

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

Burçin GENÇEL

**İKİNCİ ÜRÜN MISIR BİTKİSİNDE BİTKİ SU STRESİ İNDEKSİNİ (CWSİ)
KULLANARAK UYGULANACAK SULAMA SUYU MİKTARININ
KESTİRİMİ**

TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA ANABİLİM DALI

ADANA, 2009

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İKİNCİ ÜRÜN MISIR BİTKİSİNDE BİTKİ SU STRESİ
İNDEKSİNİ (CWSI) KULLANARAK UYGULANACAK SULAMA
SUYU MİKTARININ KESTİRİMİ**

BURÇİN GENÇEL

DOKTORA TEZİ

TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA ANABİLİM DALI

**Bu tez/...../..... Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Oybirliği/Oyçokluğu İle Kabul Edilmiştir.**

İmza.....

**Prof. Dr. Attila YAZAR
DANIŞMAN**

İmza.....

**Prof. Dr. Müjde KOÇ
ÜYE**

İmza.....

**Prof. Dr. Sevilay TOPÇU
ÜYE**

İmza.....

**Prof. Dr. Alhan SARIYEV
ÜYE**

İmza

**Prof. Dr. Sermet ÖNDER
ÜYE**

**Bu tez Enstitümüz Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalında
hazırlanmıştır.
Kod No:**

**Prof. Dr. Aziz ERTUNÇ
Enstitü Müdürü
İmza ve Mühür**

**Bu Çalışma Ç.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Tarafından
Desteklenmiştir.
Proje No: ZF 2004 D 22**

**Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve
fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki
hükümlere tabidir.**

ÖZ
DOKTORA TEZİ

**İKİNCİ ÜRÜN MISIR BİTKİSİNDE BİTKİ SU STRESİ
İNDEKSİNİ (CWSI) KULLANARAK UYGULANACAK SULAMA
SUYU MİKTARININ KESTİRİMİ**

Burçin GENÇEL

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA ANABİLİM DALI**

Danışman : Prof. Dr. Attila YAZAR

Yıl : 2009 , **Sayfa:**86

Jüri : Prof. Dr. Attila YAZAR

Prof. Dr. Müjde KOÇ

Prof. Dr. Sevilay TOPÇU

Prof. Dr. Alhan SARIYEV

Prof. Dr. Sermet ÖNDER

Bitkiye dayalı sulama programlama tekniklerinden olan bitki su stresi indeksi (CWSI) yöntemiyle son yıllara kadar yalnızca sulama zamanı belirlenebiliyor ancak ne kadar su uygulanması konusuna somut bir yanıt verilemiyordu. Yöntemin bu eksikliğini gidermek amacıyla yapılan bu çalışmada toprak profilindeki kullanılabilir suyun tüketilen yüzdesini (fDEP) doğrudan bitki su stresi indeksine (CWSI) ilişkilendiren bir yaklaşım incelenmiştir. Araştırmada üç farklı sulama konusu ele alınmış (kök bölgesindeki kullanılabilir suyun %40, 60 ve 80'i tüketildiğinde sulama yapılması) ve Çukurova koşullarında ikinci ürün mısır bitkisinde yukarıda değinilen yaklaşım uygulanmıştır. Kuramsal CWSI ile fDEP arasındaki ilişkiler belirlenerek sulamalar öncesi toprak profilinden tüketilen su miktarı kestirilmiş dolayısıyla sulamada uygulanacak sulama suyu miktarı da belirlenmiştir. Böylece, CWSI yöntemi hem sulama zamanını hem de ne kadar su uygulanması gerektiğini belirleyebilen bir yaklaşım haline dönüştürülmüştür.

Anahtar Kelimeler: CWSI, fDEP, mısır, su stresi, sulama programlaması.

ABSTRACT
PhD THESIS

**ESTIMATING AMOUNT OF IRRIGATION WATER TO APPLY
USING CROP WATER STRESS INDEX ON SECOND CROP
MAIZE**

Burçin GENÇEL

**DEPARTMENT OF AGRICULTURAL STRUCTURES AND IRRIGATION
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY OF ÇUKUROVA**

Supervisor : Prof. Dr. Attila YAZAR
Year : 2009, **Pages:**86
Jury : Prof. Dr. Attila YAZAR
Prof. Dr. Müjde KOÇ
Prof. Dr. Sevilay TOPÇU
Prof. Dr. Alhan SARIYEV
Prof. Dr. Sermet ÖNDER

Crop water stress index (CWSI) method which is one of the plant based irrigation scheduling technique, has been used to determine irrigation timing however it provides no answer to the question of “how much water apply”. To overcome of the shortcoming of this method, an approach to find a direct relationship between the fraction of available soil water depletion (fDEP) and crop water stress index (CWSI) was investigated. In this study, three different irrigation regimes (irrigating at 40%, 60% and 80% depletion of available soil water) were considered to test the abovementioned approach on the second crop corn under the Mediterranean climatic conditions.

The results revealed that using relationship developed between theoretical CWSI and fDEP, soil water depletion in the root zone depth was determined. Thus, the amount of water to apply has been determined. Therefore, CWSI technique has been improved to indicate not only irrigation time but also provides the answer “how much water to apply”.

Key Words: CWSI, fDEP, maize, water stress, irrigation scheduling.

TEŞEKKÜR

Araştırma konumun belirlenmesinden tezin basılmasına kadar her aşamada yardım ve desteğini gördüğüm sayın hocam Prof. Dr. Attila YAZAR'a, tez izleme komitemde yer alan ve çalışmama yön vermemde yardımcı olan değerli hocalarım Prof. Dr. Müjde KOÇ ve Prof. Dr. Sevilay TOPÇU'ya katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Sevgili eşim Y. Fulya GENÇEL' e doktora çalışmamın her aşamasında verdiği destekten ve gösterdiği sabırdan dolayı teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER	SAYFA
	I
ÖZ.....	
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	4
2.1. Su – Verim İlişkileri.....	4
2.2. Bitki Su Stresi İndeksi.....	8
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	14
3.1. Materyal.....	14
3.1.1. Araştırma Yeri.....	14
3.1.2. Toprak Özellikleri.....	14
3.1.3. Sulama Suyunun Sağlanması.....	15
3.1.4. İklim Durumu.....	15
3.2. Yöntem.....	17
3.2.1. Araştırma Konuları ve Deneme Deseni.....	17
3.2.2. Ekim.....	17
3.2.3. Gübreleme.....	17
3.2.4. Tarımsal Savaşım.....	18
3.2.5. Toprak Su İçeriği Gözlemleri.....	18
3.2.6. Bitki Su Tüketimi (ET).....	18
3.2.7. Su Kullanım Randımanı (WUE ve IWUE).....	20
3.2.8. Fenolojik Gözlemler ve Ölçümler.....	20
3.2.9. Hasat İndeksi.....	21
3.2.10. Yaprak Alan İndeksi.....	21
3.2.11. Bitki Taç Sıcaklığı.....	21

3.2.12. Stoma Direnci.....	22
3.2.13. Bitki Su Stresi İndeksinin (CWSI) Hesaplanması.....	22
3.2.14. Bitki Su Stresi İndeksi (CWSI) İle Toprak Su Stresi İndeksi (SWSI) Arasındaki İlişkinin Belirlenmesi.....	25
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	30
4.1. Sulamaya İlişkin Bulgular.....	30
4.2. Bitki Su Tüketimi Bulguları	35
4.3. Dane Verimi	37
4.3.1. Dane Veriminin Sulama Suyu ve Su Tüketimi İle İlişkisi	40
4.4. Bin Dane Ağırlığı.....	41
4.4.1. Bin Dane Ağırlığı İle Sulama Suyu ve Su Tüketimi İlişkisi...	43
4.5. Kuru Madde (Biyomass) Verimi, Bitki Boyu ve Yaprak Alan İndeksi (LAI).....	44
4.6. Referans ET (Kıyas Bitki Su Tüketimi).....	52
4.7. Bitki Su Stresi İndeksi (CWSI) ve Stoma Direnci Değerlerine İlişkin Bulgular.....	53
4.8. Bitki Su Stresi İndeksi (CWSI) - Toprak Su Stresi İndeksi (SWSI) İlişkisi Bulguları.....	59
4.8.1. Bitki Su Stresi İndeksi Kullanılarak Sulama Suyu Miktarının Hesaplanmasında İzlenen Yol.....	69
4.9. Bitki Su Stresi İndeksi (CWSI) İle Stoma Direnci Arasındaki İlişkiler.....	70
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	73
KAYNAKLAR.....	75
ÖZGEÇMİŞ.....	81

ÇİZELGELER DİZİNİ	SAYFA
Çizelge 3.1. Deneme Alanı Topraklarının Kimi Fiziksel Özellikleri.....	14
Çizelge 3.2. Bölümü Deneme Alanı Topraklarının Kimi Kimyasal Özellikleri.....	15
Çizelge 3.3. Denemede Kullanılan Sulama Suyunun Analiz Sonuçları.....	15
Çizelge 3.4. Araştırma Yıllarına İlişkin Ve Uzun Yıllık Ortalama İklim Verileri.....	16
Çizelge 4.1. Deneme Konularına Uygulanan Sulama Suyu Miktarları (Mm) Ve Tarihleri (2005).....	30
Çizelge 4.2. Deneme Konularına Uygulanan Sulama Suyu Miktarları (Mm) Ve Tarihleri (2006).....	31
Çizelge 4.3. Konulara Göre Verim, Uygulanan Sulama Suyu Miktarları, ET Ve Su Kullanım Etkinlikleri.....	36
Çizelge 4.4. Konulara İlişkin Dane Verimi Değerleri (2005).....	38
Çizelge 4.5. Konulara İlişkin Dane Verimi Değerleri (2006).....	39
Çizelge 4.6. Dane Verimine İlişkin Varyans Analiz Çizelgesi (2005).....	39
Çizelge 4.7. Dane Verimine İlişkin Varyans Analiz Çizelgesi (2006).....	39
Çizelge 4.8. Konulardan Elde Edilen Ortalama Bin Dane Ağırlıkları.....	42
Çizelge 4.9. Bin Dane Ağırlıklarına İlişkin Varyans Analiz Sonuçları (2005).....	42
Çizelge 4.10. Bin Dane Ağırlıklarına İlişkin Varyans Analiz Sonuçları (2006).....	42
Çizelge 4.11. Konulara Göre Bitki Boyu, Kuru Madde Miktarı (KMM) Ve Yaprak Alan İndeksi (LAI) Değerleri (2005).....	44
Çizelge 4.12. Konulara Göre Bitki Boyu, Kuru Madde Miktarı (KMM) Ve Yaprak Alan İndeksi (LAI) Değerleri (2006).....	44
Çizelge 4.13. Konulara İlişkin Hasat İndeksi (HI) Değerleri (2005).....	50
Çizelge 4.14. Konulara İlişkin Hasat İndeksi (HI) Değerleri (2006).....	50

Çizelge 4.15. Hasat İndeksi Değerlerine İlişkin Varyans Analiz Çizelgesi (2005).....	51
Çizelge 4.16. Hasat İndeksi Değerlerine İlişkin Varyans Analiz Çizelgesi (2006)	51

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 3.1. Bitki Su Stresi İndeksinden Uygulanacak Sulama Suyu Miktarının Ve Tüketilen Toprak Suyu Yüzdesinin Kestirimi İçin Akış Diyagramı.....	29
Şekil 4.1. Sulama Öncesi Toprak Su İçerikleri (2005).....	33
Şekil 4.2. Sulama Öncesi Toprak Su İçerikleri (2006).....	34
Şekil 4.3. Yıgışımli Su Tüketim Değerleri (2005).....	35
Şekil 4.4. Yıgışımli Su Tüketim Değerleri (2006).....	36
Şekil 4.5. Sulama Suyu – Verim İlişkisi.....	41
Şekil 4.6. Yıgışımli Su Tüketimi – Verim İlişkisi.....	41
Şekil 4.7. Konulara Göre Bin Dane Ağırlığı – Sulama Suyu Veya ET İlişkisi.....	43
Şekil 4.8. Yaprak Alan İndeksi Gelişimi (2005).....	45
Şekil 4.9. Yaprak Alan İndeksi Gelişimi (2006).....	46
Şekil 4.10. Konulara Göre Kuru Madde Yıgışımı (2005).....	47
Şekil 4.11. Konulara Göre Kuru Madde Yıgışımı (2006).....	47
Şekil 4.12. Konulara Göre Bitki Boyu Değişimi (2005).....	48
Şekil 4.13. Konulara Göre Bitki Boyu Değişimi (2006).....	49
Şekil 4.14. Referans ET Değerinin Zamansal Değişimi (2005).....	52
Şekil 4.15. Referans ET Değerinin Zamansal Değişimi (2006).....	52
Şekil 4.16. Deneme Konularında, Mısır Bitkisinde Stoma Direnci Değerlerinin Zamana Göre Değişimi.....	53
Şekil 4.17. Deneme Konularında Tc-Ta Farklarının Zamana Göre Değişimi (2005).....	54
Şekil 4.18. Deneme Konularında Tc-Ta Farklarının Zamana Göre Değişimi (2006).....	55
Şekil 4.19. I –40 Konusunda CWSI Değerinin Zamansal Değişimi (2005)	56
Şekil 4.20. I –40 Konusunda CWSI Değerinin Zamansal Değişimi (2006)	56
Şekil 4.21. I –60 Konusunda CWSI Değerinin Zamansal Değişimi (2005)	57

