

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SERA KOŞULLARINDA BİBERİN BİTKİ SU STRESİ İNDEKSİ İLE VERİM
İLİŞKİSİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Demet YILDIRIM

Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı

**KASIM 2012
SAMSUN**



**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA ANABİLİM DALI

**SERA KOŞULLARINDA BİBERİN BİTKİ SU STRESİ İNDEKSİ İLE VERİM
İLİŞKİSİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS

**Demet YILDIRIM
08210307**

Tezin Savuma Tarihi : 30.11.2012

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Bilal CEMEK

Bu Yüksek Lisans Tez Çalışması Ondokuz Mayıs Üniversitesi
PYO.ZRT.1904.10.0029' nolu Proje ile Desteklenmiştir.

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalında
Demet YILDIRIM Tarafından Hazırlanan

SERA KOŞULLARINDA BİBERİN BİTKİ SU STRESİ İNDEKSİ İLE
VERİM İLİŞKİSİNİN BELİRLENMESİ

başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından 30.11.2012 tarihinde yapılan sınav ile
YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Sezgin UZUN
Ondokuz Mayıs Üniversitesi



B. Cemek

Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Bilal CEMEK
Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Doç. Dr. Eyüp Selim KÖKSAL
Ondokuz Mayıs Üniversitesi



30/11/2012

Prof. Dr. Recep TAPRAMAZ
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu konuda tez hazırlama olanağı sağlayan, tez’ in yürütülmesinde ve her konuda desteğini aldığım sayın hocam Prof. Dr. Bilal CEMEK’ e, tez denemesinin kurulmasın da ve verilerimin analizinde değerli görüşlerinden yararlandığım Doç.Dr. Eyüp Selim KÖKSAL’ a, deneme alanının sağlanmasında ve bu süre zarfında değerli bilgilerinden yaralandığım Prof. Dr. Sezgin UZUN ve Uzm. Dr. Harun ÖZER’ e, denemenin kurulması, ölçümlerin yapılmasında yardımcı olan Araş. Gör. Mehmet TAŞAN ve 2010 yılı yaz döneminde staj yapan bölümümüz öğrencilerine sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Lisans ve Yüksek Lisans eğitim ve öğretim hayatım boyunca beni yetiştiren, engin bilgilerinden yararlandığım ve her konuda bana destek olan Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü hocalarıma, maddi ve manevi destekleriyle her zaman yanımda olan aileme teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması Ondokuz Mayıs Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından desteklenmiştir. Denememin yürütülmesinde PYO. ZRT. 1904.10.029’ nolu proje kapsamında destek veren Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu’ na teşekkürlerimi sunarım.

Kasım 2012

Demet YILDIRIM
Ziraat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
KISALTMALAR	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1 Literatür Araştırması	3
1.1.1 Su verim ilişkisi ile ilgili çalışmalar.....	3
1.1.2 Bitki su stresi indeksi ile ilgili yapılan çalışmalar	5
1.1.3 Sera ortamında bitki su stresi üzerine yapılan çalışmalar	10
2. MATERYEL ve YÖNTEM.....	15
2.1 Materyal	15
2.1.1 Araştırma yeri	15
2.1.2 Araştırma alanının iklim özellikleri	16
2.1.3 Araştırma alanının toprak özellikleri	18
2.1.4 Araştırmada kullanılan sulama suyu ve özellikleri	18
2.1.5 Araştırmada kullanılan biber bitkisinin özellikleri	18
2.1.6 Araştırmada kullanılan ölçüm aletleri	19
2.1.6.1 Meteorolojik aletler.....	19
2.1.6.2 İnfrared termometre aleti.....	19
2.2 Yöntem.....	20
2.2.1 Deneme metodu ve araştırma konuları	20
2.2.2 Toprak suyu ölçümü.....	23
2.2.3 Çalışmada yapılan gözlemler ve laboratuvar analizleri ile elde edilen parametreler	23
2.2.3.1 Hava sıcaklığı ve buhar basıncı açığı (VPD) belirlenmesi	23
2.2.3.2 Yaprak alan indeksi (YAI).....	24
2.2.3.3 Yaprak su içeriği (YSİ)	24
2.2.4 Bitki su stresi indeksi (CWSI)	25
2.2.5 Meyve kalite ve verim değerlendirilmesi.....	27
3. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	29
3.1 Sulama Suyu ve Bitki Su Tüketimi Bulguları.....	29
3.2 Biber Meyve Kalitesi ve Verim Parametreleri Bulguları.....	29
3.2.1 Yaprak alan indeksi bulguları	31
3.2.2 Yaprak su içeriği bulguları.....	32
3.3 Buhar Basıncı Açığı (VPD) ve Bitki Örtü İle Hava Sıcaklığı Farkı (Tc-Ta) Değişim Bulguları.....	33

3.4 Bitki Su Stresi İndeksi (CWSI) Bulguları	36
4. TARTIŞMA VE SONUÇ	39
4.1 Sulama Suyu ve Verime İlişkin Analizler	39
4.2 Biber Meyve Kalite Parametrelerine İlişkin Analizler	40
4.3 Toprak Su İçeriğine İlişkin Analizler	41
4.4 Tc-Ta Değişiminin YSİ ve YAI' ne İlişkin İstatistiksel Analizler	42
4.5 CWSI Değişiminin YSİ ve YAI' ne İlişkin İstatistiksel Analizler	43
4.6 Biber Verimi ve Kalite Parametrelerine İlişkin İstatistiksel Analizleri	43
4.7 Sonuç ve Öneriler	45
KAYNAKLAR	49
ÖZGEÇMİŞ	57

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: Araştırma alanına ilişkin uzun yıllık ortalama iklimsel veriler	17
Çizelge 2.2: Denemenin yürütüldüğü 2010 yılına ait bazı iklim verileri	17
Çizelge 2.3: Deneme serası topraklarının fiziksel özellikleri	18
Çizelge 2.4: Araştırma alanında kullanılan sulama suyu kalitesine ilişkin analiz sonuçları	18
Çizelge 2.5: Deneme konuları ve sulama suyu uygulamaları	21
Çizelge 2.6: Denemede yapılan tarımsal işlemler	23
Çizelge 3.1: Deneme konularına göre biber meyvesi boy, çap ve meyve et kalınlıkları değerlendirilmesi	30
Çizelge 3.2: Deneme konularına göre biber verimi	30
Çizelge 4.1: Biber verimi varyans analizi	40
Çizelge 4.2: Deneme konularına ilişkin biber verimi ve Duncan sınıflandırılması ...	40
Çizelge 4.3: Biber kalite parametreleri için varyans analizi	41
Çizelge 4.4: Deneme konularına ilişkin biber kalite parametreleri ve Duncan sınıflandırılması	41
Çizelge 4.5: Toprak su içeriği ile Tc-Ta, CWSI, YSI ve YAI istatistik analiz sonuçları	42
Çizelge 4.6: Tc-Ta ile YSI ve YAI istatistik analiz sonuçları	42
Çizelge 4.7: CWSI ile YSI ve YAI istatistik analiz sonuçları	43
Çizelge 4.8: Biber verimi ile göstergeler arasındaki istatistiksel analiz sonuçları	44
Çizelge 4.9: CWSI ile biber meyve kalite parametreleri arasındaki istatistiksel analiz sonuçları	45

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Deneme alanının coğrafik yeri ve araştırma seraları.....	15
Şekil 2.2: Hava sıcaklığı ve oransal nem ölçümünde kullanılan a)Termohigrograf, b) KISTOCK datalogger.....	19
Şekil 2.3: Sera içi ölçümlerde kullanılan Infrared termometre cihazı.....	20
Şekil 2.4: Serada biber bitkisi deneme planı ve damla sulama sistemi tesisi.....	22
Şekil 2.5:Denemenin kurulması a)Damla sulama sisteminin kurulması, b)Masura sisteminin oluşturulması, c)Biber fidelerinin dikilmesi	22
Şekil 3.1: FAO 56' dan elde edilen kc grafiği	29
Şekil 3.2: Deneme konularına göre hasat edilen biber meyvesi.....	31
Şekil 3.3: Deneme konularına göre biber için YAI değişimi	31
Şekil 3.4: Deneme konularına göre belirli zamanlarda yaprak su içeriği değişimi	32
Şekil 3.5: Deneme konularına göre gün boyu ölçülen yaprak su içeriği değişimi	33
Şekil 3.6: Serada yetiştirme döneminde Ta ve buhar basıncı açığı (VPD) değişimi	33
Şekil 3.7: Serada gün boyu ölçülen Ta ve VPD değişimi	34
Şekil 3.8: Serada yetiştirme dönemi boyunca deneme konularına göre Tc-Ta değişimi	35
Şekil 3.9: Serada deneme konularına göre gün boyu hesaplanan Tc-Ta değişimi	36
Şekil 3.10: Biber için bitki su stresi indeksi (CWSI) hesaplamada kullanılan temel grafik	37
Şekil 3.11: Yetiştirme dönemi boyunca konulara göre CWSI değişimi	38
Şekil 4.1: Sulama suyuna karşın biber verim değişimi	39

KISALTMALAR

α	: Albedo
CWSI	: Bitki su stres indeksi
ET_o	: Referans bitki su tüketimi
ET_c	: Bitki su tüketimi
LL	: Alt limit değeri
T_c	: Bitki yüzey sıcaklığı
T_a	: Hava sıcaklığı
T_c-T_a	: Bitki örtü - hava sıcaklığı farkı
UL	: Üst limit değeri
VPD	: Buhar basıncı açığı
YAI	: Yaprak alan indeksi
YSİ	: Yaprak su içeriği

SERA KOŞULLARINDA BİBERİN BİTKİ SU STRESİ İNDEKSİ İLE VERİM İLİŞKİSİNİN BELİRLENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada bitki su stres indeksi (CWSI) infrared termometre kullanılarak sera koşullarında belirlenmeye çalışıldı. Sera koşullarında yetiştirilen biber bitkisi için CWSI modeli bitkinin enerji dengesi ve termodinamik prensipler ele alınarak belirlendi.

Deneme 2010 yılı yaz döneminde kurulmuş ve farklı sulama düzeylerinin biber gelişimi ve verimi üzerine etkileri araştırılmıştır. Deneme de Bafra Demre hibrit biber çeşidi kullanılmış ve dört farklı sulama konusu (S1 tam sulama, S2 % 70 sulama, S3 % 30 sulama, S4 susuz) oluşturulmuştur. Deneme konularında yaprak alan indeksi (YAI), yaprak su içeriği (YSİ) gibi bazı parametreler izlenmiştir. Sulama suyu konularına göre örtü yüzeyi ile hava sıcaklığı farkı ($T_c - T_a$) hesaplanarak, CWSI belirlenmiştir. Deneme konularında en yüksek verim S1 konusunda (3077.1 kg/da) elde edilmiş ve sırasıyla S2 (2532.5 kg/da), S3 (2329.5 kg/da) ve S4 (1466.6 kg/da) olarak belirlenmiştir. Bunların sonucunda verim ile $T_c - T_a$ ve CWSI arasında yüksek korelasyon ($r = 0.94$, $r = 0.93$) elde edilmiştir.

Sera koşulları altında damla sulamayla sulanan biber için CWSI eşik değerinin 0.15 olması biber için en uygun sulama seviyesi olarak önerilmiştir. Bunun yanı sıra bitki örtü sıcaklığına dayalı indeksler kullanılarak sulama zamanının ve verimin tahmin edilebileceği ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Biber, Bitki su tüketimi, Su kısıtı, Bitki su stres indeksi, Sera, Samsun

RELATIONSHIPS BETWEEN WATER STRESS INDEX AND YIELD of PEPPER in GREENHOUSE

ABSTRACT

Crop water stress index (CWSI) under greenhouse conditions was determined with infrared thermometers in present study. CWSI model for pepper was created by using plant energy balance and thermodynamic principles.

Experiments were carried out during the summer of 2010 and effects of different irrigation water levels on pepper growth and yield were investigated. Bafra-Demre hybrid pepper cultivar was used as the plant material of experiments with four different irrigation treatments (S1-full irrigation; S2- 70% irrigation; S3-30% irrigation; S4-non irrigated). Leaf area index (LAI) and leaf moisture content (LMC) of treatments were observed. Plant cover ratio and air temperature differences ($T_c - T_a$) were calculated to determine CWSI. While the highest yield was observed in S1 (3077.1 kg/da), it was followed by S2 (2532.5 kg/da), S3 (2329.5 kg/da) and S4 (1466.6 kg/da). High correlations were observed between yield and $T_c - T_a$ and CWSI ($r = 0.94$, $r = 0.93$).

A threshold value of 0.15 was recommended for CWSI of pepper under greenhouse conditions with drip irrigation. It was also proposed that irrigation scheduling and yield estimations might also be performed based on plant cover temperature-dependent indexes.

Key Words: Pepper, plant water consumption, water deficit, plant water stress index, greenhouse, Samsun.

1. GİRİŞ

Giderek artan dünya nüfusuna karşın gıda maddeleri üretiminin yetersiz kalması, beslenme problemini ortaya çıkarmaktadır. İnsanların sürekli olarak düzenli beslenmesi için hem tarımsal üretimin arttırılması hem de üretim alanlarının genişletilmesi gerekmektedir. Seracılığın hızlı bir gelişme gösterdiği Samsun ilinde, seralarda daha verimli bitkisel üretimin gerçekleştirilmesi, bitki büyüme, gelişme ve verimini etkileyen kültürel uygulamalar yanında elverişli iç ortam çevre koşullarının sağlanabilmesi için etkin bir sulama sisteminin kurulmasıyla bitkinin ihtiyacı olan suyun karşılanabilmesi gerekmektedir. Çiftçilerin toprak, su vb. gibi üretim faktörlerini en etkili biçimde kullanması sağlanmalıdır.

Ülkemizde tarım alanlarının azalması buna karşılık nüfusun hızlı bir şekilde artması ve birim alandan alınan ürün miktarının yeterli olmaması nedeni ile verimi artırıcı birtakım önlemlerin alınması gerekmektedir. Bu önlemler, tarımsal üretimde çağdaş teknolojinin gerektirdiği girdilerin sağlanması ve dağıtılmasının yanı sıra, sebze ve meyve üretiminin geliştirilmesi için seracılığın yaygınlaştırılmasıdır.

Gelişen ekonomik koşulları örtü altı yetiştiriciliğini ekonomik hale getirmiş ve sebzeçiliği geliştirme çalışmaları içinde örtü altı yetiştiricilik çalışmaları önem kazanmıştır. Türkiye’de örtü altı yetiştiriciliğinde 1975’ den itibaren büyük ilerlemeler kaydedilmiştir. Türkiye seracılığı gelişmekte olan ülkeler ve az gelişmiş ülkeler grubunda önemli bir yer tutmaktadır (Tüzel, 2003). Seracılığın yaygınlaştırılması üretimden elde edilen kazancın cazibesine bağlıdır. Kalite yüksekliği ve zamanlama ise iklimsel faktörlerin kontrolü ile mümkün olabilmektedir.

Bitkilerin ihtiyaç duyduğu zamanda ve ihtiyaç duyduğu kadar bir sulama ile kullanılan sudan önemli ölçüde tasarruf sağlanabilir. Aksi takdir de, bilinçsiz su kullanımı çevresel ve ekonomik problemlere yol açmaya devam edecektir. Bu nedenle, sulama zamanının planlanmasında hassas, güvenilir, basit, ucuz ve bitki su stresini doğrudan belirleyen bir yöntemin önemi çok büyüktür. Toprak su açığının

belirli bitki ve toprak koşulları için bazı eşik düzeylerin altına düşmesi sulama planlanmasını içermektedir (Ritchie ve Johnson, 1990). Su kaynaklarından en iyi şekilde yararlanmanın temel koşulu toprak, iklim ve bitki etmenlerine bağlı olan sulama zamanı ve miktarı arasındaki ilişkinin bilinmesidir (James ve diğ., 1982). Sulama planlaması için kullanılan en önemli parametrelerden birisi bitki su stresinden faydalanmaktır. Bitki yaprak sıcaklığına bakılarak bitki su stresi ortaya çıkarılması uzun bir süredir dikkate alınan bir uygulamadır (Taner, 1963; Ehrler ve diğerleri, 1978a; 1978b; Gençdoğan ve Yazar, 1999). Bitki örtü ile hava sıcaklığı farkından ve havanın buhar basıncı açığından yararlanılarak oluşturulan bitki su stresi indeksi (CWSI), son 20 yılda sulama programlamasında başarıyla kullanılmıştır (English and Raja, 1996).

Sulamaya ayrılan su miktarı, endüstriyel ve kentsel kullanımın yanında çevre kirliliği nedeniyle giderek azalmaktadır. Bunun sonucunda, sulama şebekelerinin kısıntılı su kullanma koşullarına göre planlanması ve işletilmesi için öncelikle verim ile sulama suyu arasındaki ilişkilere gereksinim duyulmaktadır (Smith, 1984). Kısıtlı sulama genellikle meyve sayısı ile meyve ağırlığında azalmalara sebep olmakta ve toplam verimi düşürmektedir; ayrıca başta çatlama olmak üzere bazı meyve kalite özelliklerini olumsuz etkilediği bildirilmektedir (Matthews ve Anderson, 1988).

Bu araştırmada Samsun'da sera ortamında yetiştirilen biber bitkisinin sulama suyu gereksiniminin ve sulama programlamasının belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma denemesi, Samsun Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi deneme seralarında kurulmuştur. Sera ortamında farklı sulama suyu konuları oluşturulup damla sulama sistemi kullanılarak Bafra Demre hibrit biber çeşidi üzerinde CWSI ilişkilendirilmesi yapılmıştır. Bu çalışma ile biber için dört farklı sulama suyu konularının biberde bitki örtüsü ve hava sıcaklığı farkı ($T_c - T_a$), buhar basıncı açığı (VPD)' dan yararlanarak CWSI değişimi irdelenmiştir. Farklı sulama suyu düzeylerinde biber verimi ve kalite parametreleri üzerine etkileri incelenmiştir.

1.1 Literatür Araştırması

1.1.1 Su verim ilişkisi ile ilgili çalışmalar

Palevitch ve diğ. (1980), biberin çiçeklenme ve olgunlaşması sırasındaki sulamaların maksimum verim için çok önemli olduğunu belirtmişlerdir.

Brezilya’ da yapılan bir çalışmada, damla sulama sistemi ile farklı sulama suyu miktarı ve sulama aralığının biber bitkisi verimi ve verim bileşenleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Çalışmada; 2, 4 ve 6 mm günlük sulama suyu miktarları, 1, 2 ve 3 günlük sulama aralıkları uygulanmışlardır. En geniş sulama aralığında, uygulanan su miktarı azaldıkça meyve et kalınlığının da azalma gözlemlenmiştir (Caixeta ve diğ., 1981).

