	6,48
2012	I ₁	4,90	6,84	6,89	6,21	6,40	7,54	7,41	7,12
	I ₂	7,32	7,84	7,64	7,60	8,90	8,55	8,14	8,53
	I ₃	7,29	7,27	8,42	7,66	9,27	8,13	8,77	8,72
	I ₄	7,99	10,37	12,36	10,24	11,02	10,84	11,72	11,19
	I ₅	-	-	-	-	6,87	4,53	3,88	5,09



(a)

(b)

Şekil 4.8 Farklı su uygulama düzeylerinde elde edilen sulama suyu kullanım randımanı (a) ve su kullanım randımanı (b) değerleri

Çizelge 4.15. Sulama suyu kullanım randımanına (IWUE) ilişkin varyans analizi sonuçları

Yıl	Varyasyon Kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F
2011	Tekerrür	2	58,715	29,357	27,000**
	Sulama Düzeyi	3	0,838	0,279	0,257ns
	Hata	6	6,524	1,087	
	Genel	11	66,077	6,007	
2012	Bloklar	2	1,973	0,987	0,529ns
	Sulama Düzeyi	3	25,429	8,476	4,549ns
	Hata	6	11,180	1,863	
	Genel	11	38,582	3,507	

ns : önemsiz

** : P<0.01 düzeyinde önemli

Çizelge 4.16. Su kullanım randımanına (WUE) ilişkin varyans analizi sonuçları

Yıl	Varyasyon Kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F
2011	Tekerrür	2	3,047	1,524	0,991ns
	Sulama Düzeyi	4	1,170	0,293	0,190ns
	Hata	8	12,301	1,538	
	Genel	14	16,518	1,180	
2012	Bloklar	2	0,986	0,493	0,645ns
	Sulama Düzeyi	4	60,433	15,108	19,771**
	Hata	8	6,113	0,764	
	Genel	14	67,532	4,824	

ns : önemsiz

** : P<0.01 düzeyinde önemli

Çizelge 4.17. Su kullanım randımanına ilişkin Duncan testi sonuçları

Yıl	Deneme konuları	WUE	LSD grubu
2012	I ₄	11,19	A
	I ₃	8,72	AB
	I ₂	8,53	AB
	I ₁	7,12	BC
	I ₅	5,09	C
	Duncan _{0,01}		

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Damla sulama yöntemi ile farklı sulama suyu miktarları altında yetiştirilen biberin bitki su tüketiminin tahmin edilmesi ve eldesi, sulama zamanı planlaması, su - verim ilişkilerinin, üretim fonksiyonlarının belirlenmesi amacıyla yürütülen çalışmada elde edilen sonuçlar bu bölümde özetlenmeye çalışılmıştır. Verim ile uygulanan sulama suyu ve ölçülen bitki su tüketimi arasındaki ilişkiler sulama suyu kullanım randımanı ve su uygulama randımanı kavramları ile incelenmiştir.

Araştırmadan elde edilen verilere göre, Tekirdağ koşullarında biber bitkisinin yetiştirme dönemleri içinde damla sulama yöntemi ile uygulanan sulama suyu miktarları 2011 yılında 192,0 - 568,0 mm, 2012 yılında 196,0 - 739,0 mm arasında değişirken, mevsimlik bitki su tüketimi değerleri sırasıyla, 346 - 788 mm ve 221 - 803 mm arasında ölçülmüştür.

Denemenin her bir yılında en yüksek ortalama toplam verimler bitki su ihtiyacının tam olarak karşılandığı varsayılan I_1 sulama düzeyinden elde edilmiştir. Ortalama en yüksek verim 2011 ve 2012 yılları için sırasıyla 45,82, ve 57,13 t ha⁻¹ olarak belirlenmiştir. Sulama suyu uygulaması yapılmayan konuda ise ilk yıl 22,42 t ha⁻¹, ikinci yıl 11,26 t ha⁻¹ verim elde edilmiştir. Sulama koşullarında elde edilen verim değerlerinin, yıllara göre yağış miktarlarının nispeten fazla olmasına rağmen, susuz konuda elde edilen değerlerden oldukça yüksek olması biber yetiştiriciliğinde sulamanın önemini açıkça ortaya koymaktadır.

Verim açısından ön plana çıkan I_1 konusu Duncan gruplamasına göre ilk grubu oluşturmasına rağmen, susuz dışındaki tüm konular bir alt grubu ya da geçiş grubunu oluşturmuştur. Sulama suyu ve su kullanım randımanları, sulama seviyelerine göre değişiklik göstermiştir. Genel olarak uygulanan sulama suyu miktarları arttıkça, her iki yılda da sulama suyu kullanım randımanı ve su kullanım randımanı düşüş göstermiştir. En yüksek sulama suyu kullanım randımanları yıllara göre sırasıyla 4,38 kg m⁻³ ve 10,24 kg m⁻³ olarak toplam su ihtiyacının %25' inin uygulandığı I_4 konusundan elde edilmiştir. Verim ve randıman sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, net olarak bir konuyu önermek zordur. Ancak biber yetiştiriciliğinde maksimum verim eldesi bakımından su ihtiyacının tamamının karşılandığı konu önerilebilir. Su kaynağı kapasitesinin sınırlı olduğu hallerde ise tasarruf açısından sulama suyu ihtiyacından kısıt yoluna gidilebileceği, ancak bu sonucun ekonomik analiz ve dönemlik K_y değerlerinin incelenmesi ile desteklenmesi gerektiği söylenebilir. Ayrıca, farklı su tasarrufu düzeyleri ile bitki stres düzeyine bağlı olarak yapılacak çalışmalar dikkate alınarak farklı sulama zamanı planları geliştirilebilir.

Biber bitkisinin mevsimlik su – verim tepki etmeni (K_y), denemenin ilk yılında 0,90, ikinci yıl için 1,0 olarak bulunmuştur. Her iki yıl birlikte değerlendirildiğinde, mevsimlik K_y değeri 0,93 olarak belirlenmiştir.

Penman - Monteith ve FAO - 56 dual kc metodu ile hesaplanan mevsimlik ET_o ve ET_c değerleri, 2011 yılı için 653 ve 744 mm, 2012 yılı için 586 ve 646 mm olarak elde edilmiştir. Sonuçlar istatistiksel açıdan karşılaştırıldığında hesaplanan ve gerçekleşen değerlerin oldukça birbirine yakın sonuçlar verdiği ve bu metotların bitki su tüketiminin eldesinde kullanılabileceği belirlenmiştir.

Penman - Monteith ve Dual K_c yöntemi kullanılarak biber bitkisi için elde edilen bazal bitki katsayısı, K_{cb} değerleri bitkinin başlangıç, orta ve son dönemleri için 2011 yılında 0,11, 1,02 ve 0,76; 2012 yılında 0,08, 0,98 ve 0,72 olarak hesaplanmıştır.

Araştırma sonucunda FAO - 56 tekil K_c metodu ile elde edilen bitki katsayılarının hassasiyetinin daha düşük, özellikle başlangıç periyodunda oldukça farklı olduğu, dönemlik hesaplamalarda, yağış ve sulama sıklığının az olması halinde kullanılabileceği, ancak; sık yağış ve sulama uygulamalarında detaylı su bütçesi hesaplamalarında daha hassas sulama zamanı planlaması için günlük olarak hesaplanması, evaporasyon ve transpirasyonun etkisini birlikte değerlendirmesi bakımından dual bitki katsayılarının kullanılması gerektiği söylenebilir. Gerçek bitki su tüketiminin elde edilmesinde, referans bitki su tüketiminden yararlanılarak dual bitki katsayısının kullanımı özellikle araştırma boyutunda yüksek hassasiyette ve daha güvenilir sonuçları ortaya çıkaracaktır.