Şekil 4.22. I –60 Konusunda CWSI Değerinin Zamansal Değişimi (2006)	57
Şekil 4.23. I –80 Konusunda CWSI Değerinin Zamansal Değişimi (2005)	58
Şekil 4.24. I –80 Konusunda CWSI Değerinin Zamansal Değişimi (2006)	58
Şekil 4.25. Ks Değerinin Zamansal Değişimi (I-40 Konusu, 2005).....	60
Şekil 4.26. Ks Değerinin Zamansal Değişimi (I-60 Konusu, 2005).....	60
Şekil 4.27. Ks Değerinin Zamansal Değişimi (I-80 Konusu, 2005).....	61
Şekil 4.28. Ks Değerinin Zamansal Değişimi (I-40 Konusu, 2006).....	61
Şekil 4.29. Ks Değerinin Zamansal Değişimi (I-60 Konusu, 2006).....	62
Şekil 4.30. Ks Değerinin Zamansal Değişimi (I-80 Konusu, 2006).....	62
Şekil 4.31. CWSI Ve SWSI Değerlerinin Zamansal Değişimi (I40, 2005)	63
Şekil 4.32. CWSI Ve SWSI Değerlerinin Zamansal Değişimi (I60, 2005)	63
Şekil 4.33. CWSI Ve SWSI Değerlerinin Zamansal Değişimi (I80, 2005)	64
Şekil 4.34. CWSI Ve SWSI Değerlerinin Zamansal Değişimi (I40, 2006)	65
Şekil 4.35. CWSI Ve SWSI Değerlerinin Zamansal Değişimi (I60, 2006)	65
Şekil 4.36. CWSI Ve SWSI Değerlerinin Zamansal Değişimi (I80, 2006)	66
Şekil 4.37. CWSI-SWSI İle Yıgışımllı Eto Arasındaki İlişki.....	67
Şekil 4.38. Bitki Su Stresi İndeksi (CWSI) İle Toprak Su Stresi İndeksi (SWSI) Arasındaki İlişki.....	68
Şekil 4.39. Gerçek fdcp Değeri İle Hesaplanan fdcp Değeri Arasındaki İlişki.....	68
Şekil 4.40. Ölçülen Ve Tahmin Edilen Su Tüketimleri (Uygulanacak Sulama Suyu Miktarları) Arasındaki İlişki.....	69
Şekil 4.41. Bitki Su Stresi İndeksi (Cwsı) İle Stoma Direnci Arasındaki İlişkiler.....	70

1. GİRİŞ

Toprak ve su kaynaklarının korunması, geliştirilmesi ve toplum yararına en iyi biçimde değerlendirilmesi, çağımızda hemen hemen tüm ülkelerin önde gelen amaçları arasında yer almaktadır. Su kaynaklarının %70'ine yakın bölümü sulama amacıyla tarımda kullanılmaktadır. Son yıllarda ülkemizin önemli bir bölümünde çok büyük boyutlara ulaşan kuraklık, hem yer altı hem de yerüstü su kaynaklarını olumsuz yönde etkilemiştir. Diğer taraftan bu bölgelerde endüstriyel kullanım ve kentsel içme-kullanma suyu gereksinimleri, sulama suyu kaynakları üzerinde büyük bir rekabete yol açmıştır. Tüm bunlara ek olarak, sürekli artış gösteren enerji ve işçilik giderleri de su kaynaklarının daha etkin kullanımını zorunlu kılmaktadır. Belirtilen nedenlerle tarım, su tasarrufu sağlamak bakımından en yüksek potansiyele sahiptir. Sınırlı su kaynaklarının sürdürülebilir bir biçimde geliştirilmesinde başvurulacak yolların başında sulama programlaması gelmektedir.

Sulama yönetimi ne zaman sulama yapılması gerektiğini ve bir sulamada ve bitkinin gelişme dönemlerine göre ne kadar su uygulanacağını, ayrıca sulama sisteminin işletme ve bakımı işlerini kapsar. Temel işletim amacı çevreden ödün vermeden üretim sistemlerini kar amacıyla yönetmektir. Esas yönetim faaliyeti sulama programlaması diğer bir deyişle ne zaman ve ne kadar su uygulanacağını belirlemeyi içerir. Sulama zamanını ve ne kadar su uygulanacağını belirlemede çok sayıda yöntem geliştirilmiş ve test edilmiştir. Kimi metotlar topraktaki veya bitkideki su durumunu belirlemek amacıyla toprak suyu eksikliğini veya bitki su stresini gösteren aygıtları gerektirirler. Diğerleri toprak su içeriğindeki periyodik değişimleri kestiren matematik modelleri kullanırlar. Bu modeller genellikle girdi olarak güncel iklim verilerini ve bitkiye ilişkin bilgileri kullanırlar (Yazar, 2009).

Başarılı sulama programlamasının suyun toprak içindeki akışı, bitkilerin topraktan su alımı ve atmosfere su kaybını yönlendiren temel ilkelerin derinlemesine anlaşılmasına bağlı olduğu açıktır. Eğer bitkiler sulamanın gerekli olduğuna ilişkin yararlı bilgileri sağlayacaksa, o zaman bitki su statüsünü etkileyen faktörlerin tümünü anlamak ve bitki davranışını doğru irdelemek için bitki su durumu yanında söz konusu faktörlerin de ölçümünü gerektirir (Yazar, 2009).

Sulama programlamasında bitkiye dayalı yöntemler, bitkinin toprak, su, atmosfer sürekli ortamının ortasında bulunması nedeniyle bunların bütünleşik etkilerini daha iyi yansıttıklarından diğer programlama tekniklerine kıyasla daha sağlıklı sonuçlar verirler. Bu tekniklerden biri de bitki yüzey sıcaklığı ile hava sıcaklığı farkından ve havanın buhar basıncı açığından yararlanılarak oluşturulan bitki su stresi indeksi (CWSI), son 20 yılda sulama programlamasında başarıyla kullanılmıştır. Özellikle, portatif infrared termometrelerin yaygınlaşmasıyla yüzey sıcaklığı hızlı ve doğru bir biçimde belirlenebilmektedir. Ancak, anılan teknik ile yalnızca sulama zamanı belirlenmekte ne kadar su uygulanacağına ilişkin bir bilgi vermemektedir. Yapılan çalışmalarda CWSI ile toprakta kullanılabilir su arasında iyi tanımlanmış bir ilişki saptanamamıştır. Bu durum anılan tekniğin sulama programlamasında kullanımını sınırlandırmıştır.

Bu çalışmada toprak profilindeki kullanılabilir suyun tüketilen yüzdesini (fDEP) doğrudan CWSI ilişkilendiren bir yaklaşım Çukurova koşullarında yüzey yöntemiyle sulanan ikinci ürün mısır bitkisi üzerinde test edilmiştir. Anılan yaklaşım ilk olarak Colaizzi ve Ark. (2003) tarafından geliştirilmiş ve Arizona'da yüzey yöntemiyle sulanan pamukta başarıyla uygulanmıştır. Jackson ve Ark. (1981) CWSI'ni evapotranspirasyona (ET_c) ilişkilendirmişlerdir. FAO 56 (Allen ve Ark., 1998) yöntemine göre ET_c, referans ET ile bitki katsayısı K_c'nin çarpılması ile belirlenmektedir. ET_c'nin atmosferik istemin altına düşmesi durumunda, su stresi faktörü K_s aracılığı ile ET_c'deki bu azalma hesaba katılmaktadır. K_s faktörü K_c terimi içerisinde dikkate alınmaktadır. Verilen bir bitki için K_s, fDEP ve atmosferik istemin bir fonksiyonudur. Jensen ve Ark. (1970) yalnızca fDEP'in fonksiyonu olarak K_s eşitliği geliştirmişlerdir. K_s terimini içeren bir su stresi indeksi (SWSI) geliştirilerek ve CWSI'nin SWSI'ne eşit olduğu varsayılarak, CWSI'nin fDEP'e ilişkilendirilebileceği hipotezi ortaya atılmıştır. Ancak, FAO 56 ve Jensen'in K_s eşitlikleri sulamadan sonra turgora yeniden kavuşma süresini dikkate almamaktadır. Bilindiği gibi, sulamadan hemen sonra CWSI sıfıra düşmemektedir. Bu nedenle, stresten çıkış katsayısı (K_{rec}) bu yaklaşımda dikkate alınmıştır. Böylece, şimdiye dek yalnızca sulama zamanının belirlenmesinde kullanılan infrared termometre

teknîği, bu çalışmada öne sürülen yaklaşımla ne kadar su uygulanması gerektiği konusuna da yanıt verecek şekilde daha işlevsel hale getirilmeye çalışılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR**2.1. Su- Verim İlişkileri**

Diğer tarımsal girdilerin optimum düzeyde karşılanması koşuluyla, büyüme mevsimi boyunca bitki kök bölgesinde depolanan su miktarı arttıkça verimde de bir artış meydana gelmekte ve belirli bir toprak suyu düzeyinde verim en yüksek değere ulaşmaktadır. Belirli bir düzeyden sonra uygulanan su verimde daha fazla artışa değil aksine drenajın iyi olmadığı koşullarda verimde azalmaya neden olur. Büyüme mevsimi boyunca bitki kök bölgesinde depolanan su miktarı bitkinin gereksinimini karşılamaktan uzak ise su eksikliği nedeniyle bitki veriminde azalmalar meydana gelir. Verim azalışı toprak su eksikliğinin derecesine, bitkinin strese duyarlılığına ve atmosferik koşullara bağlıdır (Yazar, 2009).

Su kaynaklarından en iyi şekilde yararlanmanın temel koşulu toprak, iklim ve bitki etmenlerine bağlı olan sulama zamanı ve miktarı arasındaki ilişkinin bilinmesidir (James ve Ark. 1982). Anılan kaynaklardan sulamaya ayrılan su miktarı, endüstriyel ve kentsel kullanım yanında çevre kirliliği nedeniyle giderek azalmaktadır. Bunun sonucu, sulama şebekelerinin kısıntılı su kullanma koşullarına göre planlanması ve işletilmesi için öncelikle verim ile sulama suyu arasındaki ilişkilere gereksinim duyulmaktadır (Hanks, 1983; Smith, 1984; Kanber ve Kırdı, 1994).

Sulama sistemlerinin ekonomik yönden değerlendirilmesi, verim ile sulama suyu arasındaki ilişkinin bilinmesini zorunlu kılmaktadır. Eğer, su bir girdi, verim çıktı ise; ikisi arasındaki ilişki bitki su-verim fonksiyonu olarak tanımlanmıştır. Ancak, anılan fonksiyonlar önemli ölçüde deneysel olduklarından yalnız belli yöreleri ve koşulları temsil ederler. Bunun yanında, su-verim fonksiyonlarında iklim değişkenleri, bitki besin maddeleri, toprak tuzluluğu, toprak ve sulamadaki yersel değişkenlikler, hastalık ve zararlılar vb gibi etmenler dikkate alınmış veya alınmamış olabilir. Tüm bunlara karşın su-verim fonksiyonları, işletme ve ekonomik analizler için en yüksek net gelirin hesaplanmasında, marjinal üretimin karşılaştırılmasında da gereklidir (Russo ve Bakker, 1987).

Uygun sulama zamanının seçimi çok önemli olduğundan bitkinin su stresine duyarlı olduğu dönemde, sulama geciktirildiğinde, bir sonraki sulamada fazla su uygulansa bile verim düşmektedir. Sulama aralığını bir takvime veya sabit bir sulama programına bağlama yerine bitki gelişim dönemlerine göre değişen bitki su gereksinimlerini karşılama esnekliği gösterebilen sulama zamanı ve sulama miktarı saptanmalıdır (Doorenbos ve Pruitt, 1977).

Mısır bitkisi, gelişim dönemlerinde topraktaki su açığına karşı farklı tepkiler gösterir. Su stresine duyarlı gelişme dönemleri vejetatif, çiçeklenme+döllenme ve dane bağlama olmak üzere genellikle üç bölümde incelenmektedir. Bu konuda çok sayıda araştırma sonuçlarına göre, topraktaki su açığına karşı en duyarlı dönemin çiçeklenme+döllenme dönemleri olduğu belirtilmektedir (Hanks ve ark., 1978; Ul,1990; Öğretir, 1993). Eğer su sıkıntısı vejetatif periyotta oluşursa bitkinin su stresine uyum sağlayabileceği belirlenmiştir. Tozlanma döneminde oluşacak su stresinin verimi azalttığı ve verimdeki bu azalışın da su kullanım randımanını düşürdüğü saptanmıştır. Mısır bitkisi ilk iki gelişim döneminde yeterli düzeyde sulanmadığında, dane dolum döneminde yapılan sulamanın verime etkisinin olmadığı hatta verime olumsuz etkisi olduğu belirlenmiştir. Mısır bitkisinin tozlanma döneminin diğer gelişme periyotlarına göre daha kritik olması nedeniyle anılan dönemde bitkinin gereksinim duyduğu suyun mutlaka verilmesi gerektiği vurgulanmıştır (Doorenbos ve Pruitt, 1977).