Wankade ve Morey (1985), iki yıl süreyle yürüttükleri çalışmada, biber için A sınıfı buharlaşma kabından olan buharlaşmanın 0.4, 0.6 ve 0.8 katı sulama suyu uygulamışlar ve mevsimlik sulama suyu ihtiyacını sırasıyla ortalama 444, 521, 717 mm ve bitki su tüketimini 652, 926, 1093 mm olarak belirlemişlerdir. En yüksek meyve verimi ve kuru madde miktarı buharlaşma kabından olan buharlaşmanın 0.6 katı kadar sulama uygulandığı koşulda elde etmişlerdir.

Topçu (1998), yüksek tünellerde yetiştirilen biber bitkisi (*Capsium annum var grossum*) için damla sulama sistemi kullanarak sulama sıklığının verim ve kalite üzerine etkisini araştırmışlardır. Sulama sıklığı günlük ve üç günlük olarak yapılmış. Elde edilen sonuçlar, seralarda yetiştirilen biberin verimi üzerinde çalışma konularının önemli etkilerinin olduğu belirlenmiş. Bu nedenle kalite yönünden bir farklılık gözlenmemiş olmasına karşın günlük sulamalarla verimde önemli artışlar bulmuşlardır.

Çelik (1991), Tokat-Kazova koşullarında yetiştirilen biberin su tüketim değerlerini ve uygulanan sulama programlarının verime olan etkisini belirlemek amacıyla bir çalışma yürütmüştür. Araştırmacı, çalışmasında 5 farklı sulama suyu konusu incelemiş ve gravimetrik yöntemle göre belirlenen sulama suyu miktarını karık sulama yöntemi kullanarak ilgili konulara uygulamıştır. Çalışmada, Kazova koşullarında etkili kök bölgesindeki elverişli nemin % 40 seviyesine düştüğü koşulda sulamaların yapılması gerektiği belirlenmiştir. Bu koşulda en yüksek verimin elde edilebileceği (1938 kg/da) belirlenmiştir.

Leon ve diğ. (1991), üç yıllık bir tarla denemesinde biber için, büyüme periyodu süresince toprak elverişli neminin % 75' i ve % 85' i düzeyinde sulama suyu uygulamışlar ve büyüme döneminde toplam 7 sulama yapmışlardır. Sonuçta, en yüksek verim (19.5 t/ha) % 85' i düzeyinde sulama yapılan konudan elde etmişlerdir.

Ul ve diğ. (1994), 1992-1993 yıllarında iki yıllık yapmış oldukları çalışmada sonbahar dönemi sera domates yetiştiriciliğinde farklı su düzeylerinin verim ve kalite üzerine etkilerini araştırmışlardır. Bu amaçla 0.75-2.00 arasında katsayılar uygulamışlardır. Konulara uyguladıkları su miktarları 62-171 mm, verim değerlerini ise 3734-4492 kg/m² arasında bulmuşlardır. Meyvede toplam kuru madde miktarı ve pH etkilenmiş, toplam suda çözünebilir kuru madde ve titre edilebilir asitlik değerlerini etkilenmediğini belirlemişlerdir.

Yıldırım ve diğ. (1994 a,b), Ankara koşullarında damla sulama yöntemiyle sulanan biberde (*Capsicum annuum* Cv. Çetinel 150) uygun sulama aralığı ve sulama suyu ihtiyacını belirlemek amacı ile yürüttükleri çalışmada parsellere 1 gün, 2 gün ve 4 gün aralıkda A sınıfı buharlaşma kabından ölçülen buharlaşma miktarının % 50, % 75 ve % 100'ü kadar sulama suyu uygulamışlardır. Sonuçta, en yüksek biber verimi 4 gün ara ile sulanan, A sınıfı buharlaşma kabından ölçülen buharlaşma miktarının % 50'si kadar sulama suyu uygulanan konulardan elde etmişlerdir.

Ersöz ve Avcı (1999), Bafra ovası koşullarında yetiştirilen salçalık kırmızı biberde kısıtlı sulama suyu uygulayarak optimum sulama programını belirlemeye çalışmışlardır. Sonuçta 14 günde bir sulanan ve 0-60 cm' lik etkili kök derinliğindeki nemin tarla kapasitesine getirildiğinde I₁ konusuna uygulanan suyun % 40' ının verildiği I₄ konusunu bölge koşulları için önermişlerdir. Önerilen konuya ait toplam sulama suyu miktarını 160.6 mm, mevsimlik bitki su tüketimini 448.8 mm ve ortalama verimi ise 3416 kg/da olarak belirlemişlerdir.

Dağdelen ve diğ. (2002), Aydın ovası koşullarında sanayi biberi yetiştiriciliğinde kısıtlı sulama suyu uygulamalarının biberde verim ve bazı kalite kriterleri üzerine etkilerini araştırmışlardır. Bu çalışma sonucuna göre bitki gelişim dönemlerinde su kısıtı uygulanan konularda meyve boyu, meyve et kalınlığı, meyve ağırlığı, bitki boyu ve kuru madde (briks) miktarları üzerinde önemli değişikliklerin olduğunu, pH ve renk üzerinde ise önemsiz olduğunu belirlemişlerdir.

Erken (2004), Çanakkale koşullarında damla sulama yöntemi ile sulanan biberde (*Capsicum annuum*) en uygun sulama programının ve sulama suyu miktarının belirlenmesini amaçlamıştır. A sınıfı buharlaşma kabından ölçülen buharlaşma miktarlarının değişik yüzdelerinde sulama suyu uygulamıştır. 2002 yılı için A sınıfı kaptan ölçülen buharlaşma miktarı 50 mm olduğunda buharlaşmanın $K1= 0.15$, $K2= 0.30$, $K3= 0.45$, $K4= 0.60$ ve $K5= 0.75$ katsayılarıyla çarpılarak bulunan sulama suyu miktarı mm olarak uygulanmış. 2003 yılında ise $K1= 0.20$, $K2= 0.40$, $K3= 0.60$, $K4= 0.80$ ve $K5= 1.00$ katsayılarıyla çarpılarak bulunan sulama suyu miktarları mm olarak uygulamıştır. Sonuçta, her iki yılda da sulama düzeylerinin meyve verimini etkilediği; en yüksek verimin ilk yıl $K5= 0.75$ konusundan 6888 kg/da; ikinci yıl $K5= 1.00$ konusundan 6564 kg/da olarak elde etmiştir. En yüksek verimin alındığı konularda birinci yıl 609 mm ikinci yıl 915 mm sulama suyu uygulanmıştır. En düşük meyve verimi ilk yıl $K1= 0.15$, ikinci yıl $K1= 0.20$ sulama konularından sırasıyla 2349 kg/da, 2139 kg/da olarak belirlemiştir.

Demirtaş ve Ayas (2009), sera koşullarında kısıtlı sulama suyu konularının biber üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada biber için A sınıfı buharlaşma ($K1_{cp} 1.00$, $K2_{cp} 0.75$, $K3_{cp} 0.50$, $K4_{cp} 0.25$, $K5_{cp} 0.0$ - kontrol) kabından olan buharlaşmayı göz önüne alarak % 100, % 75, % 50, % 25 ve % 0 (kontrol) olarak beş farklı sulama suyu konusu oluşturmuşlardır. Bitki için ortalama 64 - 724 mm arasında sulama suyu sağlanmış. Bitki su tüketimleri 115 - 740 mm arasında değişim göstermiştir. En yüksek verim $K1_{cp}$ ve $K2_{cp}$ konularında sırasıyla 24 ve 19 t/ha olarak belirlenmişlerdir. Sera koşullarında kısıtlı su kaynakları durumunda damla sulama sistemi tarafından biber sulaması için $K2_{cp}$ konusunu önermişlerdir.

1.1.2 Bitki su stresi indeksi ile ilgili yapılan çalışmalar

Idso ve diğ. (1981a)' da farklı bitkilerde ve değişik yerlerde bitki örtü ile hava sıcaklığı farkı ve buhar basıncı açığını (VPD) ölçmüşlerdir. Bulutluluk dışında diğer çevre etmenlerini ihmal ederek bitkilerin potansiyel evapotranspirasyon yaptığı koşullarda bitki örtü sıcaklığı (T_c) hava sıcaklığı (T_a) farkı ile VPD arasında doğrusal bir ilişki olduğunu öğle saatlerinde yaptıkları ölçümlerle göstermişlerdir.

Jackson ve diğ. (1981), Monteith (1973) tarafından verilen enerji dengesi eşitliğini kullanarak alt ve üst sınır değerlerini teorik olarak geliştirmiş ve anılan eşitliklerden yararlanarak teorik bitki su stresi indeksini hesaplamışlardır. Jackson ve

diğ. (1981) de yaptıkları çalışmada infrared termometre ile belirlenen bitki örtü sıcaklığı, ıslak ve kuru termometre ölçümü ve net radyasyon verileri, enerji denge yaklaşımından türetilen eşitliklerde kullanılarak CWSI hesaplanmıştır. Havanın buhar basıncı açığına dayalı Tc-Ta için teorik limitler geliştirilmiştir. Bu yolla belirlenen CWSI' nin, Penman-Monteith' e göre hesaplanan gerçek ET' nin potansiyel ET' ye oranının, 1' den farkına eşit olduğu ($CWSI = 1 - E_{ta}/E_{tp}$) ortaya konulmuştur. Yaklaşım bir buğday denemesi ile test etmişlerdir. Söz konusu indeksin faydaları ve kısıtlarını irdelemişlerdir.

Idso (1982), çeşitli bitkilere ilişkin hem deneysel hem de teorik olarak geliştirilen alt sınır ilişkilerinin bitkiye bağlı olduğunu deneysel olarak göstermiş ve bazı bitkilerin değişik fenolojik devreleri için alt sınırın farklı olduğunu da ortaya koymuştur. Teorik ve ampirik olarak belirlenen alt ve üst sınır çizgilerinden yararlanarak belirlenen CWSI 0 ile 1 arasında değiştiğini belirtmişlerdir.

Idso (1982), Tempa (Arizona)' da açık hava koşullarında 6 çeşit bitki için infrared termometre ve psikometre değerlerini kullanarak su stresinin olmadığı alt sınır eşitliklerini belirlemiştir. Tempa koşullarında, mısır bitkisinin vejetatif döneminde su stresinin olmadığı alt sınır $T_c - T_a = 3.11 - 1.97 VPD$ ($r = 0.985$) eşitliği ile verilmiştir.

O'toole ve Hatfield (1983), bitki su stresinin belirlenmesinde en kritik aşamaların bitkinin transpirasyon yapmadığı varsayılan üst limit (UL) ile potansiyel transpirasyon yaptığı varsayılan alt limit (LL) belirlenmesi gerektiğini vurgulamışlardır.

Idso ve diğ. (1984) yaptıkları çalışma ile bitki su stres indeksi (CWSI) hesabında kullanılmak üzere alt limit ve üst limite dayalı bir yöntem geliştirmişlerdir. Metodoloji hesaplamanın yapılacağı bitki için, potansiyel düzeyde transpirasyonun gerçekleştiği koşullarda ve transpirasyonun gerçekleşmediği koşulda Tc-Ta' ya karşın havanın VPD ilişkilerine dayalıdır. Çalışmada, ortaya atılan yaklaşım daha önce gerçekleştirilmiş arazi denemelerinin sonuçları ile test edilmiş ve su stresini belirlemede etkili olduğu belirtmişlerdir.

Arizona' da yürütülen bir çalışmada, CWSI ile verim ve sulama suyu arasında sıkı bir ilişkinin olduğu belirlenmiş. CWSI' i kullanılarak hem verim tahmini

yapılabileceği hem de mevcut sulama suyu miktarıyla sulama programı hazırlanarak, verimin en yüksek düzeye çıkarılabileceği belirlenmiştir (Fangmeier ve diğ., 1988).

Slack ve diğ. (1989), enerji dengesi eşitliğini kullanarak yetiştirme mevsimi boyunca CWSI' nin hesaplandığı alt sınırdaki değişimi belirlemişlerdir. Bu çalışmada, bitki boyu arttıkça hava direncinin azaldığı ve yaprak alan indeksi arttıkça da taç direncinin düştüğünü saptamışlardır. Sabit çevre koşulları altında bu iki etmenin birleşiminin, su stresinin olmadığı alt sınırın düşey eksen kesme değerini önemli derecede düşürdüğünü ve eğimi daha az etkilediğini belirlemişlerdir. Bu yaklaşımla elde edilen değerler ile ölçülen değerler arasında benzer sonuçlar bulmuşlardır.

Su stresinin olmadığı alt sınır eşitliğinin eğim ve arakesitinin, örtünün %70 düzeyine ulaşıncaya dek arttığı belirlenmiştir. Taç sıcaklığının 27.4 °C' den daha büyük olduğu koşullardaki ölçümlerden elde edilen, su stresinin olmadığı alt sınır çizgisinin eğimi ve korelasyon katsayısının günlük ölçümlerden elde edilenden daha büyük olduğunu bulmuşlardır (Wanjura ve diğ., 1990).

Inoue ve Moran (1997), yaptıkları çalışmada gerçek bitki transpirasyonunun günlük değerleri, farklı düzeylerde sulama suyu uygulanmış soya bitkisinde, sap akım ısı dengesine (SFG) göre belirlenmiştir. Potansiyel bitki örtü transpirasyonunun (Tr_p) anlık bir spektral vejetasyon indeksi ve günlük toplam güneş radyasyonu (R_s) ile ilişkili $Tr_p = \alpha SAVI R_s$ olarak belirlenmiştir. Burada albedo (α) soya fasulyesi için 0,28 alınmıştır. Günlük transpirasyonun belirlenmesinde bu basit eşitlik önerilmiştir. Metot ayrı olarak, gün ortası için belirlenmiş $T_c - T_a$ veya CWSI değerlerini temel girdi olarak kullanmaktadır. CWSI ve $T_c - T_a$ ' nın her ikisi de termal uzaktan algılama ile belirlenebilir. Anlık CWSI ve $T_c - T_a$ kullanılarak model yardımı ile hesaplanan Tr_p ile iyi bir korelasyona sahiptir. Çalışma sonucuna göre oldukça az veri gereksinimine sahip bu model ile anlık ve günlük transpirasyonunu kolaylıkla belirleneceğini önermişlerdir.

Yazar ve diğ. (1999), yaptıkları çalışmada LEPA ile sulanan mısır bitkisinde CWSI' nin değerlendirilmesi amacı ile bir çalışma yürütmüştür. Farklı düzeylerde sulama suyu uygulanmıştır. Çalışmanın yürütüldüğü koşullar için Idso ve diğ. (1981) yöntemine dayalı su stressiz hat belirlenmiştir. CWSI ile toprak su düzeyleri arasında

istatistiksel olarak önemli ilişkiler tespit edilmiş. En düşük verim düzeyleri bitki su stres indeksi 0.33 değerinin altına düştüğünde gerçekleşmiştir.

Xie ve diğ. (1999), 1995 ve 1996 yıllarında biber için üç farklı sulama metodu kullanarak CWSI değerlendirmesi yapmışlardır. Damla sulama sistemi ile hem günlük hem 3 günlük sulama konusu ve karık sulama yaparak üç farklı konu oluşturarak Ağustos ayı için CWSI belirlemiştir. Biberde 0.65 karık sulama, 0.25 üç günlük damla sulamada ve 0.20 günlük damla sulamada ortalama CWSI değerleri elde etmişlerdir.

Yuan ve diğ. (2004), yaptıkları çalışma da bitki örtü sıcaklığının ölçülmesinde infrared termometre kullanarak CWSI belirlemek için önemli bir araç olduğunu araştırmışlardır. CWSI belirlemede bitki yüzey sıcaklığı ölçülmesi esas alınmıştır. Bu çalışmada Kuzey Çin Ovasında (NCP) CWSI değerlendirmek için üç farklı formda bitki yüzey sıcaklığı Idso Ampirik modeli, Jackson teorik modeli ve Alves modeli ile değerlendirilmiş. Sonuç ta kışlık buğday su stresini izlemeye Jackson modelinin Alves modelinden daha iyi olduğunu belirlemiştir. Fakat Alves' in tanımında CWSI de kışlık buğday stresini izlemek için çok daha pratiktir. Jackson modelinin ise kışlık buğday su stresini ölçülmesinde daha uygun olduğu bulunmuştur.

Barbosa da Silva ve Ramana Rao (2005) yılında Brezilyanın kuzey doğusunda 1993 Ağustos ve 1994 Ocak pamuk gelişme mevsimi süresince enerji dengesi esas alınarak CWSI mevsimlik değişimini değerlendirmişlerdir. Denemede örtü sıcaklığı, hava sıcaklığı, net radyasyon, rüzgar hızı ve psikometrik ölçümler düzenli olarak saat 10 ve 14 de ölçülmüştür. CWSI değerinin yaklaşık 0.3 olduğunda sulamanın yapılması gerektiği sonucuna varmışlardır.

Wang ve diğ. (2005), CWSI hesaplamada gerekli alt limit belirlenmesinde yapay bir yapraktan yararlanma olanaklarını Çin' de bir buğday denemesi kurarak araştırmışlardır. Denemede altı farklı sulama uygulamasına yer verilmiş ve toprak su düzeyi, yaprak su potansiyeli, bitki terleme hızı, kuru madde, verim ve iklim verileri ölçülmüştür. Çalışma sonuçları yapay yapraktan elde edilen alt limit bitki sıcaklığı ile gerçek koşulların ve her iki alt limite dayalı hesaplanan CWSI değerlerinin yüksek bir korelasyona sahip olduğunu belirlemiştir.

Payero ve Irmak (2006), yaptıkları araştırmada mısır ve soya fasulyesinde CWSI hesabında değişken alt ve üst limit değerlerinin kullanımını ortaya koymuşlar.

Kurulan arazi denemelerinde bitki örtü sıcaklığı değerleri 10 dakikalık zaman dilimlerinde ortalama olarak ölçülmüş. Çalışma sonucuna göre CWSI hesaplamada kullanılan üst limit sadece VPD' ye dayanmamakt, soya fasülyesinde güneş radyasyonuna ve rüzgar hızına, mısırdaki ise ek olarak bitki boyunada bağlı olduğu belirlenmiştir. Her iki bitkinin alt limit VPD, güneş radyasyonu, rüzgar hızı ve bitki boyuna dayalı değişim göstermiştir.

Emekli ve diğ. (2007)' de Akdeniz bölgesinde rekreasyon alanlarında yaygın kullanılan bermuda çimi için sulama zamanını belirlemek amacıyla infrared termometre kullanılarak bitki su stresi indeksini değerlendirmişlerdir. Çalışmada dört farklı sulama konusu incelenmiştir (% 100(I₁), %75(I₂), %50(I₃) ve %25(I₄)) ve A sınıfı buharlaşma kabından buharlaşma ölçülmüştür. Bu konulara ek olarak susuz bir konu CWSI değerlerini belirlemek için kurulmuştur. İnfrared termometre ile bitki örtü sıcaklığı ölçülmüştür. Bermuda çimi izlenerek renk kalitesine bakılmış. Ortalama mevsimlik CWSI değerleri 0.086, 0.102, 0.165, 0.394 I₁, I₂, I₃ ve I₄ konuları için sırasıyla elde edilmiş ve susuz konu için 0.899 olarak belirlenmiştir. CWSI değerinin bermuda çimi için sulama zamanının belirlenmesinde bir kriter olarak kullanılacağı sonucuna varılmışlardır. Bu çalışmaya göre CWSI değerinin renk kalitesi için mevsimlik yaklaşık 0.1 civarında tutulması gerektiğini belirlemişlerdir.