Tez çalışması sonucunda, biberin su - üretim fonksiyonları ve sulama programlamasına destek sağlayacak bilimsel veriler elde edilmiştir. Bulguların, başta üreticilere daha sonra bu konuda çalışacak araştırmacı ve yatırımcılara faydalı olması beklenmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Abyaneh HZ, Varkeshi MB, Ghasemi A, Marofi S, Chayjan RA (2011). Determination of water requirement, single and dual crop coefficient of garlic (*Allium sativum*) in the cold semi-arid climate. *Australian J. of Crop Sci.* 5(8): 1050-1054.
- Alemayehu YA, Steyn JM, Annandale JG (2009). FAO-type crop factor determination for irrigation scheduling of hot pepper (*Capsicum annuum* L.) cultivars. *S. Afric. J. of Plant Soil* 26(3): 186-194.
- Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M, (1998) FAO56 Utah State University Logan, Utah, U.S.A.
- Allen RG, Clemmens AJ, Burt CM, Solomon K, O'Halloran T (2005). Prediction accuracy for projectwide evapotranspiration using crop coefficients and reference evapotranspiration. *J. of Irrig. And Drainage Engin. ASCE.* 131(1): 24-37
- Anonim (2007). Türkiye Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim (2012, 2013). Türkiye İstatistik Kurumu Veritabanı. Ankara.
- Anonim (2012). Food and Agricultural Organization of the United Nation, Production Database. <http://faostat.fao.org>
- Antony E, Singandhupe RB (2004). Impact of drip and surface irrigation on growth, yield and WUE of capsicum (*Capsicum annuum* L.). *Agric. Wat. Manage.* 65: 121-132.
- Ayyıldız M (1983). Sulama Suyu Kalitesi ve Tuzluluk Problemleri, Ankara Üniv. Ziraat Fak. Yayınları No: 879, Ankara.
- Ayyıldız M (1990). Sulama Suyu Kalitesi ve Tuzluluk Problemleri. Ankara Üniversitesi. Ziraat Fakültesi Yayınları 1196. Ankara.
- Ayan B (1994). Uzaktan Algılama Tekniklerinin Bitki Su Tüketimi ve Toprak Nem Düzeyi Tahminlerinde Kullanılması. Ankara Üniv. Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı Seminer Notları, Ankara.
- Benami A, Diskin MH (1965). Design of Sprinkling Irrigation, Lowdermilk Faculty of Agricultural Engineering, Publication 23, Technicon, Israel Institute of Tecnology, 1 - 165, Haifa, Israel.
- Blake GR (1965). Bulk density methods of soil analysis. Part I. *Am. Soc. Agron.* 9: 374-390.
- Bryla DR, Trout TJ, Ayars JE (2010). Weighing lysimeters for developing crop coefficients and efficient irrigation practices for vegetable crops. *HortScience* 45(11): 1597-1604.
- Burman R, Pochop LO (1994). Evaporation, Evapotranspiration and Climatic Data. Elsevier Science B.V., Amsterdam.
- Criddle WD, Davis S, Pair CH, Shockley DG (1956). Methods for Evaluation of Irrigation Systems. USDA Agric. Handbook, 82 pp, Washington D.C.
- Çelik (2007). Borlu Sulama Sularının Biber Bitkisinin (*Capsicum annuum*) Verim ve Kalitesine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi Ankara Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, 55 sayfa, Ankara.
- Çetin Ö, Eylen M, Sönmez FK (2010). Güneydoğu Anadolu Bölgesi' nde Damla Sulama ile Sulanan Pamukta Evapotranspirasyonun Hesaplanmasında FAO-56 Dual-Kc

Metodolojisinin Kullanımı. I. Ulusal Sulama ve Tarımsal Yapılar Sempozyumu. 27-30 Mayıs 2010, Kahramanmaraş.

- De Medeiros GA, Arruda FB, Sakai E, Fujiwara M (2001). The influence of crop canopy on evapotranspiration and crop coefficient of soybeans (*Glycine max* L.). *Agric. Wat. Manage.* 49: 211-224.
- Demirel K, Genç L, Saçan M (2012). Yarı kurak koşullarda farklı sulama düzeylerinin salçalık biberde (*Capsicum annuum* cv. Kapija) verim ve kalite parametreleri üzerine etkisi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 9 (2): 7-14.
- Doorenbos J, Kassam AH (1979). *Yield Response to Water*. FAO Irrigation and Drainage Paper No: 33, Rome, Italy.
- Düzgüneş O, Kesici T, Kavuncu O, Gürbüz F (1987). *Araştırma ve Deneme Metotları (İstatistiksel Metotları-II)*. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No. 1021. Ankara.
- Düzgüneş O (1963). *İstatistik Prensipleri ve Metodları*. Ege Üniv. Matbaası, 364s, İzmir
- Er-raki S, Chehbouni A, Duchemin B (2010). Combining satellite remote sensing data with the FAO-56 dual approach for water use mapping in irrigated wheat fields of a semi-arid region. *Remote Sens.*, 2: 375-387.
- Ertek A, Şensoy S, Gedik İ, Küçükyumuk C (2007). Irrigation scheduling for green pepper (*Capsicum annuum* L.) grown in field conditions by using class-A pan evaporation values.
- Gallo KP, Daughtry CST (1986). Techniques for Measuring Intercepted and Absorbed Photosynthetically Active Radiation in Corn Canopies. *Agron. J.*, 78: 752-756.
- Gonzales-Dugo V, Orgaz F, Fereres E (2007). Responses of pepper to deficit irrigation for paprika production. *Scientia Horticulturae*, 114: 77-82.
- Güngör Y, Yıldırım O (1989). *Tarla Sulama Sistemleri*. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No. 1155. 371s. Ankara.
- Howell TA, Cuenca RH, Solomon KH (1990). Crop Yield Response. in *Management of Farm Irrigation System*, Eds. GJ, Hoffman, Ta, Howell, Kh, Solomon. St. Joseph, Mich.: Asae.
- Idso SB, Jackson RD, Pinter PJ, Hatfield JL (1981). Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. *Agric. Meteorol.* 24: 45-55.
- Idso SB (1983). Stomatal Regulation of Evaporation From Well-Watered Plant Canopies: a New Synthesis, *Ag. Met.* 29: 213 – 217.
- İstanbulluoğlu A, Arslan B, Gocmen E, Gezer E, Pasa C (2010). Effects of deficit irrigation regimes on the yield and growth of oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Biosystems Engin.* 105: 388-394.
- Jackson RD (1982). *Canopy Temperature and Crop Water Stress*. *Advances in irrigation*, v: 1, Academic Press, New York, 43-85.
- Jensen ME, Burman RD, Allen RG (1990). *Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements*. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practices No. 70., Am. Soc. Civil Engrs., New York, NY, 360 p.
- Kanber R (1997). *Sulama*. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Kitabı, Genel Yayın No. 174, Ders Kitapları Yayın No. 52, 530s, Adana.

- Kato T, Kamichika M (2006). Determination of crop coefficient for evapotranspiration in a sparse sorghum field. *Irrig. and Drain.* 55: 165-175.
- Khan MH, Chattha TH, Saleem N (2005). Influence of different irrigation intervals on growth and yield of Bell Pepper (*Capsicum annuum* Grossum Group). *Res. J. of Agric. and Biological Sci.*, 1(2): 125-128.
- Kırnak H, Kaya C, Değirmenci V (2002). Growth and Yield Parameters of Bell Peppers With Surface and Subsurface Drip Irrigation Systems Under Different Irrigation Levels Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Şanlıurfa
- Korukçu A, Kanber R (1981). Water-yield relationship. Soil-Water Main Project 435-1, Tarsus
- Lazzara P, And Rana G (2010). The crop coefficient values of the major crops grown under Mediterranean climate. Reserach Report of Unit of Agric. in Dry Environment, Italy.
- Liu H, Yang H, Zheng J, Jia D, Wang J, Li Y, Huang G (2012). Irrigation scheduling strategies based on soil matric potential on yield and fruit quality of mulched-drip irrigated chili pepper in Northwest China. *Agric. Wat. Manage.* 115: 232-241.
- Liu Y, Luo Y (2010). A consolidated evaluation of the FAO-56 dual crop coefficient approach using the lysimeter data in the Nortwest China Plain. *Agric. Wat. Manage.* 97: 31-40.
- Lopez-Urrea R, de Santa Olalla FM, Montoro A, Lopez-Fuster P (2009). Single and dual crop coefficients and water requirements for onion (*Allium cepa* L.) under semi arid conditions. *Agric. Wat. Manage.* 96: 1031-1036.
- Miranda FR, Gondim RS, Costa CAG (2006). Evapotranspiration and crop coefficients for tabasco pepper (*Capsicum frutescens* L.) Embrapa Tropical Agroindustry, Rua Dra. Sara Mesquita, 2270 Brazil
- Moreno MM, Ribas F, Moreno A, Cabello MJ (2003). Physiological response of a pepper (*Capsicum annuum* L.) crop to different trickle irrigation rates. *Spanish J. of Agric. Research*, 1(2): 65-74.
- Odhambo LO, Irmak S (2012). Evaluation of the impact of surface residue cover on single and dual crop coefficient for estimating soybean actual evaporation. *Agric. Water Manage.*, 104: 221-234.
- Orta AH (1994). Farklı sulama yöntemlerinin biber (*Capsicum annuum* L.) verimine etkisi. Doktora tezi Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 88 sayfa, Ankara.
- Özalp R (2010). Ülkemizde biber üretimi ve örtüaltı biber yetiştiriciliği. *Tarım Türk Dergisi*, 24(5): 29-32.
- Özer MN, (1993). Evapotranspirasyon. Sulama Teknolojisinde Yeni Gelişmeler Semineri, Köy Hiz. Genel. Müd, Yayınları No: 76, Ankara.
- Öztürk A, Yurtseven E, Kadayıfçı A, Ayan B (1996). Sulama Suyu Tuzluluğunun Biberde (*Capsicum annuum*) Farklı Gelişme Dönemlerinde Bazı Verim Parametrelerine Etkisi Ankara Üniv. Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü-Ankara
- Papazafiriou ZG (1980). A compact procedure for trickle irrigation system design. *ICID Bulletin* 19(1): 28-45.
- Parekh F (2013). Crop water requirements using single and dual crop coefficient approach. *Int. J. of. Innovativ Res. in Sci., Engin. and Tech.*, 2(9): 4493-4499.

