

ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

SULAMA SUYU DÜZEYLERİNİN ŞEKERPANCARININ VERİM, KALİTE VE
FİZYOLOJİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN, İNFRARED
TERMOMETRE VE SPEKTORADYOMETRE İLE BELİRLENMESİ

EYÜP SELİM KÖKSAL

TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA ANABİLİM DALI

ANKARA

2006

Her hakkı saklıdır

Prof. Dr. Y. Ersoy YILDIRIM danışmanlığında, Eyüp Selim KÖKSAL tarafından hazırlanan “Sulama Suyu Düzeylerinin Şekerpancarının Verim, Kalite ve Fizyolojik Özellikleri Üzerindeki Etkisinin, İnfrared Termometre ve Spektrometre ile Belirlenmesi” adlı tez çalışması 27.09.2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof.Dr. Mehmet APAN
Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi
Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı

Üye : Prof .Dr. Süleyman KODAL
Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi
Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı

Üye : Prof.Dr. Fazlı ÖZTÜRK
Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi
Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı

Üye : Prof.Dr. Y. Ersoy YILDIRIM
Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi
Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı

Üye : Doç.Dr. Halil KIRNAK
Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi
Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Pof.Dr. Ülkü MEHMETOĞLU
Enstitü Müdürü

ÖZET

Doktora Tezi

SULAMA SUYU DÜZEYLERİNİN ŞEKERPANCARININ VERİM, KALİTE VE FİZYOLOJİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN, İNFRARED TERMOMETRE VE SPEKTORADYOMETRE İLE BELİRLENMESİ

Eyüp Selim KÖKSAL

Ankara Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Y. Ersoy YILDIRIM

Sulama suyu yönetiminde etkin karar destek araçları büyük öneme sahiptir. Gelişen teknoloji ile bir çok sektörde olduğu gibi sulama suyu yönetiminde de uzaktan algılama tekniklerine dayalı karar destek araçları giderek önem kazanmaktadır. Bu çalışmada, yedi farklı sulama konusundan oluşan şeker pancarı denemesi Ankara koşullarında ağır bünyeli toprakta, 2004 ve 2005 yıllarında yürütülmüştür. Bitkiler infrared termometre ve spektoradyometre araçları başta olmak üzere çeşitli cihazlarla ve örnekleme yolu ile izlenmiş çeşitli göstergeler elde edilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre yüzey sıcaklığına dayalı CWSI ve yaprak suyuna bağlı YSP su stresine, spektral indekslerden Normalize Edilmiş Vejetatif Değişim İndeksi (NDVI) ve Toprak Yansımalarını Dikkate Alan Vejetasyon İndeksi (SAVI) ise vejetasyon düzeyine oldukça duyarlıdır. Genel olarak incelenen fizyolojik parametreler ile uzaktan algılanmış verilerle hesaplanan indekslerin istatistiksel ilişkileri önemli bulunmuştur.

2006, 101 Sayfa

Anahtar Kelimeler : İnfrared termometre, spektoradyometre, uzaktan algılama, şeker pancarı, su stresi, spektral indeks.

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

DETERMINATION OF THE EFFECTS OF DIFFERENT IRRIGATION LEVEL ON SUGARBEET YIELD, QUALITY AND PHYSIOLOGY USING INFRARED THERMOMETER AND SPECTRORADIOMETER

Eyüp Selim KÖKSAL

Ankara University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Agricultural Structures and Irrigation

Supervisor: Prof. Dr. Y. Ersoy YILDIRIM

Effective decision support tools are of great importance for irrigation water management. In agriculture as in the other sectors decision support tools which depend on remote sensing have become very important with the development of technology. In this study, a sugar beet field experiment was established during 2004 and 2005 growing season under heavy soil conditions in Ankara. Crops were monitored with instruments such as infrared thermometer and spectroradiometer and with plant sampling and some indices were determined. Consequently, CWSI depending on canopy temperature and YSP based on leaf water content are very sensitive to water stress and other indices such as Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI), calculated with spectral data are very sensitive to vegetation level. There appeared to be significant relationships between the physiological parameters determined in this study and the parameters based on remotely sensed data calculation.

2006, 101 Page

Key Words : Infared thermometer, spectroradiometer, remote sensing, sugar beet, water stres, spectral index.

TEŞEKKÜR

Çalışmamda bilgi öneri ve yardımlarını esirgemeyen sayın Prof. Dr. Yetkin GÜNGÖR ve Prof. Dr. Y. Ersoy YILDIRIM'a, tez metodolojisine katkılarından dolayı sayın Prof. Dr. Süleyman KODAL, Doç. Dr. Halil KIRNAK ve Dr. Adem İLBEYİ'ne, çalışmanın yürütülmesinde gerekli alt yapının teminindeki yardımları için sayın Dr. Haluk ÜSTÜN, Prof. Dr. Turhan AKÜZÜM ve Suat AKGÜL'e, laboratuvar çalışmalarına katkı ve destekleri için sayın Atilla GÜNTÜRK ve Dr. Hesna ÖZCAN'a, arazi çalışmalarının yürütülmesindeki yardımlarından dolayı İsmail KABASAKAL, İbrahim ÇOLAK ve Muhterem ÖZÇELİK'e, arazi ve laboratuvar çalışmalarında Toprak ve Su Kaynakları Ankara Araştırma Enstitüsü'nün emeği geçen tüm personeline, şeker pancarı tohumunun sağlanmasında, şeker pancarı ekim, hasat ve analizinde destek ve katkılarından dolayı Şeker Enstitüsü çalışanlarından sayın Dr. Koç Mehmet TUĞRUL, Ayşegül PİREBAŞ, Mustafa ERDAL ve Mustafa KANTAROĞLU'na, çalışmalarım süresince fedakarlıkla desteklerini esirgemeyen eşime, anneme ve babama şükran ve teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması, Toprak ve Su Kaynakları Ankara Araştırma Enstitüsü tarafından desteklenmiştir.

Eyüp Selim KÖKSAL

Ankara, Eylül 2006

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
1.GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	4
2.1 Ülkemizde Yapılan Şeker Pancarı Sulamasına İlişkin Çalışmalar.....	4
2.2 Bitki Yüzey Sıcaklığına İlişkin Çalışmalar.....	11
2.3 Bitki Spektral Yansıma Oranları ve Spektral Vejetasyon İndekslerine İlişkin Çalışmalar.....	23
2.4 Yaprak Su Düzeyine İlişkin Çalışmalar.....	27
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	33
3.1 Materyal.....	33
3.1.1 Araştırma yeri.....	33
3.1.2 Araştırma yerinin iklim özellikleri.....	33
3.1.3 Araştırma yerinin toprak özellikleri.....	35
3.1.4 Çalışmada kullanılan ölçüm araçları.....	35
3.2 Yöntem.....	37
3.2.1 Deneme metodu.....	37
3.2.2 Çalışmada kullanılan araçların kalibrasyon ve ölçüm yöntemleri.....	39
3.2.3 Çalışmada yapılan gözlemler ve laboratuvar analizleri ile elde edilen parametreler.....	43
3.2.4 Spektrodadyometre ve infrared termometre verileri ile belirlenen indeksler.....	46
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	48
4.1 Sulama Suyu ve Bitki Su Tüketimi.....	48
4.2 Şeker Pancarı Verim ve Kalitesi.....	53
4.3 İnfrared Termometre ve Bitki Örtü Sıcaklığı Bulguları.....	53
4.4 Spektrodadyometre ve Spektral Yansıma Oranı Bulguları.....	57
4.4.1 Şeker pancarı spektral yansıma oranları.....	57
4.4.2 Spektral indeksler.....	60
4.5 Bitki Örnekleme Sonucu Elde Edilen Fizyolojik Bulgular.....	66
4.5.1 Yaprak su potansiyeli, yaprak su içeriği ve yaprak oransal su kapsamı.....	67
4.5.2 Yaprak alan indeksi, kuru madde ve klorofil içeriği.....	70
5. TARTIŞMA ve SONUÇ.....	73
5.1 Şeker Pancarı Verim ve Kalite Parametrelerine İlişkin Analizler.....	73
5.2 Toprak Su İçeriğine İlişkin Analizler.....	76
5.3 Yaprak Sıcaklığı ve Su Potansiyeline İlişkin Analizler.....	79
5.4 Spektral İndekslere İlişkin Analizler.....	82

5.5 Verim ve Arıtılmış Şeker Verimine İlişkin Analizler	89
5.6 Sonuç ve Öneriler	91
KAYNAKLAR	95
ÖZGEÇMİŞ	103

SİMGELER DİZİNİ

α	Albedo
a_{psy}	Psikrometrik Enstrüman Sabiti
AŞV	Aritılmış Şeker Verimi
CASI	Compact Airborne Spectral Imager
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
CWSI	Bitki Su Stres İndeksi
E_a	Gerçek Buhar Basıncı
EN (%50)	Elverişli Nemin % 50'si Düzeyi
E_s	Doymuş Buhar Basıncı
ET	Evapotranspirasyon
EWT	Eşdeğer Su Yüksekliği
G	Toprak Isı Değişimi
GDD	Büyüme Gün Düzeyi
GNDVI	Yeşil Normalize Edilmiş Vejetatif Değişim İndeksi
GPS	Küresel Yer Belirleme Sistemi
K_{cb}	Bazal Bitki Katsayısı
LL	Alt Baz Hattı
LWCI	Yaprak Su Kapsamı İndeksi
MCARI	Modifiye Edilmiş Yansıma Oranında Klorofil Absorpsiyonu İndeksi
MSAVI	Modifiye Edilmiş SAVI
MSI	Nem Stres İndeksi
N_c	Azot Konsantrasyonu
NDVI	Normalize Edilmiş Vejetatif Değişim İndeksi
NIR	Yakın Kızıl Ötesi Bölge (700-1100 nm Aralığı)
nm	Nano metre
NPCI	Normalize Edilmiş Pigment Klorofil İndeksi
OSAVI	Optimize Edilmiş SAVI
P	Atmosfer Basıncı
PV	Pancar Verimi
PWC	Bitki Su Konsantrasyonu
Red	Kırmızı Bölge (620-700 nm Aralığı)
RH	Nispi Nem
R_n	Net Radyasyon
R_s	Toplam Güneş Radyasyonu
SAVI	Toprak Yansımalarını Dikkate Alan Vejetasyon İndeksi
SDG	Stres Düzey Günü
SFG	Sap Akım Isı Dengesi
SN	Solma Noktası
SR	Basit Oran
SVI	Spektral Vejetasyon İndeksleri
SWIR	Kısa Dalga Kızıl Ötesi Bölge (400-2500nm Aralığı)
T_a	Hava Sıcaklığı
TCARI	Dönüştürülmüş Yansıma Oranında Klorofil Absorpsiyonu İndeksi
$T_c - T_a$	Bitki Sıcaklığı ile Hava Sıcaklığı Farkı
TK	Tarla Kapasitesi

TKF	Toplam Klorofil Miktarı
Tr _p	Potansiyel Transpirasyon
UL	Üst Baz Hattı
VICC	Klorofil Konsantrasyonu için Vejetasyon İndeksi
VILAI	YAI İçin Vejetasyon İndeksi
VPD	Buhar Basıncı Açığı
WDI	Su Eksiklik İndeksi
YAI	Yaprak Alan İndeksi
YO	Yansıma Oranı
YOSK	Yaprak Oransal Su Kapsamı
YSİ	Yaprak Su İçeriği
YSP	Yaprak Su Potansiyeli
µm	Mikron metre
WI	Su İndeksi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 Deneme parsellerinin kurulması, şeker pancarı ekim ve hasadı.....	37
Şekil 3.2 İnfrared termometre kalibrasyon ve şeker pancarı yüzey sıcaklığı ölçümü.....	40
Şekil 3.3 Spektroradyometre ile şeker pancarından ve spektral plakadan solar radyasyon yansımaları ölçümü.....	40
Şekil 3.4 Basınç odası ile şeker pancarı yaprak su potansiyeli ölçümü.....	41
Şekil 3.5 Nötron prob kalibrasyon ve ölçümü.....	42
Şekil 3.6 Şeker pancarı yaprak alanı ölçümü.....	43
Şekil 4.1 Şeker pancarı deneme konuları toprak su düzeyi değişimleri.....	49
Şekil 4.2 Yetiştirme dönemi içerisinde hava sıcaklığı ve VPD değişimi.....	54
Şekil 4.3 Yetiştirme dönemi boyunca Tc-Ta değişimi.....	54
Şekil 4.4 CWSI hesaplamada kullanılan temel grafik.....	55
Şekil 4.5 Yetiştirme dönemi boyunca CWSI değişimi.....	56
Şekil 4.6 Şeker pancarı 2004 ve 2005 yetiştirme döneminde deneme konularına göre spektral yansımaları oranları.....	58
Şekil 4.7 Şeker pancarı 2004 ve 2005 yetiştirme döneminde deneme konularına göre spektral yansımaları oranları.....	59
Şekil 4.8 Şeker pancarı 2004 ve 2005 yetiştirme dönemleri boyunca deneme konularına göre NDVI değişimleri.....	61
Şekil 4.9 Şeker pancarı 2004 ve 2005 yetiştirme dönemleri boyunca deneme konularına göre SAVI değişimleri.....	62
Şekil 4.10 Şeker pancarı 2004 ve 2005 yetiştirme dönemleri boyunca deneme konularına göre SR değişimleri.....	63
Şekil 4.11 Şeker pancarı 2004 ve 2005 yetiştirme dönemleri boyunca deneme konularına göre WI değişimleri.....	65
Şekil 4.12 Şeker pancarı 2004 ve 2005 yetiştirme dönemleri boyunca deneme konularına göre WI / NDVI değişimleri.....	66
Şekil 4.13 Şeker pancarı 2004 ve 2005 yetiştirme dönemleri boyunca deneme konularına göre YSP değişimleri.....	67
Şekil 4.14 Şeker pancarı 2004 ve 2005 yetiştirme dönemleri boyunca deneme konularına göre YSI değişimleri.....	68
Şekil 4.15 Şeker pancarı 2004 ve 2005 yetiştirme dönemleri boyunca deneme konularına göre YSP, YOSK ve YSI değişimleri.....	69
Şekil 4.16 Şeker pancarı 2004 ve 2005 yetiştirme dönemleri boyunca deneme konularına göre YAI değişimleri.....	70
Şekil 4.17 Şeker pancarı 2004 ve 2005 yetiştirme dönemleri boyunca deneme konularına göre kuru madde değişimleri.....	71
Şekil 4.18 Şeker pancarı 2004 ve 2005 yetiştirme dönemleri boyunca deneme konularına göre klorofil miktarı değişimleri.....	72

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 Araştırma alanının 40 yıllık (1964-2004) ortalama aylık meteorolojik verileri	34
Çizelge 3.2 Araştırma alanı topraklarının fiziksel özellikleri	34
Çizelge 3.3 Tarımsal işlemler	37
Çizelge 3.4 Deneme konuları ve sulama suyu uygulamaları	38
Çizelge 3.5 Spektral vejetasyon indeksleri	47
Çizelge 4.1 Deneme konularına uygulanan sulama suyu miktarları ve zamanları	51
Çizelge 4.2 Konuların aylık ve mevsimlik su tüketimleri (mm).....	51
Çizelge 4.3 S7 konusuna uygulanan sulama suyu miktarları ve uygulama tarihleri	52
Çizelge 4.4 Konulardan el edilen şeker pancarı ve arıtılmış şeker verimleri.....	53
Çizelge 5.1 Şeker pancarı verimi varyans analizi	73
Çizelge 5.2 Konulara ilişkin şeker pancarı verimi ve Duncan sınıfları	74
Çizelge 5.3 Şeker pancarı arıtılmış şeker verimleri varyans analizi	75
Çizelge 5.4 Konulara ilişkin arıtılmış şeker verimi ve Duncan sınıfları.....	75
Çizelge 5.5 Toprak su içeriği (0-90 cm) ile Tc-Ta, CWSI, YSP, YOSK, YSİ, NDVI, SR, SAVI, WI ve WI / NDVI istatistiksel analiz sonuçları	77
Çizelge 5.6 Tc-Ta ile YSP, YOSK, YSİ ve klorofil miktarı istatistiksel analiz sonuçları	80
Çizelge 5.7 CWSI ile YSP, YOSK, YSİ ve klorofil miktarı istatistiksel analiz sonuçları	80
Çizelge 5.8 YSP ile YOSK, YSİ ve klorofil miktarı istatistiksel analiz sonuçları	81
Çizelge 5.9 NDVI ile Tc-Ta, CWSI, YSP, YOSK, YSİ, YAI, Kuru madde ve klorofil miktarı istatistiksel analiz sonuçları	82
Çizelge 5.10 SR ile Tc-Ta, CWSI, YSP, YOSK, YSİ, YAI, Kuru madde ve klorofil miktarı istatistiksel analiz sonuçları	83
Çizelge 5.11 SAVI ile Tc-Ta, CWSI, YSP, YOSK, YSİ, YAI, Kuru madde ve klorofil miktarı istatistiksel analiz sonuçları	83
Çizelge 5.12 WI ile Tc-Ta, CWSI, YSP, YOSK, YSİ, YAI, Kuru madde ve klorofil miktarı istatistiksel analiz sonuçları	84
Çizelge 5.13 WI - NDVI oranı ile Tc-Ta, CWSI, YSP, YOSK, YSİ, YAI, Kuru madde ve klorofil miktarı istatistiksel analiz sonuçları	84
Çizelge 5.14 Şeker Pancarı Verimi ile diğer göstergelerin istatistiksel analiz sonuçları	89
Çizelge 5.15 Arıtılmış Şeker Verimi ile diğer göstergelerin istatistiksel analiz sonuçları	90

1.GİRİŞ

Günümüzde su kaynaklarının büyük bir bölümü tarımsal üretimde kullanılmaktadır. Tarımda suyun bilinçli bir şekilde kullanılması, başta toprak ve su olmak üzere doğal kaynakların sürdürülebilirliğinde etkili olduğu gibi, gelecek nesillerin tarıma dayalı gereksinimlerinin karşılanması ve gıda güvenliğinin sağlanmasında da önemli bir yere sahiptir. Bu nedenle tarla, sulama şebekesi ve havza düzeyinde en iyi sulama suyu, gübre ve ilaç uygulamaları için etkili karar destek araçları kullanılmalıdır. Günümüzde uzaktan algılama doğal kaynakların yönetiminde öne çıkan karar destek araçlarından birisidir.

Uzaktan algılama, genel olarak 1960'lı yıllarda gelişmeye başlamıştır. Başlangıcından bu güne tarım, uzaktan algılanmış verilerin başlıca kullanıcılarından birisi olarak düşünülmüştür (Jackson 1984). Son kırk yılda yapılan araştırmalara göre tarımsal sistemlerin yönetiminde gerekli bilgilerin bir çoğu, çeşitli uzaktan algılayıcı sensörler aracılığıyla elde edilmektedir. Küresel yer belirleme sistemi (GPS) alıcıları, bilgisayarlar, coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ve bitki simulasyon modeller ile bir arada kullanıldığında uzaktan algılama teknolojileri tarımsal üretimde oldukça büyük bir potansiyele sahiptir (Pinter *et al.* 2003). Uydu görüntüsüne dayalı uzaktan algılama teknikleri, özellikle bitki ve toprak koşullarının sezon boyu değişimlerin gözlenmesinde, önemli bilgiler sağlayabilmektedir. Fakat kullanılan araçlara bağlı olarak, görüntülerin sabit spektral bantlarla algılanması, çözünürlüklerin düşük olması, görüntüleme periyodunun ve görüntünün kullanıcıya ulaşma zamanının uzunluğu gibi bazı kısıtlayıcı faktörlere sahiptir (Moran *et al.* 1997).

Elektronik teknolojisindeki gelişmeler, uydu tarayıcılarını taklit eden ve tarla düzeyinde insanlar tarafından kullanılabilen küçük araçların üretilmesine olanak sağlamıştır. Uzaktan algılanmış spektral veriler ile bitki parametreleri arasındaki ilişkilerin belirlenmesi giderek önem kazanmaktadır. Bu amaçla kullanılacak en ideal araçlar el radyometreleridir. Çeşitli sulama ve/veya gübreleme düzeylerine ilişkin termal ve spektral verilerin el radyometreleriyle elde edilmesi ve bu verilen verim, vejetasyon

düzeleleri, toprak su düzeleli ile ilişkileri araştırmalara konu olmaktadır (Jackson *et al.* 1980).

Bitkilere ne zaman ne kadar sulama suyu uygulanacağı, bitki izlemeye dayalı yöntemler kullanılarak bitkide su stresinin neden olduğu fizyolojik belirtiler denetlenerek belirlenebilir. Ayrıca bu yöntemler bitkinin topraktaki sudan yararlanmasını kısıtlayan etmenlerin değerlendirilmesine ve daha geniş alanlarda daha kısa sürede ve yüksek duyarlılık düzeleleri ile sulama zamanı planlamasına olanak vermektedir. Böylelikle su kullanım randımanları arttırılarak mevcut su kaynakları ile daha fazla alan sulanarak bitkisel üretimde kalite ve verim yükseltilebilir (Kodal 2004).

Uzaktan algılama teknikleri, gerek el radyometreleri ile tarla düzeyinde, gerekse farklı araçlar kullanılarak havadan bitkilerin gelişme durumlarının izlenmesine olanak tanımaktadır. Yüzey enerji dengesi bileşenlerinin bir bölümü uzaktan algılama ile tespit edilebilmektedir. Özellikle yüzey sıcaklığının uzaktan algılamayla ölçülmesi, yüzey enerji dengesine dayalı bitki ve bulunduğu topraktan meydana gelen buharlaşmanın zamansal ve mekansal olarak belirlenmesini sağlamaktadır (Brown and Rosenberg 1973, Stone and Horton 1974, Hatfield *et al.* 1984, Seguin *et al.* 1994). Ayrıca, yapılan araştırmalara göre bitki katsayı (kc) ile spektral vejetasyon indeksleri arasında önemli istatistiksel ilişkiler bulunmaktadır (Fitzgerald *et al.* 2003, Hunsaker *et al.* 2003a, Hunsaker *et al.* 2003b). Bitkinin içerisinde bulunduğu su stresi düzeyinin tespit edilmesi için uzaktan algılanmış verilere dayalı çeşitli su stresi ve vejetasyon indeksleri geliştirilmiştir (Jackson *et al.* 1977b, Idso *et al.* 1990, Moran *et al.* 1994, Alves and Pereira 2000, Jackson *et al.* 1980, Kustas and Daughtry 1990, Penuelas *et al.* 1994, Kimura *et al.* 2004). Bu sayede, sulama zamanı, sulama suyu ihtiyacı uzaktan algılamaya dayalı olarak tespit edilebilir. Günümüzde bu amaçla yapılmış çalışmalarda geliştirilen yöntemler, modeller ve indekslerin farklı iklim ve toprak özelliklerine sahip bölgeler için arazi denemeleriyle test edilmesi ve geliştirilmesine gereksinim vardır.

Bu çalışmayla Ankara iklim koşullarında, ağır bünyeli toprak özelliklerinde, kurulan arazi denemesinde şeker pancarına farklı miktarlarda ve zamanda sulama suyu

uygulamaları ile farklı vejetasyon ve su stresi düzeyleri oluşturulmuştur. Deneme konuları yetiştirme dönemi boyunca tarlada uzaktan algılama teknikleriyle izlenmiştir. Aynı zamanda bitkiler örneklenerek bazı bitki parametreleri analiz edilmiştir. Yapılan çalışmayla uzaktan algılanmış verilere dayalı su stresine ilişkin sınırlar belirlenmiş, farklı vejetasyon ve su stresi koşullarında spektral yansıma oranları ve vejetasyon indekslerindeki değişimler mevsim boyu tespit edilmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1 Ülkemizde Yapılan Şeker Pancarı Sulamasına İlişkin Çalışmalar

Şeker pancarının azot-su ilişkileri içerisinde en iyi sonucu veren sulama programı ve bu programın verdiği su tüketimini saptamak amacı ile 1962-1964 yılları arasında Eskişehir'de beş sulama (ana parsel) ve 4 değişik azot dozu (alt parsel) konulu olarak, bölünmüş parseller deneme deseninde yürütülen araştırmada, sulama konuları (A) susuz, (B) iki defa sulama, (C) dört defa sulama, (D) beş defa sulama ve (E) altı defa sulama olarak uygulanmıştır. Alt parsel konularını oluşturan azot dozları ise 0, 4, 8 ve 12 kg/da N olarak alınmış, ayrıca ekimden önce bütün parsellere 8 kg/da P₂O₅ verilmiştir. Azot dozları arasında verim farkı ve azotun interaksyonu % 99 güvenle önemli bulunmuştur. En iyi sonuç dekara 12 kg azot ve 5 su (500 mm) verildiğinde elde edilmiştir. Şeker pancarının günlük su tüketimi ortalama 4 mm'dir. Çalışma sonuçlarına göre bölge koşullarında şeker pancarından iyi verim alabilmek için 12 kg/da N uygulanmalı ve her uygulamada 100 mm sulama suyu verilerek 5 kez sulama yapılmalıdır (Çöke ve Oylukan 1966).

Şeker pancarının karık yöntemi ile sulamasında en uygun karık uzunluğunun saptanması amacıyla 1961-1964 yılları arasında 6 konulu 4 tekerrürlü, tesadüf blokları deneme desenine göre yürütülen deneme sonuçlarına göre en yüksek şeker pancarı verimi 150 m karık uzunluğundan elde edilmiştir. Karık uzunlukları 100 m den daha uzun olmalıdır. Şeker pancarı için karıklara 16-20 gün arayla 5-6 defa su verilmelidir (Oylukan 1970b).

Orta Anadolu bölgesinde yaygın olarak tarımı yapılan şeker pancarı için su tasarrufu yönünden karık ve salma sulama yöntemlerinin hangisinin daha uygun olduğunu saptamak amacı ile 1962-1966 yılları arasında dört konulu olarak tesadüf blokları deneme desenine göre bir deneme yürütülmüştür. Konular arasında % 99 güvenle fark saptanmış ve en yüksek verim toprakta nem elverişli kapasitenin %50'sine geldiğinde salma sulama (D) konusundan alınmıştır. Fakat, karık yöntemi salma yöntemine göre % 20-25 su tasarrufu sağlamıştır. D konusunun ortalama verimi dekara 4717 kg, verilen

sulama suyu miktarı 664 mm, sulama sayısı 6-7, günlük su tüketimi ise 5.0 mm'dir. C konusunun ortalama verimi dekara 4201 kg, verilen sulama suyu miktarı 588 mm, sulama sayısı 6-7, günlük su tüketimi ise 4.6 mm olarak belirlenmiştir (Çöke vd 1966).

Madanoğlu (1977) tarafından yürütülen araştırmada, tarla denemesi 4 ana (su) ve 5 alt (azot) konulu olarak bölünmüş parseller deneme tertibine göre yürütülmüştür. Toprak suyu nötron prob yöntemi, mevsimlik ve aylık su tüketimleri nem azalma yöntemine göre saptanmış. Kök, şeker ve yaprak verilerini kapsayan analizler sonucunda, çimlenmeden hasada kadar 0-90 cm toprak katmanındaki nemin elverişli kapasitesinin % 30'una düştüğü zaman aynı derinliği tarla kapasitesine getirecek kadar su verilen konu ile 24 kg/da N konusu karlılık oranı en yüksek olması nedeniyle önerilmiştir. Çalışma sonuçları, 214 günlük gelişme devresinde yıllık su tüketiminin 1240 mm, sulama suyu gereksiniminin 1000 mm, en fazla su tüketiminin Ağustos ayında olduğunu ve bu ay içinde günlük su tüketiminin 10.47 mm'ye ulaştığını göstermiştir.

Günbatılı ve Köse (1978) tarafından yapılan araştırma Kazova'da şeker pancarına verilecek sulama suyu miktarını, sulama zamanını, sulama sayısını, günlük, aylık, mevsimlik su tüketimini, Blaney-Criddle'a göre k, kc katsayılarını ve tarla başı modülünü saptamak amacıyla 1967-1974 yılları arasında yürütülmüştür. En yüksek verim, 0-60 cm toprak katındaki elverişli nem % 65 seviyesine düştüğü zaman, 0-90 cm toprak katını tarla kapasitesine getirecek kadar su verilmesiyle sağlanmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, ilk sulama Haziran ayının ikinci yarısında yapılmalı, ortalama 8-9 gün aralıkla 10 kez su verilmelidir. Çalışmada önerilen konuya ilişkin k ve kc katsayıları da verilmiştir. Buna göre Temmuz ayı k ve kc katsayıları sırası ile 1,72 ve 1,85'tir. Mevsimlik su tüketimi 1084 mm, sulama suyu gereksinimi 844 mm ve günlük su tüketimi 5.9 mm olarak belirlenmiştir.

Güngör ve Öğretir (1980) tarafından Eskişehir'de yetiştirilen şeker pancarı, buğday, mısır ve patatesin su tüketimleri ile sulama sayıları ve aralıklarını saptamak için 1967-1978 yılları arasında dört toprak (ana konu) ve beş sulama konulu (alt konu) olarak

bölünmüş parseller deneme desenine göre bir deneme yürütülmüştür. Deneme sonuçlarına göre şekerpancarı 24 gün ara ile 4-5 kez sulanmalıdır.

Okman (1981), araştırmasında Ankara şartlarında şeker pancarının su tüketimini belirlemiştir. Çalışmada; susuz, kullanılabilir su miktarı % 25' e ve % 50' ye düştüğü zaman ve fenolojik gözleme göre olmak üzere dört farklı konuyu incelemiş ve sonuçta en yüksek verim elverişli nem miktarının % 50'ye düştüğü zaman sulamanın yapıldığı konudan elde edilmiştir. Bu konuda mevsimlik bitki su tüketimi 1085 mm olarak belirlenmiştir.

Şeker pancarının, ayçiçeği, mısır ve patates sulama zamanlarının saptanması, tansiyometrelerin yerleştirileceği en uygun kök derinliğinin bulunması ve tansiyon-rutubet eğrilerinin hazırlanması amacıyla bir çalışma yürütülmüştür. Denemede rutubet tayin yöntemlerinden gravimetrik yöntem ve tansiyometre yöntemi karşılaştırılmıştır. Tansiyometrelerin yerleştirileceği en uygun derinliğin saptanması amacıyla 30 cm, 45 cm, 60 cm ve 75 cm toprak derinlikleri deneme konusu olarak alınmıştır. Elde edilen sonuçlara göre ayçiçeği, mısır, patates ve şeker pancarı için tansiyometre yerleştirilecek en uygun derinlik, gerek kolerasyon katsayılarının önemli bulunuşu ve gerekse sulama sayısı yönünden 60 cm olarak bulunmuştur. Tansiyometrelerin bu derinlikte şeker pancarında 40-50 cb göstermesi halinde sulama yapılması gerektiği saptanmıştır (Alap ve Küçükçakar 1983).

Ertaş (1984) tarafından 1979-1982 yılları arasında Konya-Karaaslan'da bir araştırma yürütülmüştür. Bölgede şeker pancarı üzerinde daha önce yapılan bir sulama denemesinde en yüksek verim alınan sulama programı tanık olarak alınmıştır. Bu konu 0-90 cm toprak derinliğinde elverişli nem kapasitesinin % 30'u kaldığında mevcut nemi tarla kapasitesine kadar çıkarılmasını öngören konudur. Diğer konular tanık konuya verilen sulama suyunun % 80'inin, % 60'ının uygulandığı konular ile susuz konudur. Kök verimi yönünden 2 yıl, şeker verimi yönünden ise 3 yıllık tanık parselde uygulanan suyun % 60'ının uygulandığı, sulama suyundan % 40 kısıntı yapılan konunun verimindeki azalış istatistiksel yönden önemsiz ve sulama suyundan % 40 kısıntı

yapılabileceği bulunmuştur. Bu konunun 4 yıllık ortalamalara göre su tüketimi 890 mm, sulama suyu ihtiyacı 659 mm, kök verimi 5826 kg/da olarak bulunmuştur.

Şeker pancarı kısıtlı su koşullarında sulama programının ve su tüketiminin tespiti amacıyla yürütülen araştırma ile, Eskişehir koşullarında altı kez sulanması gereken şeker pancarının sulama suyunun kısıntılı olması durumunda, dört veya beş kez sulama durumunda hangi devrelerde sulanması gerektiği belirlenmiştir. Deneme altı sulamanın değişik kombinasyonlarını içeren 64 konudan oluşmuştur. Deneme sonuçlarına göre ilk su Haziran ayının ikinci yarısında olmak üzere, 20-20-20-40 gün ara ile beş kez sulama yapılması gerektiği bulunmuştur. Bu konunun mevsimlik su tüketimi 1008.7 mm, uygulanan sulama suyu miktarı da 840.9 mm'dir. Sulama suyunun 5 kez sulamaya yeterli olmadığı (kısıntılı su varlığında) sulamalar, ilk su Haziran ayının ikinci yarısında, diğer sulamalar 20-40- 20 gün arayla yapılmalıdır (Güngör 1984).

Evsahibioğlu ve Korukçu (1984) yaptıkları çalışmada, şeker pancarı bitkisinde optimum su kullanımı ile en yüksek verimi sağlayacak sulama zamanları ve bu sulamalarda verilecek su miktarlarını belirleyen uygun sulama zamanı planlama yönteminin saptanması amaçlanmıştır. Denemelerde üç farklı sulama zamanı planlama yöntemi uygulanmıştır. Araştırma sonuçları, şeker pancarında kök ve arıtılmış şeker verimleri bakımından Nötron ölçüm yöntemi ile sulama zamanı planlamasının Jensen-Haise ve Christiansen-Hargreaves yöntemlerine göre önemli düzeyde üstünlük sağladığını göstermiştir. Yöntemler sudan yararlanma oranları yönünden değerlendirildiğinde, Jensen-Haise ve Christiansen-Hargreaves yöntemleri arasında önemli bir farklılık bulunmamış ancak bu iki yöntem Nötron ölçüm yöntemine göre daha yüksek sudan yararlanma oranları göstermişlerdir.

Elverenli (1985) yaptığı çalışmada farklı sulama suyu ve azot düzeylerinin şeker pancarı verim ve kalitesi üzerine etkilerini araştırmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, en yüksek su tüketimi 975 mm ve en yüksek kök verimi 4970 kg/da' dır. Yapılan istatistiksel analizler sonucunda, şeker pancarı için 10 kg N/da ve elverişli nemin % 50'si tükendiğinde sulama önerilmiştir.

Yıldırım (1986) tarafından lizimetrelerde suni olarak oluşturulan taban suyu seviyeleri araştırılmıştır. Araştırma sonucuna göre konular arasında istatistiksel bakımdan verim farkı tespit edilmemiştir. Fakat en yüksek taban suyu olan 45 cm konusunda şeker pancarı köklerinin ovalleştiği ve çatallaştığı belirlenmiştir. Ayrıca toprağın işlenmesinin güçleştiği ve bu nedenle de ekimin geciktiği gözlenmiştir. Bunun sonucu olarak da drenaj kriterleri açısından, bu koşullarda şeker pancarı yerine diğer bitkilerin yetiştirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Ankara yöresinde yetiştirilen şeker pancarının kısıntılı su varlığında kök ve şeker verimindeki değişimleri belirlemek amacıyla bir araştırma yapılmıştır. Çalışmada, Ankara için önerilen, "0-90 cm toprak derinliğindeki elverişli nem kapasitesi % 30'a düştüğü zaman tarla kapasitesine getirilinceye kadar sulama yapılması" uygulaması tanık konu olarak ele alınmıştır. Diğer konular ise tanık konuya verilen suyun % 80, % 60, % 40, % 20'sinin uygulandığı konular ile susuz konudur. Regresyon ve maliyet analizleri sonuçlarına göre % 45'lik bir su kısıntısı verimi etkilememektedir. Bu konuya ortalama 534 mm sulama suyu verilmiştir. Bir yetiştirme döneminde 6-7 gün arayla 15 defa sulama yapılmış ve ortalama 4613 kg/da ürün alınmıştır (Ayla 1988).

Öğretir ve Güngör (1988) tarafından Bursa koşullarında yapılan araştırma ile yirmi gün arayla beş kez sulanan şekerpancarının veriminde, bir defada verilecek sulama suyu miktarının % 20 azaltılması durumunda, verimde istatistiksel bakımdan bir azalma olmayacağı belirlenmiştir.

Erzurum-Pasinler koşullarında şeker pancarı sulanmasında sulama suyu miktarının açık su yüzeyi buharlaşmasından yararlanılarak saptanması amacıyla yürütülen bu çalışmada 3 farklı sulama aralığı ve 4 farklı katsayı denenmiştir. Sulamaya, örtü yüzdesi yaklaşık % 40'a ulaşıncaya başlanmıştır. Hasat sonrası alınan yumrular tartılarak istatistiksel analizler yapılmıştır. Sonuç olarak ilk sulamadan sonra 12'şer gün aralıklar ile yapılan sulamalarda toplam açık su yüzeyi buharlaşması miktarının 0.90'ının uygulanması önerilmiştir (Sevim 1988).

Tokat-Kazova yöresinde yetiştirilen şeker pancarının kısıntılı su varlığında kök, şeker ve yaş yaprak verimindeki değişimlerini saptamak amacıyla 1983-1986 yılları arasında bir araştırma yürütülmüştür. Çalışma sonuçlarına göre Tokat-Kazova ve benzeri yörelerde şeker pancarın % 50 kısıntılı su verilmesi durumunda bir yetiştirme döneminde 279 mm sulama suyu verilmelidir. Bir defada verilecek su miktarı yaklaşık 40 mm, sulama sayısı 7, sulama aralığı ortalama 12 gün olmalıdır. İlk sulama, Haziran ayının ikinci yarısında, son sulama ise Eylül ayının ilk yarısı içinde yapılmalıdır (Günbatılı 1989).

Yıldırım (1990), araştırmasında Ankara şartlarında yüzey, damla ve sızdırma sulama yöntemlerinin şeker pancarının verim ve sulama suyu ihtiyacı üzerine etkisini incelemiştir. Araştırma sonucunda, sulama yöntemlerinin şeker pancarının kök verimi, şeker varlığı ve arıtılmış şeker verimi üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli olmadığını belirtmiştir. Ancak yüzey sulama yöntemine göre damla ve sızdırma sulama yöntemlerinde sulama suyu ihtiyacının % 42,2 ve % 19,3 oranında daha düşük olduğunu bildirmiştir.

Erzurum Pasinler Ovası koşullarında yetiştirilen şeker pancarı için en uygun sulama zamanının, uygun azot miktarının, günlük ve mevsimlik su tüketiminin, sulama suyu ihtiyacının ve bitki büyüme katsayısının saptanması amacıyla yapılan araştırma 1984-88 yıllarında sonuçlandırılmıştır. Varyans analizi sonuçlarına göre yıllar itibariyle su azot konularının 0.01 ve azot - su entegrasyonunun 2 yıl 0.05 ve 1 yıl 0.01 hata seviyesinde istatistiksel olarak önemli olduğu saptanmıştır. Araştırma sonuçlarına göre Erzurum-Pasinler ve benzeri toprak, iklim koşullarında Mayıs ayında ekimi yapılan şeker pancarına ilk su yaklaşık Temmuz ayının ilk haftasında verilmek üzere 10-12 gün arayla 6 kez sulama suyu uygulanabileceği ve 24 kg/da N uygulanması gerektiği saptanmıştır. Toplam 542 mm sulama suyu uygulanan bu konudan ortalama 8849 kg/da verim alınmıştır. Mevsimlik su tüketimi 726 mm olan bu konunun en yüksek aylık su tüketimi 266 mm olmuştur (Sevim 1991).