Gontia ve Tiwari (2008), yaptıkları çalışma ile bitki örtü ile hava sıcaklığı farkı ve buhar basıncı açığı arasındaki ilişkiyi geliştirmek için sulama zamanını belirlemede stres oluşmayan koşullarda bitki su stres indeksini araştırmışlardır. Bitki kök bölgesinde uygun toprak suyu % tüketim değerlerine dayalı konular oluşturulmuştur. Azami tüketilmesine izin verilen toprak suyu deneme konuları %10, %40, %60, tamamen ıslatılan (stres yok) ve hiç sulama olmayan konulardan oluşur. Buna göre bitki örtü- hava sıcaklığı farkı ve buhar basıncı açığı aralarında liner ilişki belirlenmiş ve eğim (m) sırasıyla -1.7466 ve -1.1141 olarak bulunmuştur. CWSI değerleri ampirik eşitlik ile belirlenerek, CWSI değerleri bitki su durumu izlemek için sulama zamanının planlanmasında kullanılabilir olduğunu ortaya koyulmuşlardır.

O'Shaughnessy ve diğ. (2011) çalışmada mekansal ve zamansal bitki su stresi izlemek için bitki örtü sıcaklık verilerini kullanmışlardır. 2004 ve 2005 yıllarında soya ve 2007-2008 yıllarında pamuk için farklı sulama suyu miktarları

uygulamışlardır (1.5 m toprak derinliğinde tarla kapasitesine kadar 100% sulama, 67%, 33% ve 0% sulama yapmak). Çalışmada CWSI değeri için soya ($r^2=0.88$) ve pamuk ($r^2=0.83$) için önemli ilişki bulunmuşlardır. Oluşturulan CWSI grafiklerinden sulama programlanması ile bitki su stresi kullanımı ve verimde etkileri incelenmişlerdir.

Ünlü ve diğ. (2011), yaptıkları çalışma ile damla sulama sistemi kullanılan pamuk bitkisi için CWSI belirlemişlerdir. Bu çalışma 2005-2007 yılları arasında Adana da yürütülmüş. Pamuk için dört farklı sulama suyu konusu oluşturulmuş ve CWSI değişimi incelenmiş. Denemenin sulama suyu konuları strese girmeyen tam su konusu (I100), hafif stres (DI70), orta stres (DI50) ve sürekli stres konusu (DI00) olarak belirlenmişlerdir. Kısıtlı sulama etkileri, sulama suyu kullanımı, kuru madde ve bitki boyu gibi bazı verim bileşenleri araştırılmıştır. Ortalama su kullanım değeri, tohum pamuk verimi, kuru made ve su kullanım etkinliği tam su koşulları için sırasıyla 578 mm, 3.28 t/ha, 13.44 t/ha ve 0.59 kg/m^3 olarak belirlenmiştir. Pamuk bitkisi için gelişme döneminde infrared termometre ile ölçülen örtü sıcaklığına göre CWSI hesaplamak için elde edilen temel grafik alt limit $T_c - T_a = -1.7543VPD + 1.56$ ($R^2=0.5327$) eşitliği, üst limit $T_c - T_a = 0.0217VPD + 3.2191$ eşitliği elde edilmiştir. Pamuk tohum verimi (SY) ve mevsimlik ortalama CWSI değeri arasında $SY = -2.3552 \text{ CWSI} + 3.5657$ ($R^2= 0.499$) gibi bir ilişki elde edilmiştir. Bu iklim ve toprak koşulları için pamuk bitkisine CWSI değeri yaklaşık 0.36 olduğunda sulama yapılmalı önerisini getirmişlerdir. CWSI, bu çalışmaya göre pamuk için sulama programlamasında yararlı bir araç olarak kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

1.1.3 Sera ortamında bitki su stresi üzerine yapılan çalışmalar

Idso ve diğ. (1984) yaptıkları bir çalışmada bitki yüzey sıcaklığına dayalı stres indeksi ile stomal iletkenlik ve fotosentez ilişkilerinin irdelendiği çalışmada sümbül kullanılmışlardır. Kasım ayı içerisinde bir hafta boyunca, iki ayrı metal saksıya yerleştirilen sümbüllerde stomal iletkenlik ve net fotosentez ölçülmüştür. Bitki sıcaklık ölçümleri ile hava sıcaklığı ve havanın buhar basıncı açığı kullanılarak CWSI hesaplanmış ve fizyolojik parametreler ile ilişkilendirilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, net fotosentez doğrusal bir biçimde azalmıştır ve CWSI 0.9 olduğunda negatif bir değer almıştır.

Bucks ve diğ. (1985), guayule çok yıllık bitkisi için su gereksinimleri ve bitki su stresi hakkında bilgi sağlamak için bu çalışmayı yapmışlardır. Ortalama bitki su tüketimi 1981 Mayıs ayından 1982 Aralık ayına kadar ortalama 3000, 2410, 2040, 1720, 1470 ve 1520 mm olarak altı farklı sulama suyu konusu için ölçmüşlerdir. Sulama suyu miktarı azaldıkça bitki örtü sıcaklığında ve bitki su stresinde artış olduğunu belirlemişlerdir.

Penuelas ve diğ. (1992)' de yapmış oldukları bir çalışmada basit tünel serada çilek bitkisinde farklı su stresi rejimleri uygulayarak CWSI değerlendirmesi yapmışlardır. Bitkilerde su stresi ölçümünü elle tutulan infrared termometre ile izlemiştir. Buna paralel olarak hava değişkenlerini, bitki örtü ve hava sıcaklığı arasındaki farklılığı, toprak matric potansiyeli, yaprak su potansiyeli, fotosentetik gaz değişim oranlarını, transpirasyon oranı, fotosentetik pigment, şekerler, nişasta, örtü yapısı, verim ölçümlerini yapmışlardır.

Chen ve Ling (2001)' in yaptıkları çalışma ile Yeni Gine de sera ortamında camgüzeli üretimi için kurak bir alanda stres izleme sistemi geliştirmişlerdir. Kullanılan sistemde doğrusal alt limit işlevine dayanan bitkilerin su durumunun değerlendirilmesi için ampirik olarak CWSI belirlemişlerdir. Doğrusal fonksiyonu yerine, ampirik CWSI fonksiyonun alt sınırı, sıcaklığın ikinci dereceden fonksiyonları bir grup olarak bulunmuştur. Bunun yanı sıra; iki diğer genel parametre olarak; bitki örtü ile hava sıcaklığı fark ve buhar basıncı açığını kullanmışlardır. Alt limit en iyi buharlaşma potansiyelindeki bitkilerden tahmin etmişlerdir.

Katsoulas ve diğ. (2001), Yunanistan' ın kıyı kesimlerinde sera ortamında gül bitkisi için nem kontrolü yaparak buharlaşma oranı (λE_c), hassas ısı akışı (H_c) ve stomal iletkenlik (g_c) etkilerini araştırmışlardır. Sera ortamında iki farklı (i) kontrolsüz sera ortamı (ii) nem miktarı % 75' in altına düştüğünde sisleme yapılması işlemleri uygulamışlardır. İki yolla tahmin edilen g_c iyi uyum sağlayarak sisleme koşulları altında önemli artış göstermiştir. Sisleme yapılan serada bitki stresi çok düşük (0-0,05), sisleme yapılmayan seranın CWSI değeri çok yüksek (öğleden sonra en yüksek 0.20) olmadığını belirlemişlerdir.

Kaçıra ve Ling (2001), sera ortamında otomatik bir sistem planlayarak bitki sağlığını ve gelişimini devamlı izlemişlerdir. Kontrollü bir bilgisayar sisteminde döner bir masa üzerinde sabit sensorlar bitki ve bitki etrafındaki mikro iklimin

değişimini izlemişlerdir. Aynı zamanda sistem bilgisayar kontrollü bir damla sulama sistemi ile ortamın nem seviyesi ayarlanmıştır. Bu çalışmada CWSI fonksiyonu bitki örtü sıcaklığı ve iklim verilerden hesaplanarak 0 ve 1 arasında değerlendirilmiştir. CWSI ve bitki su tüketimi iyi sulama ve su stresi olan bitkilerde ölçülmüş. İyi sulama koşullarında CWSI 0' a yakın ve deneme süresince de 0' a yakın olduğunu belirlenmişlerdir. Su stresi olan bitkilerde 4, 8 ve 12. günlerde bitki su tüketimi azaldığında CWSI değeri artmış ve bitkide soğutma etkisi daha azalmıştır.

Kaçıra ve diğ. (2002)' de yaptıkları çalışmada kontrollü çevre koşulları altında bitki gelişimi için termodinamik modeller ve bitkide enerji dengesini kullanarak bir CWSI modeli geliştirmişlerdir. CWSI eşik değerleri bir parametrik yaklaşım olarak kurmuşlardır. Sera ortamında bitkiden infrared termometre yardımıyla ölçümler alınmıştır. Bunun sonucunda ortalama CWSI değerlerini iyi sulama koşullarında 0' a yakın, yetersiz toprak suyu koşullarında ise daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. En yüksek CWSI değeri 0.53 olarak bulmuşlardır.

Prenger ve diğ. (2005), serada yaptıkları bir çalışmada geri beslemeli bir kontrollü sulama sistemi geliştirmişlerdir. Kontrol sisteminde bitki su stresi indeksi (CWSI) belirlemede, infrared termometre kullanarak bitki örtü sıcaklığı ölçümü almışlardır. Sulama zamanına göre temsil edilen su, bitki su kullanımı ve bunlar arasındaki hatayı karşılaştırmışlardır.

Mashojowa ve diğ. (2010), Zimbabwe de plastik örtüyle kaplanmış, yüzeyi tozla kaplı ve yüzeyi kireçle boyalı seralarda gül bitkisi için CWSI değerlendirmesi yapmışlardır. Sera yüzeyinin toz ve kireçle kaplı ve açık (toz ve kireç ile kaplı değil) olduğu durumları karşılaştırarak sera içinde sıcaklık farkı, bitki örtü ile hava sıcaklığı farkı ve VPD hesaplamaları yapılarak, farklı örtü yüzeyinin CWSI' ye olan etkisini araştırmışlardır. CWSI' nin gün içerisinde 8.⁰⁰ ve 15.⁰⁰ saatleri arasında farklı örtü yüzeylerine göre değiştiği görülmüştür. Yeni plastik örtü, toz kaplı ve kireç boyalı seralarda gün içerisinde saat 14.⁰⁰' de CWSI değerleri sırasıyla 0.58, 0.45 ve 0.22 olduğunu belirlenmişlerdir.

Aladenola ve Madramootoo (2012)' a göre doğru zamanda bitkiler için su uygulanması optimum verim için gerekli olduğunu vurgulamışlardır. Serada yetiştirilen sivri biber çeşidinde verim üzerine ve stres eşik değeri için farklı sulama suyu uygulamalarının etkisini test etmişlerdir. Bu çalışmada dört farklı sulama suyu

konusu çalışarak tesadüf blokları deneme desenini kullanmışlardır. CWSI ve verim arasında bir regresyon eşitliği geliştirmişlerdir. Yaprak alan indeksi(LAI), stomal iletkenlik ve CWSI arasında son derece önemli belirtme katsayısı ($r^2=0.99$, $r^2= 0.96$) belirlenmişlerdir. Böylece CWSI, LAI ve stomal iletkenlik izlenmesi sulama programlamasında yararlı olacağı ve bu tarımsal su talebine bir model olarak entegre edilebilir olduğunu vurgulamışlardır.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

2.1 Materyal

2.1.1 Araştırma yeri

Araştırma Orta Karadeniz Bölgesinde Samsun Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi araştırma ve deneme seralarında yürütülmüştür. Samsun ili 41.17° enleminde, 36.18° boylamlar da 4 m yüksekliğe sahiptir. Araştırma iki serada yürütülmüştür. Bir sera 6 m genişliğinde 20 m uzunluğunda 120 m² taban alanına sahip, yan ve çatı havalandırma açıklıklarına sahiptir (Şekil 2.1). Sera plastik örtü malzemesi ile kaplanmıştır. Sera çatı yüksekliği 3 m olmaktadır. Seralar yay çatılı olup çelik konsürksiyona sahiptir. Araştırma serası arazi koşullarına göre kuzey-güney doğrultusunda konumlandırılmıştır.



Şekil 2.1: Deneme alanının coğrafik yeri ve araştırma seraları

2.1.2 Araştırma alanının iklim özellikleri

Deneme kurulan yer yarı nemli iklim özelliklerini göstermektedir ve Samsun iline ilişkin uzun yıllık ortalama iklimsel veriler Çizelge 2.1 de verilmiştir. Samsun ilinin iklim özellikleri, uzun yıllara ait yıllık ortalama yağış miktarı 698 mm, yıllık ortalama nem miktarı ise %74' dür. Denemenin kurulduğu bölgede uzun yılların ortalama en yüksek sıcaklık değeri 21.5 °C, yıllık ortalama en düşük sıcaklık değeri 10.8 °C' dir. Yıllık ortalama en düşük sıcaklık Şubat ayında 6.8 °C, ortalama en yüksek sıcaklık Ağustos ayında 23.6 °C değerine sahiptir. Bölgenin en sıcak ayları Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarıdır. Yıllık ortalama buharlaşma miktarı ise 1053 mm' dir. En fazla buharlaşma Temmuz ayı için 158 mm olmaktadır. Yıllık ortalama rüzgâr hızı 1.85 m/s' dir. Samsun iline ait denemenin kurulduğu 2010 yılı bazı iklim verileri Çizelge 2.2 verilmiştir (Anonim, 2010).

Çizelge 2.1: Araştırma alanına ilişkin uzun yıllık ortalama iklimsel veriler

YIL 1970-2010	AYLAR												YILLIK
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	
Ortalama Sıcaklık (°C)	7.0	6.8	7.9	11.2	15.4	20.3	23.3	23.6	20.0	16.1	12.0	9.1	14.4
Ort. Yüksek Sıcaklık (°C)	11.1	12.6	17.0	19.3	25.3	29.4	29.4	32.5	27.0	24.0	17.0	12.8	21.5
Ort. Düşük Sıcaklık (°C)	3.9	3.4	4.7	7.6	11.6	15.9	19.0	19.6	16.4	12.8	8.6	5.9	10.8
Ortalama Nisbi Nem Ort. %	67.4	69.8	75.6	79.4	80.8	76.3	73.5	74.1	75.3	76.1	70.5	66.4	73.8
Aylık Yağış Toplamı (mm)	59.7	50.3	56.3	58.4	68.2	47.8	29.8	34.7	51.5	85.6	81.8	74.8	698.8
Ort. Rüzgâr Hızı (m/s, 2 m' de)	2.71	2.15	1.75	1.56	1.40	1.40	1.82	1.86	1.74	1.48	1.82	2.51	1.85
Gün. Ort. Güneşlenme Şiddeti (cal m ² /gün)	163.5	238.2	313.4	399.9	503.0	569.4	522.3	425.4	307.4	197.6	140.5	121.3	325.2
Güneşlenme Müddeti (Saat)	3.0	3.7	4.0	4.8	6.7	8.8	9.1	8.7	6.6	4.6	3.8	3.2	5.6
*Ort. Açık Yüzey Buharlaşması (mm)	66.4	61.6	54.1	64.8	89.7	124.1	157.9	147.9	101.0	69.9	54.2	61.5	1053.1
Atmosfer Basınç Ort. (hPa)	1019.6	1015.5	1014.4	1015.9	1015.3	1013.2	1010.9	1012.5	1014.4	1016.9	1018.0	1016.9	1015.3

* 1975-2004 yılı verilerden elde edilmiştir

Çizelge 2.2: Denemenin yürütüldüğü 2010 yılına ait bazı iklim verileri

YIL – 2010	AYLAR												YILLIK
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	
Ortalama Sıcaklık (°C)	9.8	9.57	7.9	11.47	17	22.34	25.45	26.96	22.29	15.71	16.66	13.17	16.53
Ortalama Yüksek Sıcaklık (°C)	13.16	14.21	11.45	14.95	20.63	25.75	28.22	30.68	26.05	19.77	22.21	17.43	20.38
Ortalama Düşük Sıcaklık (°C)	6.34	6.56	4.73	7.76	12.79	18.91	22.04	22.83	19.07	12.98	12.41	9.77	13.02
Ortalama Nisbi Nem Ortalama %	61.6	66.49	76.47	79.91	77.36	80.85	75.6	71.47	76.75	74.14	57.89	60.98	71.63
Güneşlenme Müddeti (Saat)	1.85	1.76	3.59	6.56	8.54	6.67	7.67	10.38	5.87	3.42	5.99	2.91	5.43
Ortalama Rüzgâr Hızı (m/s, 2 m' de)	2.26	1.67	1.13	1.26	1.3	1.4	1.36	1.56	1.28	0.82	1.51	1.92	1.46

2.1.3 Araştırma alanının toprak özellikleri

Deneme alanından 0-30 cm ve 30-60 cm toprak derinliğinden burgu ile toprak örnekleri alınmıştır. Bu toprak örneklerinde toprakların kum, kil ve silt özellikleri belirlenmiştir (Çizelge 2.3). Alınan toprak örneklerinde laboratuvar koşullarında basınç kaplarından yararlanarak tarla kapasitesi ve solma noktası belirlenerek Çizelge 2.3' de verilmiştir.

Çizelge 2.3: Deneme serası topraklarının fiziksel özellikleri

Toprak Derinliği (cm)	Kil (%)	Silt (%)	Kum (%)	Hacim Ağırlığı (g cm ⁻³)	Tarla Kapasitesi		Solma Noktası	
					Pw (%)	Pw (%)	Pw (%)	Pw (%)
0-30	48.23	24.84	26.94	1.22	38.96	142.59	26.33	96.36
30-60	46.96	26.37	26.67	1.21	42.33	153.65	26.82	97.35

2.1.4 Araştırmada kullanılan sulama suyu ve özellikleri

Yapılan bu çalışma için sulama suyu Ziraat Fakültesi Sera İşletmesi Uygulama alanında tesis edilen sistemden alınmıştır. Sulama suyunun sulamaya uygunluk yönünden bazı kalite özellikleri Çizelge 2.4' de verilmiştir. Yapılan analizler sonucunda sera da uygulanan sulama suyu sınıfı C₂S₁ sınıfına girmektedir.