Retta ve Hanks (1980), mısırdaki sulama suyunun olanağa göre kısıtlandığı durumda, oransal su tüketimindeki eksilme ile oransal dane verimindeki azalma arasında doğrusal bir ilişki olduğunu belirlemişlerdir. İki yıllık deneme sonucu, verim tepki etmeni, ky , değerlerini sırasıyla 1.12 ve 1.39 olarak saptamışlardır.

Stewart ve Hagan (1973), Davis CA. da Yolo killi topraktaki çalışmalarında, verim ve mevsimlik ET arasında doğrusal bir ilişki bulmuşlardır. Daha sonraki bir çalışmada Stewart ve Ark. (1975) sulama programının verim azalması ve mevsimlik ET açığı arasındaki doğrusal ilişkiden etkilendiğini bulmuşlardır.

Hanks ve Ark. (1976), siltli tınlı toprakta mısırın farklı gelişme dönemlerinde çizgi kaynaklı yağmurlama sulama yöntemi kullanarak yürüttükleri çalışmada, dane verimi ve kuru madde ile ET arasında doğrusal bir ilişkiler bulunduğunu

saptamışlardır. Retta ve Hanks (1980), Utah'ta arazi koşullarında su sıkıntısının mısır verimine etkisini belirlemek için yürütülen çalışmada, anılan bitkinin kuru madde miktarı ve dane verimi ile evapotranspirasyon (ET) arasında doğrusal ilişkiler olduğunu belirlemişlerdir.

Çukurova koşullarında ikinci ürün mısırın su-verim ilişkilerini saptamak amacıyla Tarsus Köy Hizmetleri Araştırma Enstitüsünde yürütülen çalışmada sulama suyu gereksinimi 290-427.8 mm, mevsimlik su tüketimi ise 474.2-530.9 mm arasında değişmiştir. En yüksek tüketimin ise Ağustos ve Eylül aylarında gözlenmiştir. Sulama suyu (I)-dane verimi(Y) arasında, $Y=183.52+1.18 I$ ($r=0.595$); mevsimlik su tüketimi (ET) ile dane verimi arasında ise, $Y=63.54+1.05 ET$ ($r=0.678$) şeklinde doğrusal ilişkiler bulunmuştur. Toplam sulama suyu (I) ile yüz dane ağırlığı (YD) ve koçan başına düşen dane verimleri (D/K) arasında sırasıyla, $YD=246.15+0.1 I$ ($r=0.47$) ve $D/K=67.19+0.15 I$ ($r=0.7$) şeklinde doğrusal bağlantılar belirlenmiştir. Mevsimlik verim etmeni (ky) 0.98 olarak bulunmuştur. Uygun sulama programı seçildiğinde sulama suyu yeterinden az olsa da su kullanım randımanının arttığı gözlenmiştir (Kanber ve Ark.,1990).

Bushland, Texas'ta farklı gelişim dönemlerinde su kısıntısı yapılan konularda mısırın mevsimlik su gereksinimi 400mm, mevsimlik su tüketimi ise 667-789 mm olarak saptanmış ve koşullarda dekardan 952-1085 kg dane verimi alınmıştır. Su kullanım randımanının da 1,25-1,46 kg/m³ arasında değiştiği belirlenmiştir. Su kısıntısının ortalama dane verimini azalttığı ve kısıntı uygulanan konularda su kullanım randımanının 1,72-2,87 kg/m³ arasında değiştiği saptanmıştır. Texas gibi su kaynaklarının yetersiz olduğu bölgelerde, mısır gibi su stresine duyarlı bitkilerden kısıntılı sulama ile yüksek verim almanın zor olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, mevsimlik su gereksinimi ve ET ile dane verimi arasında doğal ilişkiler belirlenmiştir (Musick ve Dusek, 1980).

Mısırın sulama suyu ve gübre gereksinimini belirlemek için El Salvador'da kumlu tınlı toprakta yürütülen çalışmada, 4 farklı su düzeyi damla ve karık sulama yöntemleri ile uygulanmıştır. Dört farklı gübre dozu ise sulama suyu miktarının ve sulama yöntemlerinin kombinasyonları şeklinde verilmiştir. Uygulanan su miktarı arttıkça ve azot (N) dozu dekara 20 kg uygulana dek mısır veriminin arttığı

saptanmıştır. Sulama suyu ile gübre dozları arasında önemli etkileşimlerin olduğu belirlenmiştir. Dane veriminin, damla sulama yöntemiyle daha az su uygulanmasına rağmen, sulama metodlarından bağımsız olduğu gözlenmiştir (Stutler ve Ark., 1981).

Su stresine duyarlı olan ve hızlı gelişen mısır bitkisinin sulanmasına 6-7 yapraklı dönemde başlanmalı, sapa kalkma, çiçeklenme ve dane dolum dönemlerinde de mutlaka sulamalar yapılmalıdır. Çukurova koşullarında her sulamada 100 ile 150 mm arasında değişmek koşuluyla ortalama 5-6 kez sulama yapılmalıdır (Gençoğlu, 1996).

Gençoğlu (1996), mısır dane veriminin, su kısıntısının yapılmadığı I100 sulama konusunda 1001,5 ile 1003,4 kg/da, %100 kısıntının yapıldığı I0 konusunda 105,0-177,4 kg/da arasında değiştiğini belirtmiştir. Sonuç olarak su kısıntısı arttıkça dane verimi azalmıştır. Sulama konularında bitki su stresi arttıkça dane ağırlığı, LAI, kuru madde miktarı, bitki boyu, yaprak sayısı, bitki başına koçan sayısı, bitki başına dane sayısı ile verimi ve birim alandaki dane sayısı azalmıştır. Bitki boyu ile LAI değerlerinin I ve ET'yle ayrı ayrı aralarında denemenin birinci yılında doğrusal, ikinci yılında ise 2. dereceden ilişkiler olduğu bulunmuştur. Dane ağırlığı ve kuru madde miktarının I ve ET'yle aralarında ayrı ayrı her iki yılda da sırasıyla ikinci dereceden ve doğrusal eşitlikler olduğu saptanmıştır.

Texas'ta Southern High Plains koşullarında killi-tınlı toprakta mısırın vegetatif ve dane dolum dönemlerinde su kısıntısı uygulanmıştır. Su kısıntısının ekimden 41 gün sonra uygulanması durumunda yaprak, gövde ve koçan veriminde; kısıntının 55 gün sonra uygulandığı koşullarda yalnızca gövde ve koçan veriminde azalmalara neden olduğu belirlenmiştir. Su kısıntısı yalnız dane dolum sürecinde uygulandığında, yaprak ve gövde verimi etkilenmemiş ancak koçan verimi azalmıştır. Dane dolum döneminin başında uygulanan düşük su stresi, dane sayısını etkilememiştir. Dane veriminde, dane ağırlığıyla orantılı olarak bir azalma olduğu gözlenmiştir. Su tüketimi karık yöntemiyle sulamada 964 mm; uzun tava sulamada ise 834 mm olarak belirlenmiştir. Bunun yanında anılan yörede mısır bitkisinin kısıntılı sulamayla uygun olmadığı saptanmıştır (Eck, 1986).

2.2. Bitki Su Stresi İndeksi

Her hangi bir bitkinin ne zaman sulanması gerektiğini, ne toprak su içeriği ne de atmosferik istem, bitkinin kendi içsel su durumu kadar doğru belirtmez. Bu nedenle, bitkinin içsel su durumunu belirlemeye yönelik yöntemler sulama programlarının hazırlanmasında yaygın olarak kullanılmaya başlanılmıştır (Reginato ve Howe, 1985; Yazar, 1993). Yapılan araştırmalar bitki su stresinin, kolaylıkla ölçülebilen parametreler kullanılarak niceliksel olarak ifade edebileceğini göstermiştir. Söz konusu parametreler, bitki taç ve hava sıcaklığı farkı ile yaygın olarak atmosferin buharlaştırma istemi olarak tanımlanan havanın buhar basıncı açığıdır (Jackson ve Ark., 1981; Idso ve Ark., 1981).

Su eksikliği çekmeyen, sağlıklı olarak büyüyen bir bitkinin yapraklarının sıcaklığı bitkiye çevreleyen havanın sıcaklığından daha düşüktür. Bunun nedeni bitki yüzeylerine gelen enerjinin suyun buharlaştırılmasında kullanılmasıdır. Toprak suyundaki azalmaya bağlı olarak bitki su alımı azaldığında terleme yavaşlar ve yapraklarda bulunan stomalar yavaş yavaş kapanmaya başlar. Bu durumda gelen solar enerji terlemede değil yaprak yüzeyi sıcaklığının artmasında kullanılır. Yaprak sıcaklığı hava sıcaklığını geçtiğinde terleme iyice yavaşlamıştır. Dolayısıyla, bitki taç sıcaklığı ile hava sıcaklığı farkı stresin bir göstergesi olarak kök bölgesinde kullanılabilir su miktarını değerlendirmede kullanılmaktadır. Taç sıcaklığı ile hava sıcaklığı farkına karşı havanın buhar basıncı açığı arasındaki ilişkiden gidilerek bitki su stresi indeksi geliştirilmiştir. Bitki belirli bir stres indeksi değerine ulaştığında sulanması gerekir. Bu eşik değer bitkiden bitkiye, iklime, yetiştirme tekniklerine bağlı olarak değişir (Yazar, 2009).

Bitkiler terledikçe yaprak sıcaklığı azalmakta ve hava sıcaklığının altına düşmektedir. Taç-hava sıcaklığı farkından ve psikrometrik ölçümlerden yararlanarak bitki su stres indeksi (CWSI) belirlenmektedir (Jackson, 1982). Anılan yöntemde ölçümler sırasında bitkiye temas edilmediğinden, bitkilere zarar verilmemekte, hızlı ve doğru ölçümler yapılabilmektedir (Zipoli, 1990).

Tarım alanlarında, sınırlı su kaynaklarının işletilmesinde uygun sulama programlarının öneminin giderek arttığını belirten Clawson ve Blad (1982), infrared

termometre (IRT) ile ölçülen taç sıcaklığının sulama programlarının hazırlanmasında kullanılabileceğini vurgulamışlardır. Nielsen ve Gardner (1987), CWSI ile sulama zamanının belirlenebileceğini, ancak bu yöntemin ne kadar su uygulanacağı konusunda bir fikir vermeyeceğini belirtmişlerdir. Reginato (1983), günlük CWSI değerlerinin atmosferik isteme ve toprak su içeriğine bağlı olarak değiştiğini saptamıştır.

Bitki su stresi indeksi, iki farklı yaklaşımla bulunmaktadır. Bunlardan birincisi deneysel, ikincisi ise teorik olanıdır. Deneysel yaklaşımda, taç-hava sıcaklığı farkı ($T_c - T_a$) ile buhar basıncı açığı (VPD) arasında regresyon analizi yapılmaktadır. Teorik olanında ise bitki tacının özelliğini yansıtan hava direnci (r_a) ve tac direncini (r_c) kullanarak enerji denge eşitliklerinden yararlanılmaktadır. Her iki yöntemde de bulunan ($T_c - T_a$) farkı bitkinin karakteristik özelliğini yansıtmaktadır (O'Toole ve Real, 1986).

Jackson ve Ark. (1981), Monteith (1973) tarafından verilen enerji dengesi eşitliğini kullanarak alt ve üst sınır değerlerini teorik olarak geliştirmiş ve anılan eşitliklerden yararlanarak teorik bitki su stresi indeksini (CWSI) saptamışlardır. Anılan teorik yaklaşımı kullanarak Jackson (1982); Wiegand ve Ark. (1983); Jackson ve Ark. (1988); Clawson ve Ark. (1989); Stockle ve Dugas (1989); Steinmetz ve Ark. (1989); Braunworth ve Mack (1989); Yazar (1990); Wanjura ve Ark. (1990); Stockle ve Dugas (1992); Yazar (1993) çeşitli bitkilerin su stresi indeksini (CWSI) saptamışlardır.

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

O'Toole ve Hatfield (1983), bitki su stresinin sezinlenmesinde en kritik aşamaların bitkinin transpirasyon yapmadığı varsayılan üst sınır (UL) ile potansiyel transpirasyon yaptığı varsayılan alt sınırın (LL) belirlenmesi olduğunu vurgulamışlardır.