Kars-Iğdır ovası koşullarında yetiştirilen şeker pancarı için en uygun sulama zamanının, uygun azot miktarının, aylık, günlük ve mevsimlik su tüketimi ile sulama suyu ihtiyacının belirlenmesi amacıyla yapılan araştırma 1978-89 yıllarında sonuçlandırılmıştır. Toplu analiz sonuçlarına göre su, azot konularının ve azot -su interaksiyonunun 0.001 hata seviyesinde istatistiksel öneme sahip olduğu belirlenmiştir. Toplam 1082 mm sulama suyu uygulanan bu konuda ortalama 10658 kg/da kök verimi alınmıştır. Mevsimlik su tüketimi 1278 mm olan bu konunun en yüksek aylık su tüketimi 392 mm ve en yüksek günlük su tüketimi 12.6 mm ile Ağustos ayında gerçekleşmiştir (Sevim vd 1991).

Kırklareli koşullarında yetiştirilen şeker pancarının en uygun sulama zamanı, günlük, aylık ve mevsimlik su tüketimini, sulama suyu miktarını ve bitki büyüme katsayısını belirlemek amacıyla yürütülen araştırma 1987-1989 yılları arasında uygulanmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, en yüksek verim 7 gün arayla sulama konusunda alınmasına karşın yapılan ekonomik analiz sonucunda en yüksek geliri 14 gün arayla yapılan sulama konusu getirmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, şeker pancarı, iklim koşullarına göre değişmekle birlikte Haziran'ın ilk yarısından itibaren 14 gün arayla 6 kez sulanmalı ve her sulamada ortalama 145.6 mm sulama suyu verilmelidir. Önerilen konudan ortalama 7248.1 kg/da verim alınmış olup, mevsimlik ortalama su tüketimi 1177 mm, bitki katsayısı (kc) ise 1.27 olarak belirlenmiştir (Yakan ve Kanburoğlu, 1991).

Samsun yöresinde Bafra ve Çarşamba Ovalarında ekimi yapılan şeker pancarı bitkisinin sulama planlanmasında, açık su yüzeyinden olan buharlaşmadan (class A pan) yararlanarak sulama olanakları araştırılmıştır. Deneme 1988-1990 yıllarında yürütülmüştür. Bitkinin ekimden sonra topraktaki elverişli nem kapasitesi % 30 civarına düşünce sulamalara başlanmış ve hasattan 15-21 gün önce son verilmiştir. Sulamalar, açık su yüzeyinden oluşan buharlaşma miktarına bağlı kalınarak yapılmıştır. Araştırma sonucuna göre, her iki ovada şeker pancarının 25 günde bir sulanacağı, bu aralıkta oluşacak açık su yüzeyi buharlaşma değerinin Bafra ovasında 1,20, Çarşamba ovasında 0,80 katsayıları ile düzeltilebileceği önerilmiştir. Şeker pancarının su tüketimi Bafra için 900-910 mm, Çarşamba için 796 mm olarak belirlenmiştir. Yöre için şeker pancarının

ilk sulamasý Haziran ayının ilk yarısında ve diğer sulamalar 25 günde bir olmak üzere 4 kez önerilmiştir (Bayrak 1992).

Korukçu ve Evsahibiöglü (1982), Ankara'da 1980 ve 1981 yıllarında şeker pancarında yaptıkları araştırmada, nötron ölçümü ile sulama zaman planlamasının Jensen-Haise ve Christiansen-Hargreaves ile sulama zaman planlamalarına göre yaprak veriminde önemli düzeyde üstünlük sağladığı belirlenmiştir. Bu konuya ilişkin parsellere yıllara göre 10 sulamada 715-705 mm sulama suyu uygulanmış, 2520 kg/da yaprak verimi alınmıştır.

Ankara koşullarında günlük evapotranspirasyonu ve su bütçesini saptamak amacıyla fasulye, çilek, buğday ve şeker pancarı bitkileri tartılı lizimetre ile günlük tartımlar yapılmıştır. Deneysel olarak hesaplanan ve gerçekleşen su tüketimi değerleri amprik modellerle hesaplanan evapotranspirasyon değerleri ile karşılaştırılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, gerçek ve potansiyel evapotranspirasyonların ilişkileri incelendiğinde bir kaç modelin dışındaki modellerin korelasyon katsayıları % 99 olasılıkla önemli bulunmuştur. Korelasyon katsayılarına uygulanan homojenlik testi sonuçlarına göre her bitki için önem kazanan ortak model USDAHL-70 modelidir (Ayla 1993).

Kodal (1994) tarafından yapılan çalışmaya göre, şeker pancarı herhangi bir sert katmanın olmadığı derin topraklarda 90–110 cm derinliklerdeki sudan faydalanabilen bir kök sistemine sahiptir. Su tüketiminin fazla olduğu günlerde toprakta yeterli su olsa dahi bitkinin yüksek su ihtiyacı karşılanamadığı için bitki solabilir. Akşam ve gece süresince bitki yeterli su alabilirse kendini yenileyebilir. Eğer bitki sabah saatlerine kadar solgun kalıyorsa bu durum sulama ihtiyacı olduğunun bir göstergesidir.

2.2 Bitki Yüzey Sıcaklığına İlişkin Çalışmalar

İnfrared termometrelerin bitki sıcaklığının belirlenmesinde kullanımı ışımayı (emissivite) önemli kılmaktadır. Fucs and Tanner (1966) yaptıkları çalışma ile yonca ve çim bitkilerinin ışıma değerlerinin 0,97 ve 0,98 arasında olduğu belirlenmiştir. Fasulye

ve tütünün bireysel yapraklarının ışımaya değerleri sırası ile 0,96 ve 0,97 olarak tespit edilmiştir.

Pamukta, bitki oransal su kapsamının, güneş radyasyonunun ve bitki boyu seviyesindeki hava sıcaklığının, bitki sıcaklığı ve bitki sıcaklığı ile hava sıcaklığı farkı (Tc-Ta) üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonucunda günlük verilere göre, oransal su içeriğinde % 83-59 arasında bir azalma yaprak sıcaklığında 3,6 °C artışa, bir birim güneş radyasyonu artışı ise yaprak sıcaklığında 9-10 °C artışa neden olmaktadır. Çalışmanın genel sonuçlarına göre bitki su stresindeki değişimler yaprak sıcaklığı ve Tc-Ta'ya önemli ölçüde etkilemektedir (Wiegand and Namken 1966).

Fuchs *et al.* (1967) tarafından yapılan çalışmada, bitki yüzey sıcaklığı infrared termometre ile çeşitli azimut ve zenit açılarında ölçülmüştür. Çalışma sonuçlarına göre tam örtüye sahip bitkilerin gözleminde söz konusu açılar büyük bir öneme sahip değildir. Fakat sıra bitkilerinde, güneşin etki ettiği yüzey ile gölgede kalan yüzeyin sıcaklığı arasında 1-3 °C farklılık olduğu tespit edilmiştir.

Ehrler (1973), pamuk bitkisinde yaprak sıcaklığı ile toprak suyundaki azalma ve bazı meteorolojik parametreleri ilişkilendirilerek, sulama zamanı planlamasında etkin bir araç ortaya koymayı amaçlamıştır ve iki ayrı tarla denemesi kurulmuştur. Üst yaprakların sıcaklığı ve topraktan 1m yukarıdaki hava sıcaklığı bir saat arayla ölçülmüştür. Toprak suyu günden güne sabit bir düzeyde kaldığında Tc-Ta, sulama suyunun uygulanacağı gün öğle saatinde 1 °C azalmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, bitki sıcaklığı doğru bir biçimde ölçüldüğünde sulama zamanı planlamasında kullanımı mümkündür.

Brown and Rosenberg (1973), şeker pancarı bitkisinin su tüketiminin belirlenmesinde bir direnç (aerodinamik ve stomal direnç) yaklaşımını kullanmışlardır ve çalışmada, Evapotranspirasyon (ET) bileşenlerinden hissedilebilir ısı değişimi ve hissedilemeyen ısı değişimi hesaplarında bitki örtü sıcaklığı kullanılmıştır. Direnç yaklaşımında bir modelden ve enerji denge yaklaşımından yararlanılmıştır. Modelin temel dayanağı,

hissedilemeyen ısı değişiminin, bitki direnci, hava direnci ve net radyasyon ile toprak ısı değişimi farkına bağlı olmasıdır. Saatlik ET, model kullanılarak ve enerji dengesi ile belirlenmiş ve aralarında % 5 düzeyinde uyum tespit edilmiştir.

Stone and Horton (1974) termal tarayıcıları kullanarak, bitki yüzey sıcaklığının uzaktan algılanması ile yüzeyden meydana gelen buharlaşmanın tespitini konu alan bir çalışma yapmışlardır. ET'nin bitki örtüsü sıcaklığından yararlanarak belirlenme olanağı irdelenmiş ve tarla düzeyinde test edilmiştir. Bu amaçla beş ayrı yaklaşım değerlendirilmiştir. Bu yaklaşımlardan üçü yaygın bir biçimde bilinen van Bavel, Penman ve Bowen oranıdır. Diğer ikisi ise ET belirlemede yüzey sıcaklığını kullanan Bartholic-Namken-Wiegang (B-N-W) ve Brown-Rosenberg (B-R) metotlarıdır. Çalışma sonuçlarına göre, ET hesaplamasında Penman ve Bowen oranına göre B-N-W metodu % 17 daha düşük ve B-R metodu % 22 daha yüksek sonuç vermektedir. Her iki metot da vejetasyona sahip yüzeylere ilişkin ET hesaplamasında kullanılabilir olarak değerlendirilmiştir ve B-N-W metodunun, B-R metoduna göre daha az veriye gereksinim duyduğu belirtilmiştir.

Blad and Rosenberg (1975) tarafından yapılan çalışmada, yonca ve mısır bitkilerinin yüzey sıcaklıklarının ölçümünde infrared termometre, yaprak termokoplu ve termal görüntüler kullanılmıştır. Çalışmanın amacı bitkilerin yüzey sıcaklıklarının ve $T_c - T_a$ 'nın günlük değişimlerinin izlenmesi ve uzaktan algılanmış termal görüntülerin örtü sıcaklığını tespit etmede kullanım olanaklarının belirlenmesidir. Çalışma sonuçları göre, tek referans sıcaklık verisi hassas radyasyon termometreleri olduğunda, termal görüntülerin kullanımının güç olduğunu göstermektedir. Bu bulgu özellikle küçük tarım alanları için daha geçerlidir. Termal görüntülerin bu amaçla yorumlanması için içsel kalibrasyon düzeneğine sahip termal tarayıcıların ve yüzey sıcaklığının belirlendiği yer istasyonlarının kullanılması gereklidir.

Jackson *et al.* (1977a) araştırmalarında, termal radyasyonun 8 ile 14 μ m dalga boylarında salınımı, çıplak toprak yüzeyi ve bitki örtü sıcaklığının belirlenmesinde kullanmışlardır. Toprak yüzey sıcaklığı ile toprak su içeriği ilişkilendirilmiştir. Bu

yaklaşımın büyük ölçekli alanlarda toprak su düzeyinin uzaktan algılama ile belirlenmesine olanak tanıyabileceği belirtilmektedir. Tc-Ta değerlerinin öğlen saatinden 1 veya 1,5 saat sonra belirlenmesi bitki su stresine ilişkin bir gösterge niteliği taşımaktadır. Bu fark stres düzey günü (SDG) olarak belirlenmiştir. Buğday için SDG değerlerinin başaklanmadan hasada kadar olan toplamı verim ile iyi bir ilişkiye sahiptir. Bir sulamanın ardından SDG'nin pozitif değerlerinin toplamı bir sonraki sulama zamanının tespitinde bir gösterge niteliğindedir.

Altı farklı sulama suyu düzeyine sahip bir arazi denemesiyle buğdayda örtü sıcaklığına dayalı SDG kullanarak sulama zamanı ve sulama suyu miktarının SDG ile belirlenmesi irdelenmiştir. Toprak nem düzeyinin de izlendiği çalışmada örtü sıcaklığı ve 150 cm yükseklikteki hava sıcaklığı her gün 1330 ve 1400 saatleri arasında ölçülmüştür. SDG'nin sulama zamanı ve miktarının belirlenmesinde iyi bir ön gösterge olduğu sonucuna varılmıştır. Aynı zamanda ET ile net radyasyon ve Tc-Ta ilişkisine ait bir yaklaşım lizimetreyle test edilmiştir. Bu yaklaşım çalışma parsellerinin su tüketimini tahmin etmekte kullanılmıştır. Tahmin edilen ve ölçülen su tüketimlerinin birbiriyle uyumlu olduğu belirlenmiştir (Jackson *et al.* 1977b).

Buğday bitkisinin örtü sıcaklığı ve yaprak su potansiyelinin günlük değişimini belirlemek amacıyla yapılan çalışmada söz konusu parametreler ıslak toprak ve kuru toprak koşullarında ölçülmüştür. Çalışma sonuçlarına göre, ıslak toprak koşullarında yaprak su potansiyeli sabah ve akşam saatlerinde sıfıra yakın bir değerde iken öğle saatinden saat 16:00'ya kadar -16 bardır. Aynı koşulda Tc-Ta sabah saatlerinden saat 10:00'a kadar ve saat 14:00'ten akşam saatlerine kadar negatif, diğer zaman diliminde sıfıra yakın veya pozitifdir. Kuru koşulların yaprak su potansiyeli sulu koşullarda belirlenen değerlere yakındır. Fakat, kuru koşulların yaprak su potansiyelinin akşam saatlerinde sıfıra yaklaşması beklenirken, bu gerçekleşmemiştir. Tc-Ta ise kuru koşullarda sabah saatlerinden sonra hızlı bir biçimde artmıştır ve saat 14:00'den sonra yavaş bir azalma izlenmiştir. Saat 10:00'dan sonra Tc-Ta pozitif değerdir. Bu sonuçlara göre bitki örtüsü sıcaklığı ölçümlerinde en uygun zaman olarak saat 14:00 önerilmiştir (Ehrler *et al.* 1978a).

Buğday örtü sıcaklığı ile yaprak su potansiyeli arasındaki istatistiksel ilişkiyi belirlemek amacıyla yapılan çalışmada, kuraklığın etkisi ile kapanan stomaların örtü sıcaklığını arttırdığı tespit edilmiştir. Bu tür sıcaklık artışlarının uzaktan algılama ile büyük ölçekli alanlar için de belirlenebileceği ve bu bilginin sulama zamanı planlamada kullanılabileceği belirtilmektedir (Ehrler *et al.* 1978b).

Walker and Hatfield (1979) bitki yüzey sıcaklığının hava sıcaklığına oranla daha fazla artmasının bitkinin su stresine girdiğinin bir belirtisi olduğunu bildirmektedir. Fasulye bitkisi ile yapılan çalışmada bitki örtü sıcaklığına dayalı stres indeksi olan SDG ile verim ilişkilendirilmiştir. Bu amaçla çeşitli toprak-su düzeyleri oluşturulmak için beş ayrı sulama programı uygulanmıştır. Toprak su düzeyleri nötron probe ile haftada üç defa 180 cm derinliğe kadar izlenmiştir. Bitki örtü sıcaklığı her gün öğleden bir saat sonra ölçülmüştür. Yapılan doğrusal regresyon analizlerine göre verim ile SDG toplamı arasında önemli bir ilişki bulunmamıştır.

Pinter *et al.* (1979) tarafından yapılan çalışmada hastalık aşılansız şeker pancarı ve pamuk yapraklarının, sağlıklı bitkilerden 3 ile 5 °C daha sıcak olduğu belirlenmiştir. Bu sıcaklık farklılığının, değişik toprak su düzeylerinde irdelenmesi ile bitkilerin biyolojik streslerinin belirlenmesinde uzaktan algılama tekniklerinin kullanılabileceği ortaya konmuştur.

Hatfield (1979) yüzey sıcaklık ölçümünde önemli unsurlardan birisinin infrared termometre cihazının gördüğü alan olduğunu belirtmektedir. Bu bakış açısı ile sıra bitkilerinin ve tam örtüye sahip bitkilerin sıcaklıklarının ölçümünde uzaktan algılama tekniklerini değerlendiren çalışmada bitki olarak fasulye ve buğday kullanılmıştır. Yüzey sıcaklığı infrared termometre, termistol ve yaprak termokoplu ile belirlenmiştir. Elde edilen sıcaklıklar değerlendirildiğinde bireysel yapraklar için infrared termometre ve termistol uyumlu bulunurken, infrared termometre düşey konumlandırıldığında gerek örtü sıcaklığı gerek bireysel yaprak sıcaklığı termistol ile daha az uyumludur. Çalışma sonuçlarına göre infrared termometreler ölçüm sırasında belirli bir düşey açı ile

konumlandırılmalıdır ve tam örtüye sahip olmayan bitkilerin ölçümünde oldukça dikkati olunmalıdır.

Idso *et al.* (1981) 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 T_c-T_a 'ya karşın havanın buhar basıncı açığı (VPD) ilişkilerine dayalıdır. Çalışmada, ortaya atılan yaklaşım daha önce gerçekleştirilmiş arazi denemelerinin sonuçları ile test edilmiş ve su stresini belirlemede etkili olduğu belirtilmiştir.

İnfrared termometre ile belirlenen bitki yüzey sıcaklığı, ıslak ve kuru termometre ölçümü ve net radyasyon verileri, enerji denge yaklaşımından türetilen eşitliklerde kullanılarak CWSI hesaplanmıştır. Havanın buhar basıncı açığına dayalı T_c-T_a 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 ($CWSI=1-ET_a/ET_p$) ortaya koyulmuştur. Yaklaşım bir buğday denemesi ile test edilmiştir. Söz konusu indeksin faydaları ve kısıtları irdelenmiştir (Jackson *et al.* 1981).

İnfrared termometre ile yüzey sıcaklığı ölçümlerine, güneşin yatay konumu ve cihazın ölçüm sırasındaki gözlem açısının etkileri soya fasulyesinde irdelenmiştir. Güneşin azimut açısı ile infrared termometre ölçümü sırasındaki cihazın azimut açısı farkı 0^0 den 110^0 'ye arttıkça infrared termometre ile ölçülen örtü sıcaklığı doğrusal bir biçimde azalmıştır. Bu fark 110^0 'nin üzerinde artmıştır ve gözlenen örtü sıcaklığı dört ana yönden yapılan ölçümün ortalamasının $0,3$ °C daha üzerinde sabit kalmıştır (Nielsen *et al.* 1983).

Bitki yüzey sıcaklığına dayalı stres indeksi ile stomal iletkenlik ve fotosentez ilişkilerinin irdelendiği çalışmada sümbül kullanılmıştır. 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 (Idso *et al.* 1984).

Hatfield *et al.* (1984)'e göre uzaktan algılama ile belirlenen yüzey sıcaklığı ET hesaplamada kullanılabilir bir veridir ve bu amaçla bir çok metot geliştirilmiştir. Yaptıkları bir çalışma ile bu metotların en yaygın olarak kullanılanları değerlendirilmiştir. Bu amaçla ABD'nin bir çok bölgesinde kurulan tartılı lizimetrelerde farklı bitkiler yetiştirilmiş ve örtü sıcaklığı yüzey enerji dengesine girdi olarak kullanılmıştır. ET lizimetrede ve ampirik yöntemlere dayalı olarak belirlenmiştir. Sonuçlara göre, tüm bölgelerde yüzey enerji dengesine göre belirlenen ET ile tartılı lizimetreler kullanılarak belirlenen ET değerleri iyi bir korelasyona sahiptir. Tam örtü koşullarında hesaplanan ET gerçeğe göre en fazla % 10 hatalı bulunmuştur. Bartholic-Namken-Wiegand metotları net radyant ile örtü sıcaklığına oranla daha yakın ilişkili iken tam örtü olmayan koşullarda iki model arasındaki fark oldukça belirgin bulunmuştur.

İnfrared yüzey sıcaklığına dayalı günlük ET hesabına ilişkin yapılan diğer bir çalışmada, enerji denge eşitlikleri, Penman-Monteith ve van-den-Honert eşitlikleri bir araya getirilmiş ve öğle saatlerinde ölçülen yüzey sıcaklığı uygun duruma getirilmiştir. Yüzey sıcaklığına ek olarak, yarım saat ara ile ölçülen güneş radyasyonu, havanın kuru termometre ve ıslak termometre sıcaklıkları, rüzgar hızı, bitki örtüsü ışıması, albedo, bitki yüksekliği ve yaprak alan indeksi verileri kullanılmıştır. Tam su ve kısıtlı su koşullarında günlük ET değişimleri tartılı lizimetre ile izlenmiştir. Buğday için günlük ET hesabında yapılan hata % 10'dan daha az olup ve 10 günlük hata düzeyi % 5'in altındadır. Çalışmada duyarlılık analizine ilişkin bazı sonuçlar da verilmiştir (Choudhury *et al.* 1986).

İzole edilmiş ve havalandırılmamış sera ortamında yetiştirilen sümbül, pamuk ve yonca ile yapılan çalışmada 1985 yılının yaz ve güz aylarında bitki örtü sıcaklıkları, hava sıcaklıkları, havanın buhar basıncı açığı, net radyasyon ve yaprak difüzyon direnci

günlük olarak ölçülmüştür. Bu parametreler yonca ve sümbül için transpirasyonun gerçekleşmediği ölü bitkilerde, hem serada hem de dış ortamda belirlenmiştir. Tüm bu verilerin analizi ile ortaya çıkan sonuçlara göre Idso-Jackson yöntemi olarak bilinen hesaplama yönteminde küçük bazı değişimlerin yapılmasının gerekli olduğu belirtilmiştir (Idso and Clawson 1986).

Jackson *et al.* (1986)'ya göre, uzaktan algılama ile bitki koşullarının gözlenmesi sadece verim tahmin etmede değil aynı zamanda günlük olarak bitki yönetiminde etkilidir. Birçok arazi denemesi kurularak el radyometreleri ile bitki karakteristiklerinin spektral tepkileri belirlenmiştir. Yapılan çalışmalara göre, radyometrik bir biçimde ölçülen bitki örtü sıcaklığı referans bir sıcaklık ile karşılaştırıldığında (hava sıcaklığı), su stresine ilişkin önemli bir gösterge niteliğindedir. Spektral yansıma oranına dayalı vejetasyon indeksleri su stresine duyarlı değildir. Fakat su stresinin bitkideki etkilerini ortaya koymada önemli araçlardır. Bitki örtü geometrisi radyometreye ulaşan radyasyonu değiştirir ve stresten kaynaklanan spektral değişimi daha karmaşıklaştırır. Yapılan bu çalışma ile bitki yetiştirmede uzaktan algılanmış verilere dayalı bitki stresine ilişkin bazı temeller ortaya koyulmuştur.

Günlük enerji bütçesi yaklaşımına göre günlük ET hesaplamasında uzaktan algılanmış yüzey sıcaklığının ve çeşitli iklim verilerinin kullanımının irdelendiği çalışmada bazı katsayıların geliştirilmesi amaçlanmıştır. Vejetasyon örtüsünü dikkate alan tek boyutlu bir model ile yapılan simülasyonlar ile geliştirilen katsayılar, günlük ET hesabında enerji bütçesi kullanımını daha kolay bir biçime dönüştürmektedir. Model sabit katsayıları, iki ayrı hava sıcaklığı ve vejetasyon ve çıplak toprak koşulları için geliştirilmiştir. Aynı zamanda sabah saatlerinden sonra geçen her zaman diliminde yüzey sıcaklığının değişimine dayalı günlük ET hesaplaması dikkate alınmıştır. Model çıktıları ve arazi ölçümleri karşılaştırılmıştır. Modelde hataya neden olan kaynaklar da ortaya konmuştur (Carlson and Buffum 1989).

Idso *et al.* (1990)'a göre bitkilerin en üst düzeyde transpirasyon yapabildikleri düzey (hiç su stresi yaşanmayan su düzeyi) ile hiç transpirasyon yapamadıkları düzey CWSI

hesaplama da temel dir. Hiç su stresinin olmadığı düzeyi belirlemede hava sıcaklığı ve havanın buhar basıncı açığı ölçümlerinin yapıldığı yerin sonuca etkisini belirlemeye yönelik yapılan çalışmada, biber bitkisi ile bir arazi çalışması kurulmuştur. İyi sulanmış bitkilerde su stresinin olmadığı temel eğrinin eğimi $-1,9 \text{ }^{\circ}\text{C kPa}^{-1}$ olarak belirlenmiştir. Hava sıcaklığı ile havanın buhar basıncı ölçümünün yapıldığı yerin bu eğim üzerinde çok az bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir.

Wanjura *et al.* (1992) tarafından yapılan arazi denemesinde bir damla sulama sistemine infrared termometre monte edilmiş ve sistem bitki örtü sıcaklığına göre yönetilmiştir. Damla sulama sistemi, bitki örtü sıcaklığı için sisteme girilen eşik değere düştüğünde çalışmıştır. Eşik sıcaklıklar $26 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $32 \text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında $2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ aralıklarla değişmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde en yüksek verim $28 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ eşik değerlerinde sulamaya başlanan deneme konularından elde edilmiştir.

Moran *et al.* (1994) bitki vejetasyon düzeyini dikkate alan, infrared sıcaklık ölçümlerine dayalı yeni bir stres indeksi olan Su Eksiklik İndeksini (WDI) geliştirmiştir. Söz konusu indeks, bitki örtü sıcaklığı (potansiyel transpirasyon ve transpirasyonsuz), kuru toprak sıcaklığı, doymun toprak sıcaklığı ile atmosfer sıcaklığı farkları ve spektral vejetasyon düzeyini bir trapez biçiminde işleyerek, mevcut bitki yüzey sıcaklığına dayalı bir biçimde hesaplanmaktadır. Ayrıca geliştirilen bu indeks ile ET arasındaki ilişki bir eşitlikle belirtilmiştir.

Seguin *et al.* (1994)'de belirtildiğine göre, uzaktan algılama ile tespit edilen yüzey sıcaklığı, hissedilebilir ve hissedilemeyen ısı değişimleri üzerinde etkilidir. Bu nedenle, ET izlemede oldukça etkili bir araçtır. Yüzey sıcaklığı tarla düzeyinde infrared termometreler ile izlenebilirken, büyük ölçekli alanlarda uydular aracılığı ile 1 km'den (NOAA-AVHRR) 5 km (METEOSAT) çözünürlüğe kadar elde edilebilmektedir. Yapılan çalışma ile T_c-T_a ve ET bölgesel düzeyde, çeşitli ülkelerde uydu verisine dayalı bir biçimde tespit edilmiştir. Çalışmada uydu verilerinin T_c-T_a ve ET belirleme amaçları ile kullanım olanakları ortaya koyulmuştur.

Spektral yansımaya oranı ve yüzeysel sıcaklığı ile Penman – Monteith eşitliğinin bir araya getirildiği çalışmanın amacı, tam bitki örtüsüne sahip olmayan alanlarda herhangi bir bitki örtü yüzdesi ve bitki direnci bilgisine gerek kalmaksızın, ET hesabında uzaktan algılama tekniklerinin kullanım olanaklarının ortaya konulmasıdır. Metot özellikle kurak ve yarı-kurak bölgeler için daha uygun bulunmuştur. Bu yaklaşımda temel olarak, Penman – Monteith eşitliği enerji denge eşitliği ile bir araya getirilerek çıplak toprak ve vejetasyon örtüsüne ilişkin dört temel düzey dikkate alınmaktadır. Dört temel düzey arasında çeşitli vejetasyon düzeyleri ve yüzey sıcaklık değerleri için yapılan enterpolasyon ile ET hesaplanmaktadır. Yaklaşım ilk olarak tarla düzeyli spektral yansımaya oranı ve yüzey sıcaklık ölçümleri ile test edilmiştir ve oldukça iyi sonuçlar alınmıştır. Ardından yaklaşım Landsat TM uydu görüntüleri ile test edilmiştir. Tarla düzeyli çalışmalara eşdeğer sonuçlar elde edilmiştir (Moran *et al.* 1996).

Gerçek bitki transpirasyonunun günlük değerleri, farklı düzeylerde sulama suyu uygulanmış soya bitkisinde, sap akım ısı dengesine (SFG) göre belirlenmiştir. Spektral ve termal infrared ve temel iklim faktörleri ölçülmüştür. Potansiyel bitki örtü transpirasyonunun (Tr_p) anlık bir spektral vejetasyon indeksi ve günlük toplam güneş radyasyonu (R_s) ile ilişkisi $Tr_p = \alpha SAVI R_s$ 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 değerlerinin temel girdi olarak kullanılmaktadır. 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 , SFG ile hesaplanan Tr_p ile iyi bir korelasyona sahiptir. Çalışma sonucuna göre oldukça az veri gereksinimine sahip bu model ile anlık ve günlük transpirasyon kolaylıkla belirlenebilmektedir (Inoue and Moran 1997).

Kumar *et al.* (1999) yaptıkları çalışmada kuru tarım koşullarında yetiştirilen fasulyede bitki için yarayışlı toprak su düzeyinin tahmin edilmesinde infrared termometre tekniğinin kullanılma olanaklarını irdelemişlerdir. Fasulye üç ayrı tarihte ekilmiştir. Çalışma ile bitki örtü sıcaklığı ve SDG'nin çevresel değişikliklere göre normalleştirilmesi ve bu yolla bitki için yarayışlı toprak su düzeyinin bir infrared termometre ile tahmin edilmesi hedeflenmiştir. SDG'nin sıcaklık ve havanın doygunluk

açığına dayalı normalleştirilmesi toprak su düzeyinin belirlenebilir olmasını sağlamıştır. Normalleştirmenin ardından SDG ile bitki için yarayışlı toprak su düzeyi ilişkisinin determinasyon katsayı 0,61 ve 0,65 olarak belirlenmiştir. Çalışmada, SDG'nin normalleştirilmesi ile toprak su düzeyi tahminine yönelik bu basit metodun, farklı iklim koşullarında farklı bitkilerde test edilmesinin gerekli olduğu belirtilmektedir.

Sulu koşullarda, bitki su stresinin bir göstergesi olarak stomal kapanmanın belirlenmesinde infrared termometre kullanımına yönelik bir yaklaşım geliştirilmesi amacı ile bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada Idso *et al.* (1981) yaklaşımı ile hesaplanan ve stomal kapanmaya dayalı geliştirilen yaklaşım ile hesaplanan bitki su stres indeksleri karşılaştırılmıştır. Her iki indeksin birbiri ile uyumlu olduğu belirlenmiştir (Jones 1999).

Yazar *et al.* (1999) tarafından, LEPA ile sulanan mısır bitkisinde CWSI'nin değerlendirilmesi amacı ile bir çalışma yürütülmüştür. Farklı düzeylerde sulama suyu uygulanmıştır. Çalışmanın yürütüldüğü koşullar için Idso *et al.* (1981) yöntemine dayalı su stressiz hat belirlenmiştir. CWSI ile toprak su düzeyleri arasında istatistiksel olarak önemli ilişkiler tespit edilmiştir. En düşük verim düzeyleri bitki su stres indeksi 0,33 değerinin altına düştüğünde gerçekleşmiştir.

Sadler *et al.* (2000), Amerika'nın Coastal Plain bölgesinde değişik topraklara sahip olan bölgelerde farklı hububat verimi gerçekleştiğini ve mısırın özellikle kurak dönemlerde bu tür değişikliklere en duyarlı bitkilerden birisi olduğu belirtilmektedir. Yapılan çalışma ile söz konusu bölgede farklı topraklarda mısır bitkisinin su kullanımı ve su stresi değerlendirilmiştir. Kuraklık stresinin değerlendirilmesinde infrared termometre ölçümlerinden yararlanılmıştır. Bununla birlikte her bir toprak biriminde toprak su düzeyi izlenmiştir. Şiddetli kuraklığın oluştuğu dönemlerde, gözle belirgin olan stres alanlarında Tc-Ta değeri 10 °C'dan daha yükseğe çıkmış, diğer alanlarda bu değer 2 °C'den daha düşük kalmıştır. 46 mm bir yağışın ardından tüm alanda bu fark sıfır dereceye yaklaşmıştır.

Alves and Pereira (2000), Idso *et al.* (1981) yönteminin daha önce tamamlanmış tarla denemelerine dayalı bir biçimde olmasını ve Jackson *et al.* (1981) yöntemindeki teorinin bitkinin yüzey direncine dayalı olmasını kısıt olarak görmüştür. Yaptıkları çalışma ile bitki su stresi hesabında, kolaylıkla ölçülebilen veya tahmin edilebilen atmosferik verilere dayalı yeni bir yöntem geliştirmişlerdir.

Colorado'da (ABD) gerçekleştirilen çalışma ile buğday bitkisi için Idso *et al.* (1981) yöntemine dayalı temel grafiğin elde edilmesi ve bu yolla hesaplanan bitki su stres indeksinin buğday bitkisinin su düzeyi tespiti ve sulama zamanı planlamasının yapılmasındaki etkinliğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma sonuçlarına göre CWSI'in buğdayda söz konusu amaçlarla kullanımı mümkündür (Alderfasi and Nielsen 2001).

Harran ovası koşullarında yürütülen bir çalışma ile ikinci ürün mısır bitkisi için bitki su stres indeksi değerlendirilmiş ve Idso *et al.* (1981) yöntemine göre alt limit ve üst limitler belirlenmiştir. Bitki su stres indeksi ile ET açığı, verim ve dane verimi arasında istatistiksel bakımdan doğrusal bir ilişkinin varlığı belirlenmiştir (Kırnak ve Gencoğlan 2001).

Ölçüm cihazlarının bitkiye göre yatay açılarının uzaktan algılanmış yüzey sıcaklık ölçüm değerleri üzerindeki etkisinin belirlenmesi amacı ile bir çalışma yapılmıştır. Sonuçlar, cihazın görüş doğrultusunun bitkiye dik olduğu ve dik olmadığı koşullarda 5 Kelvin düzeyinde bir farklılık olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, bulutsuz ve belirli bir bitki örtüsü koşullarında bu fark yüzey toprak su düzeyi ile önemli ilişkiye sahiptir. Yüzey sıcaklığı bileşenlerinin türetilmesi için, iki radyatif transfer modeli kullanılmıştır. Model sonuçlarına göre, modellerdeki farklılığa rağmen üç ayrı ölçüm açısı için aynı sonuçlar elde edilmiştir. Sonuç olarak, yapılan duyarlılık analizlerine göre % 10'dan daha hassas ölçümler için bitki alan indeksine gereksinim duyulduğu, bu indeks yardımı ile vejetasyon sıcaklığı belirlemede 1 Kelvin değerinde bir hassaslık sağlanabileceği belirtilmektedir (Chenbouni *et al.* 2001).

Yuan *et al.* (2004) yaptıkları çalışmada bitki su stres indeksi hesabına ilişkin üç ayrı yaklaşımı (Idso, Jackson ve Alves) Kuzey Çin’de yetiştirilen buğday bitkisi için değerlendirmişlerdir. Çalışma sonuçlarına göre, Jackson ve Alves yaklaşımı söz konusu bölge ve bitki için daha uygun bulunmuştur. Jackson modeli daha makul, Alves modeli ise daha pratik olarak değerlendirilmiştir.

Yunhao *et al.* (2005) iki tabakalı bir uzaktan algılama modeli kullanarak günlük buharlaşma hesabında uydulardan elde edilen yüzey sıcaklığı ve vejetasyon unsurlarını kullanmışlardır. Model bir enerji denge eşitliğine dayanmaktadır. Net radyasyon, hissedilebilir, hissedilemeyen ve toprak ısı değişimleri belirlendiğinde ET hesaplanabildiği bildirilmiştir. Modelin doğruluğu yer istasyonlarından elde edilen veriler ile test edilmiştir.

2.3 Bitki Spektral Yansımaları ve Spektral Vejetasyon İndekslerine İlişkin Çalışmalar

Jackson *et al.* (1980)’e göre spektral vejetasyon indeksleri, yaprak alan indeksi, kuru madde, yeşil ağırlık, örtü yüzdesi gibi bitki karakteristiklerinin, spektral veriler kullanılarak tahmin edilmesinde önemli araçlardır. İki banda ait yansımaları değerlerinin birbirine oranlanmasıyla, doğru bantlar seçildiğinde oldukça yararlı vejetasyon indeksleri elde edilebilir. Bu tür vejetasyon indekslerinin belirlenmesinde kullanılacak bantların seçiminde en önemli ölçüt, bantlardan birisine ilişkin yansımaları verisi vejetasyonun artması ile azalmalı, diğerinde vejetasyon artması ile artmalıdır. Normalize edilmiş değişim ile vejetasyon indeksi farklı iki banda (örneğin yakın kızıl ötesi ve kırmızı) ilişkin yansımaları değerlerinin toplam ve farklarının oranlanması ile elde edilir. Normalize edilmiş değişim ile vejetasyon indeksine örnek olarak, Normalize Edilmiş Vejetatif Değişim İndeksi (NDVI) verilebilir. *NDVI yakın kızıl ötesi ve kırmızı bölgedeki spektral yansımaları oranlarının fark ve toplamalarının oranını ifade etmektedir.*

Hatfield *et al.* (1985) tarafından, bazı spektral vejetasyon indeksleri ve yaprak alan indeksi (YAI) arasındaki istatistiksel ilişkiler irdelenmiştir. Yapılan regresyon analizi sonucunda, bireysel bantlarının yansımaları oranları ile YAI arasında bir ilişki olmadığı

belirlenmiştir. Bununla birlikte, tüm yetiştirme dönemi irdelendiğinde yakın kızıl ötesi ve kırmızı bant oranı ile YAI'nin istatistiksel bakımdan önemli ilişkiye sahip olduğu belirlenmiştir.

Kumar (1988) yaptığı çalışmada Kubelka-Munk teorisine dayalı olarak iki ayrı dalga boyunda bir bitki örtüsünde meydana gelen yansımaya oranı ile bitki örtüsü tarafından absorbe edilen fraksiyonel ışık arasındaki ilişkiyi ortaya koymuştur. Analiz sonuçlarına göre, vejetasyon ile yansımaya oranı arasındaki ilişki eğriseldir. Fotosentetik aktif radyasyonun absorbe edilmesi ile ilişkisi ise doğrusaldır.

Spektral yansımaya oranının gün boyu ve mevsim boyu değişimlerinin ortaya konması için yapılan çalışmada, bir bozkırda bulunan yanmış ve yanmamış bitkilerde tarla düzeyli ölçümler ve radyasyon taşınım modeli kullanılmıştır. Yanmış ve yanmamış ot örtüsü gün boyu ve mevsim boyu irdelendiğinde spektral yansımaya oranları bakımından görünür ve yakın kızıl ötesi bölgelerde birbirinden oldukça farklıdır. Yansımaya oranlarındaki bu farklılıkların kaynağı, bitki gelişimindeki farklılıklar, ölçüm cihazı güneş ve bitki örtüsü arasındaki açısal farklılıklardır. Radyasyon taşınım modeli söz konusu iki ayrı bitki örtüsüne ilişkin spektral yansımaya oranlarının gün boyu değişimlerini oldukça iyi bir biçimde simule etmiştir. Mevsim boyu simülasyonlarda yanmamış bitki örtüsü için modelin tahmin ettiği spektral yansımaya oranları ölçülenden daha büyük çıkmıştır (Asrar *et al.* 1989).