- Rachidi F, Kirkham MB, Stone LR, Kanemasu ET (1993a). Use of Photosynthetically Active Radiation by Sunflower and Sorghum. *Eur. J. Argon.* 2(2): 131-139.
- Poblete-Echeverria CA, Ortega-Farias SO (2013). Evaluation of single and dual crop coefficients over a drip-irrigated Merlot vineyard (*Vitis vinifera* L.) using combined measurements of sap flow sensors and an eddy covariance system. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 19: 249–260.
- Sezen M, Yazar A, Eker S (2006). Effect of drip irrigation regimes on yield and quality of field grown bell pepper. *Agric. Water Manage.*, 81: 115-131.
- Sezen M, Yazar A, Tekin S, Eker S, Kapur B. (2011). Yield and quality response of drip-irrigated pepper under Mediterranean climatic conditions to various water regimes. *African J. of Biotechnology*, 10(8): 1329-1339.
- Shahrokhnia MH, Sepaskhah AR (2013). Single and dual crop coefficients and crop evapotranspiration for wheat and maize in semi-arid region. *Theoretical and Applied Climatology*, 114(3-4): 495-510.
- Taş İ, Kırnak H (2011). Damla Sulama Yöntemiyle Sulanan Şanlıurfa Biberinin (*Capsicum annum* L.) Sulama Programı. Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Şanlıurfa.
- Yurtsever N (1984). Deneysel İstatistik Metotları. Köy Hizmetleri Genel Müd. Yayınları No:56, Ankara .
- Zhang Y, Kendy E, Qiang Y, Changming L, Yanjun S, Hongyong S (1999). Effect of soil water deficit on evapotranspiration, crop yield, and water use efficiency in the north China plain. *Agric. Water Manage.* 64: 107-122.
- Walker WR, Skogerboe GV (1987). *Surface Irrigation. Theory and Practice.* Prentice- Hall, Englewood Cliffs, 375pp, New Jersey.

EKLER

Ek Çizelge 1. Dual k_c bileşenleri ve hesaplanan bitki su tüketim değerleri (2011)

Tarih	h m	K_c min	f_c	f_{ew}	$D_{e\ start}$ mm	K_r	k_c max	k_{cb}	K_e	ET_o mm	$K_e * ET_o$ mm gün ⁻¹	$D_{e\ end}$ mm	ET_c mm gün ⁻¹
17.05.2011	0,10	0,10	0,02	0,98	0,00	1,00	1,18	0,13	1,05	4,18	4,39	4,39	4,93
18.05.2011	0,10	0,10	0,01	0,99	4,39	1,00	1,16	0,11	1,05	3,14	3,30	7,69	3,64
19.05.2011	0,10	0,10	0,00	1,00	7,69	1,00	1,13	0,08	1,05	2,40	2,52	10,21	2,72
20.05.2011	0,10	0,10	0,00	1,00	10,21	0,99	1,14	0,09	1,04	3,49	3,63	13,84	3,96
21.05.2011	0,10	0,10	0,00	1,00	13,84	0,84	1,15	0,10	0,88	4,05	3,58	17,42	4,00
22.05.2011	0,10	0,10	0,01	0,99	17,42	0,69	1,16	0,11	0,73	4,26	3,09	20,51	3,57
23.05.2011	0,10	0,10	0,01	0,99	20,51	0,56	1,16	0,11	0,59	4,19	2,48	22,99	2,93
24.05.2011	0,10	0,10	0,01	0,99	22,99	0,46	1,17	0,12	0,48	4,23	2,05	25,04	2,55
25.05.2011	0,10	0,10	0,01	0,99	25,04	0,38	1,16	0,11	0,39	4,06	1,60	26,64	2,06
26.05.2011	0,10	0,10	0,04	0,96	26,64	0,31	1,20	0,15	0,33	4,77	1,55	28,19	2,27
27.05.2011	0,10	0,10	0,04	0,96	28,19	0,25	1,20	0,15	0,26	3,30	0,85	29,04	1,34
28.05.2011	0,10	0,10	0,01	0,99	29,04	0,21	1,16	0,11	0,22	2,98	0,66	29,70	1,00
29.05.2011	0,10	0,10	0,02	0,98	29,70	0,18	1,17	0,12	0,19	3,95	0,76	30,46	1,23
30.05.2011	0,10	0,10	0,01	0,99	30,46	0,15	1,16	0,11	0,16	3,66	0,58	31,04	0,99
31.05.2011	0,10	0,10	0,00	1,00	31,04	0,13	1,15	0,10	0,13	3,52	0,47	31,51	0,82
01.06.2011	0,40	0,10	0,00	1,00	0,00	1,00	1,11	0,10	1,01	3,85	3,91	3,91	4,29
02.06.2011	0,40	0,10	0,00	1,00	3,91	1,00	1,12	0,10	1,02	4,38	4,44	8,35	4,88
03.06.2011	0,40	0,10	0,02	0,98	8,35	1,00	1,14	0,14	1,00	4,12	4,11	12,46	4,70
04.06.2011	0,40	0,15	0,02	0,98	12,46	0,90	1,17	0,19	0,88	4,67	4,11	16,57	4,98
05.06.2011	0,40	0,15	0,04	0,96	16,57	0,73	1,19	0,22	0,70	4,91	3,44	20,02	4,53

Ek Çizelge 1. (Devam) Dual k_c bileşenleri ve hesaplanan bitki su tüketim değerleri (2011)

Tarih	h m	K_c min	f_c	f_{ew}	$D_{e\ start}$ mm	K_r	k_c max	k_{cb}	K_e	ET_o mm	$K_e * ET_o$ mm gün ⁻¹	$D_{e\ end}$ mm	ET_c mm gün ⁻¹
06.06.2011	0,40	0,15	0,04	0,96	20,02	0,58	1,16	0,22	0,55	4,94	2,73	22,75	3,80
07.06.2011	0,40	0,15	0,05	0,95	0,00	1,00	1,17	0,24	0,93	4,90	4,55	4,55	5,73
08.06.2011	0,40	0,15	0,05	0,95	4,55	1,00	1,15	0,24	0,91	4,63	4,22	8,77	5,31
09.06.2011	0,40	0,15	0,11	0,89	8,77	1,05	1,21	0,32	0,94	5,80	5,45	14,21	7,31
10.06.2011	0,40	0,15	0,08	0,92	14,21	0,83	1,15	0,28	0,72	3,80	2,75	16,96	3,80
11.06.2011	0,40	0,15	0,11	0,89	16,96	0,71	1,16	0,31	0,61	3,71	2,27	19,23	3,40
12.06.2011	0,40	0,15	0,08	0,92	19,23	0,62	1,11	0,27	0,52	2,71	1,41	20,64	2,14
13.06.2011	0,40	0,15	0,09	0,91	20,64	0,56	1,10	0,28	0,46	2,93	1,35	21,99	2,16
14.06.2011	0,40	0,15	0,11	0,89	0,00	1,00	1,12	0,31	0,81	3,84	3,10	3,10	4,29
15.06.2011	0,40	0,15	0,15	0,85	3,10	1,00	1,15	0,36	0,79	4,65	3,68	6,77	5,33
16.06.2011	0,40	0,15	0,16	0,84	6,77	1,00	1,14	0,37	0,77	4,18	3,23	10,00	4,76
17.06.2011	0,40	0,15	0,18	0,82	10,00	1,00	1,15	0,39	0,76	4,64	3,50	13,50	5,31
18.06.2011	0,40	0,15	0,20	0,80	13,50	0,85	1,15	0,41	0,63	4,80	3,03	16,53	5,01
19.06.2011	0,40	0,15	0,20	0,80	16,53	0,73	1,12	0,40	0,53	4,68	2,46	18,99	4,35
20.06.2011	0,40	0,15	0,23	0,77	18,99	0,63	1,15	0,44	0,44	4,18	1,84	20,83	3,70
21.06.2011	0,40	0,15	0,28	0,72	20,83	0,55	1,19	0,51	0,38	5,17	1,95	22,78	4,58
22.06.2011	0,40	0,15	0,30	0,70	22,78	0,47	1,20	0,53	0,31	5,51	1,73	24,51	4,67
23.06.2011	0,40	0,15	0,31	0,69	0,00	1,00	1,19	0,54	0,65	5,45	3,55	3,55	6,47
24.06.2011	0,40	0,15	0,31	0,69	3,55	1,00	1,16	0,53	0,63	5,26	3,33	6,88	6,10
25.06.2011	0,40	0,15	0,32	0,68	0,00	1,00	1,15	0,53	0,62	4,34	2,68	2,68	4,99