Idso (1982), çeşitli bitkilere ilişkin hem deneysel hem de teorik olarak geliştirilen alt sınır ilişkilerinin bitkiye bağlı olduğunu deneysel olarak göstermiş ve bazı bitkilerin değişik gelişme devreleri için alt sınırın farklı olduğunu ortaya koymuştur. Teorik ve ampirik olarak belirlenen alt ve üst sınır çizgilerinden yararlanarak saptanan bitki su stresi indeksinin (CWSI) sıfır ile bir arasında değiştiği belirlenmiştir. Horst ve Ark. (1989), su stresinin olmadığı alt sınırın bitkinin türüne, çeşidine ve çevre koşullarına bağlı olduğunu ayrıca rüzgar hızından, net radyasyondan ve bitki tacından etkilendiğini ifade etmişlerdir. Küçük bitkilerin yaprakları büyük bitkilerin yapraklarına göre çevre sıcaklığından daha fazla etkilenmektedir. Bu nedenle, bitki boylarının kısa olduğu yetiştirme mevsimi başında su stresinin olmadığı alt sınıra gereksinim duyulmaktadır (Pinter ve Reginato 1982).

CWSI ile net radyasyon arasında doğrusal bir ilişki bulunmuştur. Bu ilişkiden CWSI belirli bir değere ulaştığında transpirasyonun, potansiyel transpirasyonun altına düştüğü ve benzer şekilde fotosentezin de azaldığı belirlenmiştir (Idso ve Ark., 1981).

Bir çok bitki üzerinde yapılan araştırmalarda su stresinin olmadığı varsayılan alt sınırın düşey eksen pozitif bir değerde kestiği bulunmuştur. Bu fiziksel olaya, atmosfer tamamen doymuş hale getirilerek VPD sıfıra düşürülse bile yapraktan atmosfere pozitif su buharı akısının neden olduğu saptanmıştır. Buna, yaprak sıcaklığındaki doymuş buhar basıncının, daha düşük hava sıcaklığındaki doymuş buhar basıncından daha büyük olmasının neden olduğu belirlenmiştir. Oransal nemin %100 olduğu koşullarda bile ihmal edilmeyecek derecede transpirasyon akısı söz konusudur. Dolayısıyla transpirasyonun sıfıra azaltılması durumunda, bitki tacının ulaşması gerektiği sıcaklığı belirlemek için atmosferik doymuşlukta taç ile hava arasındaki buhar basıncı gradyentinin (VPG) giderilmesi, diğer bir deyişle bunun sıfır olması gerekir. Bunu yapmanın bir yolu da atmosferin süper doymuşluğa getirilmesidir. Bu da VPD'nin negatif olması ve yukarıda tanımlanan havanın VPG'nin mutlak büyüklüğe eşit olmasıyla sağlanır (Idso ve Ark., 1981).

Slack ve Ark. (1989), enerji dengesi eşitliğini kullanarak yetiştirme mevsimi boyunca CWSI'nin hesaplandığı alt sınırdaki değişimi belirlemişlerdir. Bu çalışmada, bitki boyu arttıkça hava direncinin azaldığını ve yaprak alan indeksi

arttıkça da taç direncinin düştüğünü saptamışlardır. Sabit çevre koşulları altında bu iki etmenin birleşiminin, su stresinin olmadığı alt sınırın düşey eksenini kesme değerini önemli derecede düşürdüğünü ve eğimi daha az etkilediğini belirlemişlerdir. Bu yaklaşımla elde edilen değerler ile ölçülen değerler arasında benzer sonuçlar bulunmuşlardır.

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

Idso (1982), Tempa (Arizona)'da açık hava koşullarında 26 farklı çeşit için infrared termometre ve psikrometre değerlerini kullanarak su stresinin olmadığı alt sınır eşitliklerini belirlemiştir. Tempa koşullarında, mısır bitkisinin vejetatif döneminde su stresinin olmadığı alt sınır $T_c - T_a = 3.11 - 1.97VPD$ ($r=0.985$) eşitliği ile verilmiştir.

Howell ve Ark., (1986), bitkinin transpirasyon yapmadığı varsayılan üst sınırı, Idso ve Ark., (1981)'nin önerdiği yöntemle saptamışlardır. Anılan üst sınır değeri ile aşırı su stresinin oluşturulduğu konulardan saptanan taç-hava sıcaklığı farkını karşılaştırmışlar ve bu değerlerin birbirine uyum gösterdiğini bulmuşlardır.

Infrared termometre ile ölçülen mısır taç sıcaklığı, hava sıcaklığı ve buhar basıncı açığından (VPD) hesaplanan bitki su stresi indeksi (CWSI) ve anılan indeksten yararlanılarak hazırlanan mısırın sulama programının etkinliğini göstermek için Akron (Colorado)'da siltli-tınlı toprakta yürütülen denemede, CWSI değerleri 0.1, 0.2, 0.4 ve 0.6 eşiğine ulaştığında sulamalar yapılmıştır. Araştırmacılar, su stresinin olmadığı alt sınır (LL) eşitliğini $T_a - T_c = 2.67 - 2.059 VPD$ (T_a ve T_c 0C; ve VPD ise kPa) şeklinde saptamışlardır. LL eşitliğinin, Idso (1982)'nin verdiği eşitlikten farklı olduğunu belirtmişlerdir. Bitkinin tamamen su stresinde olduğunu üst sınır değerini ise 3 0C olarak almışlardır (Nielsen ve Gardner, 1987).

Braunworth ve Mack (1989), Oregon'da siltli-killi toprakta tatlı mısırdaki yürüttükleri çalışmada; kullanılabilir suyun %0 ile %100 arasında değişen 5 farklı düzeyini çizgi kaynaklı yağmurlama yöntemi ile uygulanmıştır. Bitki su stresi

indeksini saptamak için infrared termometre ile tam sulanan (%100) konularda taç sıcaklığını ölçmüşlerdir. Idso (1982) yöntemini kullanarak alt sınır eşitliğini $T_c - T_a = 0.022 - 1.299 \text{ VPD}$ ($r^2 = 0.30$) şeklinde saptamışlardır. Çalışmada, alt sınır teorik olarak $T_c - T_a = 1.178 - 3.861 \text{ VPD}$ şeklinde belirlenmiştir. Bitkinin tamamen su stresinde olduğu üst sınırı da $4.6 \text{ }^\circ\text{C}$ olarak almışlardır.

Bilindiği gibi CWSI, sulamadan hemen sonra sıfıra düşmemekte ve minimum değere düşmesi için de çeşide bağlı olarak birkaç güne gereksinim duyulmaktadır. Sulama yapıldıktan sonra bitkinin su stresinden kurtulması için gerekli olan bu süre bitkinin turgorunu yeniden kazanması, kendine gelmesi (recovery) olarak adlandırılmaktadır. Bitkilerin su stresinden hemen kurtulamamalarının nedenini Ehrler (1973), pamukta yaptığı denemede; kuruyan ve kıvrılan yaprakların yeniden su alması; kuruyan toprakta yeni kılcal köklerin oluşumu ve bunların potansiyel düzeyde su alabilmesi içinde zamana gereksinim duyulmasıyla açıklamıştır (Jackson ve Ark., 1981).

Yazar (1993), infrared termometre tekniği ile bitki su stresi indeksinin belirlenmesinde kullanılan ampirik ve teorik yaklaşımı ayrıntılı olarak gözden geçirmiş ve CWSI belirlemelerinde dikkat edilmesi gerekli noktaları açıklamıştır. Özellikle mısır gibi sıra bitkilerinde stres indeksinin belirlenmesi konusunda karşılaşılan sorunların aşılması için ne gibi önlemler alınması gerektiğini belirtmiştir.

Köksal (1995), porometre yöntemi kullanarak mısır bitkisi su stresini belirlemiştir. Çalışmada, bitki su stres indeksi değerleri, $0.29 - 0.57$ arasında değişmiştir. Tam su alan konuya ilişkin sonuçlar kullanılarak verimin düşmeye başladığı eşik değer 0.30 olarak saptanmıştır. Anılan değer 0.50 'nin üzerine çıkması durumunda önemli verim kayıplarının olduğu belirlenmiştir.

Kansas'ta siltli – tınlı toprağın farklı su içeriklerinde mısır bitkisinden oluşan su stresini değerlendirmek amacıyla infrared termometre (IRT) okumaları yapılmış ve uygulanan sulama programına göre bitkinin kritik taç sıcaklığını da (T_c) içeren ve T_c ile toprak su kullanımı (DEP), rüzgar hızı, toplam derece gün sayısı (GDD), bazı mikroklimatolojik ve fizyolojik faktörler arasında basit bir ilişki geliştirilmiştir. Hava sıcaklığının (T_a), DEP ve GDD'nin T_c ile yüksek bir korelasyon gösterdiği belirlenmiştir. En düşük taç sıcaklığı (T_c) veya en düşük su stresi, toprak su

içeriğinin %32'sinin tüketilmesine izin verildiği konuda gözlenmiştir (Calle ve Ark., 1992).

Yazar ve Ark. (1999), Texas'ta LEPA yöntemiyle farklı düzeylerde sulanan mısır bitkisinde CWSI değerlerini ampirik yöntemle belirlemişler ve verimde azalmanın olmadığı stres eşik değerini 0.33 olarak belirlemişlerdir. Tam sulanan konuda mısır verimi 12460 kg/ha olarak belirlenmiştir.

Gençoğlu ve Yazar (1999), Çukurova koşullarında yetiştirilen I. ürün mısır bitkisinin su – verim ilişkilerini, infrared termometre (IRT) ve porometre gözlemlerinden saptanan bitki su stres indekslerinden (CWSI) yararlanarak sulama programını hazırlamak amacıyla yapılan çalışmada, mısır dane veriminin düşmeye başladığı, sulamadan önceki infrared gözlemlerinden belirlenen eşik CWSI değerinin 0.19, porometre gözlemlerinden belirlenen eşik değerinin ise 0.26 olarak bulunduğunu ve bu koşullarda sulanan mısırdaki verim kaybı olmayacağını belirtmişlerdir.

3.MATERYAL ve YÖNTEM**3.1. Materyal****3.1.1. Araştırma Yeri**

Araştırma Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü Deneme Alanı'nda 2005 ve 2006 yıllarında yapılmıştır. Anılan alanın denizden ortalama yüksekliği 20 m olup 36° 59' N, 35° 18' E enlem ve boylamlarında yer almaktadır.

3.1.2. Toprak Özellikleri

Mutlu serisine giren deneme alanı toprakları oldukça yaşlı alüviyal depozitler üzerinde oluşmuş vertisollerdir. Hemen hemen düz ve düze yakın topografyalarda yer alırlar. Bütün profil yüksek oranda kil içerir. Kireç bakımından orta derecede zengindir ve koyu kırmızı kahve renklidir (Özbek ve Ark., 1974). Araştırmanın yürütüldüğü deneme alanı topraklarının kimi fiziksel ve kimyasal özellikleri sırasıyla Çizelge 3.1 ve 3.2' de verilmiştir.

Anılan çizelgelerde görüldüğü gibi profil boyunca killi bünyeye sahip toprağın katmanlara göre pH'ı, 7.62-7.78; tuz içeriği 0.11-1.13 dS/m; hacim ağırlığı 1.15-1.25 g/cm³; hacim esasına göre tarla kapasitesi su içeriği % 40-41, solma noktası ise % 19-24 arasında değişmektedir. Toprak profilinin 90 cm'lik derinliğindeki toplam kullanılabilir su 156 mm'dir.

Çizelge 3.1. Deneme Alanı Topraklarının Kimi Fiziksel Özellikleri

Katman Derinliği (cm)	Dane İrilik Dağılımı (%)			Bünye Sınıfı	Tarla Kapasitesi (cm ³ /cm ³)	Solma Noktası (cm ³ /cm ³)	Doyma Noktası (cm ³ /cm ³)	Hacim Ağırlığı (g/cm ³)
	Kum	Silt	Kil					
0-30	28	21	51	C	0.40	0.24	0.51	1.19
30-60	28	19	53	C	0.40	0.23	0.54	1.16
60-90	28	18	54	C	0.41	0.22	0.55	1.15
90-120	27	19	54	C	0.41	0.19	0.50	1.25

Çizelge 3.2. Bölümü Deneme Alanı Topraklarının Kimi Kimyasal Özellikleri

Katman Derinliği (cm)	Tuz İçeriği (dS/m)	pH	CaCO ₃ (%)	Organik Madde (%)	Kasyonlar (me/l)				Anyonlar (me/l)		
					Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻
0-30	1.13	7.68	5.99	1.23	1.62	0.53	0.63	0.10	1.79	0.40	0.62
30-60	0.17	7.62	6.38	0.98	1.79	0.74	0.70	0.07	1.50	1.17	0.59
60-90	0.12	7.75	6.65	-	2.71	0.85	0.74	0.05	1.53	1.93	0.69
90-120	0.11	7.78	7.40	-	2.78	0.84	0.76	0.04	1.50	2.17	0.71

3.1.3. Sulama Suyunun Sağlanması

Deneme parsellerine su, delikli boru ile tıkalı karık yöntemine göre uygulanmıştır. Parsellere uygulanan sulama suyu miktarı sayaçlardan geçirilerek belirlenmiştir. Deneme parselleri seddelerle çevrilerek su giriş – çıkışı engellenmiştir. Sulama suyu, Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Döner Sermaye İşletmesi Araştırma ve Uygulama Çiftliği'nden geçen DSİ sulama kanalından sağlanmıştır. Anılan sulama suyunun kalitesi C₂S₁ olarak belirlenmiştir (Çizelge 3.3).