Yapılan bir çalışmada, enerji dengesi bileşenlerinden toprak ısı değişiminin, çeşitli bitki örtüleri için, spektral yansımaya oranlarından yararlanılarak belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla çıplak toprakta, yoncada ve pamukta net radyasyon (R_n), toprak ısı değişimi (G) ve spektral yansımaya oranları ölçülmüştür. Gün ortasında belirlenen toprak ısı değişiminin net radyasyona oranı (G/R_n) ile bazı spektral vejetasyon indeksleri arasında doğrusal ilişkiler tespit edilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, spektral veriler ve net radyasyon kullanılarak toprak ısı değişimi tahmin edilebilir ve bölgesel düzeyde yapılan buharlaşma çalışmalarında kullanılabilir (Kustas and Daughtry 1990).

Penuelas *et al.* (1994) yaptıkları çalışmada, farklı düzeylerde azot ve sulama suyu uyguladıkları ayçiçeği bitkilerinin gün boyu ve mevsim boyu spektral yansımalarını ve fizyolojik bazı özelliklerini izlemişlerdir. Kontrollü ayçiçeği bitkileri, azot kısıtı olanlara göre, yüksek düzeyde azot, klorofil, ribulose bis fosfat karboksiloz/oksijenoz (RuBPCase) aktivitesine ve fotosentetik oranlarına ve düşük nişasta içeriği ve yaprak kalınlığına, su stresi oluşturulan bitkilerin yüksek azot ve klorofil içeriğine sahip olduğu belirlenmiştir. Aynı zamanda bu bitkilerde düşük yaprak su potansiyeli ve fotosentetik oranların gerçekleştiği tespit edilmiştir. Stresli bitkilerin diğerlerine göre (özellikle azotu kısıtlı olanlar) görünür dalga boylarında yüksek ve yakın kızıl ötesi dalga boylarında düşük yansımaya oranına sahip olduğu belirtilmektedir. Çalışmada, mevsim boyu spektral veriler değerlendirildiğinde NDVI ve benzeri spektral indekslerin stresli bitkilerin ayırt edilmesinde oldukça etkili olduğu belirtilmiştir.

Thenkabail *et al.* (2000) araştırmaları ile bitkilerin biyofiziksel değişkenlerini en iyi karakterize eden spektral bantları belirlemeyi hedeflemişlerdir. Bu amaçla pamuk, patates, soya fasulyesi, mısır ve ayçiçeği bitkisinin spektral yansımaları 350- 1050 nm dalga boyu aralığında 490 bantta ölçülmüştür ve çeşitli vejetasyon indeksleri hesaplanmıştır. Aynı zamanda, yaş kütle, yaprak alan indeksi, bitki boyu ve verim parametreleri gözlenmiştir. Çalışmada, ele alınan spektral vejetasyon indekslerinin hesaplamasında en etkili bantlar irdelenmiştir. Çalışma sonucunda tarımsal bitkilerin biyofiziksel niteliklerinin izlenmesi amacı ile 350-1050 nm dalga boyu aralığında 12 bant önerilmiştir.

Qi *et al.* (2000)'e göre, spektral yansımaları verileri ve bu verilere dayalı hesaplanmış indeksler bitki gelişimine ilişkin YAI gibi birçok parametrenin tahmin edilmesinde yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. Bu amaçla, geliştirilmiş iki yaklaşım vardır. İlki spektral vejetasyon indekslerinin (SVI) radyometrik ölçümlerden hesaplanmasıdır. Bu yaklaşım ampirik veya modellenmiş YAI-SVI ilişkilerini kullanmaktadır. Bu yaklaşımın en önemli kısıtı, her türlü alana ve vejetasyona uygulanabilecek, YAI ve SVI'ne ilişkin tek bir eşitliğin olmamasıdır. İkinci yaklaşım farklı doğrultulu yansımaları dağılımı fonksiyonu (BRDF) modelleridir. Bu yaklaşım bir BRDF modelini, YAI tahmin etmede, bir seri optimizasyon işlemi yürüterek, radyometrik verilere dayalı bir

biçimde dönüştürür. Bu yaklaşım teorik bir altyapıya sahip olduğu için, farklı koşullara uygulanabilir. En önemli kısıtları hesaplama işlemlerinin uzun sürmesi ve modelde gereksinim duyulan parametrelerin edinilmesindeki zorluktur. Qi *et al.* (2000) yaptıkları çalışma ile BRDF modellerini geleneksel YAI-SVI yaklaşımlarının kısıtlarını gidermek amacı ile irdemişlerdir. Çalışmada önerilen strateji üç ardışık adım içermektedir. İlk adımda, bir BDRF modeli kısıtlı sayıdaki veri noktası veya pikseli için çalıştırılmıştır. İkinci adımda, çalışılan veri seti kalite kontrol işleminden geçirilmiştir. Son adımda, çalışılan verilerin seti, bir YAI-SVI eşitliği veya bulanık mantık sistemi elde etmek için kullanılmıştır. Daha sonra elde edilen eşitlik ve bulanık mantık sistemi büyük ölçekli alanlarda uzaktan algılamaya dayalı YAI tahmin etmede, Landsat TM ve AVHRR görüntüleri kullanılarak test edilmiştir. Sonuçlar kısıtlı yer gerçeği verileri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçlarına göre, model çıktıları yarı-kurak bölgelerde YAI tahmin etmede kullanılabilir olarak değerlendirilmiştir.

Compact Airborne Spectral Imager (CASI) adlı havadan multispektral veri sağlayan radyometre ile yapılan çalışmada bir tarım alanında vejetasyon miktarı ve vejetasyonun bazı fizyolojik düzeylerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. CASI verisine dayalı bir biçimde spektral yansıma oranları, vejetasyon indeksleri ve kırmızı hat belirlenmiş ve 16 yerde belirlenen YAI ve bitki azot konsantrasyonları (Nc) ile karşılaştırılmıştır. Vejetasyon çeşitliliğindeki farklılıklar, yaprak yaşı ve fenolojik durum nedeniyle YAI ile Nc iyi bir korelasyona sahip değildir. Bununla birlikte Nc yeşil ve uzak-kırmızı bölge yansıma oranları ile iyi korelasyona sahiptir (sırası ile $r = -0,94$ ve $r = -0,88$). Çalışmada, spektral vejetasyon indeksleri ile YAI arasında da önemli ilişkiler tespit edilmiştir (Boegh *et al.* 2002).

ABD’de yapılan bir çalışmada pamuk bazal bitki katsayısının (kcb) belirlenmesinde NDVI’den yararlanılmıştır. Model iki ayrı regresyon ilişkisine sahiptir. İlki erken büyüme dönemlerine ilişkin NDVI ile kcb’nin arasında doğrusal ilişki bulunmaktadır ($r^2=0,97$, $n=68$). İkincisi ise kcb’nin NDVI ve büyüme gün düzeyi (GDD) ile çoklu regresyonu olmasıdır ($r^2 = 0,82$, $n = 64$). Çalışma sonucuna göre NDVI – kcb ilişkisine dayalı belirlenen bitki su tüketimi gerçek bitki su tüketimine çok yakın bulunmuştur (Hunsaker *et al.* 2003a).

Algılayıcı cihazların ölçüm açılarının değişiminin spektral indekslere ve bu indekslerden tahmin edilen verim ve diğer tarımsal parametreler üzerine etkisini araştırmak amacı ile bir çalışma yürütülmüştür. Bu amaçla 25 farklı buğday genotipinde taşınabilir spektrometre ile, yere dik ve 30° olmak üzere iki ayrı açı ile ölçümler yapılmıştır. Yapılan spektral yansımaları ölçümlerinden yararlanılarak dokuz adet vejetasyon indeksi hesaplanmış ve verim ile diğer parametreler ilişkilendirilmiştir. Hesaplanan indeksler YAI ve ölçüm açısından etkilenmiştir. Açılı ölçümlerde basit oran (SR) ve NDVI değerlerine göre daha etkili iken, yere dik konumda yapılan ölçümlerde, normalize edilmiş pigment klorofil indeksi (NPCl) ve su indeksi (WI) daha etkili bulunmuştur (Aparicio *et al.* 2004).

Kimura *et al.* (2004) yaptıkları araştırma ile YAI ve gerçek ET (ETa) ile potansiyel ET (ETp) oranının (ETa/ETp) spektral veriler ile ilişkisini belirlemişlerdir. Bu amaçla, çeltikte YAI için vejetasyon indeksi (VILAI) ve klorofil içeriği için vejetasyon indeksi (VICC) 550, 680, 800 ve 980 nm dalga boylarındaki spektral yansımalarından yararlanılarak hesaplanmıştır. Bunların yanı sıra NIR/Red, NIR/Green, NDVI, yeşil normalize edilmiş vejetatif değişim indeksi (GNDVI), modifiye edilmiş yansımada klorofil absorpsiyonu indeksi (MCARI), dönüştürülmüş yansımada klorofil absorpsiyonu indeksi (TCARI), toprak yansımalarını dikkate alan vejetasyon indeksi (SAVI), optimize edilmiş SAVI (OSAVI), modifiye edilmiş SAVI (MSAVI), ve VILAI gibi spektral vejetasyon indekslerinin YAI tahmin etmede oldukça etkili olduğu belirlenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, ETa/ETp ile VICC ilişkisinin determinasyon katsayısı diğer indekslere göre daha yüksektir. Bu durum, dört adet görünür ve yakın kızıl ötesi dalga boyları ile elde edilen indekslerin, iki veya üç dalga boyu ile hesaplanan indekslere göre ETa-ETp oranını daha iyi ifade ettiğini göstermektedir.

2.4 Yaprak Su Düzeyine İlişkin Çalışmalar

Tucker (1980), yaprak su içeriğinin bir fonksiyonu olan yaprak spektral yansımaları oranını belirlemek amacı ile bir yaprak radyasyon modeli kullanmıştır. Farklı eşdeğer su yükseklikleri arasındaki yansımaları oranı değişimlerini belirlemek için spektral yansımaları

oranları modellenmiştir. Model sonuçlarına göre, bitki örtüsü nem içeriğini belirlemede, 700-2500 nm dalga boyu aralığı içerisinde, 1550–1750 nm dalga boyu aralığı, bu amaçla yapılandırılan uydu platformları için en uygun aralıktır.

Hindistan Araştırma Organizasyonu'nda buğday, nohut ve hardal bitkilerinin spektral yansımaya değerleri belirlenmiş, aynı zamanda bu bitkilerin fizyolojik özellikleri ölçülmüştür. Deneme iki yıl sürmüştür ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir; (i) bitkilerde azot ve su stresinin belirlenmesinde spektral parametreler kullanılabilir, (ii) spektral parametreler fizyolojik değişkenler ve üretim ile yüksek düzeyde korelasyona sahiptir, (iii) korelasyonlar daha çok iklim parametrelerinin etkilerini içerecek biçimde geliştirilmiştir, (iv) SDG, dane verimi ile yüksek düzeyde korelasyona sahiptir ve (v) buğday bitkisinde fotosentez hesaplamasına dayalı bir verim modelinin kullanımı uygundur (Kamat *et al.* 1985).

Hunt and Bock (1987) yaprak oransal su kapsamının (YOSK) yakın kızıl ötesi bölgede oluşan yansımaya oranları ve spektral indeksler ile tahmin edilme olanağını araştırmışlardır. Bu amaçla yaprak su kapsamı indeksi (LWCI) kullanılmıştır ve bu indeksin YOSK ile ilişkileri irdelenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre bireysel yaprak ve/veya bitki düzeyinde, LWCI, YOSK'dan önemli düzeyde farklılık göstermemiştir. Bununla birlikte, LWCI ile ortalama YOSK değerini tahmin etmenin mümkün olduğu belirtilmiştir.

Kleman and Fagerlund (1987) tarafından yapılan bir araştırmada, arpa bitkisinin spektral yansımaya ölçümleri tarla düzeyinde bir spektrometre ile 400-2300 nm aralığında yapılmıştır. Denemede on iki adet parsel altı farklı su ve gübre (iki sulama, üç gübreleme düzeyi) uygulama düzeyleri ile düzenlenmiştir. Tekil spektral bantların yansımaya faktörleri, yansımaya faktör oranları ve renk koordinatları bitkilerin su içeriği ve tahıl verimiyle istatistiksel analiz edilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, mavi renk koordinatı Z, çeşitli sulama düzeyleri ile güçlü bir ilişki içerisindedir ve oransal olarak da bitki kütlesine karşı duyarlı değildir. Z koordinatı 800 nm yansımaya oranının, 680 nm

yansıma oranına bölünmesi ile elde edilen indeks (R800/R680) ile iyi bir korelasyona sahip değildir.

Bitki su düzeyinin bir fonksiyonu olarak yaprak spektral yansıma oranları, su potansiyeli ve yaprak gaz değişimleri bir çalışma ile araştırılmıştır. YOSK, toplam su potansiyeli ve turgor potansiyeli ile 810, 1665 ve 2210 nm dalga boylarındaki spektral yansıma oranları arasında istatistiksel bakımdan önemli ilişkiler tespit edilmiştir. Bununla birlikte bu ilişkilerin eğimleri oransal olarak fazla değildir ve bazı fizyolojik faaliyetler gerçekleşirken belirlenen bir dizi yaprak su kapsamı değerlendirildiğinde (ör; fotosentez) determinasyon katsayısı daha düşüktür ve bazı ilişkiler istatistiksel bakımdan önemsizdir. Yakın kızıl ötesi yansıma oranları, temel olarak yaprak su kapsamının bir fonksiyonu olarak değişmiştir ve yaprak su kapsamının duyarlı bir göstergesi olan turgor basıncının bir fonksiyonuna dayalı değildir. Çalışmada tüm bu yaklaşımların kısıtları değerlendirilmiştir (Bowman 1989).

Hunt *et al.* (1989) yaptıkları çalışmada, çeşitli tür ve morfolojideki yapraklarda, YOSK tespitinde LWCI'nin kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Çalışmada ele alınan ikinci konu ise nem stres indeksinin (MSI; MIR/NIR) YOSK ve eşdeğer su yüksekliği (EWT) ile nasıl değiştiğinin belirlenmesidir. Araştırma sonuçlarına göre LWCI değerleri, YOSK değerlerine eşit çıkmıştır. MSI'nın YOSK ile doğrusal korelasyonu ile her tür için ayrı regresyon denklemleri elde edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, araştırmacılara göre NIR ve MIR yansımalarından elde edilen indekslerin su stresinin uzaktan algılanmasında kullanımı olanaksızdır.

Carter (1991) yaptığı çalışmada, su içeriğinin yaprak spektral yansıması üzerindeki birincil ve ikincil etkilerini tespit etmiştir. Birincil etkilerin tek olarak suyun radyatif özelliklerinden meydana geldiği belirtilmektedir. İkincil etkiler ise sadece bu özellik ile değil aynı zamanda ışığın soğurulması, geçirilmesi ve yaprağın içsel yapısı ile de açıklanmaktadır. Çalışmada, yaprak su içeriğindeki azalmanın, 400–2500 nm dalga boyları aralığında genellikle yansımada artışa neden olduğu belirtilmektedir.

Danson *et al.* (1992) tarafından yapılan çalışmada çeşitli tipteki yaprakların spektral yansımaları bir spektrometre kullanılarak, 400-2500 nm aralığında laboratuvar ortamında ölçülmüştür. Spektral yansımaları ile yaprak su içeriği (YSİ) arasındaki ilişki araştırılmış, yaprak yapısındaki çeşitliliğin önemli olduğu tespit edilmiştir. Su absorpsiyonu bantlarının kenarları üzerindeki eğim ile uyumlu dalga boylarında, yansımaları spektrumunun ilk türevinin yaprak yapısındaki yoğun değişiklikler ve YSİ ile yüksek korelasyonlu olduğu bulunmuştur. Bu çalışma yaprak yapısında çeşitlilik bulunduğunda YSİ'nin hesaplanmasında yaprak yansımalarının ilk türevinin orijinal yansımaya verisinden daha üstün olduğunu göstermektedir. Yansımaları spektralarında su absorpsiyon bantlarının oransal derinlikleri yaprak yapısından etkilenmemektedir. Bir absorpsiyon bandının derinliği arttığında, aynı zamanda absorpsiyon bandının kenarı üzerindeki eğim de azalmaktadır. Bir sonuç olarak, bu eğimler ile uyum gösteren dalga boylarında yansımaları spektralarının ilk türevi, YSİ ile yakından ilişkilidir. Uzaktan algılanmış verilerden bitki örtülerinin su düzeylerinin belirlenmesinde orta-kızıl ötesi bölgedeki dalga boyları girişimlerin merkezindedir. Bu çalışmanın sonuçları, yakın kızıl ötesi bölgedeki yüksek spektral çözünürlüğe sahip verilerinin bitki örtüsü su düzeyi tahminlerinde yararlı olabileceğini göstermektedir.

Carter (1993)'de belirtilen çalışmada, stres ve çeşit temsiline göre yaprak yansımaları özelliklerinin bitki stresine cevabının nasıl değişeceğini belirlenmesi amacı ile yaprak düzeyinde spektral ölçümler yapılmıştır. Pigmentlerin azalan soğurmasının bir sonucu olarak, strese girmiş yapraklarda, sekiz adet stres düzeyinde ve altı adet bitki çeşidinde, görünür dalga boylarındaki yansımalarının arttığı belirlenmiştir. 535-640nm ve 685-700 nm dalga boyu aralıklarında strese en çok duyarlı olan görünür bölgede belirlenen spektral yansımalarıdır. En yüksek duyarlılık, en düşük değer ile 670 nm yakınında oluşmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre, yakın kızıl ötesi yansımaları karşılaştırmalı olarak strese cevapsızdır, fakat çeşitli yaprak dehidrasyonu ve suyun azalan soğurmasının yardımı ile 1400-2500 nm aralığında artmaktadır. Bu nedenle, bitki stres göstergesi olarak yakın kızıl ötesi yansımaları oranlarına göre görünür (visible) yansımaları oranlarının daha güvenilir olduğu belirtilmektedir.

Çeltik bitkisinde yürütülen bir denemede spektral yansıma oranları 400-900 nm dalga boyu aralığında 5 nm, 900-1900 nm dalga boyu aralığında 10 nm aralıklarla ölçülmüş ve ilk türevleri ile vejetasyon su düzeyleri ANOVA istatistiksel analizi ile değerlendirilmiştir. Yakın kızıl ötesi (1190-1320 nm) ve orta kızıl ötesi (1600 nm) bölgelerdeki bant yansıma oranları ve 1230 nm dalga boyundaki ilk türevi tam örtü koşullarında yüzey suyunun çekilmesine duyarlıdır. 960 nm dalga boyundaki ilk türevi ise vejetasyonun su düzeyini tespit etmektedir. Çalışma bulgularına göre, yüksek spektral çözünürlükteki yansıma oranı ölçümleri ve bu ölçümlere ilişkin yakın kızıl ötesi ve orta kızıl ötesi bölgedeki ilk türev değerleri çeltik bitkisinde su stresinin belirlenmesi için etkili bir metot sağlamaktadır (Shibayama *et al.* 1993)

Penuelas *et al.* (1993a) yaptıkları çalışmada bitki su düzeyine bir gösterge olarak 950–970 dalga boylarındaki yansıma oranlarını değerlendirmişlerdir. Yapılan çalışmada bitki su düzeyine ilişkin geliştirilen indekslerden ilki, su absorpsiyon bantlarından birisi olan 970 nm'deki yansıma ile referans dalga boyundaki (900 nm) yansımanın oranıdır (R970/R900). İkinci indeks ise yakın kızıl ötesi bölgede yansıma oranlarının ilk türevinin en küçüğü ($d_{NIRminimum}$) ve bu en küçük türevin bulunduğu dalga boyudur ($\lambda_{NIRminimum}$). Bu indekslerin değerlendirilmesi için üç adet arazi denemesi yapılmıştır. Denemelerin ilkinde her gün sulama yapılan gerbera bitkileri solma noktasına gelinceye kadar kuru bırakılmış ve daha sonra her gün sulama uygulanmıştır, ikincisinde biber ve fasulye bitkileri iki değişik sulama uygulaması altında dört ay süre ile yetiştirilmiştir ve üçüncüsünde ayrılan fasulye yapraklarında uygulanan dehidrasyon işlemi ile basınç-hacim eğrileri oluşturulmuştur. Gerbera bitkisinde 950-970 nm aralığında yansıma oranları kuruya bırakılması ile azalmıştır. Bu nedenle, R970/R900 indeksi, $d_{NIRminimum}$ ve $\lambda_{NIRminimum}$ indeksleri YOSK, yaprak su potansiyeli (YSP) ve Tc-Ta değişimlerini çok yakından izlemiştir. Bununla birlikte bu su düzeyi indekslerinin özellikle YOSK'un % 85'in altında olduğu koşullarda önemli olduğu belirlenmiştir.

Bitki su stresine ilişkin bazı bitki izlemeye dayalı göstergeler kullanılarak yapılan çalışmada sorgum bitkisinde, YSP ve bitki yüzey sıcaklığının yanı sıra toprak su düzeyleri de izlenmiştir. Söz konusu parametreler karşılaştırılarak sorgum bitkisinin

sulama zamanına ilişkin eşik değerler elde edilmiştir. YSP gün doğmadan ve Tc-Ta gün ortasında belirlenmiştir (Stricevic and Caki 1997).

Penuelas *et al.* (1997) tarafından yapılan araştırmada bitki su konsantrasyonu (PWC) spektral yansımaya oranı ölçümlerine dayalı hesaplanan Su İndeksi ($WI=R900/R90$) ile değerlendirilmiştir. Bu çalışmada tarla düzeyinde yapılan ölçümlerle WI kullanılarak PWC tahmin edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda WI, PWC ilişkisinin önemli bir korelasyona sahip olduğu belirlenmiştir. Aynı zamanda WI - NDVI oranı ile değerlendirildiğinde daha önemli bir korelasyona sahip olduğu tespit edilmiştir.

Ceccato *et al.* (2001) yaptığı çalışmada bitki yüzey sıcaklığı, spektral yansımaya oranı ve bitki su içeriği parametrelerini irdelemiştir. Çalışmada ilk olarak su stresine ilişkin indekslerin vejetasyon su içeriğini neden irdelemediği ele alınmıştır. Ardından, yaprak düzeyinde EWT olarak vejetasyon su düzeyinin tespitinde, uzaktan algılama tekniklerinin kullanımı için fiziksel temeller sağlanmıştır. Laboratuvar analizleri, radyatif taşınım modeli PROSPECT ve duyarlılık analizleri, kısa dalga kızıl ötesi (SWIR) bölgenin EWT'ye duyarlı olduğunu fakat tek başına EWT için bir gösterge olamayacağını ortaya koymuştur. Çalışma sonuçlarına göre, yaprak düzeyinde EWT'nin belirlenebilmesinde bitki içsel yapısı ve kuru madde parametreleri de etkilidir.

Luquet *et al.* (2003), bitki yapısı ve su düzeyini termal ve optik çok yönlü ölçümlerle belirlemek üzere bir arazi denemesi kurmuşlardır. Çeşitli düzeylerde sulama suyu uygulanan pamuk bitkisi yetişme dönemi boyunca izlenmiştir. Sonuç olarak, bitki yüzey sıcaklığı ve NDVI değerlerinin bitki boşluk fraksiyonu ile güçlü bir ilişki içerisinde olduğu belirlenmiştir. Bitki yüzey sıcaklığının Tc'nin özellikle güneş radyasyonunun geliş doğrultusundan ve toprak fraksiyonundan etkilendiği ve güneş ile algılayıcı arasındaki açı ile bitki yapısı ve bitki su düzeyinden etkilendiği tespit edilmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışma Ankara iklim koşullarında yürütülmüştür. Deneme yeri toprakları genel olarak ağır bünyeye sahiptir. Araştırmada kullanılan Leila çeşit şeker pancarı çift toleranslıdır. Ülkemizde en yaygın görülen cerropora ve rhizomonias hastalıklarının her ikisine de dayanıklıdır. Çalışmada İnfrared termometre ve Spektrometre araçları ile bitkiler uzaktan algılama yöntemi ile izlenmiştir. Ayrıca nötron probe, yaprak alanı ölçer ve basınç odası aletlerinde yararlanılmıştır. İklim verileri, çalışma alanına yaklaşık 500 m uzaklıktaki otomatik meteoroloji istasyonunda ölçülmüştür.

3.1 Materyal

3.1.1 Araştırma yeri

Araştırma, Toprak ve Su Kaynakları Ankara Araştırma Enstitüsü deneme arazisinde 2004 ve 2005 yıllarında yürütülmüştür. Araştırma yerinin denizden yüksekliği 924,3 m, enlem derecesi 39°53'N ve boylam derecesi 32°45'E'dir.

3.1.2 Araştırma yerinin iklim özellikleri

Orta Anadolu Bölgesinde yer alan Ankara ili karasal bir iklime sahiptir. Yazlar sıcak ve kurak kışlar yağışlıdır. Mülga Köy Hizmetleri Ankara Araştırma Enstitüsü'nün 40 yıllık meteorolojik verilerine göre Ankara ilinin yıllık toplam ortalama yağış miktarı 383,7 mm, yıllık ortalama sıcaklığı ise 11,4 °C'dir. Uzun yıllık verilere göre en yüksek sıcaklık 40,3 °C ile Temmuz, en düşük sıcaklık -20,5 °C ile Şubat ayında ölçülmüştür (Çizelge 3.1). Uzun yıllık ortalamalara göre buharlaşma 1314,3 mm, nispi nem ise % 62'dir (Anonim 2005).

Çizelge 3.1 Araştırma alanının 40 yıllık (1964-2004) ortalama aylık meteorolojik verileri

Meteorolojik Verileri	Aylar												Yıllık Ortalama
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Ortalama Sıcaklık (°C)	-0,3	1,3	5,6	10,6	15,2	19,1	22,6	22,2	18,2	12,8	6,7	2,0	11,4
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	16,2	19,6	25,6	29,4	32,0	36,0	40,3	38,3	35,5	32,0	23,3	16,8	40,3
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-17,8	-20,5	-16,5	-9,0	-0,8	4,0	6,8	5,9	2,1	-3,6	-10,6	-14,6	-20,5
Ortalama Toplam Yağış (mm)	40,0	32,2	35,2	48,6	50,2	30,4	15,1	11,0	12,8	27,2	33,9	47,1	383,7
Ortalama Nispi Nem (%)	78	73	65	62	59	54	47	47	51	68	71	78	62
Ortalama Toplam Buharlaşma (mm)	8,6	12,9	26,9	111,8	151,8	190,4	253,2	248,1	171,6	103,5	25,9	9,7	1314,3
Ortalama Güneşlenme Süresi, (saat/gün)	2,8	3,8	5,2	6,2	8,2	10,2	11,5	10,9	9,4	6,7	4,5	2,5	6,8
Ortalama Güneş Enerjisi (Cal cm ² /gün)	139	210	308	395	492	560	567	509	419	274	168	114	346
Ortalama Toprak Sıc. 10 cm'de (°C)	1,1	2,1	6,2	11,9	17,9	22,6	26,2	25,9	21,3	14,4	7,1	2,8	13,3
Ortalama Rüzgar Hızı (m/s, 2'm de)	2,4	2,7	2,8	2,8	2,4	2,3	2,6	2,5	2,1	1,9	2,1	2,5	2,4

Çizelge 3.2 Araştırma alanı topraklarının fiziksel özellikleri

Toprak Derinliği (cm)	Kum (%)	Silt (%)	Kil (%)	Bünye Sınıfı	Hacim Ağırlığı (g/cm ³)	Tarla Kapasitesi		Solma Noktası		Kullanılabilir Su Turma Kapasitesi (mm)
						(%)	(mm)	(%)	(mm)	
0-30	36,0	26,0	38,0	Killi-Tm	1,24	28,2	104,99	16,41	61,04	43,95
30-60	38,0	24,0	38,0	Killi-Tm	1,18	27,6	97,81	17,17	60,78	37,03
60-90	38,0	26,0	36,0	Killi-Tm	1,08	26,9	86,99	17,24	55,86	31,14
0-90	-	-	-	-	-	-	289,80	-	177,68	112,12

3.1.3 Araştırma yerinin toprak özellikleri

Orta Anadolu Bölgesinde yapılan etütlere göre on büyük toprak grubu vardır. Bunlar arasında genişlik esasına göre ilk 4 sıraya kahverengi topraklar, kahverengi orman toprakları ve alüviyal ile koluviyal topraklar almaktadır. Araştırma alanına ilişkin toprak bünye sınıfları, hacim ağırlığı, tarla kapasitesi, solma noktası analizleri, Enstitüsü Laboratuvarında yapılmıştır. Araştırma alanında 90 cm toprak derinliğindeki her katmanda toprak bünye sınıfı killi-tındır. Hacim ağırlığı değerleri 1,08 – 1,24 g/cm³ arasında değişmektedir. Deneme alanında 90 cm toprak derinliğinde toplam kullanılabilir su tutma kapasitesi 112,12 mm/90 cm olarak belirlenmiştir (Çizelge 3.2).

3.1.4 Çalışmada kullanılan ölçüm araçları

a) Scheduler bitki stresi izleyici: Scheduler bitki stresi izleyici 8 – 14 µm spektral bant aralığına ve 8 derece görüş açısına sahiptir. Cihaz yüzey sıcaklık ölçümünün yanı sıra, hava sıcaklığı ve nispi nem değerlerini ölçebilmektedir. Aynı zamanda kendi işlemcisi ile bir su stres indeksi hesaplayabilmektedir. Scheduler bitki stresi izleyici bitki örtüsü yüzey sıcaklığının belirlenmesinde kullanılmıştır.

b) Everest model 100.3 ZL infrared termometre: Everest Model 100.3 ZL İnfrared Termometre 8-14 µm spektral bant aralığına ve 4 derece görüş açısına sahiptir. Everest model 100.3 Zl infrared termometre bitki örtüsü yüzey sıcaklığının belirlenmesinde kullanılmıştır.

c) Licor LI-1800 spektrometre: LI-1800 portatif spektrometre spektral radyasyon verilerinin çabuk ve kolayca elde edilebilmesi için tasarlanmış bir el radyometresidir. LI-1800 spektrometreye bağlı bulunan bir bilgisayar paketi, dalga boyu yönetimi, analog sinyallerin sayısallaştırılması, dijital verilerin saklanması ve dosyaların yönetim ve işletimi özelliklerinin yanı sıra üzerindeki ekran vasıtasıyla kullanıcıya batarya voltajı, filtre işletimi ve terminal iletişimine ilişkin bilgileri temin etmektedir. Tarama limitleri 300-1100 nm dalga boylarında, seçilebilir aralıktadır (1, 2,

5 veya 10). Hafızası yaklaşık 300-850 nm aralığında, 2 nm adımlarla, 600 adet taramayla ile dolabilmektedir. Elde edilen veriler alete bağlı paketin ekran ve kumandası ile işlenebildiği gibi, LI-1800 yazılımı aracılığı ile bilgisayar ortamında da işlenebilmektedir. LI-1800 bitki örtüsü spektral yansımaya oranlarının ölçümünde kullanılmıştır.

d) PMS model 1000 basınç odası: Model 1000 basınç odası araştırma amacı ile kullanılan 70 bar basınca kadar çalışabilen bir araçtır. Özellikle yüksek stres düzeylerinin tespit edilmesinde oldukça etkilidir. PMS 1000 basınç odası ile yaprak su potansiyeli belirlenmiştir.

e) Nötron probe: CPN 503 DR Hydroprope model nötron prob, yüksek enerji nötron kaynağı içeren bir prob ve bir yavaş nötron tarayıcı kullanarak, toprakta ve diğer materyallerde yeraltındaki nemin ölçülmesinde kullanılmaktadır. Fonksiyonların seçimi için içerisinde bir mikro işlemciye, 24 kb veri depolama hafızasına, 16 değişik toprak çeşidi için veri depolama ve gösterme özelliğine sahiptir. Test zamanı, kayıt etme formatı ve ölçüm birimleri kullanıcı tarafından seçilebilmektedir. RS232C arabirimi ile kişisel bilgisayara veya yazıcıya veri transfer edebilmektedir. CPN 503 DR aleti toprak su düzeyi takibinde kullanılmıştır.

f) Licor LI-3000A yaprak alanı ölçer: LI-3000A model yaprak alanı ölçer, 1 mm² tarama alanında % 1 tarama hassasiyeti (örnek alanı < 50 cm²), on rakam hanesi, klavye, tarih-saat, 32kb RAM özelliklerine sahiptir. Ölçüm yapabileceği en yüksek yaprak boyutları, genişlik 127,0 mm, kalınlık 7,5 mm ve uzunluk sınırsızdır. LI-3000A cihazı örnek olarak alınan yaprakların alanlarının hassas ve doğru bir biçimde ölçülmesini sağlamaktadır. Elde edilen veriler ölçüm tarih ve saatine göre aletin hafızasında depolanabilmektedir. LI-3000A yaprak alanı ölçer ile yaprak alanları ölçülmüştür.

3.2 Yöntem

3.2.1 Deneme metodu

Deneme tesadüf blokları deneme desenine göre üç tekrarlı olarak, 2004 ve 2005 yıllarında yürütülmüştür. Şeker pancarı parselleri tava sulama yöntemi ile sulanmıştır ve sulama suyunun eş dağılımı için deneme parselleri tesviye edilmiştir. Kazı miktarının azalması amacı ile deneme blokları araziye eş yükseltilere paralel bir biçimde yerleştirilmiştir.



Şekil 3.1 Deneme parsellerinin kurulması, şeker pancarı ekim ve hasadı

Çizelge 3.3 Tarımsal işlemler

Tarih	Tarımsal İşlem	Tarih	Tarımsal İşlem
09.04.2004	Deneme alanı toprakları işlendi.	01.04.2005	Deneme alanı toprakları işlendi.
12-19.04.2004	Parselasyon yapıldı.	11-13.04.2005	Parselasyon yapıldı.
12-19.04.2004	Çapa makinesi ile toprak işlendi.	11-13.04.2005	Çapa makinesi ile toprak işlendi.
28.04.2004	5 kg/da P ₂ O ₅ , 7 kg/da N gübre olarak verildi.	14.04.2005	5 kg/da P ₂ O ₅ , 7 kg/da N gübre olarak verildi.
29.04.2004	Şekerpancarı ekimi elle yapıldı.	14.04.2005	Şekerpancarı ekimi elle yapıldı.
07.05.2004	Şekerpancarı çıkışları başladı.	26.04.2005	Şekerpancarı çıkışları başladı.
10.05.2004	Şekerpancarı çıkışı tamamlandı.	30.04.2005	Şekerpancarı çıkışı tamamlandı.
27-28.05.2004	Çapa yapıldı.	20-21.05.2005	Çapa yapıldı.
02-04.06.2004	Tekleme yapıldı.	24-25.05.2005	Tekleme yapıldı.
07.06.2004	Parsellerin etrafına set yapıldı.	31.05.2005	Parsellerin etrafına set yapıldı.
24.06.2004	7,5 kg/da N gübre olarak verildi.	17.06.2005	7,5 kg/da N gübre olarak verildi.
24.06.2004	Konulara göre ilk sulama uygulandı.	20.06.2005	Konulara göre ilk sulama uygulandı.
25.10.2004	Hasat yapıldı.	24.10.2005	Hasat yapıldı.

Leila şeker pancarı çeşidine ait tohumlar 29 Nisan 2004 ve 14 Nisan 2005 tarihlerinde sıra arası 45 cm, sıra üzeri 22,5 cm olarak elle ocaklara ekilmiştir. Deneme hasadı 25

Ekim 2004 ve 24 Ekim 2005 tarihlerinde yapılmıştır. Sulama suyu miktarı blok başlarında su sayacı ile ölçülmüştür ve sayaç ile parsel arasında su kaybı engellenmiştir. Tüm konulara bitkiler 15 cm boya ulaşana kadar eşit miktarda sulama suyu uygulanmıştır. Tarımsal işlemler Çizelge 3.3’de ve yedi farklı sulama programından oluşan deneme deseni Çizelge 3.4’de verilmiştir.

Çizelge 3.4 Deneme konuları ve sulama suyu uygulamaları

Deneme Konusu	Sulama Suyu Uygulaması
S1	12 günde 1 defa, 0–90 cm derinliğindeki mevcut nemi TK’ya tamamlayacak miktarda sulama suyu uygulanması
S2	S1 konusuna verilen sulama suyunun % 75’inin uygulanması
S3	S1 konusuna verilen sulama suyunun % 50’sinin uygulanması
S4	S1 konusuna verilen sulama suyunun % 25’inin uygulanması
S5	S1 konusuna verilen sulama suyunun % 10’unun uygulanması
S6	Susuz*
S7	0–90 cm derinliğindeki elverişli nemin % 50’si tüketildiğinde TK’ya tamamlayacak miktarda sulama suyu uygulanması.

*Şeker pancarı yaklaşık 15cm boya ulaşana kadar sulama suyu uygulanmıştır. Parsel ölçüleri ekimde 4,5 m X 10 m = 45 m², hasatta 3,5 m X 5 m = 17,5 m²

Bitki su tüketimi Toprak Su Bütçesinden yararlanılarak her iki toprak su ölçümü arasında kalan zaman dilimi için Eşitlik (1) kullanılarak hesaplanmıştır (Jensen *et al.* 1990).

$$ET_c = I + P + \Delta S - R - D \quad (1)$$

Eşitlik (1)’de I sulama suyu (mm), P yağış (mm), ΔS iki toprak suyu ölçümü arasındaki değişim (mm), R yüzey akış (mm) ve D drenajdır (mm). Deneme parselleri etrafına yapılan toprak setler ile yüzey akış engellenmiştir. Bu nedenle hesaplamada yüzey akış yok kabul edilmiştir. Denemede konularına TK üzerinde toprak suyu oluşacak miktarda sulama suyu uygulanmamıştır ve drenaj oluşumu önlenmiştir. Bununla birlikte 90-120 cm toprak derinliğindeki toprak suyu artışı drenaj olarak dikkate alınmıştır. S1 ve S7

konularında 0-90 cm toprak derinliğindeki nemi TK' ya ulaştıracak miktar sulama suyu olarak uygulanmıştır.

Şeker pancarı kök verimleri 17,5 m² hasat parsellinden elde edilmiştir. Arıtılmış şeker verimi analizleri Şeker Enstitüsü tarafından yapılmıştır. Söz konusu alandan elde edilen şeker pancarı kök ve arıtılmış şeker verimleri ve bu değerlerden yararlanılarak bir dekar alan için hesaplanmıştır.

3.2.2 Çalışmada kullanılan araçlarının kalibrasyon ve ölçüm yöntemleri

a) Scheduler bitki stresi izleyici ve Everest model 100.3 ZL infrared termometre kalibrasyon ve ölçüm yöntemleri

Kalibrasyon: Bu cihazlar görüş alanında bulunan cisimlerin yüzey sıcaklığını belirlemektedir. İnfrared termometrelerin kalibrasyonunda yüzey sıcaklığı belirlenebilen siyah renkte cisimler kullanılmaktadır (Fucs and Tanner 1966). Bu amaçla, içerisinde su ısıtıcısı, karıştırıcı ve termometre bulunan bir su kabı ve içerisine yerleştirilmek üzere bir ucu kapalı, bir ucu açık, iki tarafı konik, içerisi ince siyah boya ile boyanmış bakır bir kaptan oluşan bir düzenek kullanılmıştır (Şekil 3.2). Su 50 °C sıcaklığa kadar ısıtılarak daha sonra su soğurken bakır kabın iç yüzey sıcaklığı cihazlarla ölçülerek su sıcaklık değişimine göre kalibrasyon yapılmıştır. Kalibrasyon işlemi 2–3 haftada bir defa yapılmıştır.