Ek Çizelge 1. (Devam) Dual k_c bileşenleri ve hesaplanan bitki su tüketim değerleri (2011)

Tarih	h m	K_c min	f_c	f_{ew}	$D_{e\ start}$ mm	K_r	k_c max	k_{cb}	K_e	ET_o mm	$K_e * ET_o$ mm gün ⁻¹	$D_{e\ end}$ mm	ET_c mm gün ⁻¹
26.06.2011	0,40	0,15	0,37	0,63	2,68	1,00	1,22	0,62	0,60	4,47	2,68	5,35	5,46
27.06.2011	0,40	0,15	0,40	0,60	5,35	1,00	1,23	0,65	0,58	4,68	2,72	8,08	5,78
28.06.2011	0,40	0,15	0,40	0,60	8,08	1,08	1,20	0,63	0,61	4,61	2,81	10,88	5,73
29.06.2011	0,40	0,15	0,39	0,61	10,88	0,96	1,16	0,62	0,53	4,00	2,11	12,99	4,58
30.06.2011	0,40	0,15	0,41	0,59	12,99	0,88	1,16	0,64	0,46	4,59	2,13	15,12	5,05
01.07.2011	0,40	0,15	0,41	0,59	15,12	0,79	1,13	0,62	0,40	3,50	1,41	16,54	3,58
02.07.2011	0,40	0,15	0,43	0,57	16,54	0,73	1,13	0,64	0,36	4,22	1,52	18,06	4,21
03.07.2011	0,40	0,15	0,45	0,55	18,06	0,67	1,13	0,66	0,32	4,42	1,41	19,46	4,31
04.07.2011	0,40	0,15	0,47	0,53	19,46	0,61	1,14	0,68	0,28	4,38	1,22	20,69	4,21
05.07.2011	0,40	0,15	0,50	0,50	0,00	1,00	1,17	0,73	0,44	4,76	2,11	2,11	5,56
06.07.2011	0,40	0,15	0,50	0,50	2,11	1,00	1,12	0,70	0,43	3,38	1,44	3,55	3,80
07.07.2011	0,40	0,15	0,54	0,46	3,55	1,00	1,16	0,75	0,41	4,86	1,98	5,53	5,61
08.07.2011	0,40	0,15	0,57	0,43	5,53	1,00	1,18	0,79	0,39	5,31	2,08	7,60	6,29
09.07.2011	0,40	0,15	0,58	0,42	7,60	1,10	1,18	0,81	0,41	5,46	2,24	9,85	6,65
10.07.2011	0,40	0,15	0,60	0,40	9,85	1,01	1,16	0,81	0,36	5,35	1,92	11,76	6,24
11.07.2011	0,40	0,15	0,62	0,38	11,76	0,93	1,19	0,85	0,31	5,67	1,78	13,54	6,59
12.07.2011	0,40	0,15	0,64	0,36	13,54	0,85	1,19	0,87	0,27	5,72	1,57	15,11	6,55
13.07.2011	0,40	0,15	0,65	0,35	0,00	1,00	1,17	0,86	0,30	4,89	1,49	1,49	5,71
14.07.2011	0,40	0,15	0,67	0,33	1,49	1,00	1,15	0,86	0,29	4,85	1,39	2,88	5,58
15.07.2011	0,40	0,15	0,70	0,30	2,88	1,00	1,18	0,91	0,27	5,21	1,40	4,28	6,16

Ek Çizelge 1. (Devam) Dual k_c bileşenleri ve hesaplanan bitki su tüketim değerleri (2011)

Tarih	h m	$K_{c \text{ min}}$	f_c	f_{ew}	$D_{e \text{ start}}$ mm	K_r	$k_{c \text{ max}}$	k_{cb}	K_e	ET_o mm	$K_e * ET_o$ mm gün ⁻¹	$D_{e \text{ end}}$ mm	ET_c mm gün ⁻¹
16.07.2011	0,40	0,15	0,71	0,29	4,28	1,00	1,17	0,92	0,25	5,38	1,36	5,64	6,30
17.07.2011	0,40	0,15	0,73	0,27	5,64	1,18	1,17	0,94	0,28	5,23	1,45	7,09	6,34
18.07.2011	0,40	0,15	0,74	0,26	7,09	1,12	1,15	0,93	0,24	5,17	1,26	8,35	6,07
19.07.2011	0,40	0,15	0,77	0,23	8,35	1,07	1,18	0,98	0,21	5,27	1,13	9,47	6,27
20.07.2011	0,60	0,15	0,74	0,26	0,00	1,00	1,12	0,92	0,20	5,15	1,03	1,03	5,75
21.07.2011	0,60	0,15	0,76	0,24	1,03	1,00	1,21	1,01	0,20	5,60	1,12	2,15	6,79
22.07.2011	0,60	0,15	0,75	0,25	2,15	1,00	1,16	0,96	0,20	5,19	1,04	3,19	5,99
23.07.2011	0,60	0,15	0,76	0,24	3,19	1,00	1,19	0,99	0,20	5,55	1,11	4,30	6,62
24.07.2011	0,60	0,15	0,75	0,25	4,30	1,00	1,16	0,96	0,20	5,46	1,09	5,39	6,35
25.07.2011	0,60	0,15	0,75	0,25	5,39	1,19	1,14	0,94	0,24	5,14	1,23	6,61	6,06
26.07.2011	0,60	0,15	0,76	0,24	0,00	1,00	1,20	1,00	0,20	5,46	1,09	1,09	6,53
27.07.2011	0,60	0,15	0,75	0,25	1,09	1,00	1,17	0,97	0,20	5,13	1,03	2,12	6,02
28.07.2011	0,60	0,15	0,76	0,24	2,12	1,00	1,20	1,00	0,20	5,98	1,20	3,31	7,20
29.07.2011	0,60	0,15	0,76	0,24	3,31	1,00	1,19	0,99	0,20	5,58	1,12	4,43	6,65
30.07.2011	0,60	0,15	0,74	0,26	4,43	1,00	1,14	0,94	0,20	5,12	1,02	5,45	5,81
31.07.2011	0,60	0,15	0,75	0,25	5,45	1,00	1,18	0,98	0,20	5,25	1,05	6,50	6,17
01.08.2011	0,60	0,15	0,78	0,22	6,50	1,00	1,30	1,10	0,20	6,67	1,33	7,84	8,68
02.08.2011	0,60	0,15	0,77	0,23	7,84	1,09	1,26	1,06	0,22	6,03	1,31	9,15	7,67
03.08.2011	0,60	0,15	0,78	0,22	0,00	1,00	1,30	1,10	0,20	6,15	1,23	1,23	7,99
04.08.2011	0,60	0,15	0,78	0,22	1,23	1,00	1,28	1,08	0,20	5,96	1,19	2,42	7,64

Ek Çizelge 1. (Devam) Dual k_c bileşenleri ve hesaplanan bitki su tüketim değerleri (2011)