Çizelge 2.4: Araştırma alanında kullanılan sulama suyu kalitesine ilişkin analiz sonuçları

pH	EC _w (dS/m)	Ca ⁺⁺ (me/l)	Mg ⁺⁺ (me/l)	Na ⁺ (me/l)	K ⁺ (me/l)	HCO ⁻³ (me/l)	Cl ⁻ (me/l)	SO ₄ ⁻ (me/l)	SAR	Sulama suyu sınıfı
7.8	0.41	2.2	1.95	0.61	0.05	-	1.95	2.15	0.42	C ₂ S ₁

2.1.5 Araştırmada kullanılan biber bitkisinin özellikleri

Araştırmada Bafra Demre hibrit biber çeşidi kullanılmıştır. Çeşidin meyveleri genelde 5-30 cm arasında değişen uzunlukta. Meyveler gövde üzerinden çıkarak aşağıya doğru sarkık durumda bulunurlar. Biber tohumlarının çimlenmesiyle aynı dönemde oluşan kazık kök fide devresinde toprak yapısına ve uygulanan sulama suyu miktarına bağlı olarak 10-15 cm derinliğe kadar inebilmektedirler. Kazık kök üzerinde yaklaşık 5-10

adet arasında değişen yan k  kler oluşmaktadı r. K  klerin %70'i toprağın ilk 10-30 cm derinliğinde oluşmakta. Gövde büyümenin ilk dönemlerinde otsu yapıdadır, daha sonra kısmen odunsu bir yapı kazanmaktadır. Yapraklar uzun-oval şekli, yaprakların kenarları düz, üstü kaygan ve parlaktır. Yapraklar a  k yeşilden çok koyu yeşile kadar renk değişimi gösterir.    ekler ise yaprak koltuklarında ve dal koltuklarında tek veya salkım halinde ortalama 2-3    ek bir arada bulunmaktadırlar.    ekler gövdeye düz veya kıvrık bir sapla bağlanmaktadırlar (Vural ve diğ., 2000).

2.1.6 Araştırmada kullanılan ölçüm aletleri

2.1.6.1 Meteorolojik aletler

Deneme süresince sera içindeki hava sıcaklığı (Ta) ve bağıl nemi (RH)   l  mek için termohigrograf aleti kullanılmıştır. Termohigrograf aleti haftalık ayarlanarak saatlik Ta ve RH   l  mleri yapılmıştır. Termohigrograf aleti (şekil 2.2a) deneme serası içerisinde yerden 1.5 m y  kseklie aşılmıştır. Ayrıca sera içerisindeki Ta ve RH değerlerini kayıt etmek için datalogger (KISTOCK Marka KIMO datalogger) kullanılmıştır (şekil 2.2b).



şekil 2.2: Hava sıcaklığı ve oransal nem ölçmede kullanılan a) Termohigrograf, b) KISTOCK Datalogger

2.1.6.2 İ frared termometre aleti

Biberin bitki örtü sıcaklığının (Tc) belirlenmesi için Everest model 100.3 L Infrared termometre (IRT) kullanılmıştır. IRT 8-14 mikron spektral bant aralığına ve 4 derece

görüş açısına sahiptir. Deneme süresince kullanılan Infrared termometre Şekil 2.4’ de farklı açılarda görünümü verilmiştir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3: Sera içi ölçümlerde kullanılan infrared termometre cihazı

2.2 Yöntem

2.2.1 Deneme metodu ve araştırma konuları

Deneme 2010 yılında dört farklı sulama suyu konusu dört tekerrürlü olarak kurulmuştur (Çizelge 2.5). Deneme, tesadüf blokları deneme desenine göre düzenlenmiştir. Sulama suyu damla sulama sistemi kullanılarak uygulanmıştır (Şekil 2.5 a). Serada kurulan deneme planı şematik olarak Şekil 2.4’ de verilmiştir. Sera içerisinde 1 m genişliğinde 20 cm yüksekliğinde dört masura oluşturulmuş. Bu masuralar malç ile kaplanmıştır (Şekil 2.5 b). Bir deneme parselinde 2 masura bulunmakta ve masura aralarında 0.50 m tampon boşluk bırakılmıştır. Biber fideleri masuralar üzerine 0.40 m bitki arası, 0.50 m bitki sıra arasında dikilmiştir (Şekil 2.5 c). Bir parselde dört sıra biber bulunmakta ve ölçümler ikinci ve üçüncü sıra biberlerden alınmıştır. Deneme boyunca yapılan tarımsal işlemler Çizelge 2.6’ da verilmiştir. Denemede S1 konusuna tarla kapasitesine çıkaracak kadar sulama uygulaması yapılmıştır. S2 konusuna S1 konusuna uygulanan su miktarının % 70, S3 konusuna S1 konusuna uygulanan su miktarının % 40’ ı uygulanmış ve S4 konusuna su uygulanmamıştır. 25.5.2010 tarihinde deneme başlamış ve 25.06.2010 tarihine kadar bütün konulara eşit miktarda sulama suyu uygulanmıştır. S1, S2 ve S3 konularına 25.06.2010 tarihinden itibaren kısıtlı sulama suyu uygulamasına geçilmiştir. S4 konusuna ise 25.06.2010 tarihinden itibaren sulama uygulaması yapılmamıştır.

Sera içerisinde alınan ölçümler doğrultusunda bitki su tüketimi (ET₀) Eşitlik 2.1 de verilen FAO Penman-Monteith metoduna göre tahmin edilmiştir. ET₀ değerinin bitki katsayısı (k_c) ile düzeltilerek biber için ET hesaplaması yapılmıştır (Eşitlik 2.2). Serada tam su uygulanan S1 konusun bir önceki güne göre tahmin edilen biber bitki su tüketimi kadar sulama suyu uygulanmıştır. Hesaplamalar için Microsoft Office Excel 2010 programından yararlanılmıştır.

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(Rn - G) + \gamma(900/(T + 273))u_2(es - ea)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (2.1)$$

$$ET = k_c \times ET_0 \quad (2.2)$$

ET₀=Referans bitki su tüketimi (mm gün⁻¹),

Rn=Toprak yüzeyine gelen net radyasyon (MJ m⁻²gün⁻¹),

G=Toprak ısı akış yoğunluğu (MJ m⁻²gün⁻¹),

T=2 m yükseklikteki ortalama günlük hava sıcaklığı (°C),

u₂=2 m yükseklikteki rüzgâr hızı (m/s),

e_s=Doygun buhar basıncı (kPa),

e_a=Gerçek buhar basıncı (kPa),

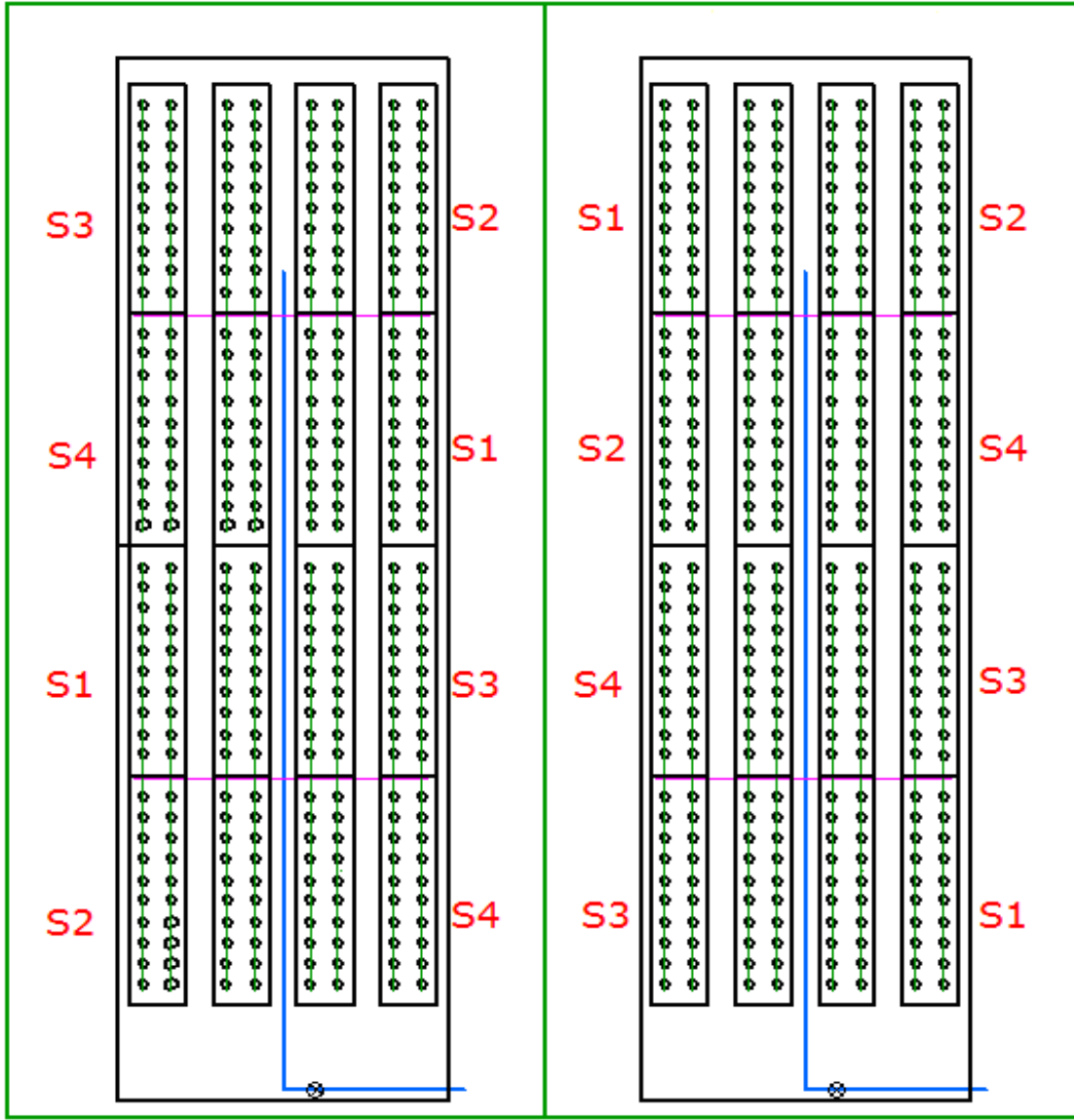
Δ=Buhar basıncı eğrisinin eğimi (kPa °C⁻¹),

γ=Psikometrik sabite (kPa °C⁻¹).

k_c= Bitki katsayısı

Çizelge 2.5: Deneme konuları ve sulama suyu uygulamaları

Deneme Konusu	Sulama Suyu Uygulaması
S ₁	Tam Sulama (% 100 sulama suyu uygulaması)
S ₂	% 30 su kısıdı
S ₃	% 60 su kısıdı
S ₄	% 0 sulama (Susuz)



Şekil 2.4: Serada biber deneme planı ve damla sulama sistemi



Şekil 2.5: Denemenin kurulması a) Damla sulama sisteminin döşenmesi, b) Masura ve malçlama sisteminin oluşturulması, c) Biber fidelerinin dikilmesi

Çizelge 2.6: Denemede yapılan tarımsal işlemler

Tarih	Tarımsal İşlemler
18 - 20.05.2010	Seralarda masuralar oluşturuldu.
21 - 23.05.2010	Seralarda damla sulama sistemi kurularak masuralarda malçlama işlemleri yapıldı. Tarla kapasitesi ve solma noktası belirlemek için toprak örnekleri alındı.
24.05.2010	Deneme alanından toprak örnekleri alındı. Deneme süresince belirli periyotlar da yapılmıştır.
25.05.2010	Biber fideleri dikildi ve can suyu verildi.
01.06.2010	Biber fidelerine fide başına 0.3 lt miktarında gübre uygulaması yapıldı.
25.06.2010	Deneme konularına göre sulama suyu uygulamasına geçildi.
07.07.2010	Deneme konularına göre ilk hasat yapıldı.
15.09.2010	Deneme konularına göre son hasat yapıldı.

Deneme alanında biber bitkisinin sulanmasında 60 cm toprak derinliği dikkate alınarak damla sulama sistemi kullanılarak yapılmıştır. Denemede damla sulama sisteminde lateraller her bitki sırasına gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Damla sulama sisteminde 32 mm çaplı PE boru ana hat olarak kullanılmıştır. Lateraller, 16 mm çapında ve damlatıcı aralığı 25 cm olan ve 4 l/h debiye sahip PE borulardan tercih edilmiştir. Laterallerin başına 16x16 vana yerleştirilmiştir. Ana boru hattına basınç ölçer yerleştirilmiş ve sulama 1 atm basınç da yapılmıştır.

2.2.2 Toprak suyunun ölçümü

Denemenin yapıldığı dönem içerisinde 60 cm' lik toprak profilinde nem değişimi örnekleme ile gravimetrik yöntemle dayalı izlenmiştir. Denemeden toprak örnekleri yaklaşık haftada bir alınarak gravimetrik yöntemle toprak suyu takibi yapılmıştır. Toprak örnekleri her konuyu temsil edecek şekilde burgu ile 0-30 ve 30-60 cm toprak derinliğinden alınmıştır.

2.2.3 Çalışmada yapılan gözlemler ve laboratuvar analizleri ile elde edilen parametreler

2.2.3.1 Hava sıcaklığı ve buhar basıncı açığı (VPD) belirlenmesi

VPD hesaplanmasında sera iç ortam hava sıcaklığı ve nem miktarının ölçümü datalogger sıcaklık nem ölçer ve termohigrograf ile yapılmıştır. VPD hesabının yapılabilmesi için Eşitlik (2.3)' den yararlanılmıştır (Ward ve Elliot 1995; Allen ve diğ., 1998).

$$VPD = e_s - e_a \quad (2.3)$$

Eşitlik (2.3)' de e_s doymuş buhar basıncı (kPa), e_a gerçek buhar basıncını ifade etmektedir (kPa). Doymuş buhar basıncı eşitlik (2.4) kullanılarak hesaplanmıştır (Ward ve Eliot, 1995). Eşitliklerde kullanılan T hava sıcaklığıdır.

$$e_s = \exp \frac{16.78T - 116.9}{T + 273.3} \quad (2.4)$$

Nispi neme (RH; %) dayalı gerçek buhar basıncı, Eşitlik (2.5) kullanılarak hesaplanmıştır (Ward ve Eliot, 1995).

$$e_a = e_s \frac{RH}{100} \quad (2.5)$$

Termohigrograf ile ölçülen T_a ve hesaplanan VPD değişimi yetiştirme mevsimi boyunca değerlendirilmiştir. 07.08.2010 tarihinde saat 5.⁰⁰ ve 19.⁰⁰ arasında gün boyu saatlik ölçümler yapılmış. Ölçülen T_a ve hesaplanan VPD değişiminin gün boyu değerlendirilmesi yapılmıştır.

2.2.3.2 Yaprak alan indeksi (YAI)

Deneme süresince yaprak alanını belirlemek amacıyla konuları temsili olarak altı kez bitki sökümü yapılmıştır. Sökülen bitkilerde cetvel yardımıyla yaprakların sap kısmından uç kısma doğru yaprak boyu, yaprağın geniş olan bölgesinden yaprak eni ölçülmüştür. Yaprak boyu ve eni çarpılarak yaprak alanı hesaplanmıştır. Konulara ait örneklenen biberlerin yaprak alanları toplanarak toplam yaprak alanı hesaplanmıştır. Bitki toplam yaprak alanının birim bitki alanına (40x50 cm) oranlanması ile yaprak alan indeksi belirlenmiştir (Eşitlik 2.6). Deneme süresince YAI altı defa hesaplanmıştır.

$$YAI = \text{Toplam Yaprak Alanı} / \text{Birim Bitki Alanı} \quad (2.6)$$

2.2.3.3 Yaprak su içeriği (YSİ)

Deneme konularında yaprak su içeriği tayini amacıyla farklı zamanlarda sera ortamında her parselden gelişimini tamamlamış genç yapraklar örneklenerek laboratuvar ortamına getirilmiştir. Her bir deneme konusu için gelişimini tamamlamış dört yaprak örneği alınmış ve hassas terazi ile tartılarak yaş ağırlıkları (YA) belirlenmiştir. Kuru ağırlıkları (KA) için 24 saat 65 °C sıcaklıkta sabit ağırlığa gelene

kadar etüvde kurutulmuştur ve Eşitlik 2.7' ye göre YSI hesaplanmıştır. YSI deneme süresince yedi kez hesaplanmıştır. 07.08.2010 tarihinde 5.⁰⁰ ve 19.⁰⁰ saatleri arasında gün boyu saatlik ölçümler alınmış ve sulama suyu konularına göre gün boyu saatlik yaprak su içeriği değişimi değerlendirilmiştir.

$$YSI = [(YA - KA) / KA] \times 100 \quad (2.7)$$

2.2.4 Bitki su stresi indeksi (CWSI)

Bitki su stresi, en yüksek verimin elde edilebilmesi için toprakta bulunması gereken su miktarından daha az miktarda ve nitelikte su bulunması durumunda bitkide meydana gelen olumsuz etki olarak tanımlanabilir (Reginato ve Howe, 1985).

Bitkilerde dokular aracılığıyla kaybolan su çeşitli su stresi etkilerine yol açar. Su stresi bitki hücrelerinde hidrostatik basıncın azalmasına neden olarak düşük molekül ağırlığına sahip olan makro besin elementlerinin yoğunluğunu artırır ve bitki hücrelerindeki kimyasal tepkimeleri olumsuz yönde etkiler. Dolayısıyla, hücre membranları işlevlerini tam olarak yapmadığından su stresindeki bitkilerde metabolik olaylar olumsuz bir şekilde ve önemli derecede etkilenir (Hakgören, 1993).

Bitki su stresi indeksi belirlemede enerji dengesi ve deneysel yaklaşım olarak bilinen yöntemlerden yararlanılmıştır (Idso ve diğ., 1981). Infrared termometre ile günlük olarak öğle saatlerinde (bulutsuz günlerde) ölçümler yapılmış, Tc-Ta ile VPD' den yararlanarak biber için bitki su stresi indeksi (CWSI) geliştirilmiştir. Buharlaşmanın en üst seviyede gerçekleştiği tam su uygulaması olan S1 konusudur. Bunun için su stresi oluşturulmayan S1 konusunda Tc-Ta değerinin enerji dengesine dayalı eşitlik ile hesaplanarak alt baz hattı (LL), sulama suyu uygulaması olmayan S4 konusunda yapılan ölçümlerden yararlanılarak üst baz hattı (UL)' nın belirlenmesiyle temel grafik elde edilmiştir. Sera ortamında bitki örtü sıcaklığı ölçümleri her konuda 4 yönden yapılmıştır. Buharlaşmanın oluşmadığı koşulun elde edilmesi için kökü ile birlikte kopartılan bitkilerden oluşturulan bir demet biber bitkisi sera içerisinde askıda kurutulmuş ve ölçümlerde kullanılmıştır.