Ölçüm sırasında cihazların bitkiye göre pozisyonları ve ölçüm zamanı: Güneşin geliş açısındaki farklılıklar ve gölgelemenin elemine edilmesi için ölçümler, solar azimut açısı 0, 90, 180 ve 270 dereceden toplam 4 yönde yapılmıştır. Her yönde 3 defa ölçüm alınmıştır. Cihazlar örtüye yaklaşık 60⁰ zenith açısı ile tutulmuştur ve görüş alanlarında sadece bitki bulunacak yükseklik ve yatay uzaklıkta konumlandırılmıştır (Şekil 3.2). Ölçümler deneme konularına göre sulama suyu uygulaması başladıktan sonra, haftada en az 2 gün, yerel saat ile 13:00 – 14:00 arasında yapılmıştır. Bulutlu günlerde ölçüm yapılmamıştır.



Şekil 3.2 İnfrared termometre kalibrasyon ve şeker pancarı yüzey sıcaklığı ölçümü

b) Licor LI-1800 spektrodymetre kalibrasyon ve ölçüm yöntemleri

Kalibrasyon: LI-1800 spektrodymetre kalibrasyonunda, LI-1800-02 Optik Radyasyon Kalibrasyon cihazından yararlanılmıştır. LI-1800-02 içerisine yerleştirilen 200 Watt quartz halojen lambanın (1800-02L model) spektral karakteristikleri LI-1800'e elle girilmiş LI-1800, LI-1800-02'ye bağlanmış ve ışık kaynağını okuması sağlanmıştır. Daha sonra cihazın, lambanın spektral karakteristiği ve ölçülen spektral radiance değerleri ile bir kalibrasyon dosyası oluşturması ve arazi ölçümlerinde bu dosyadan yararlanması sağlanmıştır.

Ölçüm sırasında cihazın bitkiye göre pozisyonu ve ölçüm zamanı: Spektrodymetre okumalarında cihazın orijinal teleskopu ve 15^0 görüş açılı lensi kullanılmıştır. Bitkilerden yansıyan güneş radyasyonunun (radiance) ölçümü için, spektrodymetre ölçüm teleskopu bir sehpa üzerine yer yüzeyine dik doğrultuda



Şekil 3.3 Spektrodymetre ile şeker pancarından ve spektralon plakadan solar radyasyon yansımaları ölçümü

(nadir) yerleştirilmiştir ve okumalar güneş ışınlarının geliş açısının yaklaşık 45⁰-50⁰ olduğu saatte (yaz aylarında yaklaşık 09:30, güz aylarında 11:30) yapılmıştır. Buna göre okuma zamanı her gün için ayrı belirlenmiştir. Okumalarda cihaz sadece bitki örtüsünü görecektir şekilde, 1,5 m yükseklikte konumlandırılmıştır (Şekil 3.3). Bu amaçla, her ölçüm öncesinde görüş alanı teleskopun gözlem merceği kullanılarak kontrol edilmiş ve gerekli ayarlar yapılmıştır.

Bitkilerin etkisinde kaldığı güneş radyasyonunun ölçümünde (irradiance), denemenin ilk yılında (2004) BaSO₄ plakası, ikinci yılında (2005) Spektralon plaka (Lapsphere) kullanılmıştır. Her bitki ölçümünden önce ve sonra söz konusu plakalarda ölçüm yapılmış ve bitkinin etkisinde kaldığı solar radyasyon iki ölçümün ortalaması alınarak kullanılmıştır. Yansıma oranı, bitkiden yansıyan (radiance) ve etkisinde kaldığı solar radyasyonun (irradiance) birbirine oranı hesaplanarak belirlenmiştir. Yapılan okumalardan elde edilen, çeşitli dalga boylarındaki spektral yansıma oranları, bitki gelişimine ilişkin vejetasyon indekslerinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Ölçümler deneme konularına göre sulama suyu uygulaması başladıktan sonra, haftada 2 gün yapılmıştır. Bulutlu günlerde ölçüm yapılmamıştır.

c) PMS model 1000 basınç odası ile yaprak su potansiyeli ölçüm yöntemi

Basınç odası ile YSP ölçümünde her konuda en az üç ölçüm yapılmıştır. Ölçümlerde basınç azot gazı ile oluşturulmuştur. Koparılan yaprakların sapı keskin bir bıçak ile ölçüm öncesinde kesilmiş ve ölçüm örnekleme hemen ardından arazide yapılmıştır.



Şekil 3.4 Basınç odası ile şeker pancarı yaprak su potansiyeli ölçümü

Ölçümlerde genç ve gelişimini tamamlamış yapraklar kullanılmıştır ve yaprağın basınç odasına takılmasında uygun conta seçilmiştir (Şekil 3.4). Kesik yüzey su ile kaplandığında okunan basınç değeri YSP olarak alınmıştır.

d) Nötron probe kalibrasyon ve toprak su içeriği ölçüm yöntemleri

Kalibrasyon: Nötron prob çalışmanın yürütüldüğü toprak koşullarına kalibre edilmiştir. Bu amaçla ağırlığa dayalı belirlenen toprak su düzeylerine karşın nötron probe sayımları istatistiksel biçimde değerlendirilmiş ve regresyon denklemleri elde edilmiştir. Belirlenen toprak su düzeylerinin ve nötron sayımlarının koşulları temsil etmesi için aynı nem koşullarında 3 örnekleme ile 3 okuma yapılmıştır ve ortalama değerler kullanılmıştır (Şekil 3.5). Kalibrasyon işleminin daha az zaman alması için farklı nem düzeyleri oluşturulmuştur.



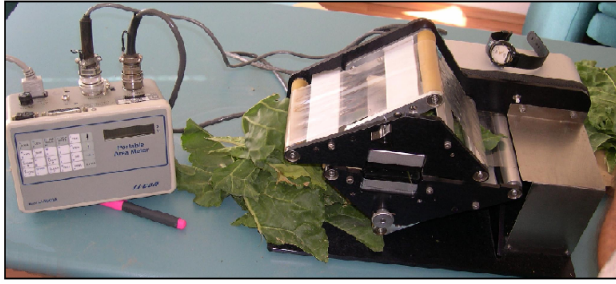
Şekil 3.5 Nötron prob kalibrasyon ve ölçümü

Toprak su içeriği ölçümü: Toprak su içeriği ölçüm sırasında toprakta mevcut bulunan rutubet miktarıdır ve bu çalışmada her bir 30 cm toprak katmanı için mm cinsinden ifade edilmiştir. İstatistiksel hesaplamalarda 0-90 cm toprak derinliğindeki mevcut rutubet miktarı toprak su içeriği olarak alınmıştır. Nötron probe cihazı ile denemenin 2 bloğunda, her parselde, parsel merkezine yerleştirilen alüminyum borular ile toprak suyu ölçülmüştür (Şekil 3.5). S7 konusunda haftada 2-3 defa, diğer konularda ise yaklaşık 12 günde bir defa ve tüm konularda bütün sulama uygulamalarından önce, 0-120 cm derinlik için ölçüm yapılmıştır. Ölçümler sırasında 0-30 cm derinlik için sıkça, 0-120 cm derinlik için daha seyrek aralıkla ağırlığa dayalı nem belirlenerek, kalibrasyon

denklemleri değerlendirilmiştir. Toprak su içeriği, kalibrasyon işlemi ile elde edilen eşitlik ve nötron probe sayım değerleri kullanılarak belirlenmiştir.

e) Licor LI-3000A yaprak alan ölçer ile ölçüm yöntemleri

LI-3000A cihazı ile yaprak alan ölçümünde cihazın orijinal donanımı olan LI-3050A'dan yararlanılmıştır. LI-3000A, LI-3050A'ya bağlanmıştır ve bitki yaprakları LI-3050A şeffaf şeridinden geçirilerek, LI-3000A tarafından taranmıştır. Şeritlere sığmayacak kadar büyük yapraklar bıçakla parçalara ayrılarak şeritten geçirilmiştir (Şekil 3.6). Cihaz ölçüm öncesi test plakaları kullanılarak test edilmiştir.



Şekil 3.6 Şeker pancarı yaprak alanı ölçümü

3.2.3 Çalışmada yapılan gözlemler ve laboratuvar analizleri ile elde edilen parametreler

Klorofil içeriği: Şeker pancarı deneme konularına ilişkin klorofil içeriğinin tespitinde Lichtenthaler (1987)'de belirtilen yöntemden yararlanılmıştır. Deneme konularında vejetasyon düzeyini temsil eden 3 ayrı bitkiden belirli aralıklarla alınan 0,5 g yaprak örnekleri, 40 ml % 80'lik aseton içeren 200 ml'lik erlen-mayerlere konulmuş, oda sıcaklığında ve karanlık koşullarda bir gece bekletildikten sonra Whatman-1 filtre kağıdı kullanılarak süzölmüştür. Daha sonra süzöğün spektrofotometrede 663, 645 ve 652 nm dalga boylarında, % 80'lik asetona karşı absorbans değerleri ölçülmüştür. Eşitlik (2) yardımıyla toplam klorofil içeriği hesaplanmıştır. Eşitlikte (2)'de TKF, toplam klorofil miktarı (mg/gr-doku), D, belirtilen dalga boyunda ölçülen absorbans değeri, V, ekstrakt hacmi (ml) ve W, ekstrakte edilen taze yaprak ağırlığıdır.

$$\text{TKF} = [20,2 (\text{D645}) - 8,02 (\text{D663})] \times (\text{V} / 1000 \times \text{W}) \quad (2)$$

Yaprak su potansiyeli (YSP): YSP, basınç odası aleti kullanılarak deneme yerinde bar olarak belirlenmiştir. Bu amaçla her konudan, gelişimini tamamlamış en az üç yaprak örneğinin su potansiyeli, örnekleme hemen ardından arazide belirlenmiştir. YSP ölçümleri konulara göre sulamaya başladıktan sonra haftada 2 defa yapılmıştır.

Yaprak oransal su kapsamı (YOSK) ve Yaprak su içeriği (YSİ): Her bir deneme konusunda, gelişimini tamamlamış üç yaprak örneklenmiş, en hızlı biçimde laboratuvara ulaştırılmış ve yaş ağırlık belirlenmiştir. Turgor ağırlığı (TA) için yaprak örneği 5–6 saat (sabit ağırlığa gelene kadar) saf suda bekletildikten sonra tartılmıştır ve daha sonra kuru ağırlık (KA) için 2 gün süre ile 70 °C derece sıcaklıkta etüvde kurutulmuştur. YOSK birimsiz ve YSİ yüzde olarak eşitlik (3) ve (4)'e göre belirlenmiştir (Bowman 1989, Penuelas *et al.* 1993a).

$$\text{YOSK} = (\text{YA} - \text{KA}) / (\text{TA} - \text{KA}) \quad (3)$$

$$\text{YSİ} = (\text{YA} / \text{YA-KA}) 100 \quad (4)$$

Kuru madde: Deneme konusunun vejetasyon düzeyini temsil edebilen birer bitki yumru ile birlikte örneklenmiştir. Bitki yaprakları ve yumru kısmı küçük parçalara ayrılarak etüvde sabit ağırlığa gelene kadar 70 °C'de kurutulmuş ve tartılmıştır (Penuelas *et al.* 1997).

Bitki boyu ve bitki çapı: Deneme konusu vejetasyon düzeyini temsil eden üç bitkinin boyu ve çapı cetvel ile ölçülmüştür. Örtü yüzdesi, bitki çapının sıra esasına oranlanması ile elde edilmiştir. Bitki çapı cetvel kullanılarak ölçülmüştür.

Yaprak alan indeksi (YAI): Deneme konusu vejetasyon düzeyini temsil eden bir bitkinin yapraklarının alanları ölçülmüştür. Toplam yaprak alanının birim bitki alanına (45 cm X 22,5 cm) oranlanması ile yaprak alan indeksi belirlenmiştir (Eşitlik 5.).

$$YAI = \text{Toplam yaprak alanı} / \text{Birim bitki alanı} \quad (5)$$

Hava sıcaklığı ve buhar basıncı açığının (VPD) belirlenmesi: Tarımsal meteorolojik rasatlarına uygun bir siper deneme parsellerinin bulunduğu alana 1,5 m yüksekliğe yerleştirilmiştir. Hava sıcaklığı denemin ilk yılında termometre, ikinci yılında termografla ölçülmüştür. Buhar basıncı açığı (VPD) hesabında kullanılmak üzere denemenin ilk yılında vantilatörlü psikrometre ile ıslak termometre sıcaklık ölçümü, ikinci yılında hidrograf ile nispi nem (RH) ölçümü yapılmıştır. VPD (kPa) hesabında eşitlik (6)'den yararlanılmıştır (Ward and Elliot 1995, Allen *et al.* 1998).

$$VPD = e_s - e_a \quad (6)$$

Eşitlik (6)'da e_s doygun buhar basıncı (kPa), e_a gerçek buhar basıncıdır (kPa). Doygun buhar basıncı eşitlik (7) ve (8) kullanılarak hesaplanmıştır (Ward and Elliot 1995). Eşitliklerde T ($^{\circ}\text{C}$) hava sıcaklığıdır.

$$e_s = \exp \frac{16.78T - 116.9}{T + 273.3} \quad (7)$$

Gerçek buhar basıncı, psikrometrik veriler kullanılarak eşitlik (8) göre belirlenmiştir (Allen *et al.* 1998).

$$e_a = e^0(T_{\text{ıslak}}) - \gamma_{\text{psy}}(T_{\text{kuru}} - T_{\text{ıslak}}) \quad (8)$$

Eşitlik (8)'de $T_{\text{ıslak}}$ ıslak termometre sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), T_{kuru} kuru termometre sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), γ_{psy} enstrümanın psikrometrik sabitidir ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$). Psikrometrik sabit eşitlik (9) göre belirlenmiştir (Allen *et al.* 1998).

$$\gamma_{\text{psy}} = a_{\text{psy}} P \quad (9)$$

Eşitlik (9)'da; a_{psy} alet sabitidir (vantilatörlü psikrometre için 0,000662 alınmıştır), P atmosfer basıncıdır (kPa).

Nispi neme (RH; %) dayalı gerçek buhar basıncı, eşitlik (10) kullanılarak hesaplanmıştır (Ward and Elliot 1995).

$$e_a = e_s \frac{RH}{100} \quad (10)$$

3.2.4 Spektrometre ve infrared termometre verileri ile belirlenen indeksler

a) Spektral vejetasyon indeksleri

Bir spektral vejetasyon indeksi, spektral verinin direkt kullanımı veya oranlama, değişim hesaplama gibi yöntemlerle işlenmesi ile elde edilir (Jackson *et al.* 1980). Bitki örüsünü karakterize etmek üzere çok sayıda spektral vejetasyon indeksi geliştirilmiştir. Bu indekslerden en yaygın olanları kırmızı ve yakın kızıl ötesi bölgedeki yansımaya oranlarına dayalıdır ve bu indeksler bir çok bitki parametresi ile iyi korelasyonlara sahiptir (Heute 1988). Bu çalışmada ele alınan spektral vejetasyon indeksleri Çizelge 3.5'de verilmiştir. Çizelge 3.5'de yer alan Eşitlik (11), (12), (13) ve (14)'de R680, R800, R900 ve R970 sırası ile 680, 800, 900 ve 970 nm dalga boylarında ölçülen spektral yansımaları ifade etmektedir. SAVI'de kullanılan L değeri NDVI eşitliğinin denominator katsayısıdır ve Heute (1988) tarafından bir çok koşulda toprak yansımalarının etkisini en düşük düzeye indirmek üzere bu katsayı 0,5 olarak önerilmiştir.

Çizelge 3.5 Spektral vejetasyon indeksleri

Spektral Vejetasyon İndeksi	Eşitlik	Literatür
Basit oran (SR)	$R900 / R680$	(11) (Aparicio <i>et al.</i> 2000)
Normalize edilmiş vejetatif değişim indeksi (NDVI)	$(R800-R680)/(R800+R680)$	(12) (Penuelas <i>et al.</i> 1997)
Su indeksi (WI)	$R900/R970$	(13) (Penuelas <i>et al.</i> 1997)
Toprak yansımalarını dikkate alan vejetasyon indeksi (SAVI)	$(1+L) (R800-R680)/(R800+R680+L)$	(14) (Heute 1988)

b) Bitki su stres indeksi (CWSI)

Bitki su stres indeksi belirlenmesinde deneysel yaklaşım olarak bilinen yöntemden yararlanılmıştır (Idso *et al.* 1981). Bu amaçla su stresi oluşturulmayan S7 konusuna ilişkin ölçümler ile belirlenen T_c-T_a ve VPD değerlerinin doğrusal regresyonu ile alt baz hattı (LL), su uygulanmayan S6 konusundan alınan ölçümlerden yararlanılarak üst baz hattı (UL) belirlenerek temel grafik elde edilmiştir. CWSI değerleri anılan grafikten yararlanılarak eşitlik (15) ile belirlenmiştir. Eşitlik (15)'te, LL hesaplamasının yapıldığı T_c ve VPD'ye ilişkin temel grafikteki alt limit değeri, UL üst limit değeridir.

$$\text{CWSI} = [(T_c - T_a) - (LL)] / [(UL) - (LL)] \quad (15)$$

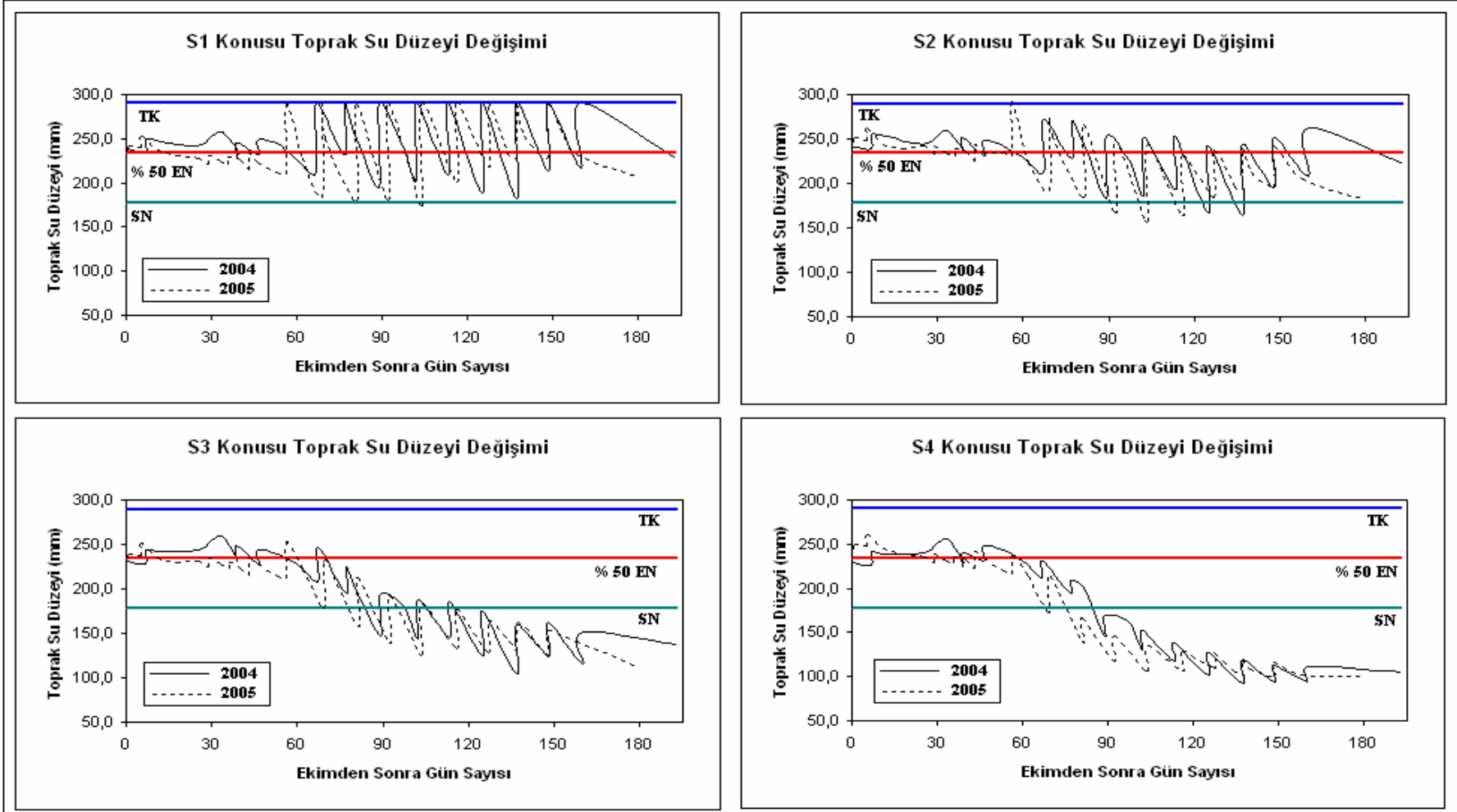
4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1 Sulama Suyu ve Bitki Su Tüketimi

Toprak su düzeyleri 3 deneme bloğunun 2'sinde tüm parsellerde, S7 konusunda haftada 2 defa ve diğer tüm konularda her sulama öncesinde, nötron probe aleti ile izlenmiştir. Toprakta (0-90 cm derinlik) elverişli nemin % 50'sinin tükendiği su düzeyi (234,0 mm) stres hattı olarak kabul edilirse, S1 konusu her sulamadan önce bu su düzeyinin altına düşmüş ve her sulama ile tarla kapasitesine (TK) ulaşmıştır. S2 konusu ise her sulamadan önce elverişli nemin % 50'sinin tükendiği su düzeyinin altında bir neme sahip olmuş ve her sulamadan sonra bu su düzeyinin biraz üzerine yükselmiştir. S7 konusu, sulama programı gereği toprak su düzeyi bu hatta düştüğünde TK'ya yükselecek kadar sulama suyu uygulanmıştır (Şekil 4.1).

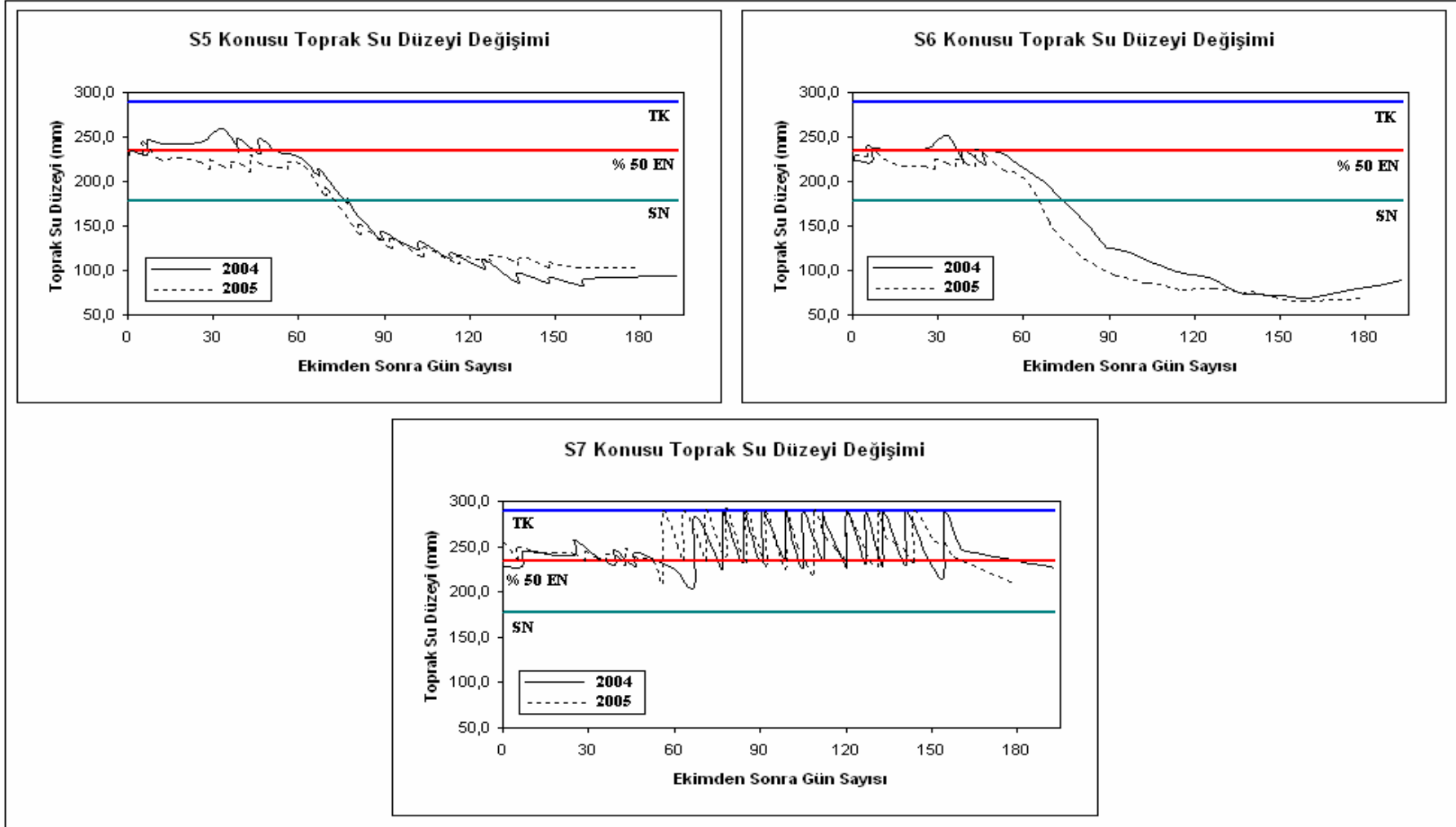
Ekimin ardından, deneme alanı topraklarının ağır bünyeye sahip olması nedeni ile bitki çıkışlarının sorun oluşmaması için tüm parsellere 2004 ve 2005 yıllarında sırası ile 65,0 mm ve 80,0 mm (beş seferde uygulanmıştır) sulama suyu yağmurlama sulama yöntemi kullanılarak uygulanmıştır. Konulara göre sulama suyu uygulamasına 24 Haziran 2004 ve 20 Haziran 2005 tarihlerinde başlanmıştır. S1, S2, S3, S4, S5 ve S6 konularına uygulanan sulama suyu miktarları Çizelge 4.1' de verilmiştir. Hesaplanan bitki su tüketimi miktarları Çizelge 4.2' de yer almaktadır. S7 konusuna ilişkin sulama suyu düzeylerine Çizelge 4.3' de yer verilmiştir.

Yetiştirme dönemi boyunca 2004 yılında S1, S2, S3, S4, S5 ve S6 deneme konularına sulama düzeylerine göre 14 (9+5) adet sulamayla sırası ile toplam 865,0 mm, 665,0 mm, 464,0 mm, 265,0 mm, 146,0 mm ve 65,0 mm, 2005 yılında S1, S2, S3, S4, S5 ve S6 deneme konularına sulama düzeylerine göre 13 (9+4) adet sulamayla sırası ile toplam 837,0 mm, 647,0 mm, 460,0 mm, 269,0 mm, 157,0 mm ve 80,0 mm sulama suyu uygulanmıştır (Çizelge 4.1). S7 konusuna 2004 yılında 16 (11+5) adet sulama ile 731,0 mm, 2005 yılında 16 (12+4) sulama ile 809,0 mm sulama ile 809,0 mm sulama suyu uygulanmıştır (Çizelge 4.3). 2004 yılı yetiştirme döneminde toplam 83,0 mm, 2005 yılı yetiştirme döneminde toplam 215,0 mm yağış gerçekleşmiştir.



Şekil 4.1 Şeker pancarı deneme konuları toprak su düzeyi değişimleri

TK: tarla kapasitesi; SN: solma noktası; %50 EN: Elverişli nemin % 50'si düzeylerini ifade etmektedir.



Şekil 4.1 Şeker pancarı deneme konuları toprak su düzeyi değişimleri (Devam)

TK: tarla kapasitesi; SN: solma noktası; %50 EN: Elverişli nemin % 50'si düzeylerini ifade etmektedir.

Çizelge 4.1 Deneme konularına uygulanan sulama suyu miktarları ve zamanları

2004 Yılında konulara uygulanan sulama suyu miktarları (mm)							2005 Yılında konulara uygulanan sulama suyu miktarları (mm)						
Tarih	S1	S2	S3	S4	S5	S6	Tarih	S1	S2	S3	S4	S5	S6
30.04.2004	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	21.04.2005	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0
04.05.2004	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	11.05.2005	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0
28.05.2004	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	22.05.2005	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0
04.06.2004	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	01.06.2005	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0
11.06.2004	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0	12.06.2005	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0
24.06.2004	80,0	60,0	40,0	20,0	8,0	-	20.06.2005	78,0	58,0	39,0	19,0	8,0	-
07.07.2004	106,0	80,0	53,0	27,0	11,0	-	30.06.2005	58,0	43,0	29,0	15,0	6,0	-
19.07.2004	109,0	82,0	55,0	27,0	11,0	-	12.07.2005	95,0	71,0	48,0	24,0	10,0	-
30.07.2004	109,0	82,0	54,0	27,0	11,0	-	25.07.2005	88,0	66,0	44,0	22,0	9,0	-
11.08.2004	115,0	86,0	57,0	29,0	12,0	-	05.08.2005	80,0	60,0	40,0	20,0	8,0	-
23.08.2004	89,0	67,0	45,0	22,0	9,0	-	17.08.2005	101,0	76,0	51,0	25,0	10,0	-
03.09.2004	71,0	53,0	35,0	18,0	7,0	-	29.08.2005	108,0	81,0	54,0	27,0	11,0	-
13.09.2004	60,0	45,0	30,0	15,0	6,0	-	09.09.2005	76,0	57,0	38,0	19,0	8,0	-
24.09.2004	61,0	45,0	30,0	15,0	6,0	-	21.09.2005	73,0	55,0	37,0	18,0	7,0	-
Toplam	865,0	665,0	464,0	265,0	146,0	65,0	Toplam	837,0	647,0	460,0	269,0	157,0	80,0

Çizelge 4.2 Konuların aylık ve mevsimlik su tüketimleri (mm)

Konular	2004 Yılı bitki su tüketimleri (ET mm)							2005 Yılı bitki su tüketimleri (ET mm)							
	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim (25 gün)	Toplam	Nisan (20 gün)	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim (25 gün)	Toplam
S1	68,5	121,6	292,9	271,4	179,7	68,4	1002,6	50,4	97,4	112,7	259,4	282,4	154,3	81,8	991,6
S2	67,1	118,9	246,7	229,4	135,8	52,8	850,7	44,4	100,7	99,9	220,8	214,3	105,5	65,8	852,6
S3	65,2	83,8	242,7	175,6	125,3	48,6	741,2	37,0	84,9	110,9	184,4	162,5	95,4	54,2	738,1
S4	67,5	84,3	195,0	102,9	65,3	20,6	535,6	41,5	88,4	95,5	152,7	94,7	53,4	43,2	586,6
S5	65,9	50,8	162,1	59,8	33,3	17,8	389,8	49,9	98,6	103,3	108,3	58,0	32,5	35,3	507,2
S6	56,1	70,6	150,8	33,4	15,1	12,6	338,5	44,1	105,8	92,7	94,3	32,8	13,7	28,2	436,1
S7	75,6	97,4	269,2	242,2	119,8	67,4	871,7	41,2	104,2	116,6	265,1	275,6	145,4	47,0	1009,9

Çizelge 4.3 S7 konusuna uygulanan sulama suyu miktarları ve uygulama tarihleri

2004 Yılı		2005 Yılı	
Tarih	Sulama Suyu Miktarı (mm)	Tarih	Sulama Suyu Miktarı (mm)
30.04.2004	15,0	21.04.2005	16,0
04.05.2004	14,0	11.05.2005	16,0
28.05.2004	10,0	22.05.2005	16,0
04.06.2004	7,0	01.06.2005	16,0
11.06.2004	19,0	10.06.2005	16,0
24.06.2004	80,0	20.06.2005	78,0
01.07.2004	53,0	30.06.2005	64,0
09.07.2004	55,0	07.07.2005	56,0
16.07.2004	55,0	14.07.2005	51,0
23.07.2004	55,0	22.07.2005	50,0
30.07.2004	62,0	28.07.2005	62,0
06.08.2004	66,0	04.08.2005	55,0
16.08.2004	69,0	12.08.2005	73,0
27.08.2004	55,0	19.08.2005	62,0
07.09.2004	61,0	25.08.2005	54,0
20.09.2004	55,0	02.09.2005	60,0
-	-	15.09.2005	64,0
Toplam	731,0	Toplam	809,0

Uygulanan sulama suları ve yağışlar doğrultusunda gerçekleşen aylık ve mevsimlik bitki su tüketimleri Çizelge 4.2’de verilmiştir. Bitki su tüketimi hesaplamalarında 0–90 cm toprak derinliğindeki toprak su değişimlerinden yararlanılmıştır. 90–120 cm toprak derinliğindeki toprak suyu artışları derine sızma olarak dikkate alınmıştır. S7 dışındaki deneme konularına 2004 ve 2005 yıllarında hemen aynı miktarda sulama suyu uygulanmıştır. S7 konusuna 2005 yılında, konulu sulama olarak 1 defa fazla sulama suyu uygulanmıştır ve bunun sonucu olarak 2004 yılından 78,0 mm fazla su uygulanmıştır. 2005 yılı yetiştirme dönemi 2004 yılından 14 gün daha kısa sürmüştür. Bununla birlikte 2005 yılı bitki su tüketimleri 2004 yılına göre, özellikle az sulanan konularda, 132 mm yağış farkı nedeniyle bir miktar daha yüksek gerçekleşmiştir. S7 konusunun 2005 yılı bitki su tüketimi ise yağış ve sulama suyu farkından ötürü 138,2 mm daha fazla gerçekleşmiştir.

4.2 Şeker Pancarı Kök Verimi ve Kalitesi

Leila çeşit şeker pancarı bitkisinde 2004 ve 2005 yılları yetiştirme dönemleri sonunda elde edilen şeker pancarı kök verimleri ve arıtılmış şeker verimleri konulara göre Çizelge

4.4’de verilmiştir. S5 ve S6 konularında belli miktarlarda kök verimi elde edilmesine rağmen, meyve kalitesi oldukça düşük gerçekleşmiştir.

Çizelge 4.4 Konulardan el edilen şeker pancarı kök ve artırılmış şeker verimleri

Yıllar	Konu	I. Tekerrür		II. Tekerrür		III. Tekerrür		Ortalama	
		P.V. (kg/da)	AŞV (kg/da)	P. V. (kg/da)	AŞV (kg/da)	P. V. (kg/da)	AŞV (kg/da)	P. V. (kg/da)	AŞV (kg/da)
2004	S1	6526,75	1231,6	6403,29	1238,4	6641,98	1433,3	6524,0	1301,1
	S2	5777,78	1089,1	6016,46	1229,8	6213,99	1336,6	6002,7	1218,5
	S3	5144,03	1094,7	5695,47	1208,0	4625,51	928,8	5155,0	1077,2
	S4	2617,28	583,1	3127,57	705,9	2839,51	554,0	2861,5	614,3
	S5	1967,08	438,7	2148,15	449,2	2609,05	532,8	2241,4	473,6
	S6	1514,40	303,9	2197,53	480,6	1193,42	226,3	1635,1	336,9
	S7	6320,99	1263,6	6279,84	1287,4	6452,67	1392,5	6351,2	1314,5
2005	S1	6444,4	1103,7	6839,5	1122,6	6493,8	1219,8	6592,6	1148,7
	S2	6707,8	1122,6	6395,1	1108,6	6617,3	1181,1	6573,4	1137,4
	S3	6395,1	1091,4	5358,0	1009,1	5736,6	1085,6	5829,9	1062,0
	S4	3744,9	767,1	4436,2	829,6	3744,9	695,5	3975,3	764,1
	S5	2798,4	483,1	2872,4	499,6	2880,7	492,2	2850,5	491,6
	S6	2436,2	400,8	2370,4	407,4	1810,7	330,9	2205,8	379,7
	S7	7423,9	1261,7	6806,6	1245,3	6950,6	1224,7	7060,4	1243,9

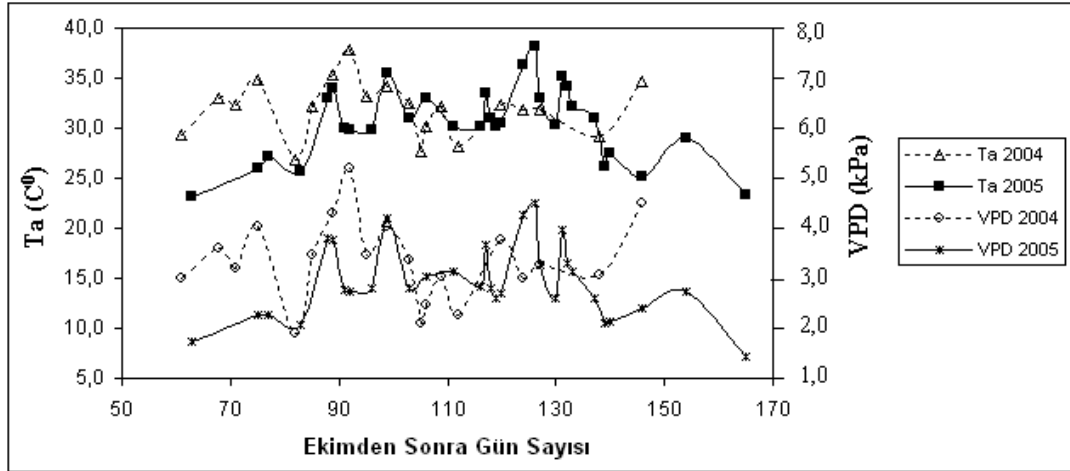
PV: Şeker Pancar Kök Verimi; AŞV: Artırılmış Şeker Verimi

4.3 İnfrared Termometre ve Bitki Örtü Sıcaklığı Bulguları

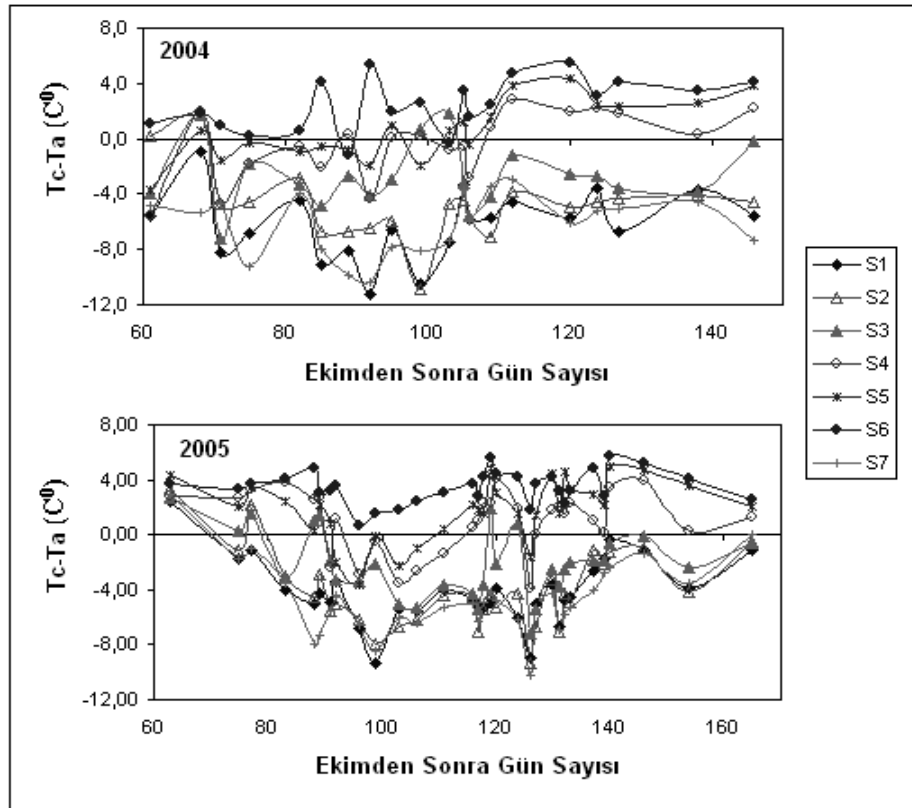
Bitki yaprak sıcaklıkları Temmuz ve Ağustos aylarında haftada en az iki defa, Eylül ayında belli aralıklarla ölçülmüştür. Bulutlu günlerde ölçüm yapılmamıştır. Tc-Ta ve CWSI değerlerinin daha iyi yorumlanabilmesi için denemenin yürütüldüğü yetiştirme dönemleri boyunca ölçülen hava sıcaklığı ve hesaplanan VPD değerlerinin değişimleri Şekil 4.2’de verilmiştir.