Tarih	h m	K_c min	f_c	f_{ew}	$D_{e\ start}$ mm	K_r	k_c max	k_{cb}	K_e	ET_o mm	$K_e * ET_o$ mm gün ⁻¹	$D_{e\ end}$ mm	ET_c mm gün ⁻¹
05.08.2011	0,60	0,15	0,79	0,21	2,42	1,00	1,35	1,15	0,20	6,47	1,29	3,72	8,71
06.08.2011	0,60	0,15	0,79	0,21	3,72	1,00	1,33	1,13	0,20	6,53	1,31	5,02	8,70
07.08.2011	0,60	0,15	0,78	0,22	5,02	1,00	1,32	1,12	0,20	6,19	1,24	6,26	8,15
08.08.2011	0,60	0,15	0,77	0,23	6,26	1,00	1,26	1,06	0,20	5,95	1,19	7,45	7,47
09.08.2011	0,60	0,15	0,77	0,23	0,00	1,00	1,25	1,05	0,20	5,37	1,07	1,07	6,72
10.08.2011	0,60	0,15	0,79	0,21	1,07	1,00	1,34	1,14	0,20	6,34	1,27	2,34	8,49
11.08.2011	0,60	0,15	0,78	0,22	2,34	1,00	1,31	1,11	0,20	4,05	0,81	3,15	5,31
12.08.2011	0,60	0,15	0,78	0,22	3,15	1,00	1,28	1,08	0,20	5,96	1,19	4,34	7,60
13.08.2011	0,60	0,15	0,77	0,23	4,34	1,00	1,23	1,03	0,20	6,10	1,22	5,56	7,52
14.08.2011	0,60	0,15	0,77	0,23	5,56	1,00	1,25	1,05	0,20	5,97	1,19	6,76	7,47
15.08.2011	0,60	0,15	0,77	0,23	6,76	1,00	1,22	1,02	0,20	5,78	1,16	7,91	7,08
16.08.2011	0,60	0,15	0,76	0,24	7,91	1,00	1,22	1,02	0,20	5,57	1,11	9,03	6,77
17.08.2011	0,60	0,15	0,77	0,23	0,00	1,00	1,27	1,07	0,20	7,01	1,40	1,40	8,92
18.08.2011	0,60	0,15	0,79	0,21	1,40	1,00	1,35	1,15	0,20	6,32	1,26	2,67	8,55
19.08.2011	0,60	0,15	0,80	0,20	2,67	1,00	1,42	1,22	0,20	8,10	1,62	4,29	11,53
20.08.2011	0,60	0,15	0,77	0,23	4,29	1,00	1,24	1,04	0,20	5,52	1,10	5,39	6,86
21.08.2011	0,60	0,15	0,78	0,22	5,39	1,00	1,30	1,10	0,20	6,11	1,22	6,61	7,96
22.08.2011	0,60	0,15	0,78	0,22	6,61	1,00	1,31	1,11	0,20	6,31	1,26	7,88	8,24
23.08.2011	0,60	0,15	0,77	0,23	7,88	1,00	1,25	1,05	0,20	6,14	1,23	9,10	7,67
24.08.2011	0,60	0,15	0,77	0,23	9,10	1,00	1,27	1,07	0,20	6,08	1,22	10,32	7,70

Ek Çizelge 1. (Devam) Dual k_c bileşenleri ve hesaplanan bitki su tüketim değerleri (2011)

Tarih	h m	$K_{c \text{ min}}$	f_c	f_{ew}	$D_{e \text{ start}}$ mm	K_r	$k_{c \text{ max}}$	k_{cb}	K_e	ET_o mm	$K_e * ET_o$ mm gün ⁻¹	$D_{e \text{ end}}$ mm	ET_c mm gün ⁻¹
25.08.2011	0,60	0,15	0,78	0,22	10,32	0,99	1,30	1,10	0,20	6,40	1,26	11,58	8,33
26.08.2011	0,60	0,15	0,80	0,20	11,58	0,93	1,39	1,19	0,19	6,40	1,20	12,78	8,81
27.08.2011	0,60	0,15	0,79	0,21	12,78	0,88	1,35	1,15	0,18	6,45	1,14	13,92	8,55
28.08.2011	0,60	0,15	0,79	0,21	0,00	1,00	1,38	1,18	0,20	6,55	1,31	1,31	9,04
29.08.2011	0,60	0,15	0,79	0,21	1,31	1,00	1,36	1,16	0,20	6,54	1,31	2,62	8,88
30.08.2011	0,60	0,15	0,77	0,23	2,62	1,00	1,26	1,06	0,20	5,32	1,06	3,68	6,72
31.08.2011	0,60	0,15	0,76	0,24	3,68	1,00	1,20	1,00	0,20	4,71	0,94	4,62	5,66
01.09.2011	0,60	0,15	0,75	0,25	4,62	1,00	1,18	0,98	0,20	3,33	0,67	5,29	3,92
02.09.2011	0,60	0,15	0,75	0,25	5,29	1,00	1,18	0,98	0,20	3,24	0,65	5,94	3,82
03.09.2011	0,60	0,15	0,74	0,26	5,94	1,00	1,13	0,93	0,20	3,36	0,67	6,61	3,80
04.09.2011	0,60	0,15	0,75	0,25	6,61	1,00	1,15	0,95	0,20	3,51	0,70	7,31	4,02
05.09.2011	0,60	0,15	0,75	0,25	7,31	1,00	1,17	0,97	0,20	3,59	0,72	8,03	4,19
06.09.2011	0,60	0,15	0,75	0,25	8,03	1,00	1,15	0,95	0,20	3,47	0,69	8,73	4,00
07.09.2011	0,60	0,15	0,76	0,24	8,73	1,00	1,21	1,01	0,20	4,19	0,84	9,56	5,08
08.09.2011	0,60	0,15	0,75	0,25	9,56	1,00	1,14	0,94	0,20	3,39	0,68	10,24	3,86
09.09.2011	0,60	0,15	0,74	0,26	0,00	1,00	1,12	0,92	0,20	3,10	0,62	0,62	3,48
10.09.2011	0,60	0,15	0,75	0,25	0,62	1,00	1,18	0,98	0,20	3,80	0,76	1,38	4,47
11.09.2011	0,60	0,15	0,76	0,24	1,38	1,00	1,19	0,99	0,20	3,59	0,72	2,10	4,25
12.09.2011	0,60	0,15	0,75	0,25	2,10	1,00	1,17	0,97	0,20	3,82	0,76	2,86	4,48
13.09.2011	0,60	0,15	0,75	0,25	2,86	1,00	1,15	0,95	0,20	3,54	0,71	3,57	4,08

Ek Çizelge 1. (Devam) Dual k_c bileşenleri ve hesaplanan bitki su tüketim değerleri (2011)

Tarih	h m	K_c min	f_c	f_{ew}	$D_{e\ start}$ mm	K_r	k_c max	k_{cb}	K_e	ET_o mm	$K_e * ET_o$ mm gün ⁻¹	$D_{e\ end}$ mm	ET_c mm gün ⁻¹
14.09.2011	0,60	0,15	0,75	0,25	3,57	1,00	1,15	0,95	0,20	3,53	0,71	4,28	4,06
15.09.2011	0,60	0,15	0,74	0,26	4,28	1,00	1,12	0,92	0,20	3,31	0,66	4,94	3,71
16.09.2011	0,60	0,15	0,75	0,25	4,94	1,00	1,16	0,96	0,20	3,85	0,77	5,71	4,48
17.09.2011	0,60	0,15	0,75	0,25	5,71	1,00	1,14	0,94	0,20	3,62	0,72	6,43	4,14
18.09.2011	0,60	0,15	0,77	0,23	6,43	1,00	1,23	1,03	0,20	4,66	0,93	7,36	5,73
19.09.2011	0,60	0,15	0,75	0,25	7,36	1,00	1,15	0,95	0,20	3,56	0,71	8,08	4,09
20.09.2011	0,60	0,15	0,75	0,25	0,00	1,00	1,15	0,95	0,20	3,32	0,66	0,66	3,82
21.09.2011	0,60	0,15	0,76	0,24	0,66	1,00	1,20	1,00	0,20	2,80	0,56	1,22	3,36
22.09.2011	0,60	0,15	0,75	0,25	1,22	1,00	1,15	0,95	0,20	2,28	0,46	1,68	2,62
23.09.2011	0,60	0,15	0,76	0,24	1,68	1,00	1,21	1,01	0,20	3,97	0,79	2,47	4,81
24.09.2011	0,60	0,15	0,75	0,25	2,47	1,00	1,15	0,95	0,20	3,27	0,65	3,13	3,75
25.09.2011	0,60	0,15	0,76	0,24	3,13	1,00	1,18	0,98	0,20	3,38	0,68	3,80	4,00
26.09.2011	0,60	0,15	0,76	0,24	3,80	1,00	1,21	1,01	0,20	3,72	0,74	4,55	4,49
27.09.2011	0,60	0,15	0,76	0,24	4,55	1,00	1,21	1,01	0,20	3,76	0,75	5,30	4,54
28.09.2011	0,60	0,15	0,76	0,24	5,30	1,00	1,20	1,00	0,20	3,37	0,67	5,98	4,04
29.09.2011	0,50	0,15	0,53	0,47	5,98	1,00	1,15	0,75	0,40	3,13	1,25	7,23	3,61
30.09.2011	0,50	0,15	0,56	0,44	7,23	1,00	1,22	0,82	0,40	3,43	1,37	8,60	4,19
01.10.2011	0,50	0,15	0,54	0,46	8,60	1,00	1,17	0,77	0,40	2,10	0,84	9,44	2,45
02.10.2011	0,50	0,15	0,52	0,48	9,44	1,00	1,13	0,73	0,40	1,91	0,76	10,20	2,15