Bitki örtü sıcaklığı ölçümleri infrared termometre ile deneme süresince bulutsuz günlerde saat 12.⁰⁰ – 14.⁰⁰ arasında yapılmıştır. Sera içerisinde bitki örtü sıcaklığının 07.08.2010 tarihinde 05.⁰⁰ ve 19.⁰⁰ saatleri arasında saatte bir olmak

üzere 14 defa ölçümü yapılmıştır. Elde edilen T_c - T_a ve VPD değerleri CWSI hesaplamada kullanılmak üzere ilişkilendirilmiştir.

$$CWSI = [(T_c - T_a) - (LL)] / [(UL) - (LL)] \quad (2.8)$$

CWSI hesaplama yöntemi (Eşitlik 2.8) Jackson ve diğ., (1981) ve Idso ve diğ. (1981) tarafından geliştirilmiştir. Jackson ve diğ., (1981) ise deneysel yöntemi ortaya koymuştur. Jackson ve diğ., (1981) yaptığı çalışmada bitkide transpirasyonunun tam olarak gerçekleştiği ve hiç transpirasyon oluşmayan su stresi koşulu için T_c - T_a değerlerinin hesaplanmasında teorik temellere yer vermiştir. Bu amaçla enerji dengesinden yararlanılmıştır. Jackson ve diğ., (1981) T_c - T_a hesabında aşağıdaki yaklaşımı önermektedir.

$$T_c - T_a = \frac{r_a(R_n - G)}{\rho c_p} \frac{\gamma \left(\frac{1 + r_c}{r_a} \right)}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_c}{r_a} \right)} - \frac{VPD}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_c}{r_a} \right)} \quad (2.9)$$

Eşitlik 2.9’ da r_a aerodinamik direnç (s/m), R_n net radyasyon (W/m^2), G toprak ısı değişimi (W/m^2), ρ hava yoğunluğu (kg/m^3), C_p sabit sıcaklıkta ıslak havanın özgül ısısı ($1.01 J/kg/^{\circ}C$), γ psikrometrik sabite ($kPa/^{\circ}C$), r_c su transferine karşı bitki direnci (s/m), Δ buhar basıncı eğrisinin eğimidir ($kPa/^{\circ}C$).

Eşitlik 2.9’ da, R_n her konuda örtü sıcaklığı ile aynı anda ölçülmüştür, ρ hava sıcaklığına dayalı bir biçimde Monteith ve Unsworth (1990) verilen değerlere göre enterpolasyon yapılarak hava sıcaklığına göre hesaplanmıştır. γ ve Δ Allen et al., (1998)’ de verilen eşitlikler kullanılarak belirlenmiştir. r_c stomal dirence bağlıdır ve Jackson ve diğ., (1981) serbest su yüzeyi koşullarında $r_c=0$ (Eşitlik 2.10), buharlaşmanın gerçekleşmediği bitki koşullarında ise r_c nin sonsuz olduğunu (Eşitlik 2.11) belirtmektedir. Monteith (1973) r_c ’ nin stomal dirençten (r_s) yararlanılarak ($r_c=r_s/YA$) hesaplanabileceğini belirtmektedir.

$$(T_c - T_a)_H = \frac{r_a(R_n - G)}{\rho c_p} \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} - \frac{VPD}{\Delta + \gamma} \quad (2.10)$$

$$(T_c - T_a)_{ul} = \frac{r_a (R_n - G)}{\rho c_p} \quad (2.11)$$

T_c-T_a yaklaşımında r_a önemli bir aşamadır ve Collaizzi ve diğ., (2003a) yaptığı çalışmada r_a hesabında Campbell (1977)' de verilen yöntemi önermektedir. Collaizzi et al., (2003a)' da Eşitlik 2.12 CWSI hesabı için kullanılmıştır. Campbell (1985)' de verilen r_a yaklaşımı;

$$r_a = \frac{\left[\ln \left(\frac{z - d + z_H}{z_H} \right) \right] \left[\ln \left(\frac{z - d + z_M}{z_M} \right) \right]}{k^2 u} \quad (2.12)$$

burda, z rüzgar hızı ölçüm yüksekliği (m), d sıfır yer değiştirme düzlem yüksekliği (m), z_H ve z_M sırası ile hissedilebilir ısı ve momentum' a ilişkin pürüzlülük uzunluğu (m), k von Karman sabiti (0.41) ve u rüzgar hızı (2 m yükseklikte m/s). d ve z_M terimleri ölçülen bitki boyuna (h) göre d = 0.67 h ve z_M = 0.13 h olarak ve z_H = 0.2 z_M biçiminde hesaplanmıştır. Toprak ısı değişimi sıfır olarak kabul edilmiştir.

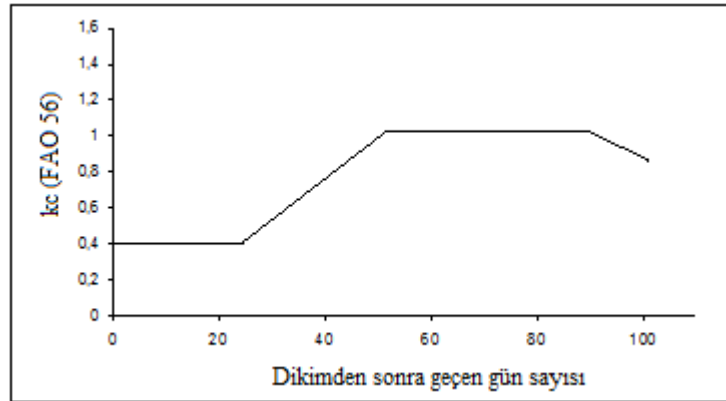
2.2.5 Meyve kalitesi ve verim değerlendirmesi

Araştırma da meyve hasadı parsellerin iç kısımlarında kalan iki bitki sırasında kenar etkisi çıkarılarak 18 bitkide yapılmıştır ve biber meyve ağırlığı hassas terazi ile belirlenmiştir. Deneme konularını temsil eden biber meyve boyu, meyve çapı ve meyve et kalınlığı ölçümü yapılmıştır. Meyve boyu cetvel ile, meyve çapı ve meyve et kalınlığı dijital kumpas yardımıyla belirlenmiştir.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1 Sulama Suyu ve Bitki Su Tüketimi Bulguları

Denemenin başladığı 25.05.2010 tarihinde toprak su içeriği 180.4 olarak ölçülmüş ve toprak nem düzeyini tarla kapasitesine (TK) getirmek için 39 mm su uygulaması yapılmıştır. Serada biber yetiştirme dönemi boyunca uygulanan sulama suyu miktarları S1, S2, S3 ve S4 deneme konularında sırasıyla 1254.0 mm, 970.0 mm, 678.0 mm ve 296.0 mm’ dir. FAO Penman-Monteith modelinde biber için ET 1338 mm olarak hesaplanmıştır. Allen ve diğ. (1998) (FAO56) tarafından biber gelişme dönemleri için verilen kc değerleri kullanılmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1: FAO 56’ dan elde edilen kc grafiği

3.2 Biber Meyve Kalitesi ve Verim Parametreleri Bulguları

Deneme süresince yapılan hasatlarda biberde ölçülen meyve boyu, çapı ve et kalınlığı deneme konularına göre ortalama değer olarak Çizelge 3.1’ de verilmiştir. Farklı deneme konularına göre meyve kalitesi S1 konusunda elde edilen biber meyve boyunun en yüksek, S4 konusundan elde edilen biber meyve boyunun en düşük olduğu belirlenmiştir. S2 ve S3 konuları ise sulama konusuna göre değişim göstermiştir. Biber meyve et kalınlığı sulama suyu konularına göre S1 de en yüksek (3.9 mm), S4 konusunda en düşük (1.8 mm) olarak belirlenmiş. Farklı sulama suyu miktarlarına göre meyve çapı en yüksek S1 konusunda (19.9 mm) en düşük (16.8

mm) S4 konusunda belirlenmiştir. Bu durumda farklı sulama suyu konularının biber meyve veriminde, meyve boyu, et kalınlığı ve meyve çapında etkili olduğu ortaya koyulmuştur.

Deneme S1, S2, S3 ve S4 konularında sırasıyla ortalama 3077.1, 2532.5, 2329.5 ve 1466.6 kg/da verim elde edilmiştir (Çizelge 3.2). Deneme konularını temsilen biber meyvelerinin hasat görüntüsü Şekil 3.2’ de verilmiştir. Deneme süresince yapılan hasat sonucunda ve deneme konularına uygulanan sulama suyu miktarlarına göre verim değerlerinde değişiklik gözlenmiştir. S1 konusunda verimin en yüksek, S4 konusunda ise verimin en düşük olduğu görülmektedir.

Yapılan bu çalışma diğer çalışmalarla benzerlik göstermiştir. Demirtaş ve Ayas (2009) sera koşullarında kısıtlı sulama suyu miktarlarının biber verimine etkilerini incelemişlerdir. % 100 (K1_{cp}) sulama suyu konusunda verimin en yüksek (24 t/ha) % 0 (K5_{cp}) sulama konusunda en düşük (2 t/ha), % 75(K2_{cp}) sulama konusunda 19 t/ha, % 50 (K3_{cp}) sulama konusunda ise 11 t/ha ve % 25 (K4_{cp}) 4 t/ha olarak belirlemişlerdir. Meyve boyu en yüksek K1_{cp} konusunda 18.5 cm elde etmişler ve K2_{cp}, K3_{cp}, K4_{cp}, K5_{cp} konularında sırasıyla 16.5, 13.0, 11.0 ve 8.5 cm bulunmuştur. Biber meyve çapı sulama suyu konularına göre sırasıyla 2.8, 2.5, 2.0, 1.5 ve 0.9 olarak belirlenmiş.

Çizelge 3.1: Deneme konularına göre biber meyvesi boy, çap ve meyve et kalınlıkları değerlendirilmesi

Deneme Konuları	Meyve Boyu (cm)	Meyve Çapı (mm)	Meyve Et Kalınlığı (mm)
S1	18.0	19.9	3.9
S2	17.2	18.7	3.3
S3	16.7	17.8	2.5
S4	14.5	16.8	1.8

Çizelge 3.2: Deneme konularına göre biber verimi

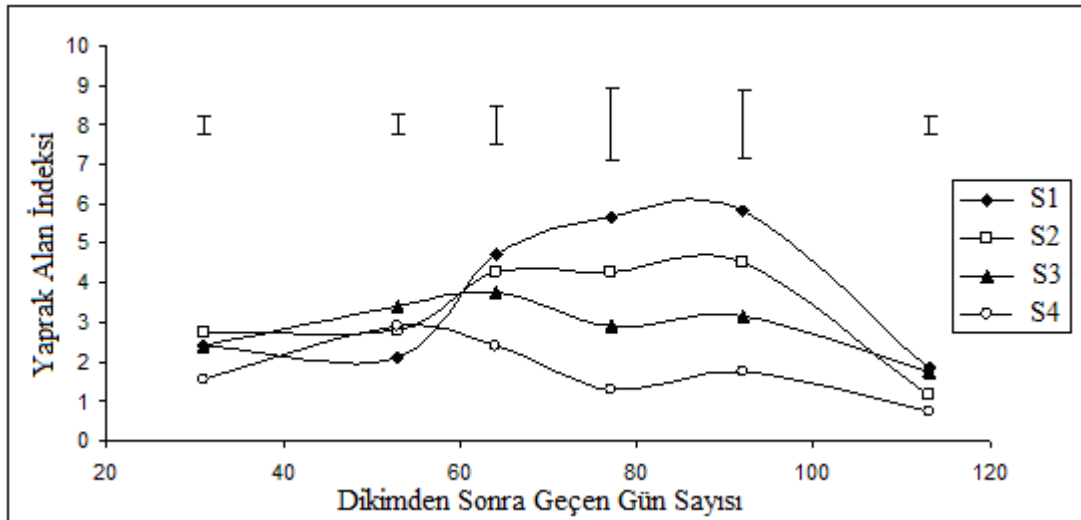
Deneme Konuları	Verim (kg/da)				Ortalama
	I. Tekerrür	II. Tekerrür	III. Tekerrür	IV. Tekerrür	
S1	3376.4	2852.6	3141.0	2938.3	3077.1
S2	2994.0	2746.6	2351.6	2037.8	2532.5
S3	2884.6	2688.8	1835.1	1909.6	2329.5
S4	2298.4	1471.4	1244.5	852.0	1466.6



Şekil 3.2: Deneme konularına göre hasat edilen biber meyvesi

3.2.1. Yaprak alan indeksi bulguları

Deneme konularına göre yetiştirme mevsimi boyunca yaprak alan indeksi (YAI) değişimleri Şekil 3.3’ de verilmiştir. YAI değerleri sulama suyu arttıkça artmış, azaldıkça azalmıştır. Biber için YAI yaklaşık 5.8 ve 0.8 değerleri arasında değişim göstermiştir. En yüksek YAI değeri S1, en düşük S4 sulama suyu konularından elde edilmiştir (Şekil 3.3) ve yetiştirme dönemi ortasında en yüksek değere ulaşmıştır. YAI değeri deneme süresince S1 konusunda en yüksek 5.8, en düşük 1.8 değerlerinde olduğu hesaplanmıştır. Sulama suyunun uygulanmadığı S4 konusunda ise en yüksek 1.6, en düşük 0.8 değerinde belirlenmiştir. Farklı sulama uygulamalarında biber bitkisi gelişme döneminde YAI değişiminin etkilendiği bu çalışmada ortaya konulmuştur.

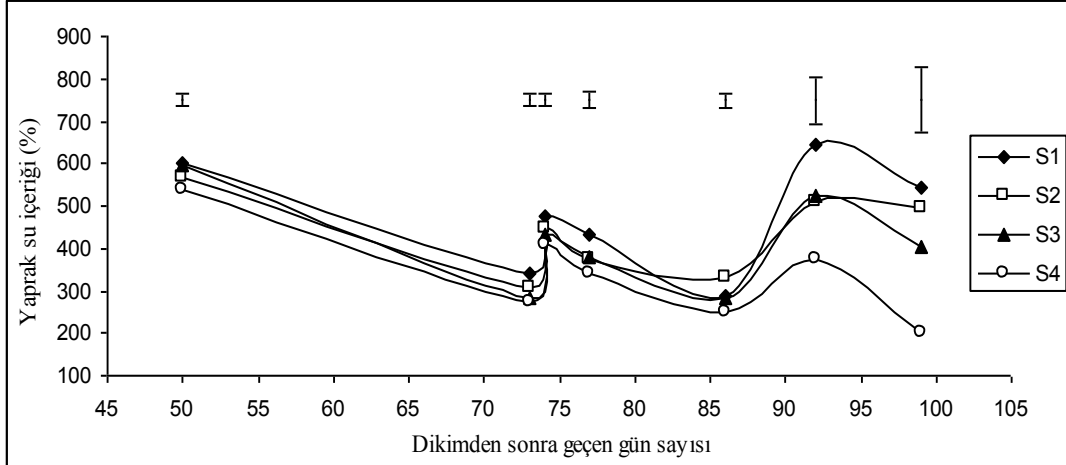


Şekil 3.3: Deneme konularına göre biber için YAI değişimi (standart hata çubukları % 5 olasılık sınırına göre yerleştirilmiştir)

Moreno ve diğ. (2003) de yaptıkları bir çalışmada biber bitkisi için dört farklı sulama suyu (% 125, %100, %75 ve %50) konularına göre yaprak alan indekslerini belirlemişlerdir. Kısıtlı su uygulamasında yaprak alan indeksinin en düşük, %100 sulama yapılan konuda ise en yüksek olarak bulmuşlardır. YAI' nin biberin gelişme dönemi ortalarında en yüksek 3.5 (%100 sulama) en düşük 2.2 (%50 sulama) olduğunu belirlemişlerdir. YAI değerlerinin bu çalışma ile karşılaştırılması sonucunda literatür ile uyumlu olduğu görülmüştür.

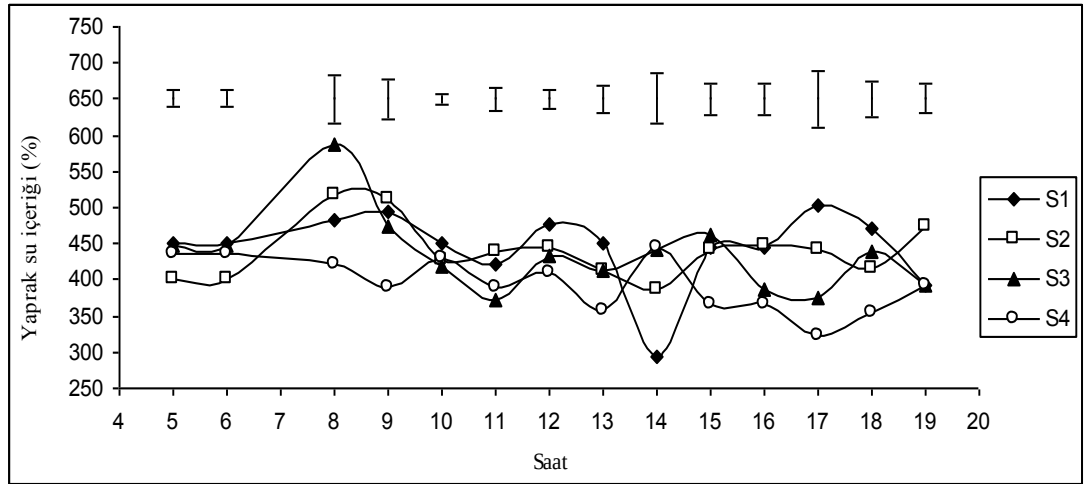
3.2.2 Yaprak su içeriği bulguları

Sulama suyu konularına göre yaprak su içeriği değişimi (YSİ) Şekil 3.4' de verilmiştir. Sulama suyu konularına göre S1 konusu YSI % 643 ve % 290, S4 konusu ise % 541 ve % 202 arasında değişim göstermiştir. S1 konusunda en yüksek seviyede, S4 konusunda ise en düşük seviyede olduğu ortaya koyularak bunun sonucunda sulama miktarına göre yetiştirme dönemi içerisinde yapılan ölçümlerde YSI etkilendiği görülmüştür. YSI değerleri için gün boyu saatlik ölçüm yapılmış ve gün içerisindeki değişimi Şekil 3.5' de verilmiştir.