Çizelge 3.3. Denemede Kullanılan Sulama Suyunun Analiz Sonuçları

Sulama Suyu Sınıfı	EC (dS/m)	pH	Kasyonlar (me/l)				Anyonlar (me/l)				%Na	SAR
			Na ⁺	C ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	CO ₃	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²	Cl ⁻		
C ₂ S ₁	0.260	7.1	1.07	2.15	1.23	0.04	-	2.29	0.72	1.48	23.8	0.82

3.1.4. İklim Durumu

Akdeniz iklim kuşağında bulunan Adana ilinde kışlar ılık ve yağışlı, yazlar sıcak ve kurak geçer. Araştırmanın yürütüldüğü 2005 ve 2006 yıllarına ilişkin iklim verileri araştırma alanında kurulu olan otomatik kaydedicili iklim istasyonundan, uzun yıllık ortalama iklim verileri ise (1990-2004) Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Adana Meteoroloji Bölge Müdürlüğü kayıtlarından sağlanmıştır (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4. Araştırma Yıllarına İlişkin ve Uzun Yıllık Ortalama İklim Verileri

		İklim Ögeleri	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim
Uzun Yıllık Değerler (1990- 2004)		Ort. Sıcaklık(°C)	25.9	28.3	28.8	26.2	21.9
		Oransal Nem(%)	66.6	71.9	71.2	65.2	61.3
		Rüzgar Hızı(m/s)	2.4	2.6	2.4	2	1.6
		Yağış (mm)	16.7	9.4	7.5	17.2	38.2
		Buharlaşıma(mm)	210.1	243.4	224.6	181.0	120.8
Araştırma Yılı İklim Değerleri	2005	Ort.Sıcaklık(°C)	26.8	28.7	28.7	24.9	19.3
		Oransal Nem (%)	67.4	69.9	66.5	64.9	54.1
		Rüzgar Hızı (m/s)	0.9	1.2	1.1	0.9	0.9
		Yağış (mm)	18.2	5.6	13.0	21.1	32.6
		Buharlaşıma (mm)	204.7	221.5	212.8	178.4	106.3
	2006	Ort.Sıcaklık(°C)	26.5	28.7	27.8	25.2	24.1
		Oransal Nem(%)	63.9	64.8	71.0	62.5	61.1
		Rüzgar Hızı(m/s)	1.2	0.9	1.3	1.0	1.0
		Yağış (mm)	14.4	8.1	14.8	24.2	36.6
		Buharlaşıma(mm)	206.3	231.7	220.6	182.9	117.7

3.2. Yöntem**3.2.1. Araştırma Konuları ve Deneme Deseni**

Araştırmada üç farklı sulama konusu ele alınmıştır. Bunlar; toprak profilinin 100 cm derinliğinde bulunan kullanılabilir suyun %40, 60 ve 80'i tüketildiğinde sulamaların uygulandığı konulardır. Anılan konular I-40, I-60 ve I-80 sembolleriyle gösterilmiştir. Sulamalarda eksik toprak nemi tarla kapasitesine getirilmiştir.

Lister çekilerek karıklar oluşturulduktan sonra ilk yıl 08 Temmuz 2005 tarihinde, ikinci yıl ise 10 Temmuz 2006 tarihinde üç farklı sulama konusu dört yinelemeli olarak tesadüf blokları deneme desenine göre yerleştirilmiştir. Parsel genişlikleri on bitki sırası (7 m), parsel uzunlukları ise 12 m olarak alınmıştır.

3.2.2. Ekim

Denemenin birinci yılında ekim işlemi 09 Haziran 2005 tarihinde, ikinci yılında ise 07 Haziran 2006 tarihinde pnömatik mibzerle sıra üzeri 17 cm ve sıra arası 70 cm olacak şekilde yapılmıştır. Çalışmada ARMA hibrit mısır çeşidi kullanılmıştır.

3.2.3. Gübreleme

Ekimle birlikte 15-15-15 gübresinden saf madde esasına göre dekara ilk yıl 7.5 kg N, 7.5 kg P₂O₅, 7.5 kg K₂O, ikinci yıl ise 4.8 kg N, 4.8 kg P₂O₅ ve 4.8 kg K₂O uygulanmıştır. Bitkinin büyüme döneminde gereksinimi olan azot tüm konulara ilk yıl üre formunda 01.07.2005 tarihinde dekara 10 kg, 28.07.2005 tarihinde de dekara 7 kg; ikinci yılda ise amonyum nitrat formunda 03.07.2006 tarihinde dekara 10 kg ve 28.07.2006 tarihinde dekara 10 kg saf azot gelecek şekilde uygulanmıştır.

3.2.4.Tarımsal Savaşım

Yabancı otla mücadele için ekimden önce yabancı ot ilacı atılmış, 23 haziran 2005 ve 28 Haziran 2006 tarihlerinde el çapası yapılmıştır. Her iki yılda da Haziran ayının son haftasından itibaren 15 günde bir düzenli olarak sap ve koçan kurduyla mücadele etmek amacıyla insektisit uygulaması yapılmıştır.

3.2.5. Toprak Su İçeriği Gözlemleri

Araştırmada toprak suyu gözlemleri, hem nötronmetre hem de parsellerin ortasına 100 cm derinliğe dek yerleştirilen olan “Profil Toprak Nem Sensörü” kullanılarak 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm, 40-60 cm, 60-100 cm derinliklerde yapılmıştır. Nötronmetre ölçümleri her sulama öncesinde, 20’şer cm’lik toprak katmanlarında 120 cm derinliğe dek yapılmıştır. Nötronmetre sayımları yapabilmek amacıyla her bir parsel ortasına 120 cm derinliğe 38.1 mm iç çapında ve 3.2 mm et kalınlığındaki alüminyum tüpler yerleştirilmiştir. Nötron sayımları 15 saniye süre ile yapılmış ve anılan sayımlarda Campbell Pasific Nuclear Corp tarafından yapılmış BF³ (nötron kaynağı Americium-Berilium) dedektör tüpü içeren 503 Hydroprope DR tipi nötronmetre kullanılmıştır.

Profil nem sensörü ile toprak nemi ölçümleri deneme konularında %70 örtü oluştuktan sonra günlük olarak yapılmıştır.

3.2.6. Bitki Su Tüketimi (ET)

Mısır bitkisinin 100 cm’lik toprak profilinden tükettiği su (Evapotranspirasyon) miktarı Howell ve Ark. (1986)’nın belirttiği su dengesi eşitliği ile saptanmıştır (3.1).

$$ET= I+P+Dp \pm Roff \pm Ds \quad (3.1)$$

Eşitlikte:

ET: Bitki Su Tüketimi, (mm);

I : Sulama Suyu, (mm);

P : Yağış, (mm);

R_{off} : Yüzey Akış Kayıpları, (mm);

Δs : Toprak Profilineki Nem Değişimi, (mm).

Eşitlikte, deneme süresince yağış kaydedilmediğinden ve eksik nemi tarla kapasitesine getirecek kadar su uygulandığından derine sızma kayıpları sıfır olarak alınmıştır. Parseller seddelerle çevrilerek yüzey akışa da izin verilmemiştir.

Referans bitki su tüketimi FAO 56 (Allen ve Ark., 1998)'na göre FAO Penman-Monteith eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır. Diğer hesaplamalar ise bu araştırmanın dayandığı kuramsal ilkeler başlığı altında yukarıda verilen esaslara göre yapılmıştır. Referans bitki su tüketimini (ET_o) hesaplamada kullanılan FAO Penman-Monteith eşitliği (3.2) aşağıda verilmiştir (Allen ve Ark., 1998):

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + g \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + g (1 + 0.34 u_2)} \quad (3.2)$$

Burada	ET _o	referans evapotranspirasyon (mm/gün),
	R _n	net radyasyon (MJ/m ² /gün),
	G	toprak ısı akısı (MJ/m ² /gün),
	T	ortalama hava sıcaklığı, , (C),
	u ₂	2 m yükseklikte rüzgar hızı (m/s),
	e _s	doygun buhar basıncı (kPa),
	e _a	gerçek buhar basıncı (kPa),
	e _s -e _a	doygun buhar basıncı açığı (kPa),
	Δ	buhar basıncı eğrisinin eğimi (kPa/C),
	γ	psikrometrik sabite (kPa/C).

Bu eşitlikte standart iklim verileri (solar radyasyon, güneşlenme süresi, hava sıcaklığı ve rüzgar hızı) kullanılmaktadır.

3.2.7. Su Kullanım Randımanı (WUE ve IWUE)

Sulama suyu ve su tüketimi kullanım randımanlarını belirlemek amacıyla Howell ve Ark. (1995)'nın verdiği 3.3 ve 3.4 nolu eşitlikler kullanılmıştır.

$$IWUE = Y / I \quad (3.3)$$

$$WUE_{ET} = Y / ET \quad (3.4)$$

Bu eşitliklerde:

IWUE: Sulama suyu kullanım randımanı (kg/m³),

WUE_{ET}: Toplam su kullanım randımanı (kg/m³),

ET: evapotranspirasyon, (mm),

I: Uygulanan Sulama Suyu, (mm),

Y: Sulanan konularda elde edilen dane verimleridir (kg/da).

3.2.8. Fenolojik Gözlemler ve Ölçümler

Her parselde 5 bitki işaretlenerek bunların boyları ölçülecek ayrıca vejetatif, püskül ve koçan çıkartma ile süt olum dönemi gibi kimi fizyolojik evrelerin oluşum tarihleri kaydedilmiştir. Hasatta, her parselde ortadaki 6 bitki sırasındaki ve 10 m sıra uzunluğundaki tüm bitkiler elle hasat edilerek dane verimi belirlenmiştir. Denemenin hasadı ilk yıl 09 Eylül 2005 tarihinde, ikinci yıl ise 14 Eylül 2006 tarihinde yapılmıştır. Koçanlar güneşte kurutulduktan sonra daneleme işlemi yapılmıştır. Elde edilen dane verimleri %15.5 su içeriğine göre düzeltilerek dekara verim olarak ifade edilmiştir (Howell ve Ark., 1992). Hasat sonrasında toplanan koçanlardan toplam verim, bindane ağırlığı, koçan dane sayısı, bitki başına koçan sayısı ve koçan dane ağırlığı gibi verim unsurları belirlenmiştir. Bunlara ek olarak, sulama konularından örneklenen 8'er bitkinin koçan boyları ve koçan çapları ölçülerek ortalama koçan boyu ve çapı bulunmuştur.

3.2.9. Hasat İndeksi

Birim alandan elde edilen dane ağırlığının toprak üstü toplam kuru maddeye oranı olarak tanımlanan hasat indeksi (HI) aşağıdaki eşitlik (3.5) kullanılarak hesaplanmıştır (Beadle, 1985).

$$HI=Y/DM \quad (3.5)$$

Bu eşitlikte:

HI: Hasat indeksi

Y: Birim alandan elde edilen dane verimi (kg);

DM: Birim alandan elde edilen toprak üstü kuru madde ağırlığıdır (kg).

3.2.10. Yaprak Alan İndeksi

Deneme konularına göre yaprak alanlarını ve toprak üstü kuru madde yığılmasını belirlemek amacıyla belirli aralıklarla tüm parsellerin 2. ve 7. sıralarından 5'er bitki toprak yüzeyinden kesilerek örneklenmiştir. Alınan bu örneklerde Ç.Ü.Z.F. Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölüm Laboratuvarında bulunan optik yaprak alan ölçerle yaprak alanı ölçülmüş ve yaprak alan indeksi hesaplanmıştır.

3.2.11. Bitki Tacı Sıcaklığı (Tc)

Bitki tacı sıcaklığı tüm parsellerde portatif infrared termometre (IRT) kullanılarak, gökyüzünün tamamen açık olduğu veya bulutların güneşi engellemediği koşullarda, saat 12:00 – 14:00 arasında ve su stresinin günlük değişimini belirlemek için sabah saat 7:00'den akşam saat 19:00'a kadar birer saat aralıklarla yapılmıştır. IRT ölçümlerinde Raytek Raynger MX modeli aygıt kullanılmıştır. Emissivite katsayısı 0.98 olarak alınmıştır. Ölçümler parsellerin köşegenleri doğrultusunda ve her birinden 3 yinelemeli olarak yapılmış, toplam 12 değerın ortalaması alınarak o parsel için ortalama taç sıcaklığı değeri bulunmuştur. IRT okumalarına %70 örtü

yüzdesine ulaşıldığında başlanmıştır. Hesaplamalarda kullanılan diğer iklim verileri deneme alanında bulunan otomatik kaydedicili iklim istasyonundan alınmıştır.

Bitki su tüketimi su dengesi eşitliği kullanılarak belirlenmiştir. Referans bitki su tüketimi ise FAO 56 (Allen ve Ark., 1998)'na göre FAO Penman-Monteith eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır. Diğer hesaplamalar ise bu araştırmanın dayandığı kuramsal ilkeler başlığı altında yukarıda verilen esaslara göre yapılmıştır.

3.2.12. Stoma Direnci

Denemede stoma direnci LCA3 tipi portatif fotosentez (Analytical Development Corp., UK) ile kardeşlenme, sapa kalkma, tepe püskülü çıkışı, koçan püskülü çıkışı, çiçeklenme, dane dolumu ve fizyolojik olgunluk dönemlerinde öğle saatlerinde ölçülmüştür. Her parselde rastgele seçilen bitkiler üzerinde gelişmesini tamamlamış en genç yaprağın orta kısmında yapılmıştır. Stoma direnci, fotosentez ölçümleriyle eşzamanlı olarak yapılmış ve yaprağın bulunduğu ortamdaki su buharı değişimi esas alınarak belirlenmiştir.

3.2.13. Bitki Su Stresi İndeksinin (CWSI) Hesaplanması

Bitki su stresi indeksinin (CWSI) belirlenmesinde Jackson ve Ark. (1981)'nın önerdiği, eşitlik 3.6'da verilen, teorik yaklaşım kullanılmıştır.

$$CWSI = (1 - \frac{E}{Ep}) = \frac{g(1 + \frac{rc}{ra}) - g^*}{\Delta + g(1 + \frac{rc}{ra})} \quad (3.6)$$

Eşitlikte;

E: Gerçek buharlaşma (mm),

Ep: Potansiyel buharlaşma (mm) ,

g : Psikrometrik sabite (kPa/°C),

g^* :Düzeltilmiş psikrometrik sabite,

r_c : Taç direnci (s/m),

r_a : Hava direnci (s/m) dir.

Anılan teorik yaklaşımda Jackson ve Ark. (1981), Monteith (1973)'in taç yüzeyi enerji denge eşitliğini (3.7) kullanarak CWSI'ni teorik olarak belirlemişlerdir. Anılan yöntemde tüm akıların yönü bitki taç yüzeyine doğru pozitif olarak kabul edilmiş ve toprağa olan ısı akısı sıfır olarak alınmıştır.

$$R_n = G + H + LE \quad (3.7)$$

Burada, R_n , net radyasyon (W/m^2); G , toprağa olan ısı akısı (W/m^2); H , hissedilir ısı akısı (W/m^2); L , buharlaşma ısısı (J/kg) ve E , buharlaştırma akısını (W/m^2) göstermektedir. Hissedilir ısı akısı aşağıdaki biçimde tanımlanabilir (3.8):

$$H = - \frac{r C_p (T_c - T_a)}{r_a} \quad (3.8)$$

Eşitlikte r , havanın yoğunluğu (kg/m^3); C_p , sabit basınçtaki havanın özgül ısısı ($J/kg^\circ C$); T_c , taç sıcaklığı ($^\circ C$); T_a , hava sıcaklığı ($^\circ C$) ve r_a , taç aerodinamik direnci (s/m)'dir. Buharlaştırma ısı akısı (LE)'de aşağıdaki eşitlikte verilmiştir(3.9):

$$LE = \frac{r C_p (e_c^* - e_a)}{g (r_a + r_c)} \quad (3.9)$$

Burada, e_c^* ; taç (T_c) sıcaklığındaki doymuş buhar basıncı, kPa; e_a , hava (T_a) sıcaklığındaki buhar basıncı, kPa; g , psikrometrik sabite, $kPa/^\circ C$ ve r_c , taç direnci, s/m'dir. Toprağa olan ısı akısı, G ihmal edildiğinde ve doymuş buhar basıncı sıcaklık ilişkisi eğimi, $\Delta = (e_c^* - e_a)/(T_c - T_a)$, ($kPa^\circ C^{-1}$), eşitlik 3.8 ve 4.9, eşitlik 3.7 de yerine konulduğunda bitki taç – hava sıcaklığı farkı bulunmaktadır (3.10). Anılan eşitlik:

$$T_c - T_a = \frac{r_a R_n \left[g \left(1 + \frac{r_c}{r_a} \right) \right]}{r C_p \left[\Delta + g \left(1 + \frac{r_c}{r_a} \right) \right]} - \frac{(e_c^* - e_a)}{\Delta + g \left(1 + \frac{r_c}{r_a} \right)} \quad (3.10)$$

Bu eşitlikte taç – hava sıcaklığı farkı ($T_c - T_a$), doymuş buhar basıncı açığına (VPD), net radyasyona (R_n), aerodinamik (r_a) ve taç dirençlerine (r_c) ilişkilendirilmiştir.

Bitkilerin transpirasyon yapmadığı varsayılan koşullardaki taç direnci sonsuz alındığında ($r_c=\infty$) eşitlik 3.10 aşağıdaki gibi yazılabilir (üst sınır çizgisi):

$$T_c - T_a = \frac{r_a R_n}{r C_p} \quad (3.11)$$

Bitkilerin potansiyel hızda transpirasyon yaptığı koşullardaki taç direnci, ($r_c=0$) alındığında bu kez eşitlik aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$T_c - T_a = \frac{r_a R_n}{r C_p} \cdot \frac{g}{(\Delta + g)} - \frac{(e_a^* - e_a)}{\Delta + g} \quad (3.12)$$

Eşitlik 3.10 ve 3.12, $VPD=e_a^*-e_a$ ile (T_c-T_a) farkı arasındaki ilişkinin doğrusal olduğunu göstermektedir. Eşitlik 3.11 ile tanımlanan doğru (stressiz koşulları temsil eden alt sınır çizgisi, y eksenini kesinceye dek uzatıldığında, $(e_a^*-e_a)/(\Delta + g)=0$ olacaktır. Üst sınır, buhar basıncının değil r_a ve R_n 'nin bir fonksiyonudur.

Eşitlik 3.11, bitki yüzeyinden değil serbest su yüzeyinden oluşan potansiyel buharlaşmayı göstermektedir. Bu bağlamda toprakta yeterince su bulursa bile bitki taç direncinin $r_c=0$ olmayacağı bilinmektedir. Ancak, potansiyel evapotranspirasyon koşullarında taç direncinin, r_{cp} olacağı saptanmıştır. r_{cp} değerinin değişik bitkiler için farklı olacağı ve çevre koşullarına göre değişeceği belirlenmiştir. Potansiyel koşullarda elde edilen r_{cp} , r_c 'ye denklediğinde ($r_c=r_{cp}$) eşitlik 3.11 aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$T_c - T_a = \frac{r_a R_n}{r C_p} \cdot \frac{g^*}{(\Delta + g^*)} - \frac{(e_a^* - e_a)}{\Delta + g^*} \quad (3.13)$$

Eşitlikteki g^* , düzeltilmiş psikrometrik sabite olup aşağıdaki eşitlikte tanımlanmaktadır.

$$g^* = g \left(1 + \frac{r_{cp}}{r_a}\right) \quad (3.14)$$

Toprakta yeterli su bulunduğunda, bitkinin potansiyel evapotranspirasyon (ET_p) yapacağı ve toprakta su azaldıkça, gerçek evapotranspirasyonun (ET_a), ET_p 'nin altına düşeceği belirtilmiştir. ET_a 'nın ET_p 'ye oranının, bitkinin içsel su içeriği indeksinin bir göstergesi olduğu saptanmıştır. Eşitlik 3.8 ve 3.9, eşitlik 3.7 de yerine

konularak buharlaştırma ısı akısı, LE için çözümlenirse aşağıdaki 3.15 nolu eşitliğin elde edilebileceği sonucuna varılmıştır.

$$LE = \frac{\Delta Rn + rCp(ea^* - ea) / ra}{\Delta + g(1 + \frac{rc}{ra})} \quad (3.15)$$

Bu ilişki, aerodinamik ve taç direncini içeren ve ET'yi veren Penman – Monteith eşitliğidir (Monteith, 1973). Anılan eşitlikte, bir kez potansiyel koşullarda (LE_p için rc=rc_p) elde edilen taç direnci, bir kez de gerçek koşullarda bulunan taç direnci kullanılarak (LE için rc) sırasıyla gerçek ve potansiyel buharlaşma saptanır. Anılan eşitlikler birbirine oranlanarak E/Ep belirlenir,

$$\frac{E}{Ep} = \frac{(\Delta + g^*)}{\Delta + g(1 + \frac{rc}{ra})} \quad (3.16)$$

E/Ep oranının (potansiyel evapotranspirasyon koşullarında, rc=rc_p) 1 ile (toprakta su kısıntısının olduğu koşullarda rc=∞) 0 aralığında değiştiği belirlenmiştir. Eşitlik 3.16'nın 1'den farkı alındığında ve gerekli düzenlemeler yapıldığında, Jackson ve Ark., (1981)'nin önerdiği CWSI eşitliği elde edilir.

$$CWSI = (1 - \frac{E}{Ep}) = \frac{g(1 + \frac{rc}{ra}) - g^*}{\Delta + g(1 + \frac{rc}{ra})} \quad (3.17)$$

3.2.14. Bitki Su Stresi İndeksi (CWSI) ile Toprak Su Stresi (SWSI) Arasındaki İlişkinin Belirlenmesi

CWSI, buharlaştırma ısı akısının fonksiyonu olarak da ifade edilebilir (Jackson ve Ark., 1981).

$$CWSI = (1 - \frac{\lambda ET_c}{\lambda ET_p}) \quad (3.18)$$

Eşitlikte λET_c ve λET_p sırasıyla, gerçek ve potansiyel evapotranspirasyon değerlerini ifade etmektedir. Burada potansiyel kavramı, gizli ısı akısının yalnızca atmosferik istemle sınırlı olduğu (toprak nem içeriğinin sınırlayıcı olmadığı

koşulları) koşulları ifade etmektedir. Gerçek evapotranspirasyon değeri, potansiyel evapotranspirasyon değerine yaklaştıkça ($ET_c \rightarrow ET_p$) bitki su stresi indeksi değeri de 0'a yaklaşacaktır ($CWSI \rightarrow 0$). Bitki su stresi en fazla, atmosferik istemin maksimum olduğu dönemlerde gözlemlenebilir, bu nedenle IRT ölçümleri genellikle solar öğle saatlerinde yapılmalıdır (Jackson 1982). Bu saatlerde λET_c değeri λET_p değerinden çok küçük olacağı için $\lambda ET_c / \lambda ET_p$ oranı o günkü en küçük değerine ulaşacaktır. Maksimum günlük atmosferik istem boyunca anlık gizli ısı akısının günlük gizli ısı akısına benzer olduğu varsayılır (Jackson ve Ark. 1983) ve ısı akısı eşdeğer derinlik olarak düzenlenirse, eşitlik 12'de verilen $\lambda ET_c / \lambda ET_p$ oranı yerine ET_c / ET_p oranı kullanılabilir. ET_c toprak nemiyle ilişkili olacağından eşitlik toprak su stresi indeksi (SWSI) olarak ifade edilebilir (Eşitlik 3.19).

$$SWSI = (1 - \frac{ET_c}{ET_p}) \quad (3.19)$$

Eşitlikte yer alan ET_c terimi, FAO 56 da verilen çift bitki katsayılı aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır.

$$ET_c = ET_0(K_{cb}K_s + K_e) \quad (3.20)$$

Eşitlikte, ET_0 , referans evapotranspirasyonu ($mm \text{ gün}^{-1}$); K_{cb} , bazal bitki katsayısını; K_s , su stresi katsayısını ve K_e , açık toprak yüzeyinden meydana gelen buharlaşmayı ifade etmektedir. Bitki su stresi indeksini belirlemek için yapılan infrared termometre okumalarına bitki toprak yüzeyini tamamen kapladıktan sonra başlandığından, bu dönemde açık toprak yüzeyinden buharlaşmanın ihmal edilebileceği varsayılarak K_e parametresi göz ardı edilmiştir. Ancak, bu döneme kadar gerçekleşen buharlaşma değeri toplam tüketimin hesaplanmasında dikkate alınmıştır. Sulamadan hemen sonra köklerin suyu alması ve yapraklara iletmesi için geçen süre (turgor) dikkate alınacak (K_{rec}) ve K_e ihmal edilecek olursa eşitlik aşağıda verilen şeklini alır.

$$ET_c = ET_0(K_{cb}K_sK_{rec}) \quad (3.21)$$

Buradaki K_{rec} terimi, bitki turgoruna kavuşuncaya kadar (CET_{0-max}) yığışımlı ET_0 (CET_0) değerinin logaritmik fonksiyonu olarak eşitlik 3.22’de gösterildiği gibi hesaplanmıştır.

$$\begin{aligned} K_{rec} &= 1 - [a \ln(CET_0) + b] & CET_0 \leq CET_{0-max} \\ K_{rec} &= 1 & CET_0 > CET_{0-max} \end{aligned} \quad (3.22)$$

Eşitlik 3.19’da yer alan ET_p parametresi, su stresinin olmadığı koşulları temsil eder ve yalnızca atmosferik istemin fonksiyonudur. Bu koşullarda, potansiyel evapotranspirasyon (ET_p) aşağıdaki eşitlikle belirlenir (Eşitlik 3.23).

$$ET_p = ET_o (K_{cb}) \quad (3.23)$$

Eşitlik 3.21 ve 3.23’deki değerler eşitlik 3.19’da yerine konulur ve gerekli sadeleştirmeler yapıldıktan sonra eşitlik aşağıdaki şekline alır;

$$SWSI = 1 - K_s K_{rec} \quad (3.24)$$

Çalışmada K_s , iki farklı yöntemle belirlenmiştir. Birincisi, FAO 56 yöntemi ki burada, $fDEP$ değeri p eşik değerine eşit oluncaya kadar K_s değeri 1; ve daha sonra $fDEP$ değeri 1’e eşit oluncaya dek doğrusal bir biçimde azalarak sıfıra ulaştığı varsayımı yapılmıştır.

$$\begin{aligned} K_s &= 1 & fDEP \leq p \\ K_s &= \frac{1 - fDEP}{1 - p} & fDEP > p \end{aligned} \quad (3.25)$$

Burada bitkide su stresi görülmeye başladığında $p = fDEP$ olur. ET_c değeri 5 mm/ gün’ den farklıysa, p değeri ET_c ye bağlı olarak aşağıda verilen eşitlikle düzeltilir.

$$p = p_{\text{tablo22}} + 0.04 (5 - ET_c) \quad (3.26)$$

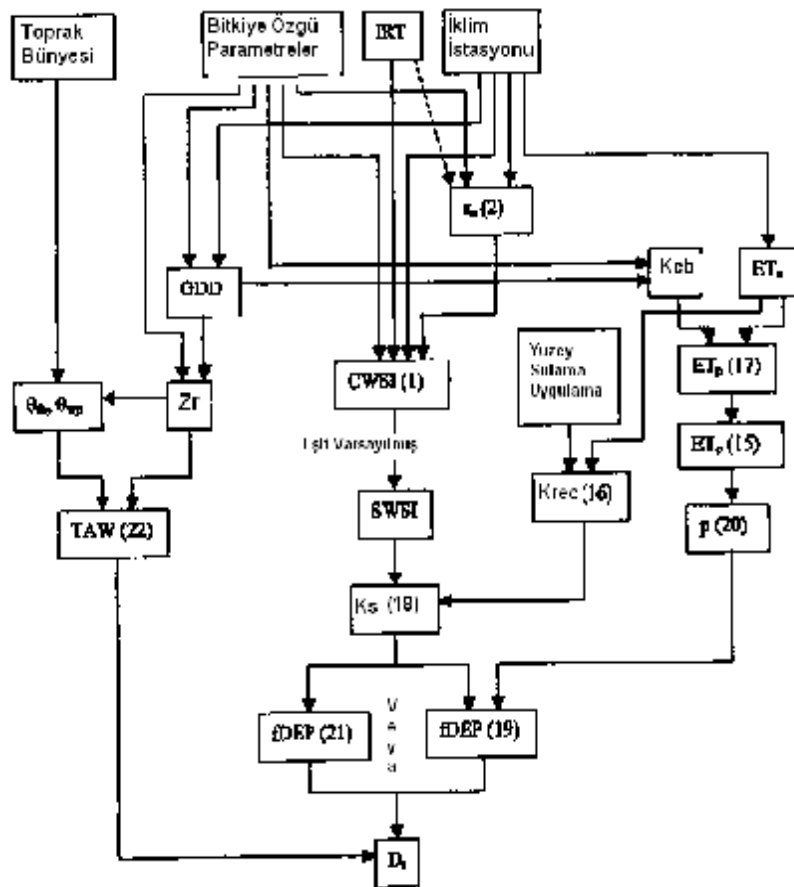
Burada p_{tablo22} değeri FAO-56'da yer alan Çizelge 22'deki bitkiye özgü değerlerdir.

K_s nin belirlenmesinde kullanılan ikinci yöntem, Jensen ve Ark. (1970) tarafından geliştirilen eşitliktir. Bu yaklaşımda, K_s ET_c 'den bağımsız fakat $fDEP$ 'nin asimptotik fonksiyonudur:

$$K_s = \frac{\ln[(1 - fDEP)100 + 1]}{\ln[101]} \quad (3.27)$$

Eşitlik 3.25 veya 3.27'de verilen K_s eşitlik 3.24'de yerine konulduğu zaman toprak su stresi indeksi (SWSI)'nin fonksiyonu olarak $fDEP$ hesaplanabilmektedir. SWSI yerine CWSI konulduğunda $fDEP$, CWSI değerinden kestirilebilir. $fDEP$ değeri bilindiğinde, uygulanacak sulama suyu miktarı hesaplanabilir.

Bitki su stresi indeksinden uygulanacak sulama suyu miktarının ve tüketilen toprak suyu yüzdesinin kestirimi için geliştirilen akış diyagramı aşağıda verilmiştir. Yukarıda açıklanan hesaplama aşamaları bu akış diyagramında gösterilmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Bitki Su Stresi İndeksinden Uygulanacak Sulama Suyu Miktarının ve Tüketilen Toprak Suyu Yüzdesinin Kestirimi için Akış Diyagramı

4. BULGULAR ve TARTIŞMA**4.1. Sulamalara İlişkin Bulgular**

Parsellerde üniform çıkış sağlamak amacıyla yağmurlama yöntemiyle her iki yılda da 4'er kez eşit su uygulanmıştır. Denemenin ilk yılında çıkışlar 14.06.2005, ikinci yılında ise 13.06.2006 tarihinde gözlenmiştir. Deneme konularına uygulanan sulama suyu miktarları ve tarihleri Çizelge 4.1 ve 4.2'de verilmiştir.

Çizlege 4.1. Deneme konularına uygulanan sulama suyu miktarları (mm) ve tarihleri (2005)

Eşit su uygulamaları			
Tarih	I-40	I-60	I-80
10.06.2005	54 mm	54 mm	54 mm
23.06.2005	18 mm	18 mm	18 mm
26.06.2005	30 mm	30 mm	30 mm
01.07.2005	44 mm	44 mm	44 mm
Konulu Uygulamalar			
Tarih	I – 40	I – 60	I – 80
11.07.2005	69mm		
13.07.2005		95mm	
18.07.2005	64mm		136mm
28.07.2005	69mm	100mm	
10.08.2005	69mm		130mm
20.08.2005	64mm	108mm	
29.08.2005	69mm	95mm	130mm
Toplam	544	538	536

Çizlege 4.2. Deneme konularına uygulanan sulama suyu miktarları (mm) ve tarihleri (2006)

Eşit su uygulamaları			
Tarih	I-40	I-60	I-80
09.06.2006	50 mm	50 mm	50 mm
21.06.2006	22 mm	22 mm	22 mm
28.06.2006	33 mm	33 mm	33 mm
04.07.2006	41 mm	41 mm	41 mm
Konulu Uygulamalar			
Tarih	I – 40	I – 60	I – 80
20.07.2006	64mm		
23.07.2006		88mm	
29.07.2006	64mm		130mm
07.08.2006	67mm	100mm	
17.08.2006	64mm		130mm
20.08.2006		91mm	
24.08.2006	62mm		
01.09.2006	65mm	92mm	125mm
Toplam	532	517	531

Denemenin ilk yılında konulara uygulanan toplam sulama suyu miktarları 536 mm ile 544 mm arasına değişmiştir. Ancak, aradaki farkın önemsiz olduğu belirlenmiştir. Sulama aralıkları I-40 konusunda 9-12 gün; I-60 konusunda 9-15 gün; ve I-80 konusunda ise 18-22 gün arasında değişmiştir. Sulama sayıları I-40 konusunda 6, I-60 konusunda 4, I-80 konusunda ise 3 olmuştur. Her bir sulamada uygulanan su miktarı I-40 konusunda 64-69 mm; I-60 konusunda 95-108 mm; ve I-80 konusunda ise 130-136 mm arasında değişmiştir.

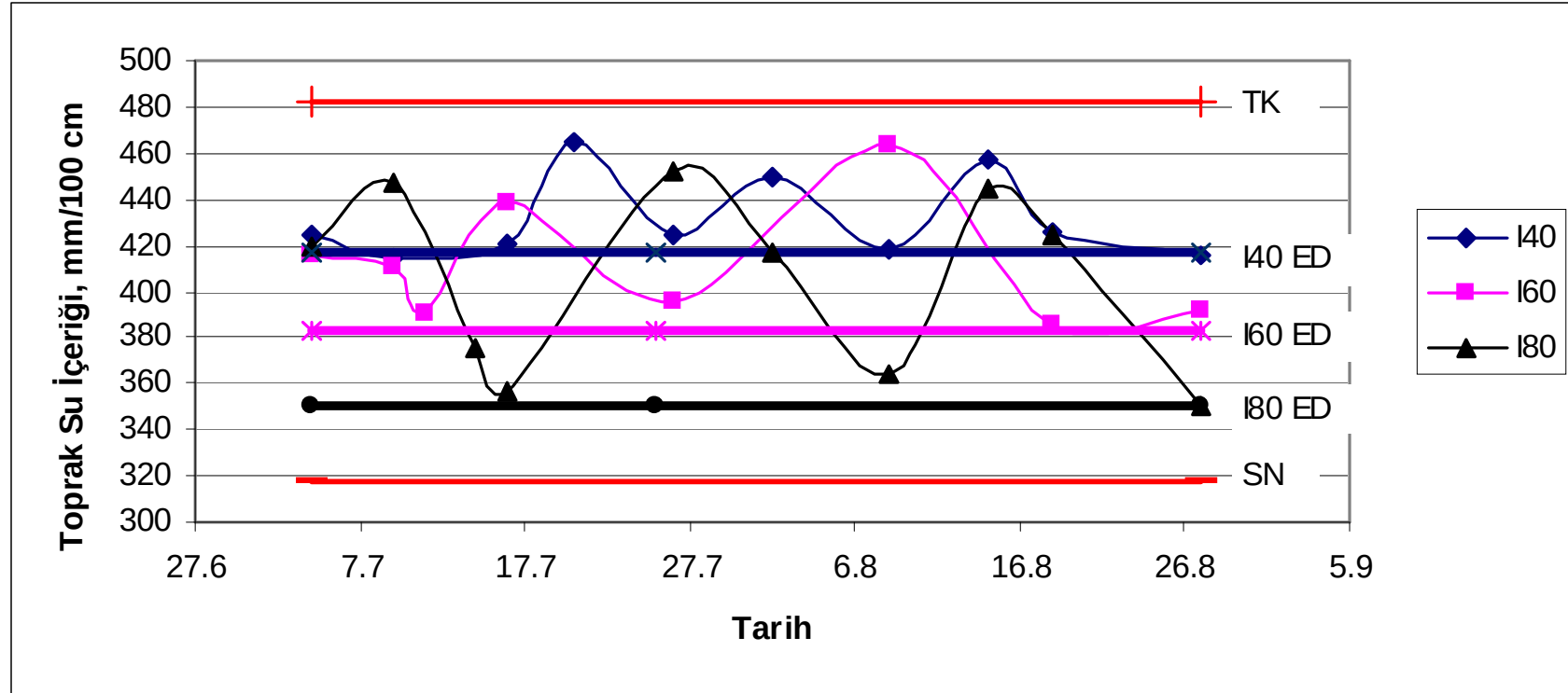
Denemenin ikinci yılında konulara uygulanan toplam sulama suyu miktarları 517 mm ile 532 arasına değişmiştir. Her iki yılda uygulanan toplam sulama suyu miktarları benzer olmuştur. Sulama aralıkları I-40 konusunda 7-15 gün; I-60 konusunda 9-18 gün; ve I-80 konusunda ise 18-25 gün arasında değişmiştir.

Sulama sayıları ise birinci yılda olduğu gibi I-40 konusunda 6, I-60 konusunda 4, I-80 konusunda ise 3 olmuştur. Her bir sulamada uygulanan su miktarı I-40 konusunda 62-67 mm; I-60 konusunda 88-100 mm; ve I-80 konusunda ise 125-130 mm arasında değişmiştir.