Tc-Ta farkının mevsim içerisindeki seyrinde hava sıcaklığından, VPD’den ve sulama uygulamalarından etkilenmiştir (Şekil 4.3).. En yüksek Tc-Ta S6, en düşük Tc-Ta S7 ve S1 konularında gerçekleşmiştir. Genel olarak Tc-Ta değerleri en düşük -12,0 °C ile en yüksek 5,0 °C arasında değişmektedir. Pozitif Tc-Ta değerleri S4, S5 ve S6 konularında, negatif Tc-Ta değerleri ise S1, S2, S3 ve S7 konularında elde edilmiştir. Bunun nedeni, konular arasında sulama suyuna dayalı bir biçimde gerçekleşen transpirasyon farklılıklarıdır. Bilindiği gibi, potansiyel düzeyde transpirasyon

gerçekleştirebilen bir bitkiye ilişkin T_c - T_a değeri negatiftir ve transpirasyon miktarı potansiyelin altına düştükçe T_c - T_a yükselir ve su stresine göre pozitif değerlere yükselebilmektedir.

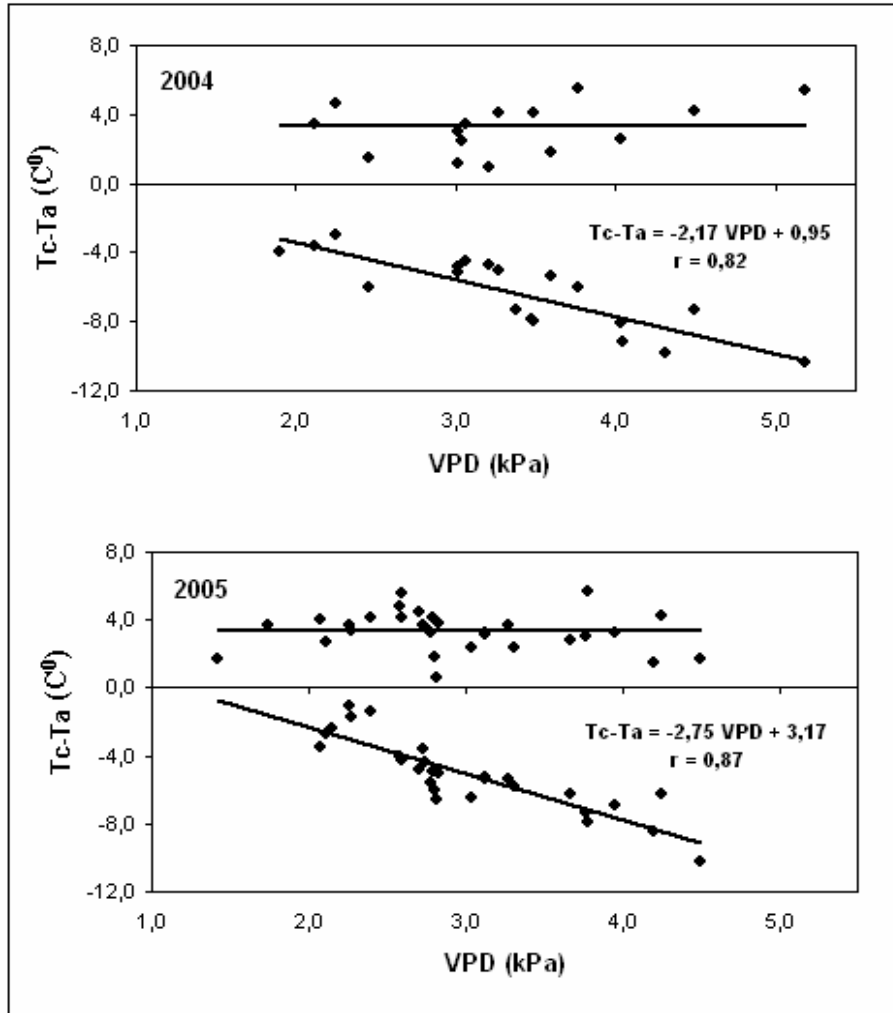


Şekil 4.2 Yetiştirme dönemi içerisinde hava sıcaklığı (T_a) ve buhar basıncı açığı (VPD) değişimi



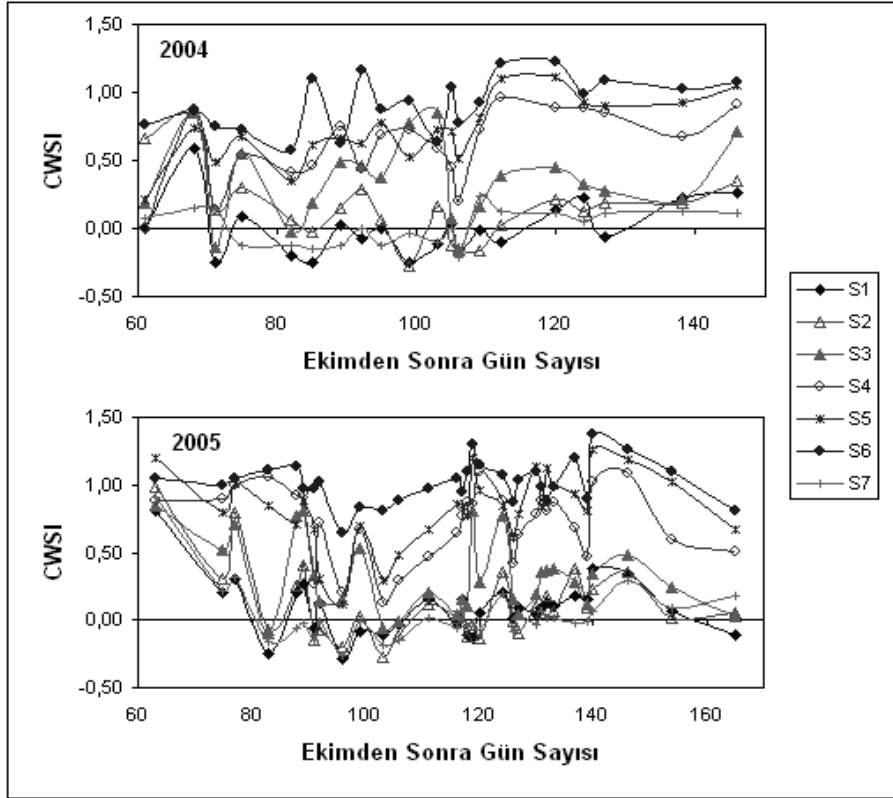
Şekil 4.3 Yetiştirme dönemi boyunca T_c - T_a değişimi

Tc-Ta ve VPD değerleri, CWSI hesabında kullanılmak üzere ilişkilendirilmiştir (şekil 4.4). S7 konusundan elde edilen bulgular ile **Alt Baz Hattı**, susuz S6 konusundan elde edilen bulgular ile transpirasyonun hemen hiç gerçekleşmediği **Üst Baz Hattı** elde edilmiştir Alt baz hattı için yapılan regresyon analizi ile 2004 yılında korelasyon katsayısı (r) 0,82 ve regresyon denklemini “ $T_c - T_a = -2,17 \text{ VPD} + 0,95$ ”, 2005 yılında korelasyon katsayısı (r) 0,87 ve regresyon denklemini “ $T_c - T_a = -2,75 \text{ VPD} + 3,17$ ” bulunmuştur. Üst baz hattı için Tc-Ta değeri 2004 yılı için 3,20 °C ve 2005 yılı için 3,47 °C olarak tespit edilmiştir. CWSI bu alt ve üst baz hatlarına göre hesaplanmıştır.



şekil 4.4 CWSI hesaplamada kullanılan temel grafikler

Hesaplama metodolojisi gereği $T_c - T_a$ 'ya dayalı bir biçimde hesaplanan CWSI değerleri, konular arasındaki su uygulama farklılıklarını görsel bir biçimde ortaya koymaktadır (Şekil 4.5). Metodoloji mevcut $T_c - T_a$ ve VPD değerinin alt baz ve üst bazdan farklarının oranına dayalıdır. Bu nedenle, bu sınırların belirlenmesinde kullanılan S6 ve S7 konularına ilişkin CWSI değerleri bazı günlerde sıfırdan küçük ve birden büyük gerçekleşmiştir. Ayrıca $T_c - T_a$ farklılıklarının negatif değerlerinin küçük, pozitif değerlerinin büyük CWSI değerlerine dönüştüğü görülmektedir.



Şekil 4.5 Yetiştirme dönemi boyunca CWSI değişimi

4.4 Spektrometre ve Spektral Yansım Oranı Bulguları

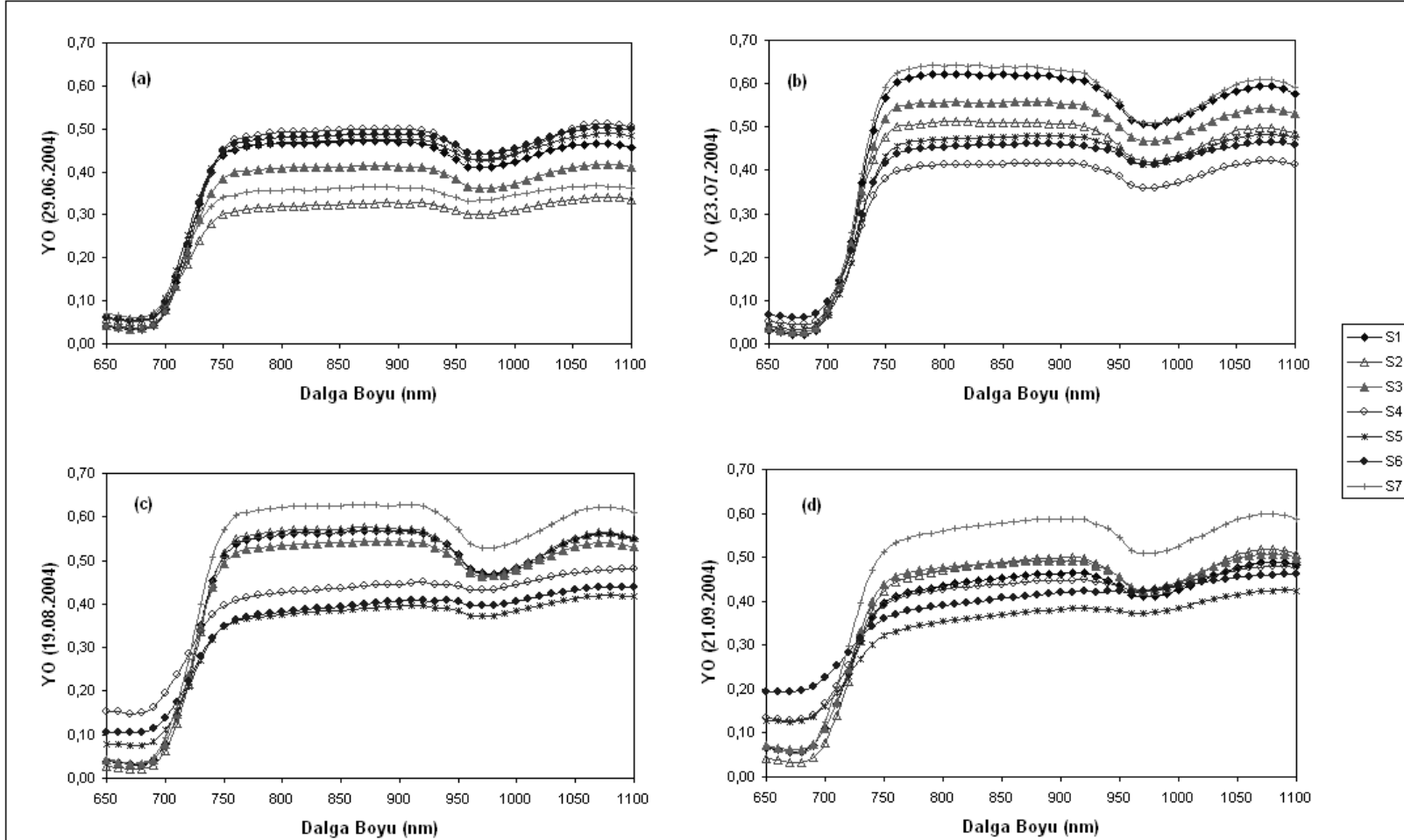
4.4.1 Şeker pancarı spektral yansım oranları

Şekil 4.6.a ve Şekil 4.7.a konulara göre sulama suyu uygulama başlangıcı, Şekil 4.6.b,c ve Şekil 4.7.b,c yetiştirme dönemi ortası ve Şekil 4.6.d ve Şekil 4.7.d yetiştirme dönemi sonu için spektral yansım oranlarına örnek olarak verilmiştir. 29.06.2004 ve

28.06.2005 tarihlerinde yansımaya oranları genel olarak 0,03–0,55 arasında değişmektedir. Bu tarihte konulara göre sulama suyu uygulaması henüz başlamıştır. 29.06.2004 tarihinde 650-700 nm dalga boyu aralığında en yüksek yansımaya oranı S7, en az yansımaya oranı S4 konusunda, 700-1100 nm dalga boyu aralığında en yüksek yansımaya oranı S4, en az yansımaya oranı S3 konusunda gerçekleşmiştir. 28.06.2005 tarihinde ise 650-700 nm dalga boyu aralığında en yüksek yansımaya oranı S5, en az yansımaya oranı S6 konusunda, 700-1100 nm dalga boyu aralığında en yüksek yansımaya oranı S1, en az yansımaya oranı S3 konusunda gerçekleşmiştir.

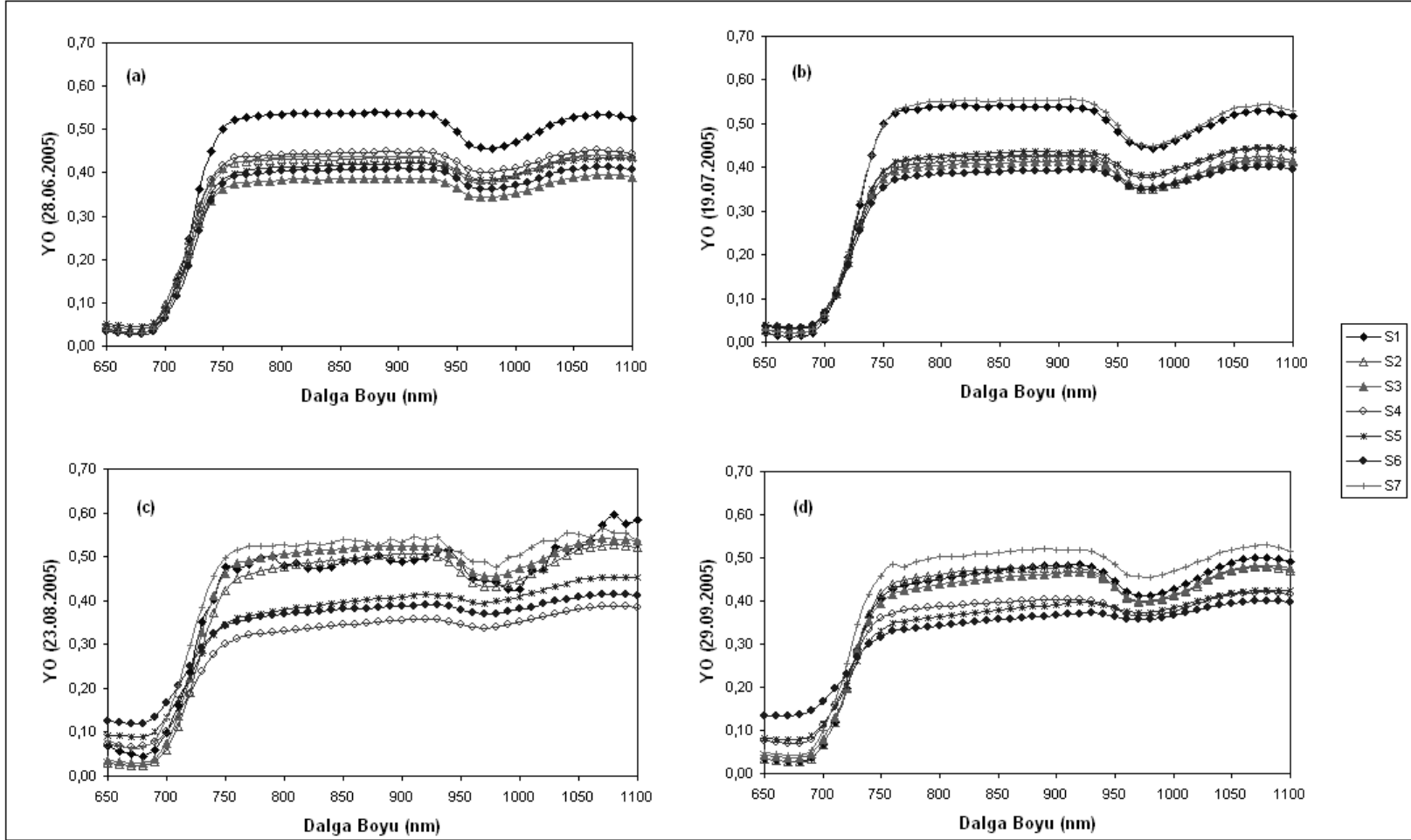
Şekil 4.6.b ve Şekil 4.7.b’de verilen yansımaya oranları 23.07.2004 ve 19.07.2005 tarihlerine aittir. Bu tarihlerde gerçekleşen yansımaya oranları üzerinde vejetasyon düzeyleri, yaprak su potansiyeli ve sulama suyu düzeylerine bağlı olarak gerçekleşen farklı fizyolojik özellikler nedendir ve 920-1070 nm spektral aralığındaki azalma ve artış miktarında sulama suyu düzeyleri etkilidir. 920-1070 nm dalga boyu aralığında S1, S2, S3, S4, S5 ve S7 konularında yansımaya oranlarındaki azalma ve artış S6 konusuna göre daha belirgindir. Bununla birlikte tüm konuların yansımaya oranlarında Şekil 4.6.a ve Şekil 4.7.a’ya göre artış görülmektedir.

Şeker pancarında, 19.08.2004 ve 23.08.2005 tarihlerinde 920-1070 nm aralığındaki yansımaya oranı azalması ve artması S1, S2, S3 ve S7 konularında belirgin bir biçimdeyken, S4, S5 ve S6 konusunda oldukça azdır (Şekil 4.6.c ve Şekil 4.7.c). Şekil 4.6.d ve Şekil 4.7.d’de yer alan 21.09.2004 ve 29.09.2005 tarihine ilişkin grafiklerde 920-1070 nm dalga boyu aralığındaki yansımaya oranı azalması S1, S2, S3 ve S7 konularında belirgin bir biçimde gerçekleşirken S4, S5 ve S6 konularında hemen hiç meydana gelmemiştir. Bunun nedeni bu tarihlerde bitkilerin yaprak su potansiyellerindeki azalma, başka bir ifade ile bitki su içeriğinin çok düşük olması ve vejetasyon miktarının çok düşük olmasıdır.



Şekil 4.6 Şeker pancarı 2004 yetiştirme döneminde deneme konularına göre spektral yansım oranları

YO: Yansım Oranı



Şekil 4.7 Şeker pancarı 2005 yetiştirme döneminde deneme konularına göre spektral yansımaları

YO: Yansımaları Oranı

Her iki yetiştirme dönemi ve su stresinde olan ve olmayan bitkiler değerlendirildiğinde, su stresinin ve buna bağlı vejetasyon düzeyinin 650-720 nm dalga boyu aralığında yüksek, 720-1100 nm dalga boyu aralığında düşük yansımaya oranlarına neden olduğu, su stresi yaşanmamasının ve buna dayalı vejetasyon düzeyinin 650-720 nm dalga boyu aralığında düşük, 720-1100 nm dalga boyu aralığında yüksek yansımaya oranına neden olduğu görülmektedir. Başka bir ifadeyle, 650-720 nm ile 720-1100 nm dalga boyu bölgelerindeki spektral yansımaya oranları, su stresi koşulunda birbirine daha yakın, su stresi olmayan koşullarda birbirine daha uzak değerlere sahiptir.

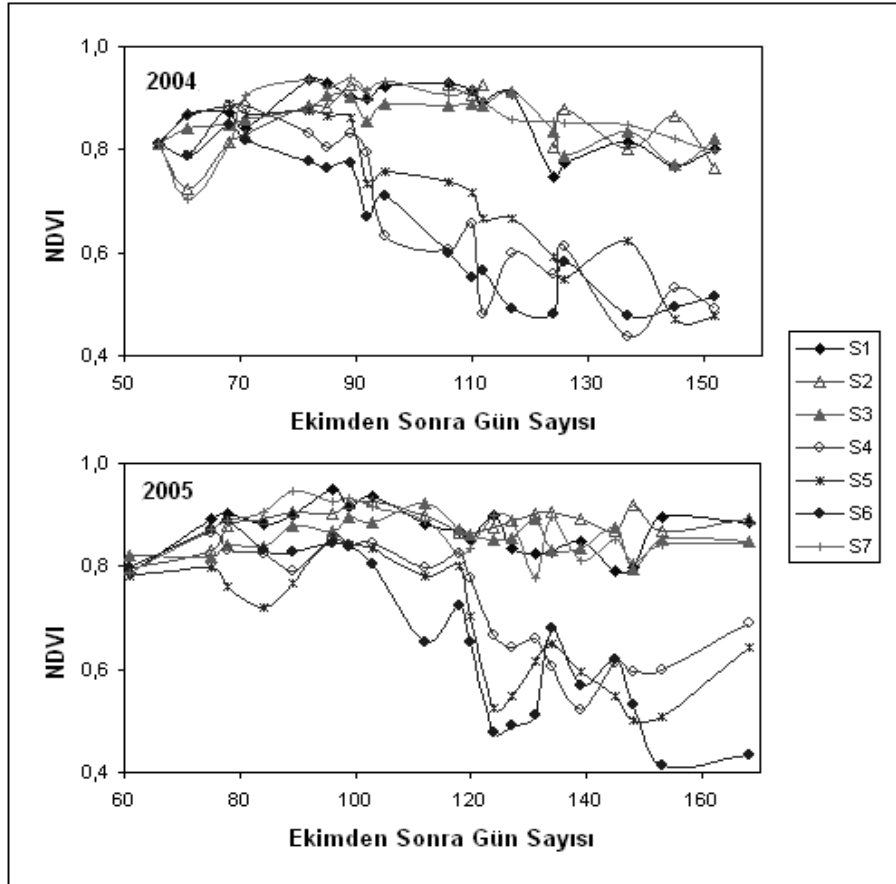
Bu duruma sulama suyu düzeylerinin etkisi ile gerçekleşen farklı vejetasyon düzeyleri ve bitki su kapsamı neden olmaktadır. 920-1070 nm aralığında meydana gelen azalma ve artış (yansımaya çukuru) bitkide kuraklık arttıkça azalmaktadır. Benzer bulgular birçok çalışmada da belirtilmektedir (Penuelas *et al.* 1993a, Penuelas *et al.* 1994, Penuelas *et al.* 1997, Danson *et al.* 1992, Shibayama *et al.* 1993 ve Ceccat *et al.* 2001).

4.4.2 Spektral indeksler

Bir önceki bölümde verilen grafiklerde görüldüğü gibi spektral yansımaya oranları sezon başından sonuna doğru çok su uygulanan konularda 650-720 nm bölgesinde düşük, 720-1100 nm bölgesinde yüksek, az su uygulanan konularda 650-720 nm bölgesinde yüksek, 720-1100 nm bölgesinde düşük bir biçimde gerçekleşmiştir (Şekil 4.6 ve Şekil 4.7). Bu çalışmada ele alınan spektral indeksler, hesaplanma yöntemleri gereği, yansımaya oranlarının yüksek veya düşük olmasından daha çok, Yakın Kırmızı Ötesi (NIR; 700-1100 nm) ile Kırmızı (Red; 620-700 nm) bölgelerdeki yansımaya oranlarının farkına dayalıdır. Bu farklılık cihazın ölçüm alanında bulunan vejetasyon miktarı ve toprak miktarına göre değişim göstermektedir. Bu duruma, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de verilen sulu konular ile susuz S6 konusuna ilişkin yansımaya oranı grafikleri örnek olarak verilebilir.

Spektral indeksler bakımından, genel olarak çalışma yılları birbiri ile uyumludur. Bu çalışmada ele alınan spektral indekslerden NDVI, SAVI ve SR’nin vejetasyon

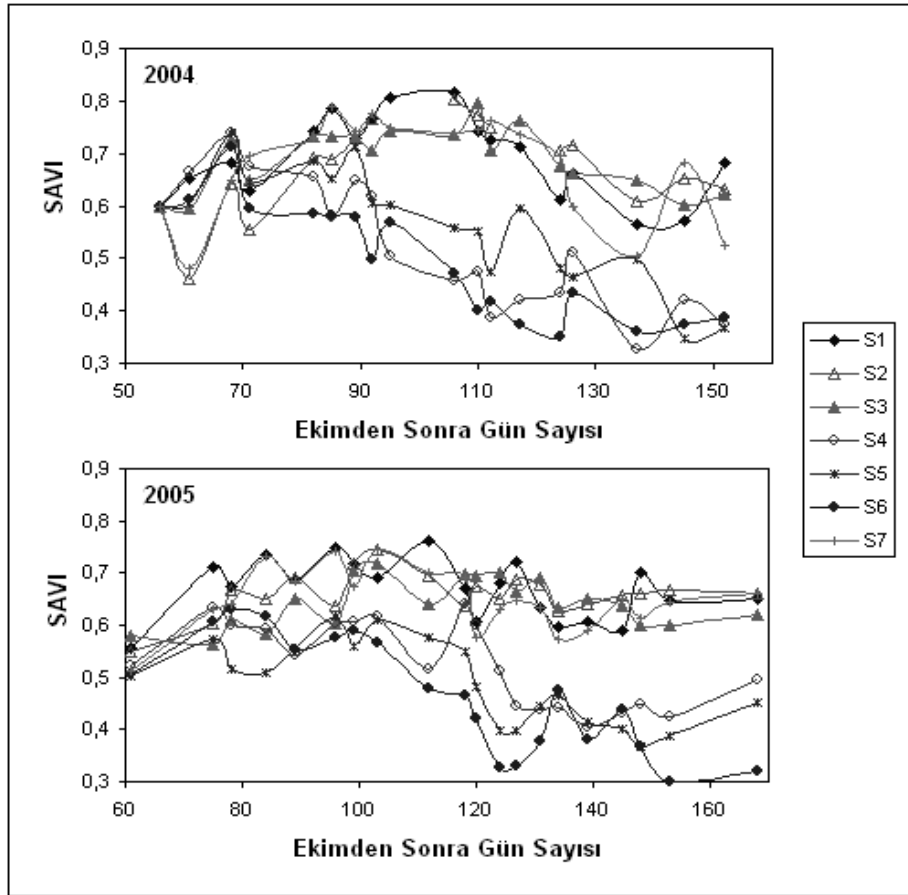
düzeylerini, WI ve WI / NDVI'nin bitki su düzeylerini izlenmede kullanım olanakları irdelenecektir. Şekil 4.8, 4.9, 4.10 ve 4.11'de görüldüğü gibi incelenen spektral indeksler (sırası ile NDVI, SAVI, SR, WI ve WI / NDVI) şeker pancarı ekiminden sonra ilk 90 – 100 gün konulara göre önemli bir farklılık göstermemektedir.



Şekil 4.8 Şeker pancarı 2004 ve 2005 yetiştirme dönemleri boyunca deneme konularına göre NDVI değişimleri

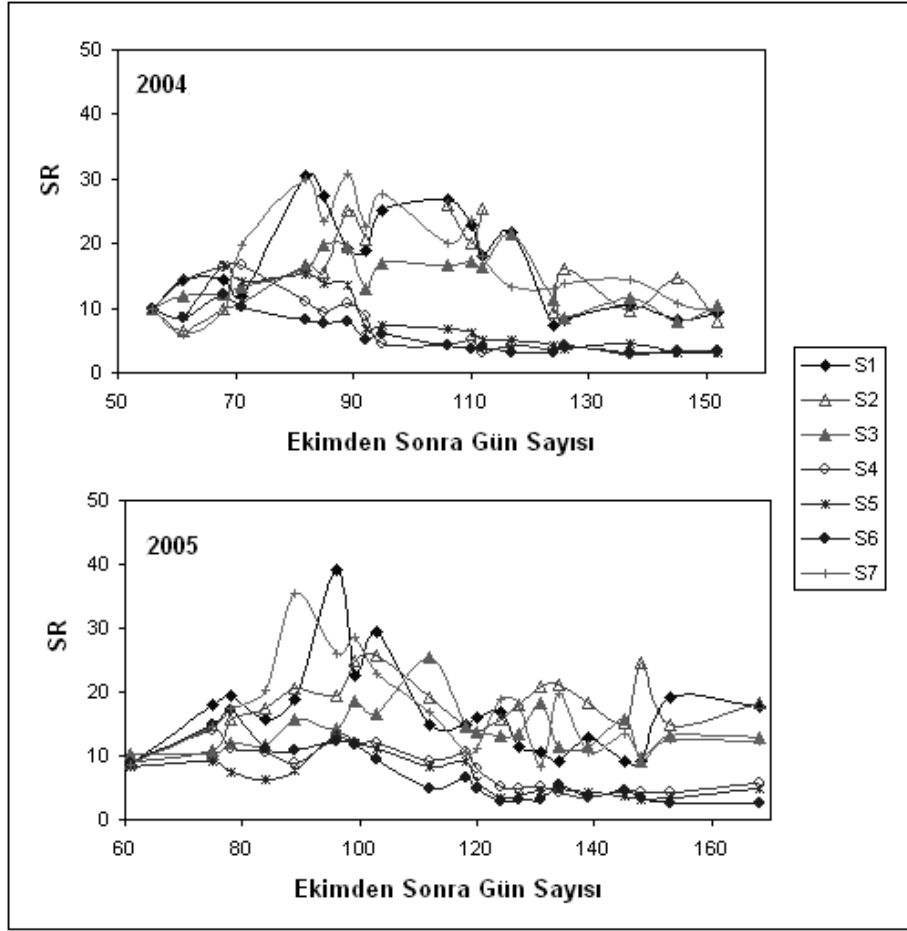
Spektral vejetasyon indekslerinin (NDVI, SR ve SAVI) duyarlılıklarını değerlendirmede S7 ve S6 konularının YAI değerlerinden (ekimden sonra 80.gün ve daha sonrası) yararlanılacaktır. YAI S7 ve S6 konularında yıllık ortalama olarak sırası ile 2004 yılında 3,8 ve 1,0, 2005 yılında 4,1 ve 1,3 olarak belirlenmiştir. S6 ve S7 konularının YAI değerlerinin birbirine oranı (S6/S7) 0,29 (iki yılın ortalaması) olarak hesaplanmıştır. Buna göre S7 ile S6 konuları arasında % 71 düzeyinde bir vejetasyon farkı bulunmaktadır.

NDVI vejetasyon düzeylerinin uzaktan algılama teknikleri ile izlenmesinde ve belirlenmesinde en yaygın kullanılan spektral indekslerden birisidir. NDVI değerleri genel olarak S1,S2, S3 ve S7 konularında yüksek, S4 konusunda orta düzeyde ve S5, S6 konularında düşüktür. Konular arasındaki bu farklılık, az su uygulanan ve susuz parsellerin vejetatif gelişmelerinin durması ve gerilemesi ile yetiştirme dönemi sonuna doğru giderek artmıştır. 2004 yılında (ekimden sonra 80. gün ve daha sonrası) S7 ve S6 konularının ortalama NDVI değerleri sırası ile 0,89 ve 0,62, 2005 yılında (ekimden



Şekil 4.9 Şeker pancarı 2004 ve 2005 yetiştirme dönemleri boyunca deneme konularına göre SAVI değişimleri

sonra 80. gün ve daha sonrası) ortalama NDVI değerleri S7 konusunda 0,87 ve S6 konusunda 0,64 olarak gerçekleşmiştir. Her iki yılın NDVI değerlerine göre, S6'nın S7konusuna oranı 0,72'dir. NDVI'a göre S7 ile S6 konuları arasındaki vejetasyon farkı % 28'dir.



Şekil 4.10 Şeker pancarı 2004 ve 2005 yetiştirme dönemleri boyunca deneme konularına göre SR değişimleri

Spektroradyometrenin görüş alanında bulunan bitki ve topraktan meydana gelen yansımaların, indeks hesabında daha duyarlı bir biçimde göz önünde bulundurulmasında SAVI kullanılmıştır (Şekil 4.9). Yıl boyu elde edilen değerlerin ortalamalarına göre S7 ve S6 konularının SAVI değerleri sırası ile 2004 yılında (ekimden sonra 80. gün ve daha sonrası) 0,71 ve 0,47, 2005 yılında (ekimden sonra 80. gün ve daha sonrası) 0,66 ve 0,45'tir. İki yılın ortalamasına göre S7 ile S6 konusunun birbirine oranı 0,67'dir. SAVI değerlerine göre S7 ile S6 konusu arasındaki vejetasyon farkı % 33'tür.

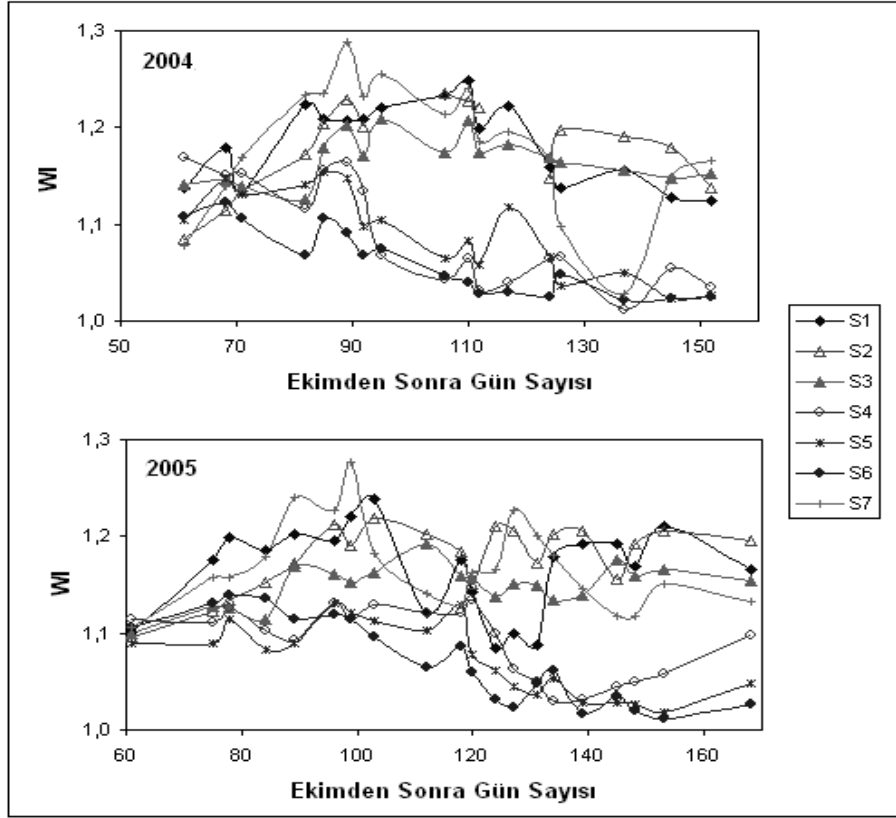
Hesaplama yöntemi bakımından SR en basit ve sade indekslerden birisidir. SR değerleri çok sulama suyu uygulanan konularda yüksek, az sulama suyu uygulanan konularda düşüktür. S7 ve S6 konularında SR değerleri yıllık ortalama olarak sırası ile 2004

yılında (ekimden sonra 80. gün ve daha sonrası) 20,7 ve 5,0, 2005 yılında (ekimden sonra 80. gün ve daha sonrası) 17,4 ve 6,1 olarak belirlenmiştir. S6 SR değerinin S7 SR değerine oranı 0,29'dur (iki yılın ortalaması). SR değerlerine göre S7 ile S6 konusu arasındaki vejetasyon farkı % 71'dir.

NDVI, SR ve SAVI S7 ve S6 konuları arasında sırası ile %28, %71 ve %33 düzeyinde vejetasyon farkını ortaya koymaktadır. YAI ile bu iki konu arasında % 71 düzeyinde bir fark belirlenmiştir.

Bitki su düzeyine ilişkin spektral indekslerin duyarlılıklarının değerlendirilmesinde S7 ve S6 konularının YSP değerlerinden (ekimden sonra 80. gün ve daha sonrası) yararlanılacaktır. YSP değerleri S7 ve S6 konularında yıllık ortalama olarak sırası ile 2004 yılında -22,4 ve -42,2, 2005 yılında -21,4 ve -38,8'dir. S7 ile S6 YSP oranı (S7/S6) 0,54'tür. Başka bir ifade ile S7 konusunun yaprak su potansiyeli S6 konusundan % 46 daha fazladır.

Yetiştirme dönemleri için belirlenen WI değerleri Şekil 4.11'de verilmiştir. WI geliştirilmesinde 920-1070 nm spektral aralığında yansıma oranlarında vejetasyon su düzeyine göre gerçekleşen azalma ve artışın daha etkili bir biçimde ortaya koyulması hedeflenmiştir (Penuelas *et al.* 1997). Burada görüldüğü gibi çok su uygulanan konuların WI değerleri yüksek, az su uygulanan konuların WI değerleri düşüktür. Fakat WI rakamsal olarak değerlendirildiğinde bu değerler birbirine oldukça yakındır. S7 ve S6 konularına ilişkin WI değerlerinin yıllık ortalaması sırası ile 2004 yılında 1,19 ve 1,05, 2005 yılında 1,18 ve 1,06'dır. İki yılın ortalamasına göre S6 ile S7 konuları WI değerlerinin oranı 0,89'dur. WI'ya göre iki konu arasında % 11 düzeyinde su içeriği farkı bulunmaktadır.