Şekil 3.4: Deneme konularına göre belirli zamanlarda yaprak su içeriği değişimi (standart hata çubukları % 5 olasılık sınırına göre yerleştirilmiştir)

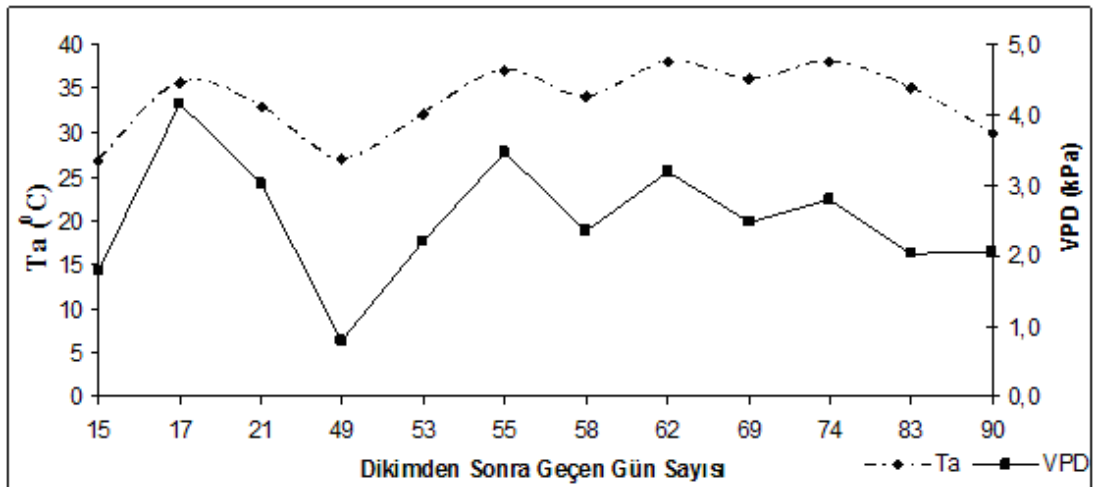
Çamoğlu ve diğ. (2011), yaptıkları çalışmada tatlı mısırdaki su stresinin fizyolojik ve morfolojik parametreler üzerine etkilerini incelemişlerdir. Elde edilen YSI değerleri, sulama konularına bağlı olarak istatistiksel açıdan farklılık göstermiştir. YSI, vejetatif dönemde %273-356, çiçeklenme döneminde %222-325 ve tane dolumu-hasat döneminde %117- 247 arasında değişmiştir. Genel itibariyle en düşük değerin S0, en yüksek değerin ise S100 konusunda olduğunu belirlemişlerdir.



Şekil 3.5: Deneme konularına göre gün boyu ölçülen yaprak su içeriği değişimi (standart hata çubukları % 5 olasılık sınırına göre yerleştirilmiştir)

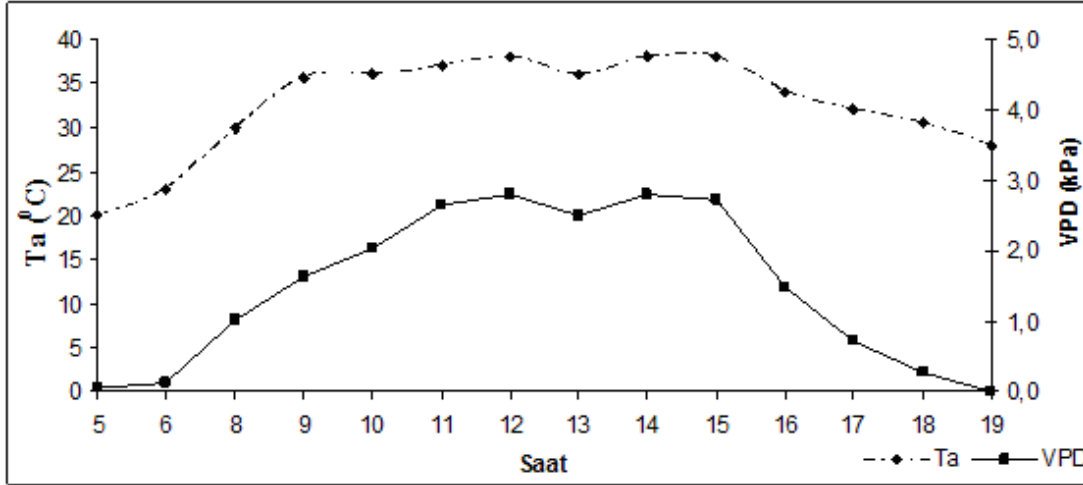
3.3 Buhar Basıncı Açığı (VPD) ve Bitki Örtü ile Hava Sıcaklığı Farkı ($T_c - T_a$) Değişim Bulguları

Bitki örtü sıcaklıklarının Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında belli aralıklarla bulutsuz günlerde infrared termometre ile ölçümü yapılmıştır. Çalışmanın devamında $T_c - T_a$ ve CWSI değerlerinin daha iyi yorumlanabilmesi için denemenin yürütüldüğü serada yetiştirme dönemlerinde ölçülen T_a değerlerine göre VPD değerlerinin değişimi Şekil 3.6' de verilmiştir. Şekil 3.6' ya göre dikimden sonra geçen günlerde T_a değişimine göre VPD' nin paralel bir şekilde değiştiği görülmektedir.



Şekil 3.6: Serada yetiştirme döneminde T_a ve buhar basıncı açığı (VPD) değişimi

VPD ve Ta arasında gün içerisindeki değişiminin daha iyi görülebilmesi için 07.08.2010 tarihinde gün doğumundan gün batımına kadar saatlik ölçümler alınmış ve Şekil 3.7' deki gibi grafiklendirilmiştir. Şekil 3.7' e göre Ta ve VPD gün doğumundan öğle saatlerine kadar artmış öğleden sonraki süreçte ise gün batımına kadar azalmıştır.



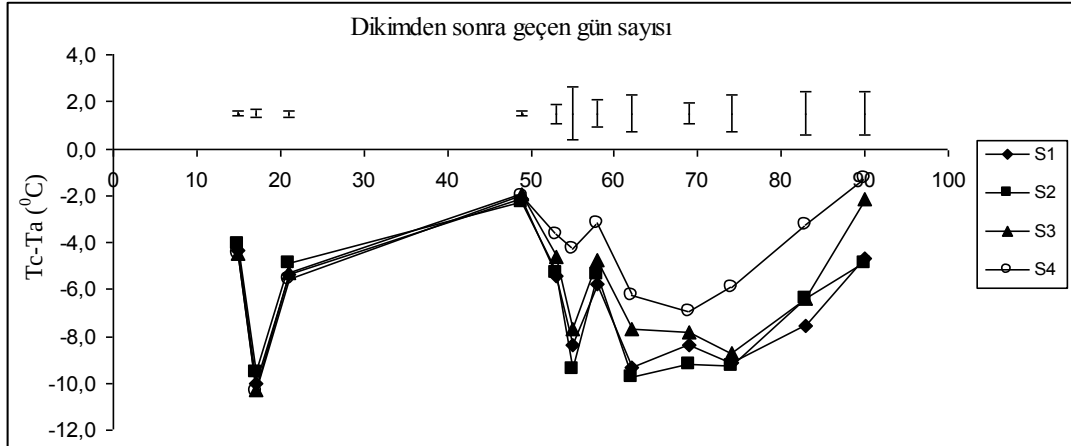
Şekil 3.7: Serada gün boyu ölçülen Ta ve VPD değişimi

Mashonjowa ve diğ. (2010), yılında sera ortamında yaptıkları bir çalışmada sera içerisindeki VPD değişiminin sabah saatlerinden öğle saatlerine doğru arttığı ve öğle saatlerinden akşam saatlerine doğru azaldığını belirtmişlerdir.

Tolk ve diğ. (1995) VPD değerinin gün boyunca değişiminde sabah saatlerinden öğleye kadar artan, öğleden sonra ise gün batımına kadar azalan bir durumun söz konusu olduğunu yaptıkları çalışmada belirlemişlerdir. Başka bir yapılan çalışmada Emekli (2007) Antalya bölgesi için bermuda çiminde CWSI değerlendirmesinde yaptığı gün boyu ölçümlere göre Ta ve VPD değişiminin gün doğumundan öğle saatlerine kadar arttığı öğleden sonra azaldığını göstermiştir.

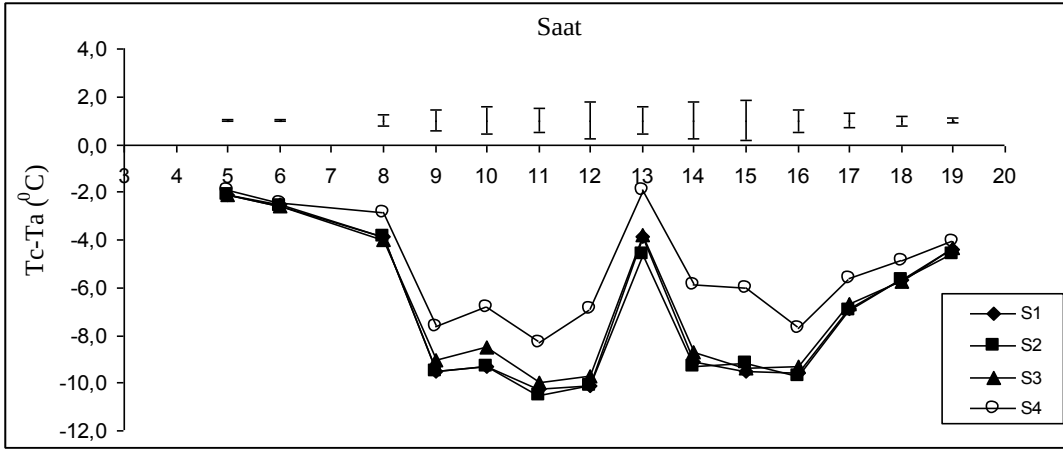
Serada deneme süresince ölçülen Ta, VPD ve sulama uygulamalarının Tc-Ta farkını etkilediği görülmüştür. Deneme konularına göre dikimden sonra geçen günlere göre Tc-Ta değişimi Şekil 3.8' de verilmiştir. Şekil 3.8' e göre en yüksek Tc-Ta değeri S4 konusunda, en düşük S1 konusunda elde edilmiştir. S1, S2, S3 ve S4 deneme konularında negatif Tc-Ta değerleri hesaplanmıştır. Genel olarak Tc-Ta değerleri en yüksek -1 °C ve en düşük -11 °C arasında değişim göstermiştir. Konular

arasında sulama suyuna ve sera ortamına ilişkin buharlaşma farklılıkları oluşmuştur. Potansiyel düzeyde buharlaşma gerçekleştiğinde Tc-Ta değerleri negatif, potansiyelin altında buharlaşma gerçekleştiği durumda ise Tc-Ta değeri pozitif olmaktadır. Buna göre potansiyelin altında bir transpirasyonun olduğu deneme konusunda (S4) pozitif sınıra yaklaşmıştır.



Şekil 3.8: Serada yetiştirme dönemi boyunca deneme konularına göre Tc-Ta değişimi (standart hata çubukları % 5 olasılık sınırına göre yerleştirilmiştir)

07.08.2010 tarihinde yapılan gün boyu saatlik ölçümler doğrultusunda deneme konularına göre Tc-Ta değişimi hesaplanmış ve Tc-Ta'nın gün boyu değişim grafiği Şekil 3.9' da verilmiştir. Şekil 3.9' a göre gün boyu ölçümler de Tc'nin, hava sıcaklığının altında kaldığı görülmektedir. Bu durumda grafikteki gibi Tc-Ta değerleri negatif olarak hesaplanmıştır. Gün içerisinde sabah saatlerinde 8.⁰⁰-9.⁰⁰ arasında Tc-Ta değerlerinde azalma meydana gelmiş bunun nedeni Tc değerinde Ta değerlerine göre daha fazla bir artış meydana gelmiştir. 12.⁰⁰-13.⁰⁰ saatleri arasında ise Ta değerinde azalma ve Tc değerindeki artış Tc-Ta değerinin yükselmesine neden olmuştur. Saat 13.⁰⁰-14.⁰⁰ arasındaki Tc-Ta değişimi ise Ta'daki artış ve Tc değerindeki azalmadan kaynaklı olduğu söylenebilir.



Şekil 3.9: Serada deneme konularına göre gün boyu hesaplanan Tc-Ta değişimi (standart hata çubukları % 5 olasılık sınırına göre yerleştirilmiştir)

Tc-Ta değerlerinin konular arasındaki değişiminin S4 olan konuda daha yüksek olduğu, S1 konusunda daha düşük olduğu saplanmıştır. Bunun nedeni S1 konularında ölçülen Tc değerlerinin daha düşük, S4 konularında ölçülen Tc değerlerinin daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Tc değerlerinin sulama konularına göre gün doğumundan öğle saatlerine kadar artış gösterdiği öğle saatlerinden gün batımına kadar azaldığı ortaya çıkmakta ve bu ölçümler sırasında gözlenmektedir.

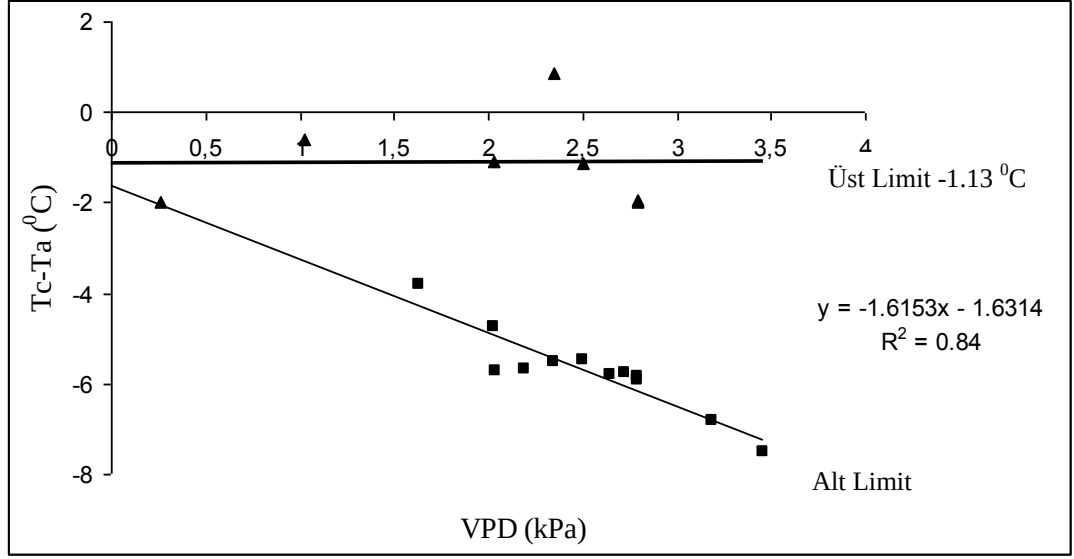
Kaçıra ve diğ. (2002), kontrollü çevre koşulları altında yaptıkları çalışmada Tc-Ta değerlerinin 1.5 ile - 4.0 arasında değiştiğini bulmuşlardır. Gelişme döneminin 75. gününden itibaren Tc-Ta değerleri negatif olarak bulunmuştur. Yani bu dönemden sonra bitki yüzey sıcaklığı ortam sıcaklığının altında seyretmiştir.

Bu çalışmaya benzer bulgular çeşitli araştırmacılar tarafından belirlenmiştir. Burke ve diğ. (1990), bitki örtü ve hava sıcaklıklarının sabah saatlerinden öğle saatlerine kadar arttığını, öğleden sonra ise azalma gösterdiğini belirtmişlerdir.

3.4 Bitki Su Stresi İndeksi (CWSI) Bulguları

Biber bitkisi için CWSI hesaplamada kullanılan temel grafik (Şekil 3.10) verilmiştir. Grafikte Alt baz hattı enerji dengesi esas alınarak hesaplanmıştır. Üst baz hattı deneme süresince buharlaşmanın gerçekleşmediği konuda ölçülen Tc-Ta ve hesaplanan VPD dikkate alınarak belirlenmiştir. Alt baz hattı için yapılan regresyon analizinde R^2 0.84 ve regresyon denklemi " $Tc-Ta = -1.6153VPD - 1.6314$ " olarak

bulunmuştur. Biber bitkisi için temel grafik üst limit -1.13°C ' dir. Deneme konularına göre CWSI değerleri alt ve üst baz hatlarına göre hesaplanmıştır.



Şekil 3.10: Biber için bitki su stresi indeksi (CWSI) hesaplamada kullanılan temel grafik

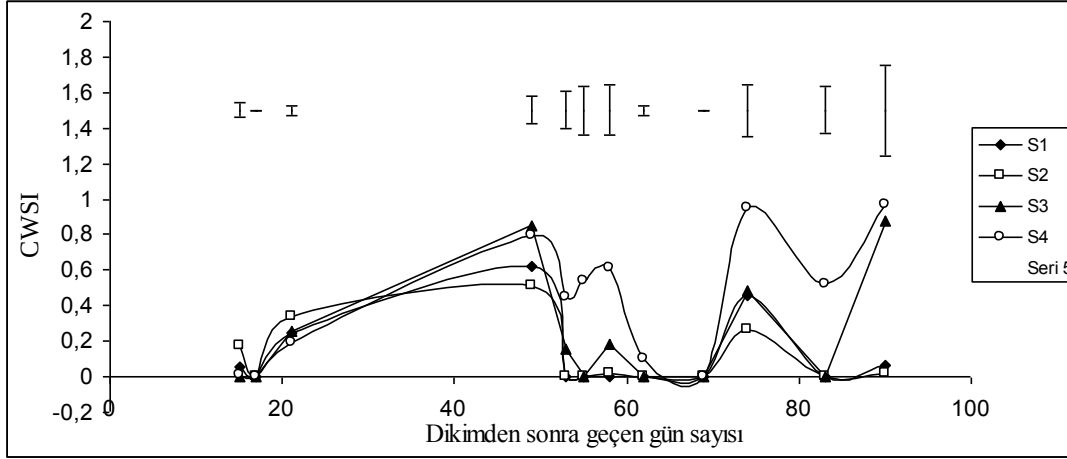
Idso (1982), çeşitli bitkilere ilişkin hem deneysel hem de teorik olarak alt sınır çizgilerini geliştirerek bunun bitkiye bağlı olduğunu deneysel olarak göstermiş ve bazı bitkilerin değişik fenolojik dönemlerinde alt sınırın farklı olduğunu ortaya koymuştur.

Horst ve diğ. (1989), su stresinin olmadığı alt sınırın bitkinin türüne, çeşidine ve çevre koşullarına bağlı olduğunu ayrıca bunun yanında rüzgâr hızı, net radyasyon ve bitki yüzeyinden etkilendiğini ifade etmiştir. Küçük bitkilerin yaprakları büyük bitkilerin yapraklarına göre çevre sıcaklığından daha fazla etkilenmiştir. Bunun sonucunda bitki boylarının kısa olduğu yetiştirme mevsimi başında su stresinin olmadığı alt sınıra gereksinim duyulmaktadır (Pinter ve Reginato, 1982).

Dünyanın farklı yerlerinde yürütülen denemelerin sonuçlarına göre UL ve LL değerleri arasındaki ilişkinin solar radyasyon, oransal nem, sıcaklık ve bitki koşullarına bağlı olarak değişiklik gösterebileceği söylenebilir (Gençoğlu, 1996).

Tc-Ta' ya dayalı bir biçimde hesaplanan CWSI değerleri, konular arasındaki su uygulama farklılıklarını görsel bir biçimde Şekil 3.11' de ortaya koymaktadır. Bu hesaplama metodolojisi mevcut olan Tc-Ta ve VPD değerlerinin alt baz ve üst baz hattı farklarının oranına dayalıdır. CWSI değerleri S1 ve S2 konularında birbirine daha yakın değişim göstermiştir. Susuz (S4) deneme konusu için hesaplanan CWSI

değeri 1.0 noktasına daha yakın S1 konusu için hesaplanan CWSI değeri 0 noktasına daha yakın bulunmuştur. CWSI değerlerinde negatif çıkan değerler 0, 1' in üzerinde çıkan değerler 1 kabul edilmiştir.