Ek Çizelge 1. (Devam) Dual k_c bileşenleri ve hesaplanan bitki su tüketim değerleri (2011)

Tarih	h m	$K_{c \text{ min}}$	f_c	f_{ew}	$D_{e \text{ start}}$ mm	K_r	$k_{c \text{ max}}$	k_{cb}	K_e	ET_o mm	$K_e * ET_o$ mm gün ⁻¹	$D_{e \text{ end}}$ mm	ET_c mm gün ⁻¹
03.10.2011	0,50	0,15	0,54	0,46	10,20	1,00	1,17	0,77	0,40	1,92	0,77	10,97	2,24
04.10.2011	0,50	0,15	0,53	0,47	10,97	1,00	1,15	0,75	0,40	1,77	0,71	11,68	2,04
05.10.2011	0,50	0,15	0,53	0,47	11,68	1,00	1,15	0,75	0,40	1,74	0,70	12,37	1,99

Ek Çizelge 2. Dual k_c bileşenleri ve hesaplanan bitki su tüketim değerleri (2012)

Tarih	h m	K_c min	f_c	f_{ew}	$D_{e\ start}$ mm	K_r	k_c max	k_{cb}	K_e	ET_o mm	$K_e * ET_o$ mm gün ⁻¹	$D_{e\ end}$ mm	ET_c mm gün ⁻¹
21.05.2012	0,10	0,10	0,00	1,00	0,00	1,00	1,14	0,09	1,05	3,18	3,34	3,34	3,63
22.05.2012	0,10	0,10	0,00	1,00	3,34	1,00	1,14	0,09	1,05	3,15	3,31	6,65	3,59
23.05.2012	0,10	0,10	0,00	1,00	6,65	1,00	1,14	0,09	1,05	2,47	2,59	9,24	2,81
24.05.2012	0,10	0,10	0,00	1,00	9,24	1,00	1,14	0,09	1,05	2,98	3,13	12,37	3,40
25.05.2012	0,10	0,10	0,00	1,00	12,37	0,91	1,12	0,07	0,96	3,16	3,02	15,39	3,24
26.05.2012	0,10	0,10	0,00	1,00	15,39	0,80	1,13	0,08	0,84	3,12	2,62	18,01	2,86
27.05.2012	0,10	0,10	0,00	1,00	18,01	0,70	1,12	0,07	0,74	3,02	2,23	20,25	2,45
28.05.2012	0,10	0,10	0,00	1,00	20,25	0,62	1,13	0,08	0,65	2,91	1,89	22,14	2,12
29.05.2012	0,10	0,10	0,00	1,00	22,14	0,55	1,12	0,07	0,58	2,95	1,70	23,84	1,92
30.05.2012	0,10	0,10	0,00	1,00	23,84	0,49	1,12	0,07	0,51	3,34	1,71	25,55	1,94
31.05.2012	0,10	0,10	0,00	1,00	25,55	0,42	1,12	0,07	0,45	2,05	0,91	26,46	1,06
01.06.2012	0,10	0,10	0,00	1,00	26,46	0,39	1,11	0,06	0,41	2,24	0,92	27,38	1,05
02.06.2012	0,10	0,10	0,00	1,00	27,38	0,36	1,12	0,07	0,37	3,31	1,24	28,62	1,47
03.06.2012	0,10	0,10	0,00	1,00	28,62	0,31	1,12	0,07	0,33	3,42	1,11	29,74	1,36
04.06.2012	0,40	0,15	0,00	1,00	29,74	0,27	1,12	0,07	0,28	3,65	1,03	30,77	1,29
05.06.2012	0,40	0,15	0,00	1,00	30,77	0,23	1,16	0,12	0,24	4,10	0,98	31,74	1,48
06.06.2012	0,40	0,15	0,00	1,00	0,00	1,00	1,11	0,09	1,02	4,47	4,54	4,54	4,95
07.06.2012	0,40	0,15	0,00	1,00	4,54	1,00	1,15	0,15	1,00	4,09	4,08	8,62	4,69
08.06.2012	0,40	0,15	0,00	1,00	8,62	1,00	1,13	0,15	0,98	4,27	4,19	12,81	4,83
09.06.2012	0,40	0,15	0,02	0,98	12,81	0,90	1,15	0,18	0,86	4,60	3,97	16,78	4,82

Ek Çizelge 2. (Devam) Dual k_c bileşenleri ve hesaplanan bitki su tüketim değerleri (2012)

Tarih	h m	K_c min	f_c	f_{ew}	$D_{e\ start}$ mm	K_r	k_c max	k_{cb}	K_e	ET_o mm	$K_e * ET_o$ mm gün ⁻¹	$D_{e\ end}$ mm	ET_c mm gün ⁻¹
10.06.2012	0,40	0,15	0,00	1,00	16,78	0,75	1,09	0,15	0,71	3,96	2,80	19,59	3,38
11.06.2012	0,40	0,15	0,02	0,98	19,59	0,64	1,11	0,18	0,60	3,80	2,27	21,86	2,95
12.06.2012	0,40	0,15	0,02	0,98	21,86	0,56	1,10	0,19	0,51	3,96	2,02	23,88	2,78
13.06.2012	0,40	0,15	0,06	0,94	0,00	1,00	1,14	0,24	0,89	4,10	3,67	3,67	4,67
14.06.2012	0,40	0,15	0,11	0,89	3,67	1,00	1,19	0,31	0,88	3,74	3,27	6,94	4,43
15.06.2012	0,40	0,15	0,13	0,87	6,94	1,00	1,20	0,35	0,86	4,36	3,75	10,69	5,26
16.06.2012	0,40	0,15	0,19	0,81	10,69	0,97	1,27	0,43	0,82	4,57	3,75	14,44	5,70
17.06.2012	0,40	0,15	0,16	0,84	14,44	0,84	1,21	0,39	0,69	4,98	3,43	17,87	5,35
18.06.2012	0,40	0,15	0,18	0,82	17,87	0,71	1,22	0,41	0,57	4,92	2,82	20,69	4,83
19.06.2012	0,40	0,15	0,22	0,78	20,69	0,60	1,26	0,47	0,48	5,57	2,66	23,35	5,27
20.06.2012	0,40	0,15	0,22	0,78	0,00	1,00	1,23	0,46	0,77	6,37	4,92	4,92	7,82
21.06.2012	0,40	0,15	0,22	0,78	4,92	1,00	1,20	0,44	0,76	5,49	4,15	9,06	6,57
22.06.2012	0,40	0,15	0,22	0,78	9,06	1,00	1,18	0,44	0,74	5,66	4,18	13,24	6,69
23.06.2012	0,40	0,15	0,24	0,76	13,24	0,88	1,18	0,46	0,63	5,86	3,72	16,96	6,43
24.06.2012	0,40	0,15	0,24	0,76	16,96	0,74	1,16	0,46	0,52	4,57	2,39	19,34	4,49
25.06.2012	0,40	0,15	0,23	0,77	19,34	0,65	1,12	0,44	0,45	4,74	2,13	21,47	4,20
26.06.2012	0,40	0,15	0,27	0,73	21,47	0,58	1,15	0,48	0,38	4,46	1,71	23,18	3,86
27.06.2012	0,40	0,15	0,30	0,70	0,00	1,00	1,18	0,53	0,65	5,03	3,28	3,28	5,95
28.06.2012	0,40	0,15	0,32	0,68	3,28	1,00	1,18	0,55	0,63	5,05	3,20	6,47	5,97
29.06.2012	0,40	0,15	0,32	0,68	6,47	1,00	1,16	0,54	0,62	4,87	3,00	9,47	5,63

Ek Çizelge 2. (Devam) Dual k_c bileşenleri ve hesaplanan bitki su tüketim değerleri (2012)

Tarih	h m	K_c min	f_c	f_{ew}	$D_{e\ start}$ mm	K_r	k_c max	k_{cb}	K_e	ET_o mm	$K_e * ET_o$ mm gün ⁻¹	$D_{e\ end}$ mm	ET_c mm gün ⁻¹
30.06.2012	0,40	0,15	0,35	0,65	9,47	1,00	1,17	0,58	0,60	4,80	2,88	12,35	5,64
01.07.2012	0,40	0,15	0,38	0,62	12,35	0,91	1,20	0,62	0,53	4,87	2,59	14,94	5,61
02.07.2012	0,40	0,15	0,41	0,59	14,94	0,82	1,23	0,67	0,46	5,46	2,52	17,46	6,17
03.07.2012	0,40	0,15	0,41	0,59	17,46	0,72	1,19	0,65	0,40	4,65	1,84	19,30	4,85
04.07.2012	0,40	0,15	0,42	0,58	19,30	0,66	1,18	0,65	0,35	5,01	1,74	21,04	5,02
05.07.2012	0,40	0,15	0,42	0,58	21,04	0,59	1,15	0,64	0,30	3,95	1,20	22,24	3,72
06.07.2012	0,40	0,15	0,45	0,55	22,24	0,55	1,16	0,67	0,27	4,68	1,27	23,50	4,39
07.07.2012	0,40	0,15	0,47	0,53	23,50	0,50	1,17	0,69	0,24	5,07	1,21	24,71	4,70
08.07.2012	0,40	0,15	0,48	0,52	24,71	0,46	1,15	0,69	0,21	5,04	1,06	25,77	4,54
09.07.2012	0,40	0,15	0,48	0,52	25,77	0,42	1,13	0,68	0,18	4,70	0,86	26,63	4,07
10.07.2012	0,40	0,15	0,52	0,48	26,63	0,38	1,17	0,74	0,16	3,65	0,60	27,23	3,31
11.07.2012	0,40	0,15	0,54	0,46	0,00	1,00	1,16	0,75	0,41	5,04	2,06	2,06	5,82
12.07.2012	0,40	0,15	0,55	0,45	2,06	1,00	1,15	0,75	0,39	4,74	1,85	3,91	5,43
13.07.2012	0,40	0,15	0,58	0,42	3,91	1,00	1,18	0,80	0,37	5,48	2,05	5,96	6,45
14.07.2012	0,40	0,15	0,58	0,42	5,96	1,00	1,13	0,78	0,36	4,68	1,67	7,62	5,30
15.07.2012	0,40	0,15	0,61	0,39	7,62	1,00	1,14	0,80	0,34	4,72	1,60	9,22	5,39
16.07.2012	0,40	0,15	0,63	0,37	9,22	1,00	1,15	0,83	0,32	5,09	1,64	10,86	5,85
17.07.2012	0,40	0,15	0,66	0,34	10,86	0,97	1,20	0,89	0,29	5,35	1,58	12,43	6,35
18.07.2012	0,60	0,15	0,77	0,23	12,43	0,91	1,25	1,05	0,18	6,26	1,14	13,57	7,74
19.07.2012	0,60	0,15	0,77	0,23	13,57	0,87	1,23	1,03	0,17	6,64	1,15	14,73	8,02

Ek Çizelge 2. (Devam) Dual k_c bileşenleri ve hesaplanan bitki su tüketim değerleri (2012)

Tarih	h m	K_c min	f_c	f_{ew}	$D_{e\ start}$ mm	K_r	k_c max	k_{cb}	K_e	ET_o mm	$K_e * ET_o$ mm gün ⁻¹	$D_{e\ end}$ mm	ET_c mm gün ⁻¹
20.07.2012	0,60	0,15	0,76	0,24	0,00	1,00	1,20	1,00	0,20	5,53	1,11	1,11	6,61
21.07.2012	0,60	0,15	0,75	0,25	1,11	1,00	1,16	0,96	0,20	5,10	1,02	2,13	5,93
22.07.2012	0,60	0,15	0,75	0,25	2,13	1,00	1,17	0,97	0,20	5,39	1,08	3,20	6,28
23.07.2012	0,60	0,15	0,76	0,24	3,20	1,00	1,20	1,00	0,20	5,44	1,09	4,29	6,54
24.07.2012	0,60	0,15	0,74	0,26	4,29	1,00	1,13	0,93	0,20	5,32	1,06	5,36	6,00
25.07.2012	0,60	0,15	0,73	0,27	5,36	1,00	1,09	0,89	0,20	4,16	0,83	6,19	4,52
26.07.2012	0,60	0,15	0,73	0,27	6,19	1,00	1,09	0,89	0,20	4,30	0,86	7,05	4,68
27.07.2012	0,60	0,15	0,75	0,25	7,05	1,00	1,14	0,94	0,20	4,95	0,99	8,04	5,66
28.07.2012	0,60	0,15	0,77	0,23	8,04	1,00	1,24	1,04	0,20	7,29	1,46	9,50	9,04
29.07.2012	0,60	0,15	0,77	0,23	9,50	1,00	1,25	1,05	0,20	8,07	1,61	11,11	10,08
30.07.2012	0,60	0,15	0,76	0,24	11,11	1,00	1,22	1,02	0,20	5,73	1,15	12,26	7,00
31.07.2012	0,60	0,15	0,77	0,23	12,26	1,00	1,24	1,04	0,20	6,25	1,25	13,51	7,77
01.08.2012	0,60	0,15	0,75	0,25	13,51	0,87	1,16	0,96	0,17	5,99	1,04	14,55	6,78
02.08.2012	0,60	0,15	0,76	0,24	0,00	1,00	1,18	0,98	0,20	6,00	1,20	1,20	7,08
03.08.2012	0,60	0,15	0,74	0,26	1,20	1,00	1,14	0,94	0,20	5,12	1,02	2,22	5,81
04.08.2012	0,60	0,15	0,74	0,26	2,22	1,00	1,12	0,92	0,20	4,56	0,91	3,14	5,11
05.08.2012	0,60	0,15	0,75	0,25	3,14	1,00	1,15	0,95	0,20	4,53	0,91	4,04	5,23
06.08.2012	0,60	0,15	0,76	0,24	4,04	1,00	1,19	0,99	0,20	4,95	0,99	5,03	5,90
07.08.2012	0,60	0,15	0,75	0,25	5,03	1,00	1,17	0,97	0,20	4,45	0,89	5,92	5,22
08.08.2012	0,60	0,15	0,76	0,24	5,92	1,00	1,21	1,01	0,20	5,36	1,07	6,99	6,47

Ek Çizelge 2. (Devam) Dual k_c bileşenleri ve hesaplanan bitki su tüketim değerleri (2012)