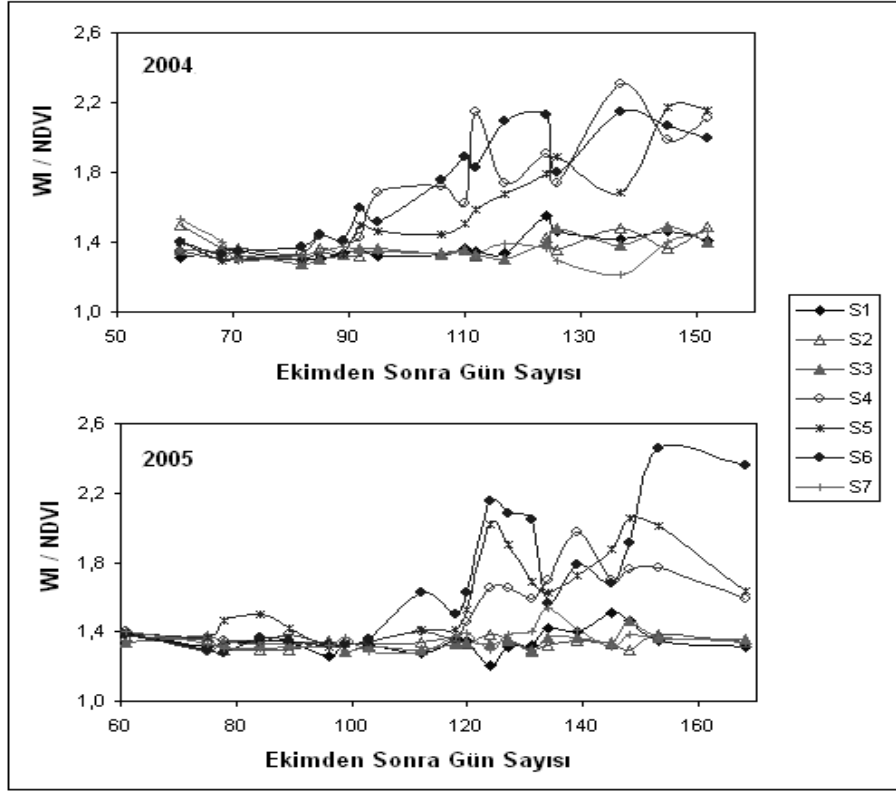


Şekil 4.11 Şeker pancarı 2004 ve 2005 yetiştirme dönemleri boyunca deneme konularına göre WI değişimleri

Bitki su düzeylerinin izlenmesinde WI'in etkinliğinin artırılması için NDVI ile oranlanmıştır (Penuelas *et al.* 1997). WI / NDVI değişimleri Şekil 4.12'de verilmiştir. Burada görüldüğü gibi WI / NDVI, WI'nın tersine, çok sulanan konularda düşük, az sulanan konularda yüksek değerlerdedir. WI / NDVI değerleri S7 ve S6 konularında sırası ile 2004 yılında 1,33 ve 1,75, 2005 yılında 1,36 ve 1,74 olarak belirlenmiştir. S7 konusunun S6 konusuna oranı ise 0,77'dir. WI / NDVI'a göre S7 konusu vejetasyon su düzeyi bakımından S6 konudan % 23 yüksektir.

WI ve WI / NDVI indeksleri S7 ve S6 su düzeylerinde sırası ile %11 ve %23 farklılık ortaya koymaktadır. YSP'ye göre bu farklılık % 46 düzeyindedir.

Spektral indekslerinin gerçekleşen vejetasyon düzeylerini ve yaprak su potansiyelini tahmin etmede kullanım olanakları, tüm konuların ve tüm ölçümlerin bir arada kullanıldığı istatistiksel analizler ile bir sonraki bölümde ele alınacaktır.



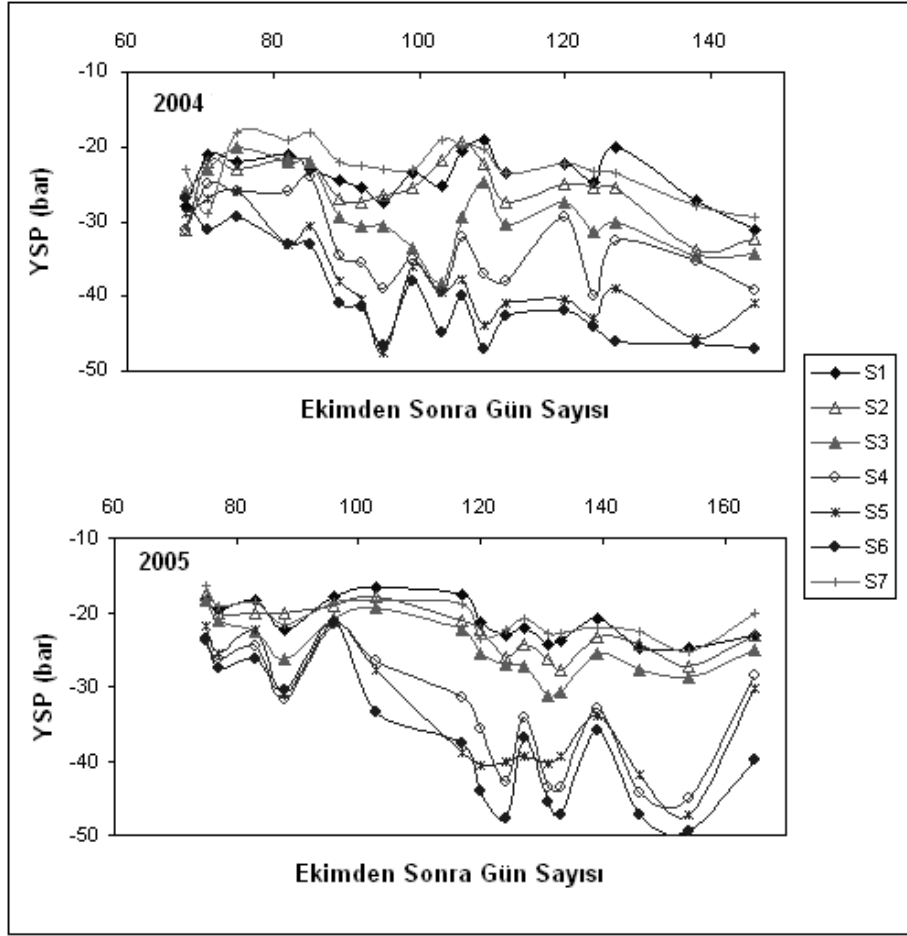
Şekil 4.12 Şeker pancarı 2004 ve 2005 yetiştirme dönemleri boyunca deneme konularına göre WI / NDVI değişimleri

4.5 Bitki Örnekleme Sonucu Elde Edilen Fizyolojik Bulgular

Bu çalışmada şeker pancarına uygulanan farklı sulama suyu miktarları sonucunda farklı fizyolojik niteliklerde bitkiler elde edilmiştir. Sulama suyu düzeylerine dayalı fizyolojik özelliklerin belirlenmesi için bitkiler örneklenmiştir. YSP tarlada basınç odası aleti ile belirlenmiştir. YSİ, YOSK, YAI, kuru madde ve klorofil içeriği laboratuvarında belirlenmiştir. Bu parametrelerin, infrared termometre ve spektrometre kullanılarak ölçülen verilerle hesaplanan CWSI, NDVI, SAVI, SR, WI ve WI / NDVI göstergeleri ve toprak su içeriği ile istatistiksel ilişkileri sonraki bölümde ele alınacaktır.

4.5.1 Yaprak su potansiyeli, yaprak su içeriği ve yaprak oransal su kapsamı

Bu çalışmada yaprak suyuna ilişkin yaprak su potansiyeli (YSP), yaprak oransal su kapsamı (YOSK) ve yaprak su içeriği (YSİ) belirlenmiştir. YSP diğer parametrelere göre, basınç odası cihazının kullanım kolaylığı ile daha sık belirlenmiştir (Şekil 4.13).

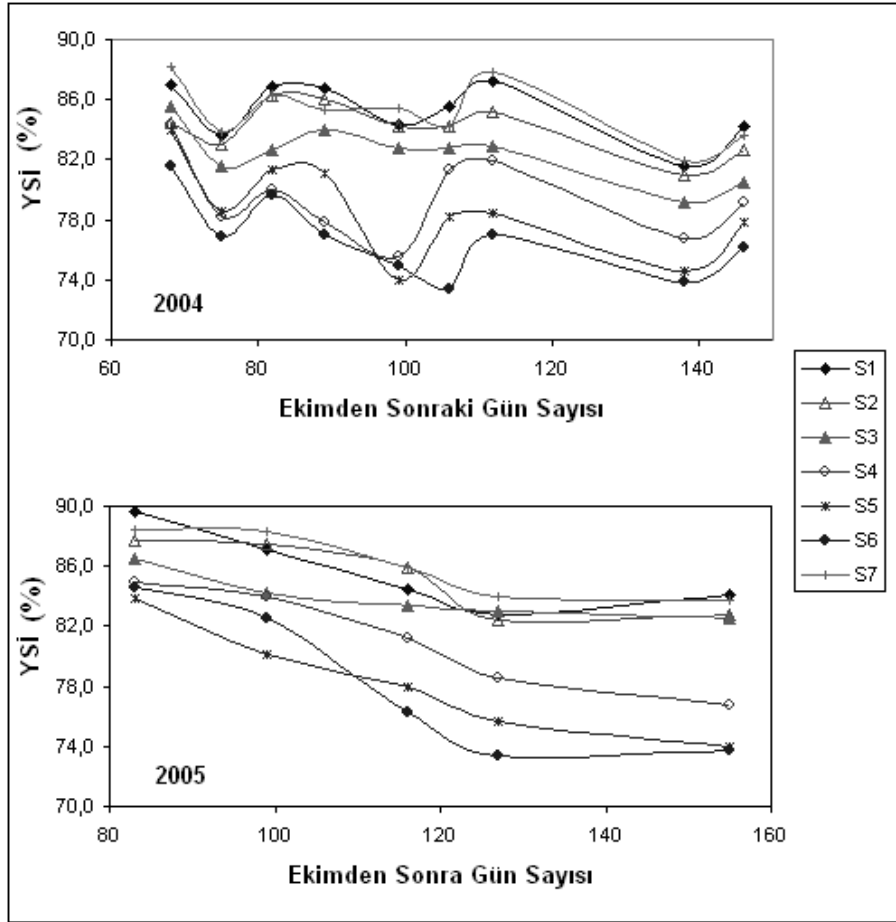


Şekil 4.13 Şeker pancarı 2004 ve 2005 yetiştirme dönemleri boyunca deneme konularına göre YSP değişimleri

Şeker pancarının dayanıklı yaprak ve sap yapısı basınç odası aletinde ölçüm için diğer bir çok bitkiye göre daha uygundur. Özellikle su stresinde olan bitkiler ile su stresinde olmayan bitkilerin YSP ile ayırt edilmesi oldukça pratik ve etkilidir. Yeterli düzeyde sulama suyu uygulanan koşullarda yetiştirme dönemi başından sonuna genel olarak önemli bir farklılık oluşmamış ve YSP yaklaşık -20 ile -25 bar arasında değişim göstermiştir. Su stresi koşullarında şeker pancarı YSP değerlerinin -50 bar değerine yaklaştığı gözlenmiştir. Yeterli ve daha az su stresi olan deneme konularında (S1, S2, S3 ve S7) sulama uygulamalarının ardından YSP değerleri yükselmiş daha sonra zamanla azalmıştır.

Denemenin yürütüldüğü yetiştirme dönemlerinde gerçekleşen YSİ ve YOSK değerlerindeki değişimler Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'de verilmiştir. YSİ ve YOSK

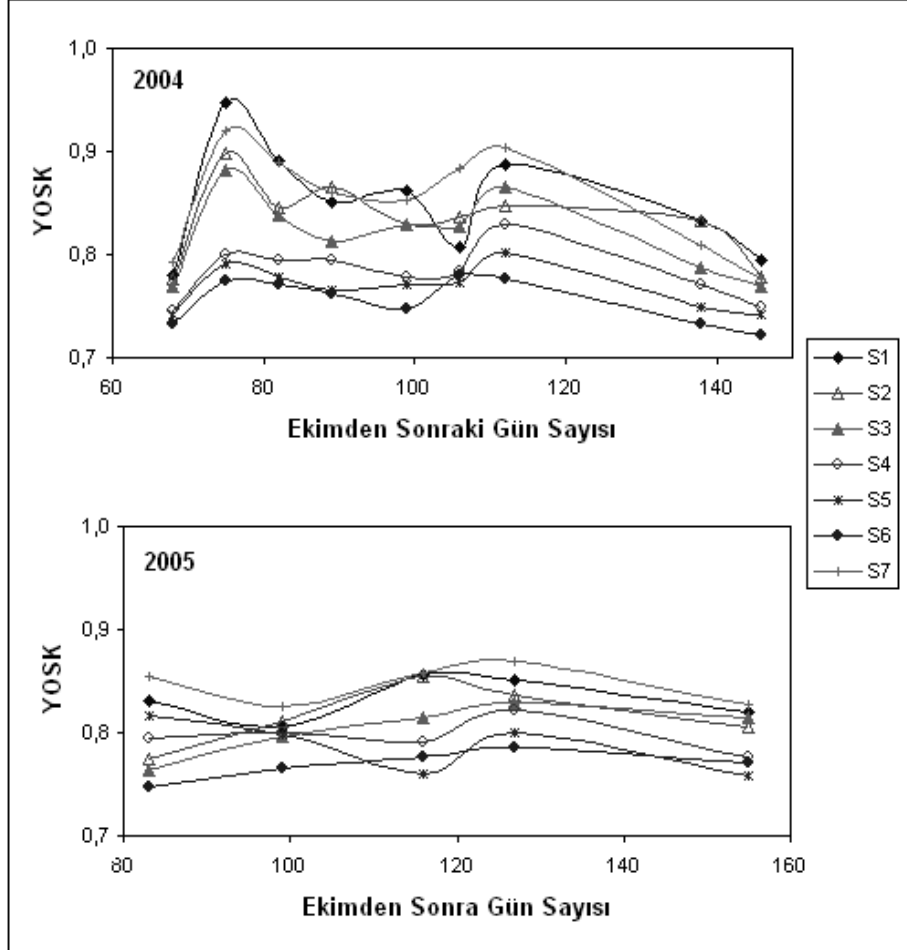
değerleri konulara verilen sulama suyu miktarları arttıkça artmış, azaldıkça azalmıştır. YSİ ve YOSK belirlenme yöntemlerinin zorluğu ve standart edilmesindeki kısıtlar nedeni ile araştırmalarda önemli bir parametre olmasına rağmen pratikte kullanımı zordur. Genel olarak YSİ % 74 ile % 90, YOSK 0,73 ile 0,95 arasında değişmiştir.



Şekil 4.14 Şeker pancarı 2004 ve 2005 yetiştirme dönemleri boyunca deneme konularına göre YSİ değişimleri

YSP deneme alanında ölçülmüştür ve yaprak örneğinin alınması ile ölçüm arasında bir dakikadan daha az zaman kayıp edilmiştir. Genel olarak yetiştirme periyodundaki değişimler incelendiğinde YOSK ve YSİ değerleri ile konular arası farklılık YSP kadar belirgin değildir. Bunda temel neden, YSİ ve YOSK belirlenmesi için alınan yaprak örneklerinin sonuca göre yenilenme olanağı YSP kadar pratik değildir. Ayrıca örnekleme, kurutma ve saf suda doymun duruma getirme işlemlerinin hata payı basınç

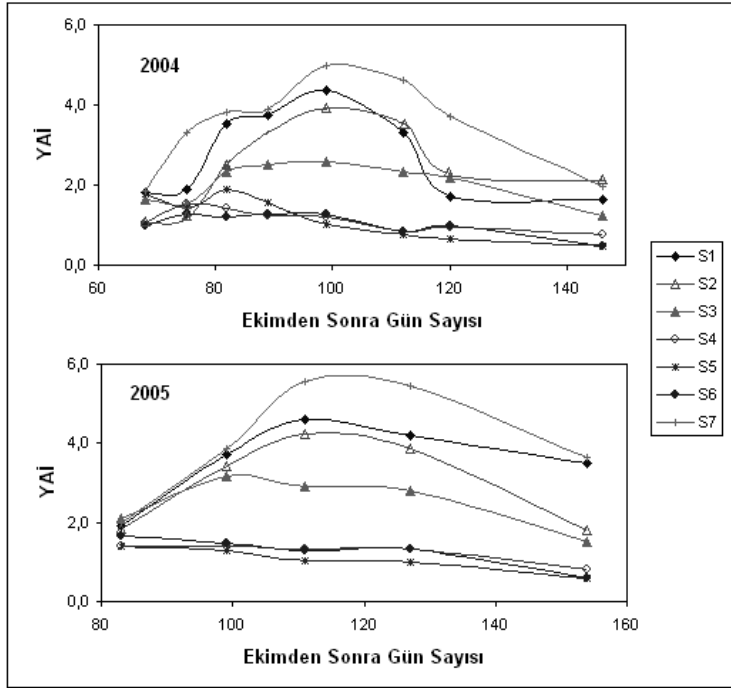
odası aletine göre daha yüksektir. Tüm bu nedenlerle YSP, YSİ ve YOSK içerisinde, en etkili sonuçlar basınç odası aleti ile belirlenen YSP ile elde edilmiştir.



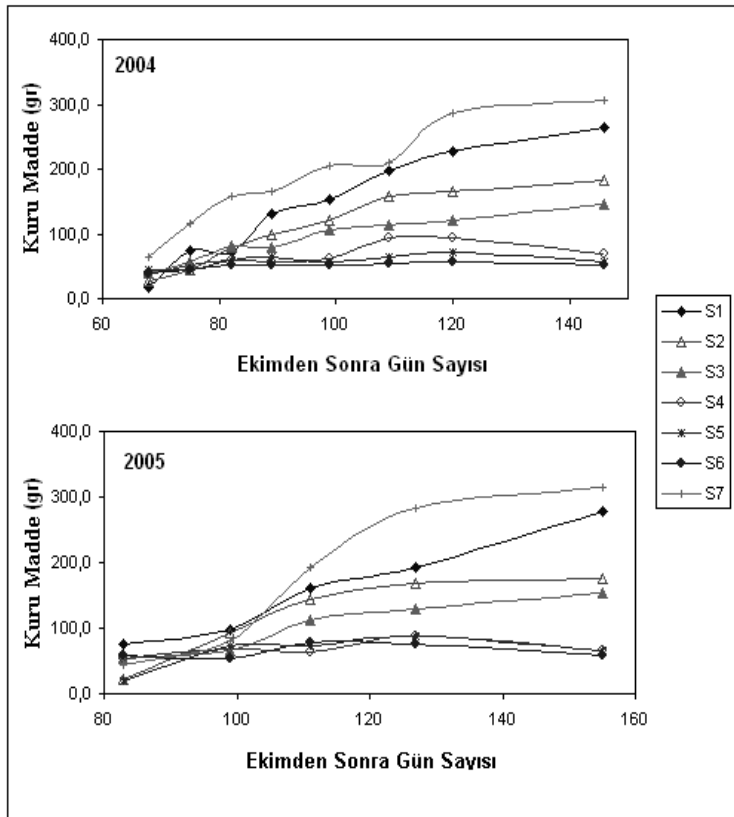
Şekil 4.15 Şeker pancarı 2004 ve 2005 yetiştirme dönemleri boyunca deneme konularına göre YSP, YOSK ve YSİ değişimleri

4.5.2 Yaprak alan indeksi, kuru madde ve klorofil içeriği

Yaprak alan indeksi (YAI), kuru madde ve klorofil değişimleri sırası ile Şekil 4.16, 4.17 ve 4.18’de verilmiştir. Yetiştirme döneminde şeker pancarı YAI belirli aralıklarla izlenmiştir. YAI değerleri sulama suyu arttıkça artmış, azaldıkça azalmıştır. YAI şeker pancarında yaklaşık 0,5 ile 5,5 arasında değişmiştir. En yüksek YAI değeri S7, en düşük YAI değeri S6 ve S5 konularında elde edilmiştir (Şekil 4.16). Her iki yılda da YAI yetiştirme dönemi ortasında en yüksek değere ulaşmıştır.



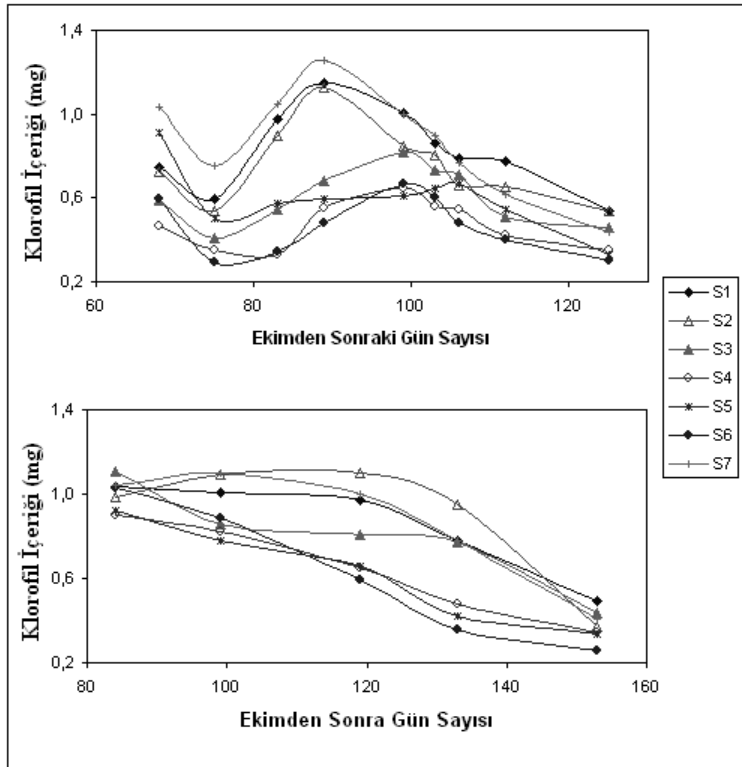
Şekil 4.16 Şeker pancarı 2004 ve 2005 yetiştirme dönemleri boyunca deneme konularına göre YAI değişimleri



Şekil 4.17 Şeker pancarı 2004 ve 2005 yetiştirme dönemleri boyunca deneme konularına göre kuru madde değişimleri

Kuru madde belirlemede YAI ile aynı yaklaşımla örneklenen bitkiler küçük parçalara ayrılarak etüvde sabit ağırlığa ulaşıncaya kadar kurutulmuştur ve tartılmıştır. Şeker pancarında kuru madde tüm bitki kullanılarak belirlenmiştir. Kuru madde çok sulanan konularda yüksek, az sulanan konularda düşük oluşmuştur (Şekil 4.17). Denemenin yürütüldüğü yetiştirme dönemlerinde kuru madde, S4, S5 ve S6 konuları dışında yetiştirme dönemi sonuna doğru artmıştır. Bu artış miktarı S7 ve S1 konularında S2 ve S3 konularına oranla daha fazladır.

Yetiştirme dönemi boyunca belirli aralıklarla alınan bitki örneklerinde yapılan toplam klorofil içeriği analizlerine göre, uygulanan sulama suyu düzeyi ve bitki su tüketimleri doğrultusunda gerçekleşen vejetatif gelişme ve dönem sonuna doğru özellikle az su uygulanan konularda meydana gelen fizyolojik değişimler klorofil içeriği üzerinde etkilidir. Denemenin yürütüldüğü yetiştirme dönemlerine ilişkin klorofil içeriği değişimleri Şekil 4.18’de görüldüğü gibi genel olarak sezon sonuna doğru azalmıştır.



Şekil 4.18 Şeker pancarı 2004 ve 2005 yetiştirme dönemleri boyunca deneme konularına göre klorofil içeriği değişimleri

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu bölümde, su stresi göstergeleri olan CWSI, YSP, YSİ, YOSK ve toprak su düzeyi, spektral göstergeler (NDVI, SAVI, SR, WI ve WI / NDVI) ve verim arasında regresyon analizleri yapılmıştır. Bu analizlerin yapılmasında SPSS 9.0 paket programından yararlanılmıştır (SPSS 1998). Ayrıca deneme konuları ve şeker pancarı kök ve artılmış şeker verimlerine varyans analizi ve Duncan testi uygulanmıştır.

5.1 Şeker Pancarı Verim ve Kalite Parametrelerine İlişkin Analizler

Deneme konularından elde edilen şeker pancarı kök verimlerine uygulanan varyans analizi sonucunda, her iki yılda konular arasında 0,01 düzeyinde istatistiksel farklılık belirlenmiştir (Çizelge 5.1). Yapılan Duncan testinde 2004 yılında altı farklı grup (S7 ve S1 birinci, S2 ikinci, S3 üçüncü, S4 dördüncü, S5 beşinci ve S6 altıncı grup), 2005 yılında beş farklı grup (S7, S1 ve S2 birinci, S3 ikinci, S4 üçüncü, S5 dördüncü ve S6 beşinci grup) oluşturmuştur (Çizelge 5.2).

Çizelge 5.1 Şeker pancarı kök verimi varyans analizi

Yıllar	Varyasyon Kaynakları	S.D	K.T.	K.O	F	Tablodan F	
						0,05	0,01
2004	Tekrarlamalar	2	293833,14	146916,57	1,36	3,89	6,93
	Konular	6	78384868,0	13064144,67	121,06**	3,00	4,82
	Hata	12	1294985,23	107915,44			
	Genel	20	79973686,38				
2005	Tekrarlamalar	2	210445,71	105222,86	1,01	3,89	6,93
	Konular	6	70267917,33	11711319,56	112,21**	3,00	4,82
	Hata	12	1252473,70	104372,81			
	Genel	20	71730836,75				
2004 ve 2005 birlikte	Bloklar	4	504286,48	126071,62	1,19	2,78	4,22
	Yıllar	1	3993304,38	3993304,38	37,62**	4,26	7,82
	Konular	6	147806933,33	24634488,89	174,74**	4,28	8,47
	Yıl X Konu	6	845859,62	140976,60	1,33	2,51	3,67
	Hata	24	2547451,32	106143,80			
	Genel	41	155697835,13				

CV=%7,47 (2004); CV=%6,45 (2005)

Yapılan khi kare analizi sonucunda khi kare katsayısı 0,00** olarak belirlenmiştir ve bu doğrultuda yapılan homejenlik testinde denemelerin hata varyanslarının homojen

olduğu tespit edilmiştir. Buna göre denemenin yürütüldüğü yıllar birleştirilebilir nitelikte bulunmuştur ve toplu analiz yapılmıştır. Yapılan toplu analiz ile konular arasında 0,01 düzeyinde istatistiksel farklılık belirlenmiştir. Her iki yıla ilişkin Duncan testinde beş farklı grup oluşmuştur (S7 ve S1 birinci, S2 ikinci, S3 üçüncü, S4 dördüncü, S5 ve S6 altıncı grup).

Çizelge 5.2 Konulara ilişkin şeker pancarı kök verimi ve Duncan sınıfları

Yıllar	Konu	Ortalama Kök Verimi (kg/da)	Duncan Sınıfları
2004	S1	6524,01	A
	S2	6002,74	AB
	S3	5155,01	B
	S4	2861,45	C
	S5	2241,43	CD
	S6	1635,12	D
	S7	6351,17	A
2005	S1	6592,57	A
	S2	6573,40	A
	S3	5829,90	B
	S4	3975,33	C
	S5	2850,50	D
	S6	2205,77	E
	S7	7060,37	A
2004 ve 2005 birlikte	S1	6558,29	A
	S2	6288,07	AB
	S3	5492,45	B
	S4	3418,39	C
	S5	2545,96	D
	S6	1920,44	D
	S7	6705,77	A

Deneme konularından elde edilen artırılmış şeker verimlerine uygulanan varyans analizi sonucunda, her iki yılda konular arasında 0,01 düzeyinde istatistiksel farklılık belirlenmiştir (Çizelge 5.3). Yapılan Duncan testinde 2004 yılında dört farklı grup (S7, S1, S2 ve S3 birinci, S4 ikinci, S5 üçüncü ve S6 dördüncü grup), 2005 yılında beş farklı grup (S7 birinci, S1 ve S2 ikinci, S3 üçüncü, S4 dördüncü, S5 ve S6 beşinci grup) oluşturmuştur (Çizelge 5.4). Yapılan khi kare analizi ile khi kare katsayısı 6,23** olarak belirlenmiştir ve bu doğrultuda yapılan homojenlik testinde denemelerin hata varyansları homojen çıkmış, yıllar birleştirilebilir nitelikte bulunmuştur. Buna göre toplu analiz yapılmıştır. Yapılan toplu analiz ile konular arasında 0,01 düzeyinde

istatistiksel farklılık belirlenmiştir. Yapılan Duncan testinde dört farklı grup oluşmuştur (S1, S2, S3 ve S7 birinci, S4 ikinci, S5 üçüncü ve S6 dördüncü grup).

Çizelge 5.3 Şeker pancarı artılmış şeker verimleri varyans analizi

Yıllar	Varyasyon kaynakları	S.D	K.T.	K.O	F	Tablodan F	
						0,05	0,01
2004	Tekrarlamalar	2	26249,14	13124,57	1,19	3,89	6,93
	Konular	6	3137489,67	522914,94	47,56**	3,00	4,82
	Hata	12	131944,84	10995,40			
	Genel	20	3295683,64				
2005	Tekrarlamalar	2	3,43	1,71	0,00	3,89	6,93
	Konular	6	2153847,75	358974,63	151,90**	3,00	4,82
	Hata	12	28359,63	2363,30			
	Genel	20					
2004 ve 2005 birlikte	Bloklar	4	26253,14	6563,29	0,98	2,78	4,22
	Yıllar	1	2531,43	2531,43	0,38	4,26	7,82
	Konular	6	5204490,92	867415,15	59,93**	4,28	8,47
	Yıl X Konu	6	86847,07	14474,51	2,17	2,51	3,67
	Hata	24	160303,89	6679,33			
	Genel	41	5480426,45				

CV=%11,58 (2004); CV=%5,46 (2005)

Çizelge 5.4 Konulara ilişkin artılmış şeker verimi ve Duncan sınıfları

Yıllar	Konu	Ortalama Artılmış Şeker Verimi (kg/da)	Duncan Sınıfları
2004	S1	1301,1	A
	S2	1218,5	A
	S3	1077,2	A
	S4	614,3	B
	S5	473,5	BC
	S6	336,9	C
	S7	1314,5	A
2005	S1	1148,70	AB
	S2	1137,43	AB
	S3	1062,03	B
	S4	764,07	C
	S5	491,63	D
	S6	379,70	D
	S7	1243,90	A
2004 ve 2005 birlikte	S1	1224,90	A
	S2	1177,97	A
	S3	1069,60	A
	S4	689,20	B
	S5	482,60	BC
	S6	358,32	C
	S7	1279,20	A

5.2 Toprak Su İçeriğine İlişkin Analizler

Farklı sulama suyu uygulamaları sonucunda, şeker pancarı deneme konularının her birinde yetiştirme dönemi boyunca farklı düzeylerde toprak su içeriği oluşturulmuştur. Deneme konularında farklı toprak su içerikleri, farklı su stresleri oluşturmuştur. Bunun sonucunda farklı vejetasyon düzeyleri oluşmuştur. Farklı su stresi ve gelişim düzeylerinin belirlenmesi amacı ile tespit edilen göstergeler ile toprak su içeriği değerleri arasında regresyon analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçları Çizelge 5.5’de verilmiştir. Denemenin yürütüldüğü 2004 ve 2005 yıllarına ait analiz sonuçları birbiri ile uyumludur. Ayrıca her iki yıla ilişkin tüm veriler birlikte analiz edilmiştir. Aşağıdaki değerlendirmelerde her iki deneme yılına ait verilerin birlikte analiz edildiği istatistiksel ilişkiler değerlendirilecektir.

Çizelge 5.5 Toprak su içeriği (0-90 cm) ile Tc-Ta, CWSI, YSP, YOSK, YSİ, NDVI, SR, SAVI, WI ve WI / NDVI istatistiksel analiz sonuçları

Gösterge	2004 Yılı				2005 Yılı				2004 ve 2005 Yılı Birlikte			
	r	t	a	b	r	t	a	b	r	t	a	b
Tc-Ta	0,64**	6,20**	5,25	-0,044	0,60**	6,55**	5,06	-0,04	0,63**	6,29**	5,18	-0,043
CWSI	0,70**	7,12**	1,25	-0,005	0,71**	8,61**	1,28	-0,01	0,69**	7,53**	1,25	-0,005
YSP	0,82**	9,71**	49,34	-0,12	0,69**	7,03**	-45,1	0,11	0,78**	9,04**	-47,09	0,114
YOSK	0,51**	3,75**	0,73	0,001	0,55**	3,79**	0,76	0,0003	0,51**	3,43**	0,74	0,0004
YSİ	0,76**	5,81**	73,1	0,054	0,87**	10,09**	71,5	0,066	0,81**	7,91**	72,65	0,058
NDVI	0,62**	5,81**	0,55	0,001	0,66**	6,88**	0,56	0,002	0,64**	7,36**	0,56	0,0014
SR	0,46**	3,79**	2,72	0,055	0,55**	5,13**	0,22	0,08	0,50**	5,16**	1,48	0,066
SAVI	0,42**	3,36**	0,21	0,0004	0,60**	5,79**	0,4	0,001	0,50**	5,19**	0,43	0,001
WI	0,49**	4,12**	1,04	0,001	0,58**	5,57**	1,03	0,001	0,54**	5,65**	1,04	0,001
WI / NDVI	0,61**	5,71**	1,90	-0,003	0,62**	6,24**	1,84	-0,002	0,61**	6,92**	1,86	-0,003

** P<0,01

Bitki yüzey sıcaklığına ilişkin göstergeler ile toprak su içeriği arasındaki istatistiksel ilişkilerin korelasyon katsayıları, Tc-Ta için 0,63 ve CWSI için 0,69 olarak belirlenmiştir. Buna göre, bitki yüzey sıcaklığının toprakta bulunan elverişli su ile doğrudan ilişkili olduğu ve şeker pancarında sulama zamanını tespit etmede yüzey sıcaklığına dayalı göstergelerin yararlı olduğu söylenebilir. Bitki yüzey sıcaklığı

yapraklarda bulunan suyun ve terlemenin bir fonksiyonudur. YSP, YOSK ve YSI parametrelerinin toprak suyu ile istatistiksel analiz edilmeleri sonucunda elde edilen korelasyon katsayıları sırası ile 0,78, 0,51 ve 0,81'dir. YOSK parametresinin korelasyon katsayısının diğerlerine göre daha düşük olmasındaki temel neden olarak yaprakların doymuş duruma getirilmesinde standart bir düzey elde etmedeki zorluk görülebilir. Buna göre, analiz sonucu 0,01 düzeyinde önemli olmasına karşın, YSI ve YSP ölçüm yöntemleri daha basit olması nedeniyle şeker pancarı için daha çok önerilebilir.

Regresyon analiz sonuçlarına göre, YSP ve YSI bitki yüzey sıcaklığına ilişkin göstergeler olan Tc-Ta ve CWSI'ye göre toprak su içeriğine daha duyarlıdır. Bu durum daha önce yapılan araştırmalar ile uyumludur. Stricevic and Caki (1997) sorgumda toprak su içeriği, YSP ve Tc-Ta ilişkilerini, Olufayo *et al.* (1996) sorgumda toprak su içeriği, CWSI ve YSP ilişkilerini irdelenmiştir ve bu parametrelerin birbiri üzerinde çok etkili olduğu belirtilmiştir. Smith *et al.* (1989), bitki yüzey sıcaklığı kullanılarak toprak yapısı ve elverişli toprak su düzeyinin yarı varyans analiz kullanılarak tespit edilebileceğini ortaya koymuştur. Choudhury and Idso (1984) ayçiçeğinde yaptıkları çalışmada, yüksek toprak su içeriği koşullarında, bitki örtü sıcaklığı üzerinde hava ve çiğlenme sıcaklıklarının etkili olduğunu belirlemiştir. Bu sonuçlar birçok çalışmada belirlenen Tc-Ta ile VPD arasındaki ilişkiyle uyumludur. Çalışma sonuçlarına göre, uzaktan algılama bitki kök bölgesindeki toprak su içeriğini tahmin etmede etkili olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, toprak su içeriğine YSP'nin Tc-Ta ya göre daha duyarlı olduğu belirtilmiştir. Howell *et al.* (1984) pamukta yaptıkları çalışmada CWSI ve YSP ile kök bölgesi elektriksel iletkenliği arasında (sırası ile $r=0,90$ ve $r=0,88$) istatistiksel bakımdan önemli ilişkiler belirlemiştir. Çalışmada CWSI'nin matrik potansiyele ve matrik potansiyelin olmadığı koşullarda ozmotik potansiyele duyarlı olduğu tespit edilmiştir. Mısırdaki yapılan diğer bir çalışmada toprak suyu ile CWSI istatistiksel ilişkisinin korelasyon katsayısı 0,78 olarak hesaplanmıştır (Sadler *et al.* 2000). Orta vd (2001) ve Nielsen and Anderson (1989) ayçiçeğinde CWSI ile toprak suyu arasında yüksek korelasyonlar tespit etmişlerdir.

Tüm bu analiz ve değerlendirmelere göre, YSP ve YSI, bitki yüzey sıcaklığına dayalı indekslere göre, toprak suyuna daha duyarlıdır. Bununla birlikte, büyük alanlarda

sulama zamanını belirlemede Tc-Ta ve buna dayalı hesaplanan CWSI, ölçüm tekniğinin kolaylığı sayesinde, şeker pancarının sulama zamanı planlamasında etkili bir biçimde kullanılabilir.

Spektral indekslerden NDVI, SR ve SAVI bitki gelişim seviyelerinin izlenmesi, WI ve WI – NDVI oranı bitki su düzeyinin izlenmesi amacı ile geliştirilmiştir. Toprak su içeriğinin bu indeksler üzerindeki etkisi, ölçüm anındaki toprak su içeriğinden çok ölçüm zamanına kadar geçen dönemde toprak suyuna dayalı gerçekleşen bitki gelişimi ile ilişkilidir. Bu indekslerin toprak su içeriği ile ilişkileri bu kapsamda değerlendirilecektir. Genel olarak 2004 ve 2005 yıllarına ilişkin analizler birbiriyle uyumludur ve bu yıllar birlikte de analiz edilmiştir. Değerlendirmelerde 2004 ve 2005 yıllarının birlikte analiz edilmeleri ile elde edilen sonuçlar kullanılacaktır (Çizelge 5.5).

Toprak su içeriği ile NDVI, SR ve SAVI arasındaki istatistiksel ilişkinin korelasyon katsayıları sırası ile 0,64, 0,50 ve 0,50 olarak belirlenmiştir. WI ve WI / NDVI ile toprak suyunun regresyon analizi sonucunda korelasyon katsayıları sırası ile 0,54 ve 0,61'dir (Çizelge 5.5). Heute (1988) geliştirdiği SAVI ile diğer spektral indekslere göre bitkinin bulunduğu topraktan meydana gelen yansımaların etkilerini azaltmayı hedeflemiştir. Şeker pancarında toprak su içeriği (0-90 cm) ile spektral indekslerin istatistiksel ilişkileri irdelendiğinde SAVI ile diğer indeksler arasında büyük bir farklılığın bulunmadığı belirlenmiştir (Çizelge 5.5). Şeker pancarı yetiştirme periyodunda S1, S2, S3 ve S7 konularında toprak yüzeyi bitki yaprakları ile tam olarak kapanmıştır. SAVI'nin toprak yansımalarına duyarlılığını irdelemek amacı ile S4, S5 ve S6 konularına ilişkin toprak su düzeyleri ve spektral indeksler tekrar analiz edilmiştir. Deneme konularının tümü kullanılarak yapılan analizlerde en küçük korelasyon katsayısı SAVI'ye ($r=0,50^{**}$) ve en yüksek değer NDVI'a ($r=0,64^{**}$) aittir. Sadece S4, S5 ve S6 konularına (tam örtü oluşmayan konular) ilişkin toprak suyu ve spektral indekslerin istatistiksel analizi sonucunda, en düşük korelasyon katsayısı SAVI ($r=0,60^{**}$) ve en yüksek korelasyon katsayısı NDVI ($r=0,70^{**}$) değerleri ile hesaplanmıştır. Benzer analizler 0-30 cm toprak derinliğine ilişkin nem değerleri kullanılarak da yapılmıştır ve bu analiz sonuçlarına göre en düşük korelasyon katsayısı SAVI değerleri ($r=0,59^{**}$) ve en yüksek korelasyon katsayısı NDVI ve WI değerlerine

($r=0,72^{**}$) aittir. Tüm bu analizlere göre, SAVI toprakta ölçüm sırasında bulunan nem ile en düşük korelasyon katsayılarına sahiptir. Başka bir ifade ile SAVI dışındaki diğer indeksler, hem vejetasyon düzeyinden, hem de toprakta neme dayalı bazı renk değişikliklerinden daha fazla etkilenmektedirler. Bunun sonucunda, SAVI'nin bitki gelişim düzeylerini izlemede daha etkili olacağı söylenebilir. Qi *et al.* (1993) tarafından yapılan çalışmada benzer bulgulara ulaşılmıştır. Çalışmada tam örtüye sahip olmayan bitkilerin gözlenmesinde NDVI'nın toprak neminden SAVI'ye nazaran daha fazla etkilendiği belirtilmiştir.

5.3 Yaprak Sıcaklığı ve Yaprak Su Potansiyeline İlişkin Analizler

Bu bölümde Tc-Ta ve CWSI ile YSP, YSİ, YOSK ve klorofil içeriği ve YSP ile YSİ, YOSK ve klorofil içeriği ilişkileri irdelenmiştir (Çizelge 5.6, Çizelge 5.7 ve Çizelge 5.8). Tc-Ta, CWSI ve YSP ile spektral indeksler ve şeker pancarı kök ve arttırılmış şeker verimi analizlerine sonraki bölümlerde yer verilecektir.

Çizelge 5.6 Tc-Ta ile YSP, YOSK, YSİ ve klorofil içeriği istatistiksel analiz sonuçları

Gösterge	2004 Yılı				2005 Yılı				2004 ve 2005 Yılı Birlikte			
	r	t	a	b	r	t	a	b	r	t	a	b
YSP	0,78**	12,14**	-34,4	-1,6	0,67**	9,50**	-29,6	-1,6	0,67**	13,16**	-31,65	-1,5
YOSK	0,65**	5,88**	37,9	-49,6	0,67**	5,14**	0,8	-0,01	0,64**	7,55**	0,79	-0,01
YSİ	0,64**	5,74**	47,7	-0,6	0,69**	5,52**	81,2	-0,8	0,67**	8,07**	80,95	-0,7
Klorofil	0,69**	6,05**	0,6	0,1	0,48**	3,15**	0,7	-0,03	0,58**	6,09**	0,62	-0,04

** P<0,01

Tc-Ta ve CWSI ile YSP, YSİ ve YOSK ilişkileri istatistiksel bakımdan önemlidir. Özellikle YSP tarlada, bitki sıcaklık ölçümleri ile aynı zamanda belirlendiği için, CWSI ve Tc-Ta ile daha yüksek bir korelasyona sahiptir (Çizelge 5.6 ve Çizelge 5.7)

Bitki yapraklarının su içeriği YSP, YOSK ve YSİ ile ortaya koyulmuştur. Bilindiği gibi, bitki yeterince terleme yapabildiğinde yüzey sıcaklığı hava sıcaklığından daha düşüktür. Bu nedenle bitki örtü sıcaklığı toprak su içeriği kadar bitki su içeriğine de bağlıdır.

Çizelge 5.6’da yer alan regresyon analizi sonuçlarına göre Tc-Ta ile YSP, YOSK ve YSİ korelasyon katsayıları sırasıyla 0,67, 0,64 ve 0,67’dir. Buna göre şeker pancarında uzaktan algılama ile belirlenen Tc-Ta, örnekleme ile belirlenen YSP, YOSK ve YSİ kadar su stresinin izlenmesinde etkili olduğu gibi, ölçüm yöntemi bakımından daha kolaydır ve büyük alanların irdelenmesinde daha kolay kullanılabilir. Yapılan benzer bir çalışmada Penuelas *et al.* (1993b) çeşitli bitkilerde Tc-Ta ile YOSK (0,88**) ve YSP (0,79*) arasında önemli istatistiksel ilişkiler tespit etmişlerdir.

Çizelge 5.7 CWSI ile YSP, YOSK, YSİ ve klorofil içeriği istatistiksel analiz sonuçları

Gösterge	2004 Yılı				2005 Yılı				2004 ve 2005 Yılı Birlikte			
	r	t	a	b	r	t	a	b	r	t	a	b
YSP	0,84**	15,22**	-24,0	-16,42	0,73**	11,16**	-21,4	-14,5	0,76**	16,81**	-22,72	-12,18
YOSK	0,76**	8,12**	0,84	0,086	0,67**	5,23**	0,83	-0,05	0,71**	9,22**	0,83	-0,069
YSİ	0,66**	6,05**	6,28	-0,071	0,72**	5,98**	85,3	-6,9	0,68**	8,51**	84,88	-6,42
Klorofil	0,57**	4,43**	1,05	-1,01	0,45**	2,87**	0,86	-0,28	0,50**	5,02**	0,82	-0,30

** P<0,01

Bitki su stresinin tespitinde Tc-Ta’nın etkinliğinin artırılması amacıyla geliştirilen CWSI ile YSP, YOSK ve YSİ regresyon analiz sonuçlarına göre korelasyon katsayıları sırasıyla 0,76, 0,71 ve 0,68 olarak belirlenmiştir (Çizelge 5.7). Analiz sonuçlarında da görüldüğü gibi korelasyon katsayıları, Tc-Ta analizlerine göre daha yüksektir. Buna göre, şeker pancarı sulama zamanı tespitinde CWSI etkili bir göstergedir. Bu bulgu yapılan birçok çalışma ile uyumludur. Yuan *et al.* (2004) ve Howell *et al.* (1986)’da yer verilen istatistiksel analiz sonuçlarına göre, buğdayda başaklanmadan önce ve sonra CWSI ile YSP arasında önemli istatistiksel ilişkiler bulunmaktadır. Alderfasi and Nielsen (2001) CWSI’nin buğdayda bitki su düzeyinin izlenmesinde ve sulama zamanı planlamasında etkili olduğunu belirtmektedir. Olufayo *et al.* (1996) sorgumda CWSI ve YSP’nin uyumlu olduğunu belirlemiştir. Sepaskhah and Kashefipour (1994) yaptıkları çalışmada, ıhlamur ağaçlarında CWSI ile YSP istatistiksel ilişkisinin korelasyon katsayısını -0,47 olarak hesaplamıştır. Çoklu regresyon analizine tabi tutulan CWSI ve YSP’ye VPD eklenmiştir ve bu yolla korelasyon katsayısı 0,80 değerine yükselmiştir. Howell *et al.* (1984) pamukta, Nielsen (1990) soya fasulyesinde, Nielsen and Anderson

(1989) ayçiçeğinde CWSI ile YSP arasında istatistiksel bakımdan önemli ilişkiler belirlenmiştir.

YSP belirleme yönetimi gereği YSI ve YSOK'a göre daha güvenilir bir parametredir. Tarla başında belirlenen YSP aynı deneme konusunda aynı anda çok sayıda örneğin, örnekleminin hemen ardından ölçümü ile belirlenebilmektedir. YSP ile YOSK ve YSI göstergelerinin istatistik analizi bir anlamda belirlenme sürecinde YSP'ye göre hata yapma olasılığı daha yüksek olan YOSK ve YSI'nin güvenilirliğinin sınanmasıdır. Çizelge 5.8'de verilen analiz sonuçlarına göre YSP ile YOSK ($r=0,63$) ve YSI'nin ($r=0,83$) önemli ilişkilere sahip olduğu görülmektedir ve korelasyon katsayılarına göre YSP'ye YSI daha duyarlıdır. Bunun nedeni YOSK belirlemede doygun yaprak su düzeyinin standart edilmesindeki güçlülüdür. Tc-Ta, CWSI ve YSP'nin klorofil içeriği ile sahip oldukları ilişkinin önem düzeyi bu iki parametrenin bitkinin sağlıklı gelişimine ilişkin önemli bir gösterge niteliğinde olduğunu ortaya koymaktadır.

Çizelge 5.8 YSP ile YOSK, YSI ve klorofil içeriği istatistiksel analiz sonuçları

Gösterge	2004 Yılı				2005 Yılı				2004 ve 2005 Yılı Birlikte			
	r	t	a	b	r	t	a	b	r	t	a	b
YOSK	0,73**	8,30**	0,96	0,05	0,54**	3,72**	0,86	0,02	0,63**	7,90**	0,91	0,004
YSI	0,77**	9,41**	93,8	0,40	0,90**	12,16**	94,6	0,45	0,83**	14,43**	94,07	0,42
Klorofil	0,48**	4,29**	1,08	0,014	0,81**	7,90**	1,41	0,02	0,64**	8,07**	1,24	0,02

** P<0,01

5.4 Spektral İndekslere İlişkin Analizler

NDVI, en yaygın olarak bilinen ve kullanılan spektral vejetasyon indekslerinden birisidir. NDVI ile diğer göstergelerin istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 5.9'da verilmiştir. NDVI irdelenen göstergelerin çoğunluğu ile önemli istatistiksel ilişkilere sahiptir. Deneme verilerin istatistiksel analizleri incelendiğinde NDVI ile en önemli istatistiksel ilişkinin YSP arasında olduğu görülmektedir. Şeker pancarı bitkisinde SR değerlendirildiğinde, istatistiksel analiz sonuçlarına göre SR'nin hem su stresine hem de bitki gelişim düzeyine duyarlı olduğu görülmektedir. SR ile en güçlü istatistiksel

ilişkinin YAI ve en zayıf istatistiksel ilişkinin Kuru madde arasında olduğu belirlenmiştir (Çizelge 5.10).

Çizelge 5.9 NDVI ile Tc-Ta, CWSI, YSP, YOSK, YSI, YAI, Kuru madde ve klorofil içeriği istatistiksel analiz sonuçları

Gösterge	2004 Yılı				2005 Yılı				2004 ve 2005 Yılı Birlikte			
	r	t	a	b	r	t	a	b	r	t	a	b
Tc-Ta	0,72**	10,48**	13,63	-20,3	0,64**	9,50**	0,78	-0,02	0,66**	13,35**	13,94	-19,5
CWSI	0,73**	10,94**	2,13	-2,19	0,65**	9,51**	0,88	-0,18	0,68**	14,07**	2,22	-2,26
YSP	0,79**	12,42**	66,41	-45,3	0,85**	16,66**	1,1	0,012	0,81**	19,61**	-69,84	51,43
YOSK	0,56**	4,63**	0,67	0,17	0,47**	3,07**	-0,83	2,02	0,53**	5,66**	0,69	0,15
YSI	0,74**	7,51**	67,72	18,19	0,87**	10,29**	-1,51	0,03	0,80**	11,89**	64,99	21,81
YAI	0,68**	6,49**	-2,24	5,36	0,63**	4,67**	0,65	0,06	0,64**	0,77**	0,65	0,07
Kuru Madde	0,21 ^{öd}	1,54 ^{öd}	1,96	151,7	0,31 ^{öd}	1,85 ^{öd}	0,74	0,001	0,23*	2,27*	11,24	0,018
Klorofil	0,61**	4,83**	-0,3	1,16	0,69**	5,49**	0,6	0,32	0,62**	6,81**	-0,34	1,28

** P<0,01; * P<0,05; öd: önemli değil

Çizelge 5.10 SR ile Tc-Ta, CWSI, YSP, YOSK, YSI, YAI, Kuru madde ve klorofil içeriği istatistiksel analiz sonuçları

Gösterge	2004 Yılı				2005 Yılı				2004 ve 2005 Yılı Birlikte			
	r	t	a	b	r	t	a	b	r	t	a	b
Tc-Ta	0,71**	10,08**	2,29	-0,37	0,71**	11,23**	11,3	-1,3	0,70**	14,76**	3,24	-0,38
CWSI	0,74**	11,09**	0,91	-0,04	0,70**	10,81**	17,14	-10,4	0,68**	14,07**	0,98	-0,04
YSP	0,76**	11,35**	41,11	-0,81	0,72**	10,80**	27,8	0,55	0,72**	14,78**	-40,0	0,86
YOSK	0,69**	6,50**	0,75	0,004	0,49**	3,21**	-69,4	102,4	0,62**	7,25**	0,76	0,004
YSI	0,73**	7,41**	77,32	0,36	0,80**	7,75**	-89,5	1,24	0,75**	10,36**	76,83	0,41
YAI	0,71**	10,08**	0,35	0,13	0,68**	5,31**	5,34	3,34	0,77**	11,24**	3,8	4,39
Kuru Madde	0,21 ^{öd}	1,59 ^{öd}	85,5	2,85	0,27 ^{öd}	1,59 ^{öd}	10,53	0,03	0,23*	2,19*	0,76	0,0004
Klorofil	0,72**	6,49**	-57,1	0,34	0,02	4,52**	1,37	14,9	0,62**	6,87**	0,4	0,022

** P<0,01; * P<0,05; öd: önemli değil

İstatistiksel analiz sonuçlarına göre şeker pancarı bitkisinin su stresi ve vejetasyon düzeyinin izlenmesinde SAVI'nin etkili bir spektral indeks olduğu belirlenmiştir. SAVI ile en önemli istatistiksel ilişkinin Tc-Ta, CWSI ve YSP, en güçsüz ilişkinin ise Kuru

madde arasında olduğu belirlenmiştir (Çizelge 5.11). WI ve WI –NDVI oranı ile diğer parametreler arasında önemli istatistiksel ilişkiler tespit edilmiştir (Çizelge 5.12 ve Çizelge 5.13). WI ile en önemli istatistiksel ilişkinin CWSI, en güçsüz ilişkinin ise YSI ve YOSK arasında, WI – NDVI oranı ile en önemli istatistiksel ilişkinin YSI arasında olduğu belirlenmiştir. Kuru madde ile her iki spektral indeks arasında istatistiksel bir ilişki tespit edilememiştir.

Çizelge 5.11 SAVI ile Tc-Ta, CWSI, YSP, YOSK, YSI, YAI, Kuru madde ve klorofil içeriği istatistiksel analiz sonuçları

Gösterge	2004 Yılı				2005 Yılı				2004 ve 2005 Yılı Birlikte			
	r	t	a	b	r	t	a	b	r	t	a	b
Tc-Ta	0,70**	9,94**	10,99	-48,16	0,72**	11,47**	0,57	-0,21	0,72**	15,55**	12,61	-23,4
CWSI	0,71**	10,12**	1,83	5,15	0,72**	11,60**	0,67	-0,17	0,71**	15,21**	2,01	-2,61
YSP	0,77**	11,86**	-61,4	48,96	0,84**	15,96**	0,88	0,01	0,74**	15,88**	-61,3	53,1
YOSK	0,52**	4,20**	0,69	0,40	0,57**	4,02**	-1,1	2,15	0,48**	5,02**	0,73	0,13
YSI	0,75**	7,77**	69,14	46,67	0,87**	10,29**	-1,4	0,02	0,68**	8,45**	72,2	17,07
YAI	0,72**	7,32**	-2,1	14,7	0,71**	5,80**	0,45	0,06	0,72**	9,78**	0,46	0,07
Kuru Madde	0,35**	2,71**	291,0	0,62**	0,35*	2,17*	0,53	0,001	0,35**	3,51**	0,56	0,001
Klorofil	0,54**	4,09**	-0,11	2,59	0,66**	5,02**	0,39	0,26	0,47**	4,58**	0,39	0,72

** P<0,01; * P<0,05

Çizelge 5.12 WI ile Tc-Ta, CWSI, YSP, YOSK, YSI, YAI, Kuru madde ve klorofil içeriği istatistiksel analiz sonuçları

Gösterge	2004 Yılı				2005 Yılı				2004 ve 2005 Yılı Birlikte			
	r	t	a	b	r	t	a	b	r	t	a	b
Tc-Ta	0,77**	12,09**	47,8	44,1	0,73**	11,99**	1,1	-0,01	0,75**	17,04**	50,77	-46,18
CWSI	0,76**	11,72**	5,6	-4,6	0,75**	12,45**	1,2	-0,1	0,75**	16,98**	6,3	-5,19
YSP	0,79**	12,58**	136,73	93,1	0,77**	12,72**	1,3	0,01	0,75**	16,18**	-143	100,38
YOSK	0,66**	6,05**	0,31	0,43	0,51**	3,45**	0,3	1,02	0,61**	7,01**	0,39	0,37
YSI	0,76**	7,91**	37,05	39,63	0,79**	7,35**	0,18	0,01	0,76**	10,62**	31,63	44,62
YAI	0,84**	10,88**	14,93	14,87	0,65**	4,91**	1,1	0,03	0,74**	10,42**	1,06	0,04
Kuru Madde	0,43**	3,48**	-639,3	666,9	0,41*	2,55*	1,1	0,0004	0,42**	4,36**	1,11	0,0003
Klorofil	0,70**	6,16**	-2,19	2,47	0,55**	3,76**	1,04	0,12	0,59**	6,29**	-1,98	2,34

** P<0,01; * P<0,05

Çizelge 5.13 WI - NDVI oranı ile Tc-Ta, CWSI, YSP, YOSK, YSİ, YAİ, Kuru madde ve klorofil içeriği istatistiksel analiz sonuçları

Gösterge	2004 Yılı				2005 Yılı				2004 ve 2005 Yılı Birlikte			
	r	t	a	b	r	t	a	b	r	t	a	b
Tc-Ta	0,62**	7,98**	-18,84	11,2	0,50**	6,41**	1,5	0,03	0,53**	9,45**	-15,50	9,58
CWSI	0,64**	8,46**	-1,41	1,23	0,50**	6,46**	1,3	0,26	0,55**	9,97**	-1,2	1,12
YSP	0,69**	9,37**	-6,74	-25,37	0,77**	12,81**	0,9	-0,02	0,73**	15,59**	12,56	-28,43
YOSK	0,38**	2,82**	0,90	-0,07	0,40*	2,48*	4,1	-3,3	0,41**	4,06**	0,91	-0,07
YSİ	0,40**	5,30**	94,95	-8,69	0,82**	8,35**	5,6	-0,05	0,76**	10,55**	101,46	-13,12
YAİ	0,51**	4,16**	5,6	-2,43	0,53**	3,55**	1,7	-0,1	0,49**	5,35**	1,64	-0,09
Kuru Madde	0,11 ^{öd}	0,79 ^{öd}	193,6	-47,4	0,24 ^{öd}	1,39 ^{öd}	1,56	-0,001	0,16 ^{öd}	1,49 ^{öd}	1,48	-0,0004
Klorofil	0,48**	3,46**	1,48	-0,58	0,65**	4,98**	1,9	-0,57	0,55**	5,66**	1,65	-0,66

** P<0,01; * P<0,05; öd: önemli değil

Şeker pancarında belirlenen spektral vejetasyon indeksleri ile CWSI ve Tc-Ta regresyon analizleri sonuçlarına göre, indekslerin tümü önemli istatistiksel ilişkilere sahiptir. En önemli istatistiksel ilişki Penuelas *et al.* (1997) tarafından geliştirilen ve 920nm-1070nm yansıma oranı değişimine dayalı hesaplanan WI (r=0,75) sahiptir. Bu sonuca göre, şeker pancarının su stresinin izlenmesinde en etkili spektral indeksin WI olduğu söylenebilir.

Bunun ötesinde diğer spektral indekslere ilişkin daha önce yapılan çalışmalar ile şeker pancarına ilişkin bulgular aynı doğrultudadır. Pinter (1983) tarafından yonca bitkisi ile yapılan arazi denemesi sonuçları SR ile CWSI değerlerinin yetiştirme dönemi boyunca uyumlu bir biçimde değiştiğini göstermektedir. Saha *et al.* (1986)'ya göre SR, CWSI ile önemli bir istatistiksel ilişkiye sahiptir. Luquet *et al.* (2003) pamuk bitkisinde Tc-Ta ile NDVI arasında önemli bir istatistiksel ilişki belirlemiştir. Cure *et al.* (1989) su stresine maruz kalan ve kalmayan soya fasulyesinde spektral yansımalar ile örtü sıcaklığının, Tc-Ta'ya göre daha iyi bir korelasyona sahip olduğunu belirtilmiştir.

Bu çalışmada ele alınan spektral indekslerin, farklı sulama suyu uygulamaları ile oluşturulan çeşitli bitki su kapsamalarına duyarlılıklarının değerlendirilmesi amacı ile spektral indeksler ile YSP arasındaki istatistiksel analizler, çeşitli YSP aralıkları için tekrarlanmıştır. Şeker pancarı YSP değerinin -25 bar'dan büyük olması (n=90) ve YSP

değerinin – 30 bar'dan büyük olması (n=82) koşullarında hemen tüm spektral indeksler ile YSP arasında 0,01 önem düzeyinde (YSP < -25 bar için WI ilişkisi 0,05 düzeyinde önemli) istatistiksel ilişkiler belirlenmiştir. YSP'nin -20 ile -25 bar (n=68) ve -40 ile -45 bar (n=21) arasındaki değerleri kullanılarak yapılan istatistiksel analiz sonuçlarına göre irdelenen spektral indekslerin hemen tamamının YSP ile ilişkisinin önemsiz olduğu (YSP -40 ile -45 bar arasında SR ilişkisi 0,05 düzeyinde önemli) belirlenmiştir. Bu analiz sonuçlarına göre spektral indekslerin YSP'deki büyük değişimlere duyarlı, küçük değişimlere duyarsız olduğu söylenebilir. YSP değerlerindeki büyük değişimlere duyarlılığı aynı zamanda bitki vejetasyon düzeyine de dayalıdır. Buna göre spektral vejetasyon indekslerinin sulama zamanı belirlemede kullanımı gerekli hassasiyeti sağlayamayacaktır. Bu değerlendirmeler daha önce yapılan çalışmalarla uyumludur. Bowman (1989) yaptığı çalışmada NIR bölgede (700-1100 nm) meydana gelen spektral yansıma oranlarına dayalı indekslerin, pamuğun bitki su içeriği ve dolayısı ile sulama zamanı planlamasında kullanım olanaklarını irdelenmiştir. Pamukta % 80-100 arasındaki YSİ, 810 nm dalga boyunda gerçekleşen yansıma oranı ile önemli istatistiksel ilişkilere sahipken, % 80-90 arasındaki YSİ ile ilişkisi önemsizdir. Thomas *et al.* (1971) tarafından pamukta benzer bir çalışma yapılmıştır. Çalışmaya göre spektral indeksler genel olarak sulama zamanı planlamada kullanılabilir olarak nitelense de, su stresi belirtilerindeki küçük değişikliklere duyarsız olarak nitelenmiştir. Cohen (1991), Riggs and Running (1991) ve Danson *et al.* (1992) NIR yansıma oranlarının bitki su stresi belirlemede kullanımını kısıtlı bulmuşlardır. Bunun ötesinde tüm bu çalışmalarda NIR bölgesinde meydana gelen yansıma oranlarına dayalı hesaplanan indekslerin su düzeyinin yaklaşık olarak tespit edilmesinde etkili olabileceğini, kesin bir hesaplamanın mümkün olamayacağını belirtilmektedir. Pinol *et al.* (1998) doğal bitki örtüsünde gerçekleştirdikleri çalışmada, bitkilerin su düzeyleri tespitinde NDVI ve WI'in etkili olduğunu belirtmektedir. Ceccato *et al.* (2001) vejetasyon su içeriğinin yapraklarda eş değer su yüksekliği biçiminde yaprak spektral yansımasından yararlanılarak belirlenebileceğini belirtmektedir. Bu amaçla kısa dalga boyu kızıl ötesi (SWIR:400-2500nm) ve NIR yansımalarının bir arada kullanımının daha etkili olduğu üzerinde durulmaktadır.

Penuelas *et al.* (1993a) tarafından çeşitli bitkilerle yapılan bir çalışmada, YOSK ve YSP ile WI arasında önemli ilişkiler belirlemişlerdir. YAI değerlerinde önemli değişiklik olmayan, tam örtü koşullarında WI'in YOSK ve YSP tahmin etmede etkili olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca, SR ile YOSK ($r=-0,86^{**}$) arasında önemli istatistiksel ilişkiler tespit etmişlerdir. Bu bulgular şeker pancarı bitkisinde elde edilen bulgularla uyum içerisindedir. Çizelge 5.12'de görüldüğü gibi WI bitki su düzeyine ilişkin YSP, YSI ve YOSK ile önemli ilişkilere sahiptir. Bununla birlikte, Tc-Ta ve CWSI ile ilişkisi WI'in şeker pancarı su stresinin izlenmesinde etkili olduğunu göstermektedir. Fakat söz konusu parametrelerin diğer spektral indekslerle sahip oldukları ilişkiler ve WI ile YAI ilişkisi WI'in bitki su kapsamı kadar vejetasyon düzeyine de duyarlı olduğunu göstermektedir. Penuelas *et al.* (1997) WI ile bitki su içeriği arasında önemli istatistiksel ilişkiler belirlemiştir. WI – NDVI oranı ile WI'in bitki su içeriği belirlemedeki etkinliği artırılmıştır. Çalışmada WI ve WI / NDVI'nin bitki su içeriği belirlemede Tc-Ta'ya göre daha etkili olduğu belirtilmiştir. Çizelge 5.6, 5.12 ve 5.13 incelendiğinde benzer bir durumun şeker pancarı için de geçerli olduğu görülmektedir. WI ve WI / NDVI su kapsamına Tc-Ta'ya göre daha duyarlıdır. Çizelge 5.7, 5.12 ve 5.13 birlikte incelendiğinde CWSI'nin su kapsamında WI ve WI / NDVI kadar duyarlı olduğu söylenebilir.

Şeker pancarında gerçekleştirilen bu çalışma sonuçları, yukarıda yer verilen çalışmalar ile uyumludur. Buna göre NIR yansıma oranlarına dayalı spektral indekslerin sulama zamanı belirlemede kullanımı güçtür, fakat bu indeksler bitki su düzeyinin ve yaklaşık olarak su stresi düzeyinin belirlenmesinde kullanılabilir.

YAI bitki örnekleme dayalı belirlenen ve bitki gelişiminin izlenmesinde etkili bir tarımsal indekstir. YAI'nin spektral veriler ile tahmin edilmesi birçok uzaktan algılama çalışmasına konu olmaktadır. Şeker pancarında farklı sulama suyu uygulaması farklı vejetasyon seviyelerinin oluşmasına neden olmuştur ve bu farklılık hem YAI hem de spektral indeksler ile ortaya koyulmuştur. Spektrometrenin görüş alanındaki vejetasyon miktarı NIR bölgedeki spektral yansıma oranları ile doğru, RED bölgedeki spektral yansıma oranları ile ters orantılıdır. YAI gibi vejetasyon parametrelerinin tahmin edilmesinde kullanılan bir çok indeks bu iki bölgedeki yansıma oranlarının

oranlanmasına veya bu oranın normalize edilmesine dayalıdır (ör: NDVI, SR ve SAVI). Şeker pancarının YAI değişimi ile en yüksek korelasyona sahip olan indeks SR ($r=0,77$) iken tüm spektral indeksler 0,01 önem düzeyinde istatistiksel ilişkiye sahiptir. Daha çok su düzeyini belirlemek amacı ile Penuelas *et al.* (1997) tarafından geliştirilen WI, NIR bölgede bulunan 900nm ve 970nm dalga boylarında meydana gelen yansıma oranlarının birbirine oranıdır ve WI ile YAI regresyon analizi sonucunda korelasyon katsayısı 0,74 olarak belirlenmiştir. Bu değerlendirmeler ışığında NDVI, SR, SAVI ve WI'in, şeker pancarı YAI tahmin etmede kullanılabileceği söylenebilir. Bu bulgular daha önce yapılan çalışmalar ile uyum içerisindedir. Kimura *et al.* (2004) tarafından yapılan çalışmada, NIR bölge yansıma oranlarına dayalı hesaplanan bazı indekslerin YAI belirlemede etkili bir biçimde kullanılabileceği belirtilmiştir. Aparicio *et al.* (2004), 25 çeşit buğdayda yaptıkları çalışmada, yüksek YAI değerlerinin belirlenmesinde spektrometre teleskopunun 30 derece azimuth açısı ile yaptığı ölçümlere dayalı hesaplanan NDVI ve SR' nin etkili olduğunu, düşük YAI değerlerinin tespit edilmesinde nadir pozisyonda yapılan ölçüme dayalı belirlenen WI'in daha doğru sonuçlar verdiğini belirtmektedir. Kamat *et al.* (1985), buğday, nohut ve hardalda YAI ile SR arasında önemli istatistiksel ilişkiler (sırası ile $r = 0,84$, $r=0,81$ ve $r=0,72$) ortaya koymuştur. Hatfield *et al.* (1985) farklı günlerde ekilmiş buğdayda YAI'inin spektral verilerden tahmin edilebileceğini belirlenmiştir.

Şeker pancarında belirlenen kuru madde miktarı daha çok yeraltında bulunan yumruya dayalıdır ve bitkinin tamamı ile kuru ağırlığını ifade etmektedir. Spektral yansımalar ise yer üstünde bulunan vejetatif aksamdan etkilenmektedir. Bu çalışmada spektral vejetasyon indeksleri ile kuru madde değerlerinin regresyonu sonucunda, yüksek korelasyonlar elde edilememiştir. En yüksek korelasyon 0,01 önem düzeyinde WI / NDVI ($r= 0,42$), WI ($r= 0,42$) ve SAVI ($r=0,35$) ile elde edilmiştir. NDVI ve SR ile kuru madde korelasyonu 0,05 önem düzeyindedir. Bununla birlikte WI, WI / NDVI ve SAVI korelasyon değerleri de 0,01 önem düzeyine rağmen düşüktür. Kuru madde miktarı yer üstü vejetasyonuna dayalı diğer bazı bitkiler kullanılarak yapılan çalışmalarda SR ile 0,01 önem düzeyinde ilişkiler tespit edilmiştir. Örneğin, Moran *et al.* (1989) yoncada SR (NIR/Red) ile kuru madde arasında önemli bir ilişki belirlemiştir. Çalışmada, yoncada kuru madde belirlemede SR kullanımının bitki stresinin etkilerini

en düşük seviyeye indirdiği belirtilmiştir. Kleman and Fagerlund (1987) SR'nin (R800/R680) arpada kuru maddeyle iyi bir korelasyona sahip olduğunu belirtmektedir. Kamat *et al.* (1985), buğdayda, nohutta ve hardalda kuru madde ile SR arasında önemli istatistiksel ilişkiler (sırası ile $r = 0,87$, $r=0,66$ ve $r=0,67$) ortaya koymuştur.

Toplam klorofil içeriği ile spektral indekslerin istatistiksel analizi sonucunda en yüksek korelasyon katsayıları NDVI ve SR ile ($r=0,62^{**}$) olarak belirlenmiştir. WI ve WI / NDVI'nin korelasyonu sırası ile $0,59^{**}$ ve $0,55^{**}$ 'tir. En düşük korelasyona sahip indeks ise SAVI'dir ($r=0,47^{**}$). Bu sonuçlarına göre spektral indekslerin şeker pancarı klorofil içeriğinin tahmine edilmesinde yararlı olabileceği söylenebilir. Kamat *et al.* (1985), buğdayda, nohutta ve hardalda klorofil içeriği ile SR arasında önemli istatistiksel ilişkiler (sırası ile $r = 0,82$, $r=0,71$ ve $r=0,72$) ortaya koymuştur.

5.5 Şeker Pancarı Kök ve Arıtılmış Şeker Verimine İlişkin Analizler

Deneme yıllarında şeker pancarı bitkisinden elde edilen kök verimi değerleri ve arıtılmış şeker verimleriyle, irdelenen göstergelerin, her bir yılın, yıllık ortalamaları istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Çizelge 5.14 ve Çizelge 5.15'de yer verilen analiz sonuçlarına göre irdelenen parametrelerin tümü ile şeker pancarı kök verimi ve arıtılmış şeker verimi arasında oldukça önemli istatistiksel ilişkiler tespit edilmiştir. Buna göre, şeker pancarı kök verimi ve arıtılmış şeker verimi bu indeksler ve ilişkiler kullanılarak tahmin edilebilir. Özellikle uydu görüntülerinden yararlanarak su stresi ve spektral vejetasyon indeksler kullanılarak, yıl içinde örneğin Temmuz ve Ağustos ayı değişimleri veya yıl sonunda tüm yetiştirme dönemi boyunca gerçekleşen değişimler kullanılarak verim tahmin edilebilir. Şeker pancarı verimi ile, bu çalışmada irdelenen parametreler arasındaki istatistiksel ilişkiler daha önce yapılmış çalışmalarla uyumludur. Örneğin, Harran ovası koşullarında ikinci ürün mısırdaki yapılan bir çalışmanın sonuçlarına göre ortalama CWSI ile verim arasında istatistiksel bakımdan önemli ilişkiler tespit edilmiştir (Kırnak ve Gencoğlan 2001). Şeker pancarı verimi ile, bu çalışmada irdelenen parametreler arasındaki istatistiksel ilişkiler daha önce yapılmış çalışmalarla uyumludur. Örneğin, Harran ovası koşullarında ikinci ürün mısırdaki yapılan bir çalışmanın

sonuçlarına göre ortalama CWSI ile verim arasında istatistiksel bakımdan önemli ilişkiler tespit edilmiştir (Kırnak ve Gencoğlan 2001).

Çizelge 5.14 Şeker Pancarı Kök Verimi ile diğer göstergelerin istatistiksel analiz sonuçları

Göstergeler	2004 ve 2005 Yılı Birlikte			
	r	t	a	b
Tc-Ta	0,99**	23,37**	6,01	-0,002
CWSI	0,99**	19,90**	1,28	-0,0002
YSP	0,93**	8,95**	-43,94	0,003
YOSK	0,93**	8,71**	0,74	0,00002
YSI	0,94**	9,44**	74,72	0,002
NDVI	0,93**	8,57**	0,56	0,00005
SR	0,95**	10,38**	-0,85	0,003
SAVI	0,95**	10,81**	0,38	0,00005
WI	0,96**	12,69**	1,01	0,00003
WI / NDVI	0,88**	6,36**	1,81	0,00007
YAI	0,88**	6,40**	-0,04	0,001
Kuru Madde	0,86**	5,92**	7,4	0,021
Klorofil	0,77**	4,18**	0,43	0,00006

** P<0,01

Çizelge 5.15 Arıtılmış Şeker Verimi ile diğer göstergelerin istatistiksel analiz sonuçları

Göstergeler	2004 ve 2005 Yılı Birlikte			
	r	t	a	b
Tc-Ta	0,96**	11,66**	5,95	-0,01
CWSI	0,98**	16,99**	1,30	-0,001
YSP	0,97**	15,05**	-45,0	0,02
YOSK	0,91**	7,77**	0,74	0,00008
YSI	0,97**	14,05**	74,3	0,01
NDVI	0,93**	8,83**	0,55	0,0003
SR	0,92**	8,35**	-0,53	0,014
SAVI	0,91**	7,54**	0,39	0,0002
WI	0,94**	9,15**	1,01	0,0001
WI / NDVI	0,90**	7,13**	1,83	-0,0004
YAI	0,92**	8,10**	-0,20	0,003
Kuru Madde	0,88**	6,37**	3,24	0,114
Klorofil	0,82**	4,93**	0,41	0,0003

** P<0,01; * P<0,05

Yazar *et al.* (1999) ve Irmak *et al.* (2000) yaptıkları araştırmada, CWSI'nin mısırın sulama zamanı planlamasında kullanım olanaklarının yanı sıra verim tahmininde etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Raun *et al.* (2001) tarafından yapılan çalışma, buğdayda çeşitli fenolojik zamanlarda yapılacak spektral ölçümler ile başta NDVI olmak üzere

spektral indekslerin buğday veriminin önceden tahmin edilmesinde etkin bir biçimde kullanılabilmesi ortaya koyulmuştur. Kleman and Fagerlund (1987)'da arpada hasattan iki ay önce yapılacak ölçümler ile belirlenen SR'nin (R800/R680) verim ile önemli istatistiksel ilişkiye sahip olduğu belirtilmektedir. Ihlamurda yapılan bir çalışmada CWSI ve YSP ile verimin istatistiksel analizlerinden korelasyon katsayıları sırası ile 0,77* ve 0,88** olarak elde edilmiştir. Meyve büyüklüğü ile CWSI ve YSP korelasyon katsayıları ise sırası ile 0,93** ve 0,84** olarak hesaplanmıştır (Sepaskhah ve Kashefipour 1994). Howell *et al.* (1984) pamukta yaptıkları çalışmada CWSI ile verim arasında ($r=0,99^{**}$) istatistiksel bakımdan önemli bir ilişki belirlemişlerdir. Reginato (1983) ve Kayam ve Beyazgül (2001) pamukta, Abdul-Jabbar *et al.* (1985) yoncada benzer sonuçları ortaya koymaktadır. Yoncada yapılan diğer bir çalışmada her bir hasat döneminde yapılan ölçümler ile verim ayrı değerlendirilmiştir ve bu dönemlerde CWSI ve verimin istatistiksel analizlerine göre korelasyon katsayısı 0,88 ile 0,97 arasında değişmektedir (Hattendorf *et al.* 1988). Orta vd (2001) farklı sulama suyu uyguladıkları ayçiçeğinde CWSI ile verim arasında yüksek bir korelasyon ($r=0,90^{**}$) tespit etmişlerdir.

5.6 Sonuç ve Öneriler

Sulama suyu yönetiminde infrared termometre ve spektrometre gibi uzaktan algılama araçlarının kullanımı için bu cihazların kullanıldığı arazi denemelerinin sonuçlarına gereksinim vardır. Sulama suyu uygulama zamanı ve miktarına karar vermede kullanılan yöntemlerin çoğunluğu toprak su içeriğine dayanmaktadır. Topraktaki nem koşullarının izlenmesi ise zordur ve büyük alanların temsili çoğu zaman imkansızdır. Ayrıca toprakta tuzluluk gibi farklı koşulların varlığı, yeteri kadar su bulunmasına rağmen bitkinin bu sudan yararlanmasını engellemektedir. Uzaktan algılama gibi bitki izlemeye dayalı yöntemler kullanılarak, bitkide meydana gelen su stresinin neden olduğu belirtilerin büyük alanlarda da pratik bir biçimde ortaya koyulması olanaklıdır. Özellikle su stresi bitki su içeriği ve yüzey sıcaklığı ile direkt, vejetasyon düzeyi ile dolaylı bir biçimde, uzaktan algılama araçlarının termal (infrared termometre ile eşdeğer), NIR ve RED bantları (spektrometre ile eşdeğer) ile izlenebilmektedir.

Şeker pancarı susuz koşullarda yetiştirilmesi olanaksız bir bitkidir. Önceki çalışmalarda olduğu gibi, bu araştırma sonucunda da şeker pancarı gelişimi ve verimi üzerinde sulama suyu düzeylerinin oldukça etkili olduğu ortaya koyulmuştur. Bu çalışmanın sonuçlarına göre, yeteri kadar sulama suyunun var olduğu koşullarda on iki günde bir veya toprak su düzeyinin, elverişli nemim yarısına düştüğü zaman (yaklaşık 20 Haziran ile 20 Eylül tarihleri arası için), mevcut toprak su düzeyini tarla kapasitesine ulaştıracak kadar sulama suyunun uygulanması şeker pancarı kök veriminin artırılması açısından önerilebilir (S1 ve S7 konuları). Şeker pancarı artırılmış şeker verimi dikkate alındığında, sulama suyunda %50' ye kadar kısıntı yapılabilir (S2 ve S3 konusu). Fakat artırılmış şeker veriminde de verimin en üst düzeye yükseltilmesi için yukarıda belirtilen sulama programlarının uygulanması önerilebilir. Yapılan gözlem ve analizlere göre, şeker pancarı bitkisinin sulama suyuna dayalı fizyolojik özellikleri % 50 su kısıtına kadar çok büyük bir farklılık göstermemektedir.

Yukarıda belirtildiği gibi bitki kök bölgesinde yeteri kadar su bulunması, bitkinin potansiyel düzeyde terleme yapmasına olanak tanımaktadır. Aksi durumda bitki potansiyelin altında terleme gerçekleştirmekte ve özellikle Ta ve VPD gibi iklim parametrelerindeki artışa karşı kendisini koruyamamaktadır. Bunun sonucunda, bitki yüzey sıcaklığında artış gerçekleşmektedir. Bu araştırma ile elde edilen sonuçlara göre, şeker pancarı suya duyarlı bir bitkidir ve yeteri kadar sulandığında tam örtü oluşması bu bitkinin yüzey sıcaklığının ölçülmesinde önemli bir avantajdır. Buna göre şeker pancarı sulama suyu yönetiminde infrared termometre ve uyduların termal bantlarının kullanımı uygundur. Bu tür araçların kullanımında, bu çalışma ile elde edilen CWSI eşik değerleri öneme sahiptir. Şeker pancarı yetiştiriciliğinde CWSI'nin belirlenmesi için ihtiyaç duyulan ölçümler hava sıcaklığı, nispi nem ve bitki örtü sıcaklığı olarak sayılabilir. Ölçülen bu veriler, bu çalışmada elde edilen alt baz ve üst baz hatları ile bir arada kullanılarak CWSI belirlenebilir. CWSI genel olarak 0 ve 1,0 değerleri arasında değişim gösterebilir. Aşırı su koşullarında bu değer 0'dan daha küçük ve fazlasıyla kurak bir dönem için 1,0'den daha yüksek bulunabilir. Genel olarak CWSI 0'dan 1,0'e yaklaştıkça söz konusu bitkinin su stresi artmaktadır. Bu çalışmada yapılan Duncan testi sonuçları temel alınarak CWSI değişimleri değerlendirilirse, şeker pancarı kök verimi dikkate alındığında (S1 ve S7 konuları için) CWSI değerinin 0 ile 0,1 arasında

değişimine, artırılmış şeker verimi söz konusu olduğunda ise CWSI'nin 0,3'e kadar artmasına izin verilebilir. Bu durum Çizelge 5.14 ve 5.15'de verilen CWSI ile verim arasındaki istatistiksel analizler sonucunda elde edilen eşitlikler kullanılarak değerlendirilirse, CWSI'nin 0 - 0,1 arasında değişimi yaklaşık 6500 - 6000 kg/da şeker pancarı kök verimi, CWSI'nin 0,2 - 0,3 arasında değişimi yaklaşık 1100 - 1000 kg/da artırılmış şeker verimi ile sonuçlanabilecektir.

Spektral indekslerin şekerpancарının vejetasyon düzeylerinin izlenmesinde oldukça etkili olduğu belirlenmiştir. Ayrıca bu indekslerin şeker pancarı kök ve artırılmış şeker verimi ile de önemli istatistiksel ilişkilere sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu bilgi doğrultusunda şeker pancarı ve benzeri bitkilerin gelişme düzeylerinin uzaktan algılama araçları ile izlenebileceği ve verim tahmininin yapılabileceği belirlenmiştir. Özellikle Temmuz ve Ağustos aylarında (hasattan 2-3 ay önce) belirlenecek spektral indeksler ile hasatta elde edilmesi muhtemel verim hesaplanabilir. Bu bilgi sadece spektrometre kullanılarak değil, aynı zamanda uydu verilerine dayalı olarak da elde edilebilir. Spektral indekslerden yararlanılarak verim tahmininde Çizelge 5.14 ve 5.15'de verilen eşitliklerden yararlanılabilir. Örneğin, NDVI=0,89; SR=18,7; SAVI=0,71 ve WI=1,2 ölçüldüğü koşulda şeker pancarı kök veriminin yaklaşık 6500 kg/da olması beklenebilir. Bununla birlikte NDVI=0,66; SR=5,2; SAVI=0,48 ve WI=1,07 ve daha düşük ise muhtemel olarak şeker pancarı kök verimi 2000 kg/da ve daha düşük gerçekleşecektir.

Spektral indeksler (NDVI, SAVI, SR, WI ve WI / NDVI) ile su stresi indeksleri (Tc-Ta, CWSI, YSP, YSI ve YOSK) arasında önemli istatistiksel ilişkiler belirlenmiştir. Fakat bu ilişkilerin kaynağı su stresinin neden olduğu vejetasyon düzeyleridir. Bu nedenle spektral indekslerin su stresinin direkt izlenmesinde etkili olamayacağı değerlendirilmiştir. Başka bir deyişle, spektral indekslerin sulama zamanı belirlemede kullanımı istenen düzeyde hassasiyet sağlayamayacaktır. Bununla birlikte WI diğer spektral indekslere göre, su stresi göstergeleri ile daha yüksek bir korelasyona sahiptir. WI, su stresi koşullarında diğer spektral indekslere göre daha güvenilir bir indekstir ve büyük alanlarda genel olarak su kullanım düzeylerinin izlenmesinde kullanılabilir.

Ülkemizde sulama şebekelerinin hemen tamamı su kullanıcı örgütlerine devir edilmiştir ve sulama suyu yönetimi söz konusu örgütlerin sorumluluğundadır. Şeker pancarının yetiştiriciliği ise Şeker Şirketi tarafından kontrol edilmektedir. Geleneksel yetiştiricilik yöntemlerinin yaygın olduğu ülkemizde diğer bitkilerde olduğu gibi şeker pancarında da sulama suyunun ne zaman ne kadar uygulanması gerektiği sadece çiftçiler için değil karar vericiler içinde çoğu zaman önemli ve zor bir problemdir. Ayrıca uygulanan tarımsal işlemler sonucunda elde edilmesi muhtemel verimin önceden tahmin edilmesi yetiştirme dönemi bitmeden önlem alınmasına da olanak tanımaktadır. 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 karar destek araçları sağlamaktadır. Çalışma sonuçlarına göre uzaktan algılanmış verilere dayalı belirlenen Tc-Ta, CWSI ve WI su kullanım düzeylerinin izlenmesinde etkilidir ve özellikle Tc-Ta ve CWSI sulamaya karar vermede pratik karar destek araçlarıdır. Aynı zamanda, Tc-Ta, CWSI, NDVI, SR, SAVI ve WI kullanılarak ölçümün alındığı tarihe kadar uygulanan tarımsal işlemlerin başarısı değerlendirilebilir ve yetiştirme dönemi sonunda elde edilebilecek verim miktarları tahmin edilebilir. Bu göstergelerin belirlenmesinde tarlada infrared termometre ve spektrometre kullanılabilir gibi, bu cihazlarla eş değer veri elde edebilen uydu vb uzaktan algılama araçları ile bölgesel gözlem ve değerlendirmeler yapılabilir.

Sonuç olarak, uzaktan algılama araçları ile belirlenen indeksler, bitkilerin gelişim düzeyleri ve su stresini ortaya koyan fizyolojik parametreler ile önemli istatistiksel ilişkilere sahiptir. İnfrared termometre, spektrometre ve uydular gibi uzaktan algılama araçları şeker pancarı sulama suyu yönetiminde etkili olduğu gibi, bir çok bitki için de yararlı karar destek araçları niteliğindedir.

KAYNAKLAR

- Abdul-Jabbar, A.S, Lugg, D.G., Sammis, T.W. and Gay, L.W. 1985. Relationships between crop water stress index and Alfalfa yield and evapotranspiration. Trans. ASAE. Pp:454-461.
- Alap, D. ve Küçükçakar, N. 1983. Ankara koşullarında tansiyometrelerin ayçiçeği, mısır, patates ve şekerpancarı sulama zamanları tayininde kullanılması. Yayın Yeri, K.H. Ankara Araştırma Enstitüsü, Genel Yayın No:97, Seri No :R-37.
- Alderfasi, A.A. and Nielsen, D.C. 2001. Use of crop water stress index for monitoring water status and scheduling irrigation in whet. Agricultural Water Management, 47:69–75.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration, FAO, 56, Rome.
- Alves, I. and Pereira, L.S. 2000. Non-water-stressed baselines for irrigation scheduling with infrared thermometers: A new approach. Irrigation Science, 19:101-106.
- Anonim. 2005. Toprak ve Su Kaynakları Ankara Araştırma Enstitüsü Meteorolojik Veriler 2005. Ankara.
- Aparicio, N., Viellegas, D., Royo, C., Casadesus, J. and Araus, J.L. 2004. Effect of sensor view angle on the assessment of agronomic traits by ground level hyper-spectral reflectance measurements in durum wheat under contrasting Mediterranean conditions. Int. J. Remote sensing, 25(6):1131-1152.
- Aparicio, N., Viellegas, D., Casadesus, J., Araus, J.L. and Royo, C. 2000. Spectral vegetation Indices as nondestructive tools for determining durum wheat yield. Agronomy J. 92:83-91.
- Asrar, G., Myneni, R.B., Li, Y. and Kanemasu, E.T. 1989. Measuring and modeling spectral characteristics of tall grass prairie. Remote Sens. Environ., 27:143-155.
- Ayla, Ç. 1988. Ankara koşullarında kısıntılı su uygulaması ile şeker pancarının su verim ilişkisi. Yayın Yeri, K.H. Ankara Araştırma Enstitüsü, Genel Yayın No:146, Seri No :R-67.
- Ayla, Ç. 1993. Ankara koşullarında fasulye, çilek, buğday ve şeker pancarı bitkilerinin tartılı lizimetrede saptanan gerçek su tüketimleri ile potansiyel evapotransprasyon değerlerinin karşılaştırılması. Yayın Yeri, K.H. Ankara Araştırma Enstitüsü, Genel Yayın No:181, Seri No :R-88.
- Bayrak, F. 1992. Bafra ve çarşamba ovalarında açık su yüzeyi (cass a pan) buharlaşmasına göre şekerpancarının sulama suyu miktarı ve su tüketimi. Yayın Yeri, K.H. Samsun Araştırma Enstitüsü, Genel Yayın No:75, Seri No :R-62 .
- Blad, B. L. and Rosenberg, N. J. 1975. Measurement of crop temperature by leaf thermocouple, infrared thermometry and remotely sensed thermal imagery, Agronomy J.I, 65:635-641.
- Boegh, E., Soegaard, H., Broge, A., Hasager, C.B., Jensne, N.O., Schelde, K. and Thomsen, A. 2002. Airborne multispectral data for quantifying leaf area index, nitrogen concentration and photosynthetic efficiency in agriculture. Remote Sens. Environ., 81:179-193.
- Bowman, W.D. 1989. The relationship between leaf water status, gas exchange, and spectral reflectance in cotton leaves. Remote Sens. Environ. 30:249-255.

- Brown, K.W. and Rosenberg, N.J. 1973. A resistance model to predict evapotranspiration and its application to a sugar beet field. *Agronomy J.*, 65(3):341-347.
- Carlson, T.N. and Buffum, M.J. 1989. On estimating total daily evapotranspiration from remote surface temperature measurements. *Remote Sens. Environ.*, 29:197-207.
- Carter, G.A. 1993. Responses of leaf reflectance to plant stress. *American J. Botany*, 80:239-243.
- Carter, G.A. 1991. Primary and secondary effects of water content on the spectral reflectance of leaves. *American J. Botany*, 78:916-924.
- Ceccato, P., Flasse, S., Tarantola, S., Jacquemoud, S. and Gregoire, J.M. 2001. Detecting vegetation leaf water content using reflectance in the optical domain, *Remote Sens. Environ.*, 77:22-33.
- Chenbouni, A., Nouvellon, Y., Kerr, Y.H., Moran, M.S., Watts, C., Prevo, L., Goodrich, D.C. and Rembal, S. 2001. Directional effect on radiative surface temperature measurements over a semiarid grassland site. *Remote Sens. Environ.*, 76:360-372.
- Choudhury, B.J. and Idso, S.B. 1984. Simulating sunflower canopy temperatures to infer root-zone soil water potential. *Agricultural and Forest Meteorology*, 31:69-78.
- Choudhury, B.J., Idso, S.B. and Reginato, R.J. 1986. Analysis of a resistance-energy balance method for estimating daily evaporation from wheat plots using one-time-of-day infrared temperature observations. *Remote Sens. Environ.*, 19:253-268.
- Cohen, W.B. 1991. Temporal versus spatial variation in leaf reflectance under changing water stress conditions. *Int. J. Remote Sens.* 12:1865-1876.
- Cure, W.W., Flagler, R.B. and Heagle, A.S. 1989. Correlations between canopy reflectance and leaf temperature in irrigated and droughted soybeans. *Remote Sens. Environ.* 29:273-280.
- Çöke, K. ve Oylukan, Ş. 1966. Azot ve suyun şekerpancarı verimine tesiri. Yayın Yeri, K.H. Eskişehir Araştırma Enstitüsü, Genel Yayın No:41, Seri No :R-19.
- Çöke, K., Oylukan, Ş. ve Akaya, M. 1966. Şeker pancarında su tasarrufu yönünden karık ve salma sulama mukayesesi. Yayın Yeri, K.H. Eskişehir Araştırma Enstitüsü, Genel Yayın No:51, Seri No :R-27.
- Danson, M., Steven. M.D., Malthus, T.J. and Clark, J.A. 1992. High-spectral resolution data for determining leaf water content, *Int. J. Remote Sensing*, 13:461-470.
- Ehrler, W.L. 1973. Cotton leaf temperatures as related to soil water depletion and meteorological factors. *Agronomy J.*, 65:404-409.
- Ehrler, W.L., Idso, S.B., Jackson, R.D. and Reginato, R.J. 1978a. Diurnal changes in plant water potential and canopy temperature of wheat as affected by drought. *Agronomy J.*, 70:999-1009.
- Ehrler, W.L., Idso, S.B., Jackson, R.D. and Reginato, R.J. 1978b. Wheat canopy temperature: Relation to plant water potential. *Agronomy J.*, 70:252-256.
- Elverenli, M.A. 1985. Çeşitli azotlu gübre seviyeleriyle sulamanın şeker pancarı verimine ve kalitesine etkileri. Doktora Tezi. Ankara.
- Ertuş, M.R. 1984. Konya ovası koşullarında sulama suyu miktarlarında yapılan kısıntının şekerpancarı verimine etkileri. Yayın Yeri, K.H. Konya Araştırma Enstitüsü, Genel Yayın No:100, Seri No :R-82.

- Evsahibioğlu, A.N., Korukçu, A. 1984. Şeker pancarının sulama zamanlarının planlanması üzerinde bir araştırma. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınları. KT.3.
- Fitzgerald, G.J., Hunsaker, D.J., Barnes, E.M., Clarke, T.R., Lesch, S.M., Roth, R. and Pinter Jr,P.J. 2003. Estimating Cotton Crop Water Use From Multispectral Aerial Imagery. In Irrigation Associations Exposition and Technical Conference, San Diego, Ca, Nov. 18-20. PP.138-148.
- Fucs, M. and Tanner, C.B. 1966. Infrared thermometry of vegetation. *Agronomy J.*, 58:597-601.
- Fucs, M., Kanemasu, E.T., Kerr, J.P. and Tanner, C.B. 1967. Effect of viewing angle on canopy temperature measurements with infrared thermometers. *Agronomy J.*, 59:494-496.
- Günbatılı, F. ve Köse, C. 1978. Tokat'ta Şekerpancarının su tüketimi. Yayın Yeri, K.H. Tokat Araştırma Enstitüsü, Genel Yayın No:24, Seri No :R-14.
- Günbatılı, F. 1989. Tokat-Kazova koşullarında kısıntılı su uygulamasında Şeker pancarının su verim ilişkisi. Yayın Yeri, K.H. Tokat Araştırma Enstitüsü, Genel Yayın No:95, Seri No :R-57.
- Güngör, H. 1984. Eskişehir koşullarında Şeker pancarının kısıntılı su varlığında sulanma zamanı ve su tüketimi. Yayın Yeri, K.H. Eskişehir Araştırma Enstitüsü, Genel Yayın No:179 Seri No :R-137.
- Güngör, H. ve Öğretir, K. 1980. Eskişehir koşullarında lizimetrelerde yetiştirilen buğday Şeker pancarı mısır ve patatesin su tüketimi. Yayın Yeri, K.H. Eskişehir Araştırma Enstitüsü, Genel Yayın No:156, Seri No :R-115.
- Hatfield, J.L. 1979. Canopy temperatures: The usefulness and reliability of remote measurements. *Agronomy J.*,71:889-892.
- Hatfield, J.L., Kanemasu, E.T., Asrar, G., Jackson, R.D., Pinter, P.J., Jr., Reginato, R.J. and Idso, S.B. 1985. Leaf-area estimation from spectral measurements over various planting dates of wheat. *Int. J. Remote Sensing*, 6(1):167-175.
- Hatfield, J.L., Reginato, R.J. and Idso, S.B. 1984. Evaluation of canopy temperature-evapotranspiration models over various crops. *Agricultural and Forest Meteorology*, 32:41-53.
- Hattendorf, M.J., Carlson, R.E., Halim, R.A. and Buxton, D.R. 1988. Crop water stress index and yield of water-deficit-stressed alfalfa. *Agronomy Journal*, 80:871-875.
- Howell, T.A., Hatfield, J.L., Yamada, H. and Davis, K.R. 1984. Evaluation of cotton canopy temperature to detect crop water stress. *Transact. ASAE*.Pp:84-88.
- Howell, T.A., Musick, J.T. and Tolk, J.A. 1986. Canopy temperature of irrigated winter wheat. *Transact. ASAE*. Pp:1692-1698.
- Huete, A.R. 1988. A soil adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sens. Environ.* 325:295-309.
- Hunsaker, D.J., Pinter, Jr. P.J., Barnes E. M. and Kimball, B.A. 2003a. Estimating cotton evapotranspiration crop coefficients with a multispectral vegetation index. *Irrig. Sci.*22: 95-104.
- Hunsaker, D.J., Pinter Jr, P.J., Fitzgerald, G.J., Clarke, T.R., Kimball, B.A. and Barnes, E.M. 2003b. Tracking Spatial and Temporal Cotton Dt Patterns With A Normalized Difference Vegetation Index. *Irrigation Associations Exposition and Technical Conference Proceedings*. Pp. 126-137.

- Hunt, E.R., Jr. and Bock, B.N. 1989. Detection of changes in leaf water content using near-and middle-infrared reflectances. *Remote Sens. Environ.*, 30:43-54.
- Hunt, E.R., Jr., Bock, B.N. and Nobel, P.S. 1987. Measurement of leaf relative water content by infrared reflectance. *Remote Sens. Environ.*, 22:429-435.
- Idso, S.B. and Clawson, K.L. 1986. Foliage temperature: effects of environmental factors with implications for plant water stress assessment and CO₂/climate connection. *Water Resources Research*, 22(12):1702-1716.
- Idso, S.B., Jackson, R.D., Pinter, P.J., Jr., Reginato, R.J. and Hatfield, J.L. 1981. Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. *Agricultural Meteorology*, 24:45-55.
- Idso, S.B., Pinter, Jr., P.J. and Reginato, R.J. 1990. Non-water stressed baselines: the importance of site selection for air temperature and air vapour pressure deficit measurements. *Agricultural and Forest Meteorology*, 53:73-80.
- Idso, S.B., Pinter, Jr., P.J., Reginato, R.J. and 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 stress index. *Agricultural and Forest Meteorology*, 32:249-256.
- Inoue, Y. and 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.
- Irmak, S., Haman, D.Z. and Bastug, R. 2000. Determination of crop water stress index for irrigation timing and yield estimation of corn. *Agronomy Journal*. 92:1221-1227.
- Jackson, R. D., Pinter, Jr.P.J., Reginato, R.J. and Idso, S.B. 1986. Detection and evaluation of plant stress for crop management decisions. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 24(1):99-106.
- Jackson, R. D., Pinter, Jr.P.J., Reginato, R.J. and Idso, S.B. 1980. Hand - held radiometry. A set of notes developed for use at the workshop on hand-held radiometry. Phoenix, Ariz., February 25 -26, 1980.
- Jackson, R.D. 1984. Remote sensing of vegetation characteristics for farm management. Reprinted from SPIE Vol.475-Sixth in the SPIE Critical Reviews of Technology Series: Remote Sensing, 475:81-96.
- Jackson, R.D., Idso, S.B. and Reginato, R.J. 1977a. Remote sensing of crop canopy temperatures for scheduling irrigations and estimating yields. *Proc.Symp. On Remote Sensing of Natural Resources*, Utah State University. Logan. UT.
- Jackson, R.D., Reginato, R.J. and Idso, S.B. 1977b. Wheat canopy temperature: A practical tool for evaluating water requirements, *Water Resources Research*, 13(3):651-656.
- Jackson, R.D., Idso, S.B., Reginato, R.J. and Pinter, P.J. 1981. Canopy temperature as a crop water stress indicator. *Water Resources Research*, 17(4):1133-1138.
- Jensen, M.E., Burman, R. D. and Allen, R. G. 1990. Evapotranspiration and irrigation water requirements. *Manuels and reports on engineering practices no. 70*. ASCE, New York.
- Jones, H.G. 1999. Use of infrared thermometry for estimating of stomal conductance as a possible aid to irrigation scheduling. *Agricultural and Forest Meteorology*, 95:139-149.

- Kamat, D. S., Gopalan, S.K.A., Shashikumar, N.M., Sinha, K.S., Chaturvedi, S.G. and Singh, K.A. 1985. Assessment of water stress effects on crops, *Int J. Remote Sensing*, 6:577-589.
- Kayam, Y. ve Beyazgül, M. 2001. Infrared termometre tekniğinin pamuk sulamasında kullanılma olanakları. *Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Yıllığı 2000*. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Toprak ve Su Kaynakları Şube Müdürlüğü, yayın No: 117. 312-326, Ankara.
- Kırnak, H. ve Gencoğlan, C. 2001. Bitki su stresi indeksi (CWSI) tekniğinin ikinci ürün mısır bitkisinin sulamasında kullanımı. *HR.Ü.Z.F. Dergisi*. 5(3-4):67-75.
- Kimura, R., Okada, S., Miura, H. and Kamichika, M. 2004. Relationships among the leaf area index, moisture availability, and spectral reflectance in an upland rice field. *Agricultural Water Management*, 69:83-100.
- Kleman, J. and Fagerlund, E. 1987. Influence of different nitrogen and irrigation treatments on the spectral reflectance of barley. *Remote Sens. Environ.*, 21: 1-14.
- Kodal, S., 1994. Yeterli ve kısıtlı su koşullarında şeker pancarı sulaması. Şeker pancarı yetiştirme tekniği sempozyumu, S. Ü. Ziraat Fakültesi, Konya Pancar Ekicileri Kooperatifi, 6-7 Mayıs 1994, Konya.
- Kodal, S., 2004. Sulama ve Bilgisayar Destekli Sulama Zaman Planlaması. GAP Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı, GAP Sulama Sistemlerinin İşletme Bakım ve Yönetimi (GAP-İBY) Projesi, Şanlıurfa.
- Korukçu, A. ve Evsahibioğlu, A. N. 1982. Sulama zamanı planlama yöntemlerinin şeker pancarı yaprak verimine etkisi üzerinde bir araştırma. *Uludağ Ün. Ziraat Fakültesi Dergisi*, Sayı: 1, Cilt: 1, Yıl: 1.
- Kumar, M. 1988. Crop canopy spectral reflectance. *Int. J. Remote Sensing*, 9(2):285-294.
- Kumar, P.V., Ramakrishna, Y.S., Ramana Rao, B.V., Khandgonda, I.R., Victor, U.S., Srivastava, N.N. and Rao, G.G.S.N. 1999. Assessment of plant-extractable soil water in castor beans (*Ricinus communis* L.) using infrared thermometry. *Agricultural Water Management*, 39:69-83.
- Kustas, W.P. and Daughtry, C.S.T., 1990. Estimation of the soil heat flux/net radiation ratio from spectral data. *Agricultural and Forest Meteorology*. 49:205-223.
- Lichtenthaler, H.K. 1987. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes, *Methods Enzymes*, 148:350-382.
- Luquet, D., Begue, A., Vidal, A., Clouvel, P., Dazat, J., Oliosio, A., Gu, X.F. and Tao, Y. 2003. Using multidirectional thermography to characterize water status of cotton. *Remote Sens. Environ.*, 84:411-421.
- Madanoğlu, F.K. 1977. Orta anadolu koşullarında şekerpancarında azot-su ilişkileri ve su tüketimi. Yayın Yeri :K.H. Ankara Araştırma Enstitüsü, Genel Yayın No:50, Seri No :R-17.
- Moran, M.S., Pinter, P.Jr., Clothier, B.E. and Allen, S.G. 1989. Effect of water stress on the canopy architecture and spectral indices of irrigated alfalfa. *Remote Sens. Environ.*, 29:251-261.
- Moran, M.S., Clarke, T.R., Inoue, Y. and Vidal, A. 1994. Estimating crop water deficit using the relation between surface – air temperature and spectral vegetation index. *Remote Sens. Environ.*, 49:246-263.

- Moran, M.S., Inou, Y. and Barnes, E.M. 1997. Opportunities and limitations for image-based remote sensing in precision crop management. *Remote Sens. Environ.*, 61:319-346.
- Moran, M.S., Rahman, A.F., Washburne, J.C., Goodrich, D.C., Waltz, M.A. and Kustas, W.P. 1996. Combining the Penman-Monteith equation with measurements of surface temperature and reflectance to estimate evaporation rates of semiarid grassland. *Agricultural and Forest Meteorology*, 80:87-109.
- Nielsen, D.C. 1990. Scheduling irrigation for soybeans with the crop water stress index (CWSI). *Field Crops Res.* 23:103-116.
- Nielsen, D.C. and Anderson, R.L. 1989. Infrared thermometry to measure single leaf temperatures for quantification of water stress in sunflower. *Agronomy Journal*. 81:840-842.
- Nielsen, D.C., Clawson, K.L. and Blad, B.L. 1983. Effect of solar azimuth and Infrared thermometer view direction on measured soybean canopy temperature. *Agronomy J*, 76:607-610.
- Okman, C. 1981. Ankara Şartlarında Şekerpancarının Su İstihlakinin Tayini Üzerinde Bir Araştırma. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 780, Bilimsel Araştırma ve İncelemeler: 462, Ankara.
- Olufayo, A., Baldy, C. and Ruelle, P. 1996. Sorghum yield, water use and canopy temperatures under different levels of irrigation. *Agricultural Water Management*. 30:77-90.
- Orta, A.H., Erdem, T. ve Erdem, Y. 2001. İnfrared termometre tekniği ile ayçiçeğinde bitki su stresi indeksi (CWSI) ve sulama zamanının belirlenmesi. Birinci ulusal sulama kongresi bildirileri., s. 145-153, 8-11 Kasım 2001, Antalya.
- Öğretir, K. ve Güngör, H. 1988. Bursa (Mustafa Kemalpaşa) koşullarında kısıntılı su uygulamasında şekerpancarı su verim ilişkileri. Yayın Yeri, K.H. Eskişehir Araştırma Enstitüsü, Genel Yayın No:207, Seri No :R-157
- Oylukan, Ş. 1965. Şekerpancarında karık sulamasında karık uzunluğunun tespiti denemesi. Yayın Yeri, K.H. Eskişehir Araştırma Enstitüsü, Genel Yayın No:40, Seri No :R-18.
- Penuelas, J., Filella, I., Biel, C., Serrano, L. and Save, R., 1993a, The reflectance at the 950-970 nm region as an indicator of plant water status. *Int. J. Remote Sensing*, 14(10):1887-1905.
- Penuelas, J., Gamon, J.A., Fredeen, A.L., Merino, J. and Field, C.B. 1994. Reflectance Indices Associated with physiological changes in nitrogen-and water – limited sunflower leaves. *Remote Sens. Environ.*, 48:135-146.
- Penuelas, J., Pinol, J., Ogaya, R. and Fiella, I. 1997. Estimation of plant water concentration by the reflectance Water Index WI (R900/R970), *Int. J. Remote Sensing* 18:2869-2875.
- Penuelas, J., Save, R., Marfa, O. and Serrano, L. 1993b. 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*. 58:63-77.
- Pinol, J., Filella, I., Ogaya, R. and Penuelas, J. 1998. Ground-based spectroradiometric estimation of live fine fuel moisture of Mediterranean plants. *Agricultural and Forest Meteorology*., 90:173-186.
- Pinter, P.J. Jr. 1983. Monitoring the effect of water stress on the growth of alfalfa via remotely sensed observations of canopy reflectance and temperature. 18th

- Conference on Agriculture and Forest Meteorology, April 26-28, 1983. Boston Pp:91-94.
- Pinter, P.J. Jr., Hatfield, J.L., Schepers, J.S., Barnes, E.M., Moran, S.M., Daughtry, C.S.T. and Upchurch, D.R. 2003. Remote sensing for crop management. *Photogrammetric Engineering&Remote Sensing*, 69(6):647-664.
- Pinter, P.J. Jr., Stanghellini, M.E. Reginato, R. J., Idso, S.B., Jenkins, A.D. and Jackson, R.D. 1979. Remote detection of biological stresses in plants with infrared thermometry. *Science*, 205:585-587.
- Qi, J., Huete, A.R., Moran, M.S., Chehbouni, A. and Jackson, R. D. 1993. Interpretation of vegetation indices derived from Multi-temporal SPOT images. *Remote Sens. Environ.*, 44:89-101.
- Qi, J., Kerr, Y.H., Moran, M.S., Wetz, M., Huete, A.R., Sorooshian, S. and Bryant, R. 2000. Leaf area Index estimates using remotely sensed data and BRDF models in a semiarid region. *Remote Sens. Environ.*, 73:18-30.
- Raun, W. R., Solie, J.B, Johnson, G.V., Stone, M.L., Lukina, E.V., Thomason, W.E. and Schepers, J.S. 2001. In-Season of potential grain yield in winter wheat using canopy reflectance. *Agronomy Journal.*, 93:131-138.
- Reginato, R.J. 1983. Field quantification of crop water stress. *Transac. ASAE.* Pp:772-781.
- Riggs, G.A. and Running, S.W. 1991. Detection of canopy water stress in conifers using the airborne imaging spectrometer. *Remote Sens. Environ.* 35:51-68.
- Sadler, E.J., Bauer, P.J., Busscher, W.J. and Millen, J.A. 2000. Site-specific analysis of a drought corn crop: II. Water use and stress. *Agronomy J.*, 92:403-410.
- Saha, S.K., Gopalan, A.A.K.S. and Kamat, D.S. 1986. Relation between remotely sensed canopy temperature, crop water stress, air vapour pressure deficit and evapotranspiration in chickpea. *Agricultural and Forest Meteorology.* 38:17-26.
- Seguin, B., Courault, D. and Guerif, M. 1994. Surface temperature and evapotranspiration: Application of local scale methods to regional scales using satellite data. *Remote Sens. Environ.*, 49:287-295.
- Sepaskhah, A.R. and Kashefipour, S.M. 1994. Relationships between leaf water potential, CWSI, yield and fruit quality of sweet lime under drip irrigation. *Agricultural Water Management.* 25:13-22.
- Sevim, Z. 1988. Erzurum-Pasinler koşullarında şeker pancarı sulama suyu miktarının açık su yüzeyi buharlaşmasından yararlanılarak saptanması. Yayın yeri, K.H. Erzurum Araştırma Enstitüsü, Genel Yayın No:21, Seri No :R-18.
- Sevim, Z. 1991. Erzurum koşullarında şeker pancarı azot-su ilişkileri. Yayın Yeri, K.H. Erzurum Araştırma Enstitüsü, Genel Yayın No:35, Seri No :32.
- Sevim, Z., İstanbulluoğlu, A. ve Evren, S. 1991. Iğdır ovası koşullarında şeker pancarı azot su ilişkileri. Yayın Tarihi :1991, Yayın Yeri, K.H. Erzurum Araştırma Enstitüsü, Genel Yayın No:34, Seri No :31.
- Shibayama, M., Takahashi, W., Morinaga, S. and Akiyama, T., 1993. Canopy water deficit detection in paddy rice using a high resolution field spectroradiometer. *Remote Sens. Environ.*, 45:117-126.
- Smith, R.C.G., Prathapar, S.A. and Barrs, H.D. 1989. Use of thermal scanner image of water stressed crop to study soil spatial variability. *Remote Sens. Environ.*, 29:111-120.
- SPSS. 1998. SPSS Inc. Version 9.0. 233 S Wacker Drive 11ft flor. Chicago.

- Stone, L.R. and Horton M.L. 1974. Estimating Evapotranspiration using canopy temperatures: Field evaluation, *Agronomy J.*, 66:450-454.
- Stricevic, R. and Caki, E. 1997. Relationships between available soil water and indicators of plant water status of sweet sorghum to be applied in irrigation scheduling. *Irrigation Science*, 18:17-21
- Thenkabail, P.S., Smith, R.B. and Pauw, E.D. 2000. Hyperspectral vegetation indices and their relationships with agricultural crop characteristics. *Remote Sens. Environ.*,71:158-182.
- Thomas, J.R., Namken, L.N., Oether, G.F. and Brown, R.G. 1971. Estimating leaf water content by reflectance measurements. *Agronomy Journal.*, 63:845-847.
- Tucker, C.J. 1980. Remote sensing of leaf water content in the near infrared. *Remote Sens. Environ.*, 10:23-32.
- Walker, G.K. and Hatfield, J.L. 1979. test of stress-degree-day concept using multiple planting dates of red kidney beans. *Agronomy J.*,71:967-971.
- Wanjura, D.F., Upchurch, D.R. and Mahan, J.R. 1992. Automated irrigation based on threshold canopy temperature. *Transaction of the ASAE*, 35(1):153-159.
- Ward, A.D. and Elliot, W.J. 1995. *Environmental Hydrology*. CRC Press, 462, USA.
- Wiegand, C.L. and Namken, L.N. 1966. Influences of plant moisture stress, solar radiation, and air temperature on cotton leaf temperature. *Agronomy J.*,58:582-586.
- Yakan, H. ve Kanburoğlu, S. 1991. Kırklareli koşullarında şeker pancarı su tüketiimi. Yayın Yeri, K.H. Kırklareli Araştırma Enstitüsü, Genel Yayın No:27, Seri No :R-23.
- Yazar, A., Howell, T.A., Dusek, D.A. and Copeland, S. 1999. Evaluation of crop water stress index for LEPA irrigated corn, *Irrigation Science*, 18:171-180.
- Yıldırım, B. 1986. Lizimetrelerde değişik tabansuyu seviyelerinin şeker pancarı gelişim ve verimine etkisi. Yayın Yeri, K.H. Eskişehir Araştırma Enstitüsü, Genel Yayın No:194, Seri No :R-145.
- Yıldırım, O. 1990. Sugarbeet Yields Response to Surface Drip and Subsurface Irrigation Methods. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 1174, Bilimsel Araştırma ve İncelemeler: 648, Ankara.
- Yuan, G., Luo, Y., Sun, X. and Tang, D. 2004. Evaluation of a crop water stress index for detecting water stress in winter wheat in the North China Plain. *Agricultural Water Management*, 64:29-40.
- Yunhao, C., Xiaobing, L., Jing, L., Peijun, S. and Wen, D. 2005. Estimation of daily evapotranspiration using a two-layer remote sensing model. *Int. J. Remote Sensing*, 26(8):1755-1762.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Eyüp Selim KÖKSAL
Doğum Yeri : Artvin
Doğum Tarihi : 12.02.1976
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Merzifon Anadolu Lisesi - 1994
Lisans : Uludağ Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü - 1999
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı - 2002

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

2002-2003 : Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
2002- : Toprak ve Su Kaynakları Ankara Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü

Yayımları (SCI ve diğer)

- Köksal, E. S.**, Demir, A.O. 2001. Sulama Proje Yönetim Bilgi Sistemi (SIMIS) Modelinin Sulama Birliklerinde Kullanım Olanakları. I. Ulusal Sulama Kongresi. Belek, Antalya.
- Köksal, E. S.**, Büyükcangaz, H., Benli, B. 2003. Besin Güvenliğinin Sağlanmasında Su Kaynaklarının Akılcı Yönetimi ve Alınması Gerekli Önlemler. I. Ulusal Su Mühendisliği Kongresi. Gümüş, İzmir.
- Kodal, S., **Köksal, E. S.**, Tüzün, M., Demir, A.O., Özbek, Y. 2003. Sulama Şebekelerinin Yönetiminde Planlı Su Dağıtımının Esasları ve Bilgisayar Yazılımlarının Önemi. I. Ulusal Su Mühendisliği Kongresi. Gümüş, İzmir.
- Kodal, S., Benli, B., **Köksal, E. S.** 2003. Doğrusal Olmayan Programlama ile Optimum Bitki Deseninin Belirlenmesi. I. Ulusal Su Mühendisliği Kongresi. Gümüş, İzmir.
- Demir, A.O., Goksoy, A.T., Buyukcangaz, H., Turan, Z. M., **Köksal, E.S.** 2006. Deficit irrigation of sunflower (Helianthus annuusL.) in a sub-humid climate. Irrigation Sci. 24(4): 279-289.
- Köksal, E.S.**, Üstün, H., İlbeyi, A., Akgül, S. 2006. Effect of different irrigation treatments on the spectral reflectance characteristic of green bean. International Symposium on Water and Land Management for Sustainable Irrigated Agriculture. Adana. Turkey.