Şekil 3.11: Yetiştirme dönemi boyunca konulara göre CWSI değişimi (standart hata çubukları % 5 olasılık sınırına göre yerleştirilmiştir)

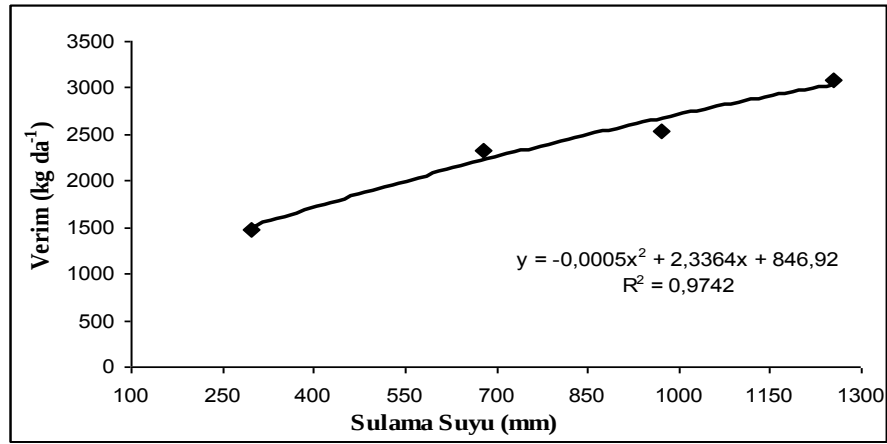
Kaçıra ve Ling (2001) de sera ortamında yaptıkları çalışmada iyi sulama koşullarında CWSI değerinin 0' a yakın olduğu belirlemişlerdir. Bitkide stres koşullarında buharlaşmanın azaldığı durumda CWSI' nin yükseldiğini tespit etmişlerdir.

Aladenola ve Chandra, (2012) sera ortamında sivri biber için dört farklı (% 120, % 100, %80 ve %40 sulama) sulama suyu uygulaması denemişlerdir. CWSI değerleri sulama suyu konuları için %120 sulamada 0.1, %100 sulamada 0.3, %80 sulamada 0.7 ve %40 sulama için 1 olarak belirlemişlerdir.

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

4.1 Sulama Suyu ve Verime İlişkin Analizler

Sulama suyuna karşın verim değerlendirildiğinde ikinci dereceden kuadratik bir eşitlik elde edilmiştir. Bu eşitliğin belirtme katsayısı 0.974 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1: Sulama suyuna karşın biber verim değişimi

Aladenola ve Madramootoo (2012), sera ortamında dört farklı sulama suyu uygulamasında verim değerlendirmişlerdir. 1. sulama konusu (%120 sulama)'nda 739.5 m³ sulama uygulayarak 26.953 kg/ha, 2. sulama konusunda (%100) 616.3 m³ sulamada 26.880 kg/ha, 3. sulama konusunda (%80) 493.1 m³ sulama miktarında 13.605 kg/ha ve 4. sulama konusunda (%40) 246.4 m³ sulama suyu uygulamasında 5.107 kg/ha verim elde etmişlerdir.

Deneme konularından elde edilen biber verimine ilişkin sonuçlara varyans analizi uygulanmış ve konular arasında istatistiksel farklılık belirlenmiştir (p<0.01) (Çizelge 4.1). Konular arasındaki farklılığın belirlenmesinde çoklu t testi yapılmıştır. Buna göre biber verimi ve Duncan testine göre üç farklı grup (S1 birinci, S2 ve S3 ikinci, S4 üçüncü grup) oluşturulmuştur. Deneme konularına göre biber bitkisi için ortalama verim değerleri ve Duncan sınıflandırılması Çizelge 4.2' de verilmiştir.

Çizelge 4.1: Biber verimi varyans analizi

Varyasyon Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F
Sulama Konuları	5373369.688	3	1791123.229	25,884
Tekrarlamalar	2053176.187	3	684392.062	9,890
Hata	622780.063	9	69197.785	
Genel	96517459.0	16		

% 1 düzeyinde önemli

Çizelge 4.2: Deneme konularına ilişkin biber verimi ve Duncan sınıflandırılması

Konular	Ortalama Verim (kg da ⁻¹)	Duncan Sınıfları
S1	3077.00	A
S2	2532.75	B
S3	2329.75	B
S4	1466.25	C

4.2 Biber Meyve Kalite Parametrelerine İlişkin Analizler

Deneme konularından elde edilen biber bitkisi için kalite parametresi olarak meyve boyu, meyve çapı ve meyve et kalınlığı değerlendirilmiştir. Bu kalite parametrelerine varyans analizi uygulanmış ve konular arasındaki istatistiksel farklılık belirlenmiştir (Çizelge 4.3). Varyans analizi sonuçlarına göre meyve boyu ($p<0.05$), meyve çapı ($p<0.05$) ve meyve et kalınlığı ($p<0.01$) istatistiksel olarak önemli bulunmuştur.

Daha sonra kalite parametrelerine Duncan testi yapılarak sınıflandırılmıştır (Çizelge 4.4). Duncan sınıflandırmasına göre biber meyve boyu iki farklı sınıfa (S1, S2 ve S3 konular birinci sınıf, S4 konu ikinci sınıf), meyve çapı üç farklı sınıfa (S1 birinci sınıf, S2 ve S3 ikinci sınıf, S4 üçüncü sınıf), meyve et kalınlığı ise dört farklı sınıf (her bir konu bir sınıfta) olarak ayrılmıştır.

Çizelge 4.3: Biber kalite parametreleri varyans analizi

Kalite Parametreleri	Varyans Kaynakları				F
		Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ort.	
Meyve Boyu	Sulama Konuları	26.663	3	8.888	6.130*
	Tekrarlamalar	2.168	3	0.723	0.498
	Hata	13.048	9	1.450	
	Genel	4444.200	16		
Meyve Çapı	Sulama Konuları	20.657	3	6.886	4.682*
	Tekrarlamalar	12.997	3	4.332	2.946
	Hata	13.236	9	1.471	
	Genel	5408.79	16		
Meyve Et Kalınlığı	Sulama Konuları	10.255	3	3.418	32.047**
	Tekrarlamalar	0.645	3	0.215	2.016
	Hata	0.960	9	0.107	
	Genel	146.420	16		

* p < 0.05, **p < 0.01

Çizelge 4.4: Deneme konularına ilişkin biber kalite parametreleri ve Duncan Sınıflandırılması

Konular	Meyve Boyu	Duncan Sınıfları	Meyve Çapı	Duncan Sınıfları	Meyve Et Kalınlığı	Duncan Sınıfları
S1	17.8	A	19.9	A	3.9	A
S2	17.2	A	18.7	AB	3.3	B
S3	16.7	A	17.8	AB	2.6	C
S4	14.5	B	16.8	B	1.8	D

4.3 Toprak Su İçeriğine İlişkin Analizler

Farklı sulama suyu uygulamaları sonucunda, serada kurulan biber deneme konularında her birinde yetiştirme dönemi boyunca farklı düzeylerde toprak su içeriği oluşturulmuştur. Farklı toprak su içeriklerine göre deneme konularında su stresinde, farklı vejetasyon düzeyleri oluşmuştur. Toprak su içeriğinin değişimine göre gelişim düzeylerinin belirlenmesi amacıyla elde edilen değerler arasında regresyon analizi yapılmıştır. Toprak su içeriği' nin Tc-Ta, CWSI, YSI ve YAI arasında regresyon analizine göre istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (Çizelge 4.5).

Regresyon denklemi $y = a + bx$ doğru denklemi olarak ifade edilir. Burada a doğrunun y eksenini kestiği değer, b ise doğrunun eğimini ifade etmektedir. t değeri regresyon denkelminin kabul edilebilirliğini ortaya koymaktadır.

Çizelge 4.5: Toprak su içeriği ile Tc-Ta, CWSI, YSİ ve YAI istatistik analiz sonuçları

Gösterge	r	t	a	b
Tc-Ta	0.730*	0.187**	4.934	-0.061
CWSI	0.833**	0.123**	1.460	-0.006
YSİ	0.716*	0.229**	58.949	2.111
YAI	0.830**	0.118**	-1.616	0.028

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

Toprak su içeriği ile değerlendirilen göstergeler arasında istatistiksel ilişkilerin korelasyon katsayıları, Tc-Ta için 0.730*, CWSI için 0.833**, YSİ 0.716* ve YAI 0.830** olarak belirlenmiştir. Buna göre bitki örtü sıcaklığının toprakta bulunan elverişli su ile doğrudan ilişkili olduğu ve biber için sulama zamanı tespit etmede örtü sıcaklığına dayalı CWSI' nin kullanılabilir olduğu söylenebilir. Farklı toprak su içeriğinin CWSI üzerinde etkili olduğu, ayrıca YSİ ve YAI içinde önemli etkisi olduğu analiz sonuçlarına göre söylenebilir.

4.4 Tc-Ta Değişiminin YSİ ve YAI' ne İlişkin İstatistiksel Analizler

Bitki yeterince terleme yaptığında örtü sıcaklığı hava sıcaklığından daha düşüktür. Bundan dolayı bitki örtü sıcaklığı toprak su içeriği kadar bitki su içeriğine de bağlıdır.

Bu bölümde Tc-Ta ile YSİ ve YAI ilişkileri irdelenmiştir (Çizelge 4.6). Tc-Ta ile YSİ ve YAI ilişkileri istatistiksel bakımdan önemlidir. Tc-Ta ile YSİ ve YAI verilerinde yapılan regresyon analizi sonuçlarına göre sırasıyla korelasyon katsayısı 0.787** ve 0.881* olarak bulunmuştur (Çizelge 4.6). Tc-Ta, örneklemeler ile belirlenen YSİ ve YAI su stresinin izlenmesinde etkili olduğu regresyon analizi sonuçlarına göre ortaya konulmuştur.

Çizelge 4.6: Tc-Ta ile YSİ ve YAI istatistik analiz sonuçları

Gösterge	r	t	a	b
YSİ	0.787**	0.225**	680.84	49.70
YAI	0.881**	0.162**	0.961	-0.377

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

4.5 CWSI Değişiminin YSİ ve YAI' ne İlişkin İstatistiksel Analizler

Bu bölümde CWSI ile YSİ ve YAI ilişkileri irdelenmiştir. Çizelge 4.7' de verilen regresyon analizi sonuçlarına göre CWSI ile YSİ ve YAI verileri arasında önemli ilişki belirlenmiştir.

Bitki su stresinin tespitinde Tc-Ta' nın etkinliğinin artırılması amacıyla geliştirilen CWSI ile YSİ ve YAI regresyon analiz sonuçlarına göre korelasyon katsayısı sırasıyla 0.808** ve 0.748* olarak belirlenmiştir. Analiz sonuçlarında görüldüğü gibi korelasyon katsayılarının yüksek olması sulama zamanı tespitinde CWSI' nin etkili olduğunun bir göstergesidir. Bu bulgular yapılan çalışmalar ile uyumlu çıkmıştır. Köksal (2006)' da yaptığı çalışmada istatistiksel analiz sonuçları ile CWSI' nin sulama zamanı tespitinde etkili olduğunu göstermiştir. Nielsen (2001) yaptığı çalışmada CWSI' nin buğdayda bitki su düzeyinin izlenmesinde ve sulama zamanı planlanmasında etkili olduğu ortaya koymuştur.

Çizelge 4.7: CWSI ile YSİ ve YAI istatistik analiz sonuçları

Gösterge	r	t	a	b
YSİ	0.808**	0.229**	579.56	-194.62
YAI	0.748*	0.280**	4.844	-2.858

* p < 0.05, **p < 0.01

4.6 Biber Verimi ve Kalite Parametrelerine İlişkin İstatistiksel Analizleri

Deneme konularına göre biber verim değerleri hesaplanan göstergeler (Tc-Ta, CWSI, YSİ, YAI)' in ortalamaları regresyon analizi ile değerlendirilmiştir. Deneme konularına göre verim değerleri ile göstergeler arasındaki istatistiksel analiz Çizelge 4.8' de verilmiştir. Çizelge 4.8' de verilen analiz sonuçlarına göre irdelenen parametrelerin tümü ile biber verimi istatistiksel öneme sahiptir. Biber verimi ile Tc-Ta, CWSI, YSİ, YAI göstergeleri arasında sırasıyla 0.945*, 0.933*, 0.998** ve 0.993** yüksek korelasyon bulunmuştur. Bu sonuçlara göre; biber verimi, irdelenen göstergeler ve istatistiksel ilişkiler kullanılarak tahmin edilebilir.

Çizelge 4.8: Biber verimi ile göstergeler arasındaki istatistiksel analiz sonuçları

Gösterge	r	t	a	b
Tc-Ta	0.945*	0.243**	-2.994	-0.001
CWSI	0.933*	0.271**	0.708	-0.0002
YSİ	0.998**	0.025**	219.80	0.0834
YAI	0.993**	0.08**	-0.0096	0.00125

*p < 0.05, **p < 0.01

Biber verimi ile irdelenen göstergeler arasında istatistiksel ilişkiler daha önce yapılmış çalışmalar ile ispatlanmıştır. Örneğin; Ankara koşullarında şekerpancarı bitkisine farklı sulama suyu düzeyleri uygulamasının verim ile CWSI, Tc-Ta, YSİ ve YAI gibi parametreleri arasında önemli ilişkiler bulunduğu ortaya konulmuştur (Köksal, 2006). Köksal (2006) yaptığı araştırmada, şekerpancarı kök verimi ile Tc-Ta, CWSI, YSİ ve YAI arasındaki korelasyon katsayısı sırasıyla 0.99, 0.99, 0.94, 0.88 olarak bulmuştur. Şekerpancarı şeker verimi ile Tc-Ta, CWSI, YSİ ve YAI arasında ise sırasıyla 0.96, 0.98, 0.97, 0.92 korelasyon katsayısı bulmuştur. Bu sonuçlara göre CWSI' nin bitkinin sulama zamanı planlamasında kullanılan olanaklarının yanı sıra verim tahmininde etkili olduğu ortaya çıkmıştır. Harran ovası koşullarında ikinci ürün mısırdaki yapılan bir çalışmanın sonuçlarına göre ortalama CWSI ile verim arasında istatistiksel bakımdan önemli ilişkiler bulunmuştur (Kırnak ve Gencoğlu, 2001).

CWSI ile kalite parametreleri arasında istatistiksel analiz yapılarak sonuçlar Çizelge 4.9' da verilmiştir. CWSI ile meyve boyu, meyve çapı ve meyve et kalınlığı arasında önemli düzeyde istatistiksel ilişki ortaya konulmuştur ve bu kalite parametreleri için korelasyon katsayısı sırasıyla 0.965**, 0.928**, 0.893** olarak belirlenmiştir. Bu analiz sonucuna göre CWSI değişiminin meyve kalitesini etkilediği görülmektedir. Farklı sulama suyu düzeylerine göre deneme konularında oluşan CWSI değişimi meyve boyu, meyve çapı ve meyve et kalınlığının da önemli değişikliklere yol açmıştır.

Çizelge 4.9: CWSI ile biber bitkisi kalite parametreleri arasındaki istatistiksel analiz sonuçları

Gösterge	r	t	a	b
Meyve Boyu	0.965**	0.190**	18.785	-9,785
Meyve Et Kalınlığı	0.928**	0.283**	4.161	-5.759
Meyve Çapı	0.893**	0.355**	20.079	-7.967

*p < 0.05, **p < 0.01

4.7 Sonuç ve Öneriler

Sulama suyu uygulama zamanı ve miktarına karar vermede toprak su içeriğine dayalı yöntemler çoğunlukla tercih edilmektedir.

Değişik nem düzeylerinde yapılan sulamaların bitkilerin gelişimine etkileri incelendiğinde, farklı sulama düzeylerinin bitkinin verimine, vejetatif gelişmesine etkisi olduğu gözlenmiştir. Sera koşullarında yetiştirilen biber su stresiyle karşılaştığı durumda bitkinin vejetatif gelişmesinde azalmalar ve bunun sonucunda verimde olumsuz etki yaptığı görülmüştür.

Çalışmada belirtildiği gibi bitki kök bölgesinde yeteri kadar su bulunması, bitkinin potansiyel düzeyde terleme yapmasına olanak sağlamaktadır. Bitki istenilen düzeyin altında terleme gerçekleştirdiğinde Ta ve VPD gibi iklim parametrelerinde artışa neden olmakta ve bitki örtü sıcaklığı artmaktadır. Ta' nın artması sera ortamında istenmeyen sonuçlar doğurmaktadır. Bu durumda infrared termometre aracı ile örtü sıcaklığının ölçülmesinde önemli rol oynamaktadır. Biber yetiştiriciliğinde infrared termometre ölçümlerinin alınabilmesi CWSI' nin hesaplanabilmesinde önem arz etmektedir. CWSI' nin belirlenmesinde hava sıcaklığı, nispi nem ve bitki örtü sıcaklığı ölçümlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada ölçülen değerler sayesinde elde edilen üst baz hatı ve enerji dengesi esasına dayanarak elde edilen alt baz hattı kullanılarak CWSI hesaplanması yapılmıştır. Genel olarak CWSI 0 ve 1.0 değerleri arasında değişim göstermiştir. CWSI değeri 1.0' e doğru yaklaştıkça bitkinin su stresi artmaktadır. Yapılan bu deneme sonucuna göre S1 konusunun 0' a yakın, S4 konusunun ise 1.0' e yakın olduğu görülmektedir. Yani susuz olan deneme konusunda stres koşulları oluşmaya başlamış ve yetersiz su olması durumundan dolayı bitkilerde strese yol açmıştır. Bu stres koşullarının oluşması biber bitkisinde verim kayıplarının yanında biber meyve

kalite parametreleri olan meyve et kalınlığı, meyve çapı ve meyve boyu gibi özelliklerde azalmalara yol açmıştır.

Sulama zamanının tespitinde CWSI parametresinin önemli olduğu bu çalışma ile ortaya konmuştur. CWSI, Tc-Ta, YSİ ve YAI parametrelerinin biber bitkisi vejetasyon düzeyinin izlenmesinde oldukça etkili olduğu belirlenmiştir. Ayrıca bu indekslerin biber verimi ile önemli istatistiksel ilişkilere sahip olduğu tespit edilmiştir.

Samsun koşullarında serada yetiştirilen biber için sulamaya karar vermede CWSI' nin bir kriter olarak kullanılabilir. Biber verimi ve CWSI değerleri arasında elde edilen ilişkinin serada biber yetiştiricileri için istenilen verim ve kalite için bitki su stresinin hangi düzeyde tutulması gerektiğine karar vermede kullanılabilir.