Tarih	h m	K_c min	f_c	f_{ew}	$D_{e\ start}$ mm	K_r	k_c max	k_{cb}	K_e	ET_o mm	$K_e * ET_o$ mm gün ⁻¹	$D_{e\ end}$ mm	ET_c mm gün ⁻¹
09.08.2012	0,60	0,15	0,75	0,25	6,99	1,00	1,16	0,96	0,20	4,97	0,99	7,99	5,78
10.08.2012	0,60	0,15	0,77	0,23	7,99	1,00	1,23	1,03	0,20	5,12	1,02	9,01	6,29
11.08.2012	0,60	0,15	0,77	0,23	9,01	1,00	1,23	1,03	0,20	5,35	1,07	10,08	6,58
12.08.2012	0,60	0,15	0,75	0,25	10,08	1,00	1,17	0,97	0,20	4,74	0,95	11,03	5,52
13.08.2012	0,60	0,15	0,75	0,25	11,03	1,00	1,17	0,97	0,20	4,86	0,97	12,00	5,70
14.08.2012	0,60	0,15	0,75	0,25	12,00	1,00	1,17	0,97	0,20	4,62	0,92	12,92	5,40
15.08.2012	0,60	0,15	0,75	0,25	0,00	1,00	1,14	0,94	0,20	3,40	0,68	0,68	3,87
16.08.2012	0,60	0,15	0,75	0,25	0,68	1,00	1,17	0,97	0,20	4,55	0,91	1,59	5,31
17.08.2012	0,60	0,15	0,76	0,24	1,59	1,00	1,18	0,98	0,20	4,86	0,97	2,56	5,74
18.08.2012	0,60	0,15	0,77	0,23	2,56	1,00	1,24	1,04	0,20	5,60	1,12	3,68	6,96
19.08.2012	0,60	0,15	0,77	0,23	3,68	1,00	1,25	1,05	0,20	5,99	1,20	4,88	7,50
20.08.2012	0,60	0,15	0,76	0,24	4,88	1,00	1,22	1,02	0,20	5,93	1,19	6,07	7,25
21.08.2012	0,60	0,15	0,75	0,25	6,07	1,00	1,17	0,97	0,20	4,65	0,93	6,99	5,42
22.08.2012	0,60	0,15	0,76	0,24	6,99	1,00	1,18	0,98	0,20	4,50	0,90	7,89	5,32
23.08.2012	0,60	0,15	0,76	0,24	7,89	1,00	1,18	0,98	0,20	4,29	0,86	8,75	5,06
24.08.2012	0,60	0,15	0,76	0,24	8,75	1,00	1,19	0,99	0,20	4,87	0,97	9,73	5,81
25.08.2012	0,60	0,15	0,75	0,25	9,73	1,00	1,14	0,94	0,20	4,60	0,92	10,65	5,26
26.08.2012	0,60	0,15	0,74	0,26	10,65	1,00	1,11	0,91	0,20	4,00	0,80	11,45	4,45
27.08.2012	0,60	0,15	0,75	0,25	11,45	1,00	1,18	0,98	0,20	4,38	0,88	12,32	5,15
28.08.2012	0,60	0,15	0,77	0,23	12,32	1,00	1,23	1,03	0,20	5,05	1,01	13,33	6,23

Ek Çizelge 2. (Devam) Dual k_c bileşenleri ve hesaplanan bitki su tüketim değerleri (2012)

Tarih	h m	K_c min	f_c	f_{ew}	$D_{e\ start}$ mm	K_r	k_c max	k_{cb}	K_e	ET_o mm	$K_e * ET_o$ mm gün ⁻¹	$D_{e\ end}$ mm	ET_c mm gün ⁻¹
29.08.2012	0,60	0,15	0,76	0,24	13,33	1,00	1,20	1,00	0,20	5,05	1,01	14,34	6,05
30.08.2012	0,60	0,15	0,76	0,24	0,00	0,82	1,19	0,99	0,16	4,64	0,76	0,76	5,34
31.08.2012	0,60	0,15	0,76	0,24	0,76	1,38	1,20	1,00	0,28	4,26	1,18	1,94	5,46
01.09.2012	0,60	0,15	0,76	0,24	1,94	1,00	1,21	1,01	0,20	4,43	0,89	2,83	5,35
02.09.2012	0,60	0,15	0,76	0,24	2,83	1,00	1,20	1,00	0,20	4,30	0,86	3,68	5,15
03.09.2012	0,60	0,15	0,76	0,24	3,68	1,00	1,21	1,01	0,20	5,02	1,00	4,69	6,07
04.09.2012	0,60	0,15	0,76	0,24	4,69	1,00	1,19	0,99	0,20	4,79	0,96	5,65	5,69
05.09.2012	0,60	0,15	0,75	0,25	0,00	1,00	1,16	0,96	0,20	3,29	0,66	0,66	3,81
06.09.2012	0,60	0,15	0,74	0,26	0,66	1,00	1,13	0,93	0,20	3,08	0,62	1,28	3,47
07.09.2012	0,60	0,15	0,76	0,24	1,28	1,00	1,21	1,01	0,20	3,70	0,74	2,01	4,47
08.09.2012	0,60	0,15	0,77	0,23	2,01	1,00	1,23	1,03	0,20	4,38	0,88	2,89	5,38
09.09.2012	0,60	0,15	0,75	0,25	2,89	1,00	1,15	0,95	0,20	3,50	0,70	3,59	4,01
10.09.2012	0,60	0,15	0,77	0,23	3,59	1,00	1,24	1,04	0,20	4,69	0,94	4,53	5,81
11.09.2012	0,60	0,15	0,77	0,23	0,00	1,00	1,23	1,03	0,20	4,36	0,87	0,87	5,37
12.09.2012	0,60	0,15	0,75	0,25	0,87	1,00	1,18	0,98	0,20	3,87	0,77	1,65	4,55
13.09.2012	0,60	0,15	0,74	0,26	1,65	1,00	1,12	0,92	0,20	2,75	0,55	2,20	3,07
14.09.2012	0,60	0,15	0,74	0,26	2,20	1,00	1,11	0,91	0,20	2,62	0,52	2,72	2,92
15.09.2012	0,60	0,15	0,75	0,25	0,00	1,00	1,16	0,96	0,20	2,75	0,55	0,55	3,19
16.09.2012	0,60	0,15	0,76	0,24	0,55	1,00	1,19	0,99	0,20	4,47	0,89	1,44	5,34
17.09.2012	0,60	0,15	0,75	0,25	1,44	1,00	1,16	0,96	0,20	3,97	0,79	2,24	4,62

Ek Çizelge 2. (Devam) Dual k_c bileşenleri ve hesaplanan bitki su tüketim değerleri (2012)

Tarih	h m	$K_{c \text{ min}}$	f_c	f_{ew}	$D_{e \text{ start}}$ mm	K_r	$k_{c \text{ max}}$	k_{cb}	K_e	ET_o mm	$K_e * ET_o$ mm gün ⁻¹	$D_{e \text{ end}}$ mm	ET_c mm gün ⁻¹
18.09.2012	0,60	0,15	0,74	0,26	2,24	1,00	1,11	0,91	0,20	2,80	0,56	2,80	3,10
19.09.2012	0,60	0,15	0,74	0,26	2,80	1,00	1,12	0,92	0,20	2,95	0,59	3,39	3,31
20.09.2012	0,60	0,15	0,74	0,26	3,39	1,00	1,10	0,90	0,20	2,60	0,52	3,91	2,87
21.09.2012	0,60	0,15	0,76	0,24	3,91	1,00	1,20	1,00	0,20	3,74	0,75	4,66	4,50
22.09.2012	0,60	0,15	0,75	0,25	4,66	1,00	1,17	0,97	0,20	3,62	0,72	5,38	4,24
23.09.2012	0,50	0,15	0,52	0,48	0,00	1,00	1,14	0,74	0,40	3,03	1,21	1,21	3,45
24.09.2012	0,50	0,15	0,52	0,48	1,21	1,00	1,13	0,73	0,40	3,08	1,23	2,44	3,49
25.09.2012	0,50	0,15	0,52	0,48	2,44	1,00	1,14	0,74	0,40	2,32	0,93	3,37	2,63
26.09.2012	0,50	0,15	0,51	0,49	3,37	1,00	1,11	0,71	0,40	2,24	0,90	4,27	2,49
27.09.2012	0,50	0,15	0,52	0,48	4,27	1,00	1,13	0,73	0,40	2,65	1,06	5,33	2,99
28.09.2012	0,50	0,15	0,52	0,48	5,33	1,00	1,13	0,73	0,40	2,93	1,17	6,50	3,30
29.09.2012	0,50	0,15	0,51	0,49	6,50	1,00	1,10	0,70	0,40	2,44	0,97	7,47	2,69
30.09.2012	0,50	0,15	0,51	0,49	7,47	1,00	1,11	0,71	0,40	2,38	0,95	8,43	2,66
01.10.2012	0,50	0,15	0,52	0,48	8,43	1,00	1,12	0,72	0,40	1,94	0,77	9,20	2,18

ÖZGEÇMİŞ

Bulgaristan'ın Kırcaali ilinde, 1983 yılında doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Lüleburgaz'da tamamladı. Trakya Üniversitesi Tekirdağ Ziraat Fakültesi'nde, 2004 yılında, Lisans eğitimine başladı, 2009 yılında mezun oldu. Askerlik görevini 2010 yılında tamamladı ve aynı yıl Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalında yüksek lisansa başladı.