Biber bitkisi için sulama suyunun ne zaman ve ne kadar uygulanması gerektiği sadece çiftçiler için değil karar vericiler içinde çoğu zaman önemlidir. Uygulanan tarımsal işlemler sonucunda elde edilmesi muhtemel verimin önceden tahmin edilmesi yetiştirme dönemi bitmeden önlem alınmasına da olanak sağlamaktadır. Bu çalışma sonucunda elde edilen su stresine ilişkin sınır değerleri, su stresi ve verim ile irdelenen göstergelerin istatistiksel ilişkileri yetiştiricilere tarla düzeyinde, karar vericilere bölgesel düzeyde kullanılabilir olduğunu sağlamaktadır. Çalışma sonuçların da farklı sulama düzeylerine göre belirlenen CWSI sulama planlamasında su kullanım düzeylerinin izlenmesinde etkilidir ve özellikle Tc-Ta ve CWSI kullanılarak uygulanan tarımsal işlemlerin başarısı değerlendirilebilir ve yetiştirme dönemi sonunda elde edilecek verim tahmin edilebilir.

Yapılan bu çalışma ile elde edilen ölçüm sonuçlarına göre bitki su stresinin değerlendirilmesinde sulama programlaması amacıyla CWSI ölçümlerinin öğle saatlerinde yapılması önerilir. Deneysel yöntemle alt sınır çizgisi için yapılacak ölçümlerin farklı VPD düzeylerindeki günlerde geniş bir VPD aralığının elde edilmesiyle daha doğru sonuçlar elde edilecektir.

CWSI' nin hesaplanmasında kullanılan deneysel yöntemin geçerliliğini artırmak ve daha geniş bir coğrafyayı temsil etmesi için bitkinin tüm gelişme devresi boyunca günlük olarak öğle saatlerinde ölçümlerin alınması gereklidir. Her bir güne ait CWSI değerlerinin hesaplanması daha doğru bir yaklaşım olabilir.

Bu çalışma ile birlikte biber bitkisi gelişimi ve verimi üzerinde farklı sulama suyu düzeylerinin oldukça etkili olduğu ortaya koyulmuştur. Çalışma sonuçlarına göre, yeterli sulama suyu varlığında toprak su düzeyinin tarla kapasitesine ulaştıracak kadar sulama suyu uygulaması (S1 konusu) biber veriminin yüksekliği bakımından önerilebilir ve sera ortamında CWSI değerinin 0.15 civarında tutulması gerekmektedir. Sulama suyu kaynaklarının kısıtlı olması durumunda sulama suyundan % 15' lik bir kesinti yapılabilir. Sonuç olarak belirlenen CWSI, Tc-Ta, YSI ve YAI göstergeleri ile bitkilerin gelişim düzeyleri ve su stresini ortaya koyan fizyolojik parametreler ile önemli istatistiksel ilişkilere sahiptir. Serada yetiştirilen biber bitkisinin yanı sıra bir çok bitki çeşidi için CWSI değerinin belirlenmesi sulama suyu yönetiminde yararlı bir karar destek aracı olduğu bu çalışma ile ortaya koyulmuştur.

KAYNAKLAR

- Anonim, 2010. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü – TÜMAS.
- Aladenola, O., Madramootoo, C., 2012. Effect of different water application on yield and water use of bell pepper under greenhouse conditions. NABEC-CSBE/SCGAB Joint Meeting and Technical Conference. Northeast Agricultural and Biological Engineering Conference Canadian Society for Bioengineering.Lakehead University, Orillia, Ontario, 15-18 July.
- Allen, R.G., Pereira, L., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. UN-FAO, Roma, Italy.
- Barbosa da Silva, B., Ramana Rao, T. V., The CWSI variations of a cotton crop in a semi-arid region of a Northeast Brazil. Journal of Arid Environments, 62(4): 649-659.
- Burke, J.J., Hatfield, J.L., Wanjura, D.F., 1990. A thermal stres index for cotton. Agronomy J., 82:526-530.
- Bucks, D.A., Nakayama, F.S., French, O.F., Legard, W.W., Alexander, W.L., 1985. Irrigated Guayule-Evapotranspiration and plant water stress. Agricultural Water Management, 10:61-79.
- Campbell, G.S., 1985. Soil physics with BASIC: Transport models for soil-plant systems, Elsevier, New York.
- Caixeta, T.J., Bernardo, S., Casali, V.W., Oliveira, L.M., 1981. Effect of quantity of water and frequency of trickle irrigation on sweet pepper. Revista Ceres. Vol. 28 (155), pp:40-51.
- Cemek, B., 2005. “Samsun il ve ilçelerinde seraların iklimsel ihtiyaçlarının belirlenmesi” OMÜ. Zir. Fak. Cilt: 20-3, 34-44, Samsun.

- Cemek, B., Demir, Y., Uzun, S., 2005. Effects of Greenhouse Covers on Growth and Yield of Aubergine. *Europ. J. Hort. Sci.*, 70 (1). S. 16–22, ISSN 1611-4426.
- Chen, Y.B., Ling, P.P., A portable drought stres monitoring system for greenhouse new guinea impatiens production, ASAE Annual International Meetin Sponsored by ASAE, Paper Number: 01-014082.
- Colaizzi, P. D., Barnes, E.M., Clarke, T.R., Choi, C.Y., Waller, P. M., 2003a. Estimating soil moisture under low frequency surface irrigation using crop water stressindex. *Journal of irrigation and Drainage Engineering*. 129 (1): 27-35.
- Çelik, S. 1991. Tokat-Kazova’da biberin su tüketimi ve farklı sulama programlarının bitki kurumalarına olan etkisi. Köy Hizm. Tokat Arşt. Enst. Müd. Yay. Gen. Yay. No:110, Rap. Ser. No:67, 44s.Tokat.
- Çamoğlu, G., Genç, L., Aşık, Ş., 2011. Tatlı mısırd (Zea mays saccharata Sturt) su stresinin fizyolojik ve morfolojik parametreler üzerine etkisi. Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi 48(2): 141-149, ISSN 1018 – 8851.
- Dağdelen, N., Yılmaz, E., Baş, T., Sezgin, F., 2002. Kısıtlı sulama suyu uygulamalarının sanayi biberi verimine etkisinin belirlenmesi. IV. Sebze Tarımı Sempozyumu, 17-20 Eylül 2002, Bursa, s. 147-153.
- Demirtaş, Ç., Ayaş, S., 2009. Deficit irrigation effects on pepper (Capsicum annuum L. Demre) yield in unheated greenhouse condition. *Journal of Food, Agr. Env.* Vol. 7(3-4): 989-993.
- Ehrler, W.L., Idso, S.B., Jackson, R.D., Reginato, R.J., 1978a. Wheat canopy temperature: Relation to plant water potential. *Agronomy J.* 70: 251-256.
- Ehrler, W.L., Idso, S.B., Jackson, R.D., Reginato, R.J., 1978b. Diurnal changes in plant water potential and canopy temperature of wheat as affected by drought. *Agronomy J.* 70:999-1004.
- English, M., Raja, S.N., 1996. Perspectives on deficit irrigation. *Agric. Water Manage.* 32, 1–14.
- Emekli, N.Y., Büyüktaş, K., 2006. Sera örtü malzemelerinin mekanik özellikleri. Akdniz Üniversitesi, Ziraat Fkültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Syf. 24-35.

- Emekli, Y., Baştuğ, R., Büyüктаş, D., Emekli, Y. E., 2007. Evaluation of a crop water stress index for irrigation scheduling of bermudagrass, *Agricultural Water Management*. 90(3): 205-212.
- Ersöz, İ.K., Avcı, K., 1999. Bafra ovası koşullarında kısıtlı su uygulamasının salçalık biber verimine etkisinin saptanması, KHGM, APK Daire Bşk. Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Yıllığı, Yayın No: 115, s. 16-30, Ankara.
- Erken, O., 2004. Çanakkale yöresinde damla sulama yöntemiyle sulanan biberde (*Capsicum annum*) en uygun sulama programının belirlenmesi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- Fangmeier, D.D., Garot, D.J., Humsan, S.H., 1988. Water stress effect on trickle irrigated cotton. *Amerc. Soc. Agric. Eng. Paper No: 88-2065*.
- Gençoğlu, C., 1996. Mısır bitkisinin su-verim ilişkileri, kök dağılımı ile bitki su stresi indeksinin belirlenmesi ve ceres-maize bitki büyüme modelinin yöreye uyumluluğunun irdelenmesi. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Doktora tezi. Adana.
- Gençoğlu, C., Yazar, A., 1999. Çukurova koşullarında yetiştirilen I. ürün mısır bitkisinde infrared termometre değerlerinde yararlanarak bitki su stresi indeksi (CWSI) ve sulama zamanının belirlenmesi. *J. Of Agriculture and Forestry*, 23: 87-95.
- Gontia, N. K., Tiwari, K. N., 2008. Development of crop water stress index of wheat crop for scheduling irrigation using infrared thermometry. *Agricultural Water Management*. 95(10): 1144-1152.
- Harmanto Salokhe, V.M., Babel, M.S., Tantau, H.J., 2005. Water requirement of drip irrigated tomatoes grown in greenhouse in tropical environment, *Agricultural Water Management*, 71: 225-242.
- Hakgören, F., 1993. Toprak-Su-Bitki İlişkileri. Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü. Yüksek lisans ders notları.
- Horst, G.L., O'toole, J.C., Faver, K.L., 1989. Seasonal and bpecies variation in baseline functions of determining crop water stres indices in turfgrass. *Crop Sci.*, 29:1227-1232.
- Idso, S.B., Jackson, R.D., Reginato, R.J., 1977. Remote sensing of crop yields. *Science* 196: 19-25.

- Idso, S.B., Jackson, R.D., Pinter, P.J., Reginato, R.J., Hatfield, J.L., 1981. Normalizing the stres-degree-day parameter for environmental variability. *Agricultural Meteorology*, 24:45-55.
- Idso, S.B., 1982. Non-Water-Stressed baselines: A key to measuring and interpreting plant water stres. *Agric. Meteorol.*, 27:59-70.
- Idso, S.B., Pinter, P.J., Reginato, R.J., Clawson, K.L., 1984. Stomal conductance and photosynthesis in water hyacinth: effects of removing water from roots as quantified by a foliage-temperature-based plant water stres index. *Agricultural and forest meteorology*, 32:249-256.
- Inoue, Y., Moran, M.S., 1997. A simplified method for remote sensing of daily canopy transpiration-a case study with direct measurements of canopy transpiration in soybean canopies. *Int. J. Remote Sensing*, 18(1):139-152.
- Jackson R.D., Idso, S.B., Reginato, R.J., Pinter, P.J., 1981. Canopy temperature as a crop water stres indicator. *Water Resources Research*. 17 (4): 1133-1138.
- James, D.W., Hanks, R.J., Jurinak, J.J., 1982. *Modern irrigation soils*. John Wiley and Sons, Inc. USA. (235).
- Kaçıra, M., Ling, P.P., 2001. Design and development of an automated and non-contact sensing system for continuous monitoring of plant health and growth. *American Society of Agricultural Engineers*, ISSN 0001-2351.
- Kaçıra, M., Ling P.P., Short, T.H., 2002. Establishing crop water stres index (CWSI) threshold values for early, non-contact detection of plant water stres. *American Society of Agricultural Engineers*. Vol. 45(3): 775-780.
- Katsoulas, N., Baille, A., Kittas, C., 2001. Effect of misting on transpiration and conductances of a greenhouse rose canopy. *Agricultural and Forest Meteorology* 106:233-247.
- Kırnak, Y., Gencoğlu, C., 2001. Bitki su stresı indeksi (CWSI) tekniğinin ikinci ürün mısır bitkisinin sulamasında kullanımı. *HR. Ü. Z. F. Dergisi*. 5(3-4): 67-75.
- Köksal, E.S., 2006. Sulama suyu düzeylerinin şekerpancarının verim, kalite ve fizyolojik özellikleri üzerindeki etkisinin, infrared termometre ve spektrometre ile belirlenmesi, Ankara Ü., Z.F., TYS Bölümü, Doktora Tezi, Eylül.
- Mashonjowa, E., Ronsse, F., Mhizha, T., Milford, J.R., Lemeur, R., Pieters, J.G., 2010. The effects of whitening and dust accumulation on the microclimate and

- canopy behaviour of rose plants (*Rose hybrida*) in a greenhouse in Zimbabwe. *Solar energy* 84: 10-23.
- Matthews, M.A., Anderson, M., 1988. Fruit ripening in *Vitis vinifera* L.: Responses to seasonal water deficits *Amer. J. Enol. Viticult.* 39:3 13-320.
- Monteith, J.L., 1973. *Principles of environmental physics*, Arnold. London.
- Monteith, J.L., Unsworth M.H., 1990. *Principles of environmental physics*. Second edition. 291 p.
- Moreno, M.M., Ribas, F., Moreno, A., Cabello, M.J., 2003. Physiological response of a pepper (*Capsicum annuum* L.) crop to different trickle irrigation rates. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 1(2), 65-74.
- Nielsen, D.C., Gardner, B.R., 1987. Scheduling irrigations for corn with the crop water stress index (CWSI). *Applied Agricultural Research* Vol. 2, No: 5, pp. 295-300.
- O' Shaughnessy, S. A., Evett, S. R., Colaizzi, P. D., Howell, T. A., Using radiation thermography and thermometry to evaluate crop water stress in soybean and cotton. *Agricultural Water Management*. 98(10): 1523-1535.
- O'toole, J.C., Hatfield, J.L., 1983. Effect of wind on the crop water stress index derived by infrared thermometry. *Argon. J. Vol.* 75: 811-817.
- Palevitch, D., Gera, G., Shaked, M., Levy, A., Menagem, E., Yehuda, M., 1980. Irrigation of paprika. Hassadeh, Agr. Res. Station, Israel .Vol. 60 (8):1535-1543.
- Payero, J.O., Irmak, S., 2006. Variable upper and lower crop water stress index baselines for corn and soybean. *Irrigation Science*. 25: 21-32.
- Penuelas, J., Save, R., Marfa, O., Serrano, L., 1992. Remotely measured canopy temperature of greenhouse strawberries as indicator of water status and yield under mild and very mild water stress conditions. *Agricultural and Forest Meteorology*. Volume: 58, Issues 1-2, Pages 63-77, March.
- Pinter, P.J., Reginato, R.J., 1982. A thermal infrared technique for monitoring cotton water stress and scheduling irrigation. *Transaction of the ASAE*. Vol. 25(6): 1651-1655.
- Prenger, J.J., Ling, P.P., Hansen, R.C., Keener, H.M., 2005. Plant Response Based Irrigation Control System In a Greenhouse: System Evaluation. *American Society of Agricultural Engineers* ISSN 0001-2351.

- Reginato, R.J., Howe, J., 1985. Irrigation scheduling using crop indicators. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 111(2): 125-133.
- Ritchie, J. T., Johnson, B. S., 1990. Irrigation of Agricultural Crops. *Agronomy Monograph No. 30*, pp. 363-390.
- Slack, D.C., Scherer, T.F., Clark, L.J., Fox, F., 1989. Theoretical basis for crop water stress index unstressed baseline variability. *Amer. Soc. Agr. Eng., Paper No: 89-2085*.
- Smith, M., 1984. Irrigation scheduling and water distribution. *Crop water requirements international conference*. P: 498-514.
- Tanner, C.B., 1963. Plant Temperatures. *Agronomy J.* 55: 210-211.
- Tüzel, Y., 2003. Protected cultivation in Turkey. 5th FAO Regional Working Group Meeting on “Greenhouse Crop Production in the Mediterranean Region”, 10-13 November 2003. Nicosia, Cyprus.
- Tolk, J.A., Howell, T.A., Steiner, J.L., Krieg, D.R., Schneider, A.D., 1995. Role of transpiration suppression by evaporation of intercepted water in improving irrigation efficiency. *Irrigation Science*, 16: 89-95.
- Topçu, S., 1998. Tarım Mühendisliğinde Çevre Sorunları. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Genel Yayın No: 209. Ders Kitapları No: A-65, Adana.
- Ul, M. A., Tüzel, İ. H., Tüzel, Y., 1994. Sonbahar dönemi sera domates yetiştiriciliğinde farklı su düzeylerinin verim ve kalite üzerine etkileri. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 1994. Cilt (Vol): 31, No: 2-3. s. 9-16.
- Ünlü, M., Kanber, R., Kapur, B., Tekin, S., Koç, D. K., 2011. The crop water stress index (CWSI) for drip irrigated cotton in a semi – arid region of Turkey. *African Journal of Biotechnology*, 10(12): 2258-2273
- Üstün, S., 1998. Sera projelerinin hazırlanmasına yönelik bir uzman sistemin oluşturulması. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, s:1, Adana.
- Wang, L., Qui, G.Y., Zhang, X., Chen, S., 2005. Application of a new method to evaluate crop water stress index. *Irrigation Science*. 24:49-54.
- Ward, A.D., Elliot, W.J., 1995. *Environmental hydrology*. CRC Press, 462, USA.
- Wankade, B.N., Morey, D.K., 1985. Water use studies on capsicum annum. Central Research Station, Punjabrao Krishi Vidyapeeth Akola, Maharashtra, India.
- Wanjura, D.F., Hatfield, J.L., Upchurch, D.R., 1990. Crop water stress index relationships with crop productivity. *Irrigation Science* 11: 93-99.

- Vural, H., Eşiyok, D., Duman, İ., 2000. K lt r sebzeleri (Sebze Yetiştirme) kitabı, Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bah e Bitkileri Bölümü, Syf: 293-305. Bornova, İzmir.
- Xie, J., Cardenas, S. E., Sammis, T.W., Wall, M.M., Lindsey, L.D., Murray, L.W., 1999. Effects of irrigation method on chile pepper yield and Phytophthora root rot incidence. *Agricultural Water Management* 42: 127-142.
- Yazar, A., Howell, T. A., Dusek, D.A., Copeland, S., 1999, Evaluation of crop water stres index for LEPA irigated corn, *Irrigation Science*, 18:171-180.
- Yıldırım, O., Yanmaz, R., Aldemir, D., Atak, H., 1994a. Damla yöntemiyle sulanan biber bitkisinde uygun sulama aralığı ve sulama suyu ihtiya ının belirlenmesi, A. . Ziraat Fakültesi Yayın No: 1372, Ankara, 16 s.
- Yıldırım, O., Yanmaz, R., Orta, A.H., 1994b. Effect of different irrigation methods and irrigation regimes on pepper yield, University of Ankara Faculty of Agriculture Publication No: 1369, 12 p, Ankara.
- Yuan, G., Luo, Y.İ., Sun, X., Tang, D., 2004. Evaluation of crop water stress index for detecting water stress in winter wheat in the North China Plain. *Agricultural Water Management*, 64: 29-40.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Demet YILDIRIM

Doğum Yeri ve Tarihi: Çarşamba – 22.10.1983

Adres: -

E-Posta: q_d_yildirim@hotmail.com

Lisans: Ondokuz Mayıs Üniversitesi – Ziraat Fakültesi – Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü

Yüksek Lisans : Ondokuz Mayıs Üniversitesi – Fen Bilimleri Enstitüsü – Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı (Devam etmekte)

Mesleki Deneyim :

- Araştırma Görevlisi (2010-2012) Ondokuz Mayıs Üniversitesi – Fen Bilimleri Enstitüsü – Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı
- Mühendis (2012- Devam etmekte) Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü