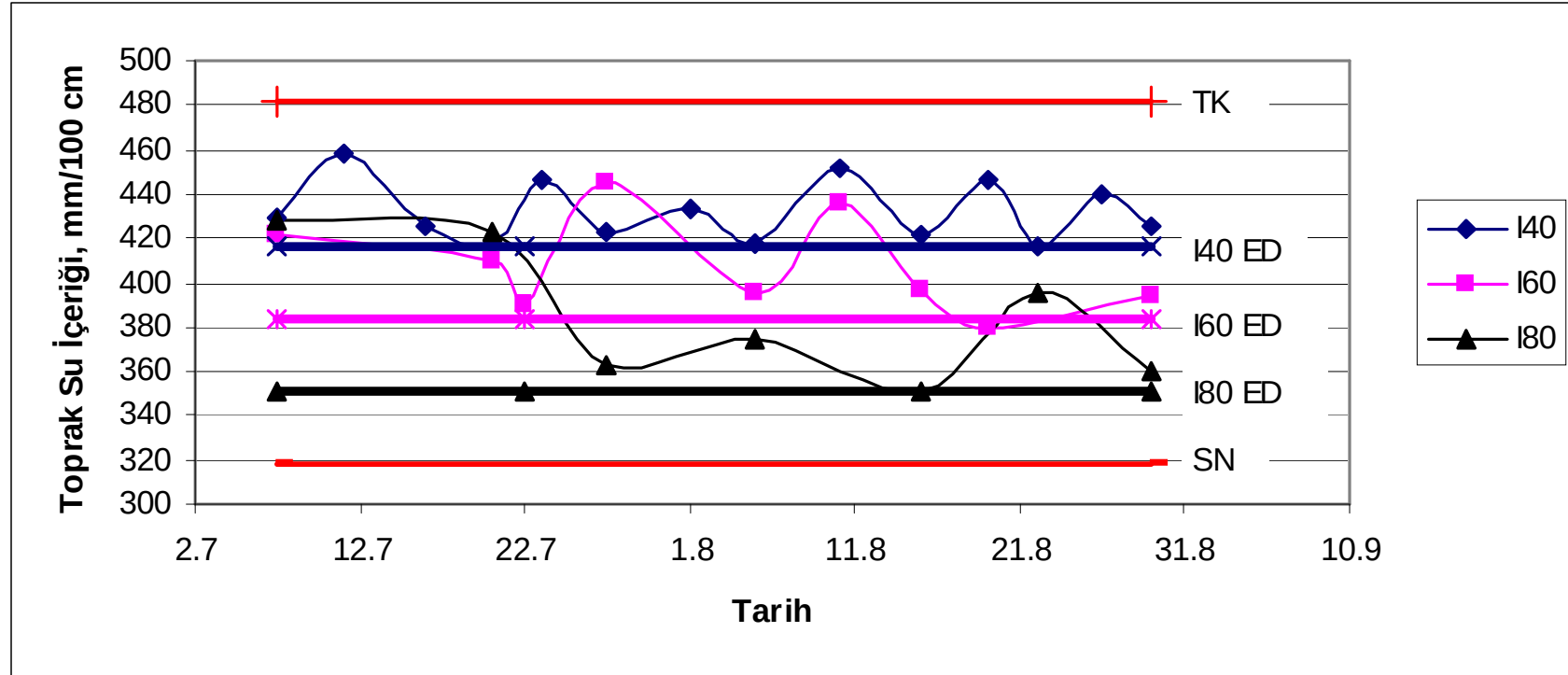
Araştırma yıllarında mısır bitkisinin fenolojik gelişme dönemleri sulama uygulamalarından farklı etkilenmemiştir. İlk ıkışlar birinci yılda 14 Haziran 2005, ikinci yılda ise 13 Haziran 2006 tarihlerinde gözlenmiştir. İlk sulama uygulamalarına 8. yaprağın tam olarak çıktığı 11 Temmuz 2005 ve 20 Temmuz 2006'da başlanmıştır. Tepe püskülü 30 Temmuz 2005 ve 29 Temmuz 2006 tarihlerinde gözlenmiştir.

Araştırma yıllarına ait sulama öncesi etkili kök bölgesi derinliğindeki (1.0 m) toprak nemi değerleri şekil 4.1 ve 4.2'de gösterilmiştir. Grafik üzerinde ayrıca tarla kapasitesi, solma noktası ile düz çizgi ile sulama yapılması gereken eşik değerleri de (%40, 60 ve 80) izilmiştir.

Etkili kök derinliğinde konulara göre toprak su içeriği değerleri incelendiğinde I-40 konusunda toprak profili diğer iki konuya kıyasla daha ıslak olduğu görölmektedir. Anılan konuda toprak suyu, tarla kapasitesi ile kullanılabilir suyun %40 düzeyi arasında değişmiştir. Benzer biçimde I-60 ve I-80 konularında ise sulama öncesi toprak suyu tarla kapasitesi ile kullanılabilir suyun %60 ve %80 düzeyleri arasında değişmiştir. Denemenin ilk yılında I-40 konusunda sulama öncesi toprak neminin eşik değer olan 420 mm ye gelince sulamaların yapıldığı, I-60 konusunda bir sulama dışında diğer sulamaların zamanından önce yapıldığı; I-80 konusunda ise sulamaların tam gününde yapıldığı görölmektedir. İkinci yıla ilişkin toprak su içerikleri grafiği incelendiğinde benzer şekilde I-40 konusuna ait sulamaların zamanında yapıldığı, I-60 konusunun sulamalarının genelde erken yapıldığı ve I-80 konusunda son sulamada sulama zamanında gecikme olduğu görölmektedir. Sulama aralığının kısa olduğu I-40 konusunda sık yapılan ölçümlerle sulama zamanı doğru olarak yakalmış ancak ölçümlerin seyrekleştiği I-60 ve I-80 konularında sulama zamanlarında çok hatalı olmamakla birlikte sapmalar görölmüştür.



Şekil 4.1. Sulama öncesi toprak su içerikleri (2005).

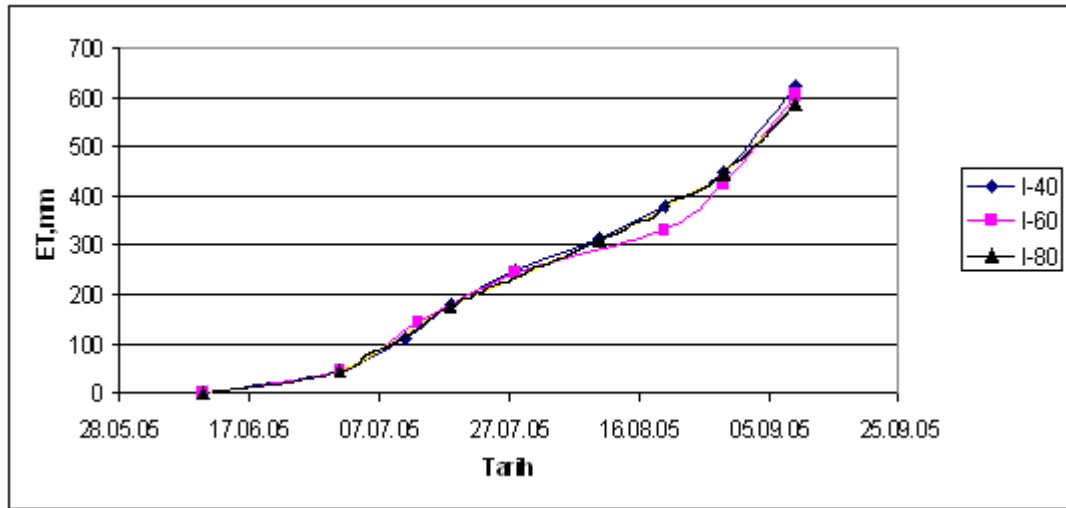


Şekil 4.2 . Sulama öncesi toprak su içerikleri (2006).

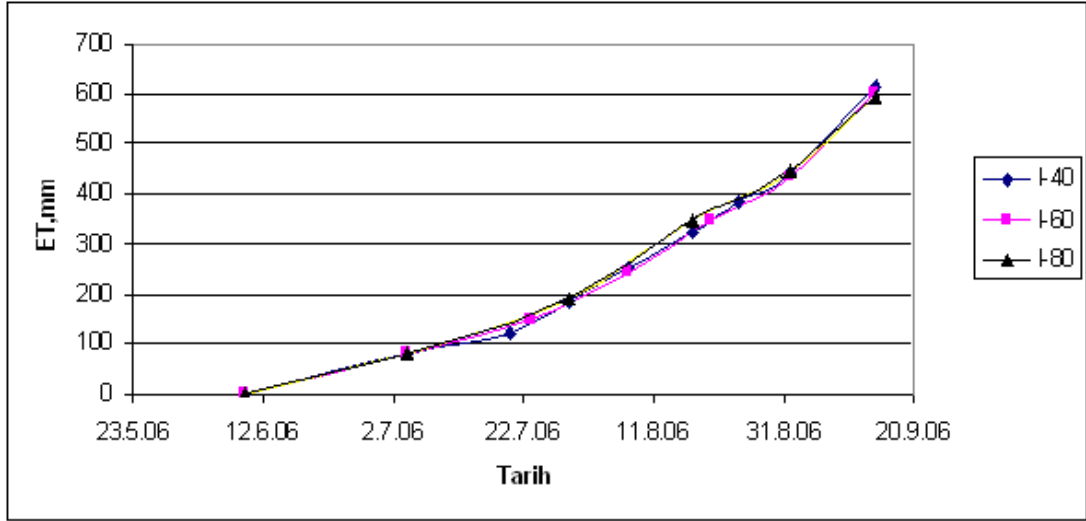
4.2. Bitki Su Tüketimi Bulguları

Deneme konularında mısır bitkisinin su tüketimi su bütçesi yöntemine göre toprak su içeriği gözlemlerinden, uygulanan sulama suyu miktarlarından ve büyüme döneminde düşen yağış değerlerinden yararlanılarak belirlenmiş ve konulara ilişkin yığılımlı su tüketim değerleri Şekil 4.5 ve 4.6’da verilmiştir.

Deneme konularında yığılımlı su tüketimi ilk yıl 586 mm ile 620 mm arasında, ikinci yıl ise 596 mm ile 614 mm arasında değişmiştir. Konulara uygulanan sulama suyu miktarları yaklaşık eşit olduğundan bitki su tüketim değerleri de benzer bulunmuştur. Buradan sulama aralıklarının farklı olmasının bitki su tüketimi üzerine etkilerinin farklı olmadığı sonucu çıkarılabilir. Gençdoğan ve Yazar (1999) yüzey sulama yöntemiyle sulanan birinci ürün mısır bitkisinin su tüketimini 1025 mm olarak belirlemişlerdir. Bozkurt (2005) tarafından aynı alanda yapılan çalışmada ikinci ürün mısır bitkisinin su tüketimi 573 mm, sulama suyu gereksinimi ise 567 mm olarak saptanmıştır.



Şekil 4.3. Yığılımlı Su Tüketim Değerleri (2005, mm)



Şekil 4.4. Yığışımlı Su Tüketim Değerleri (2006, mm)

Deneme konularına ilişkin olarak belirlenen yığışımlı bitki su tüketim grafikleri incelendiğinde her üç konuda da su tüketim tavırlarının benzer olduğu görülür. Genel olarak ekimden sonraki günlerde tüketim düşük olmuş, mevsim ilerledikçe bitkinin gelişmesine paralel olarak tüketim de hızla artmaya başlamıştır. I-80 konusundaki su tüketimi diğer iki konuya kıyasla çok az miktarda düşük olmuştur.

Araştırma konularına göre verim, uygulanan sulama suyu miktarları, su tüketimi değerleri, su kullanım etkinliği ve sulama suyu kullanım etkinliği değerleri yıllara göre Çizelge 4.7’de toplu olarak verilmiştir.

Çizelge 4.3. Konulara göre verim, uygulanan sulama suyu miktarları, ET ve su kullanım randımanları

Yıl	Konular	Dane Verimi (kg/da)	Sulama Suyu (mm)	Bitki Su Tüketimi (mm)	Su Kullanım Randımanı (kg/m ³)	Sulama Suyu Kullanım Randımanı (kg/m ³)
2005	I-40	918.0b	544	620	1.48	1.69
	I-60	1098.8a	538	603	1.82	2.04
	I-80	726.1c	536	586	1.24	1.35
2006	I-40	808.0b	532	614	1.32	1.52
	I-60	963.5a	517	604	1.59	1.86
	I-80	788.3c	531	596	1.32	1.48

Yukarıdaki çizelgeden görüldüğü gibi en fazla su tüketimi (ilk yıl 620 mm, ikinci yıl 614 mm) en sık sulanan I-40 konularında, en az su tüketimi ise sulama aralığının en fazla olduğu I-80 konularında belirlenmiştir. Stresin en fazla olduğu I-80 konusunda tüketimin düşük olmasının nedeni stres nedeniyle stomaların kısmen veya tamamen kapanması olarak gösterilebilir.

Su kullanım etkinliğinin (WUE) en yüksek değeri (ilk yıl 1.82 kg/m³, ikinci yıl 1.59 kg/m³) hafif derecede stres koşullarını temsil eden I-60 konularında saptanmıştır. Stresin fazla olduğu I-80 konusunda WUE değerleri 1.24 ve 1.32 kg/m³ ile en düşük olmuştur. I-80 konusunda verimdeki azalma, tüketimdeki azalmadan daha belirgin olduğundan WUE değerleri düşük bulunmuştur. Konulara göre sulama suyu kullanım etkinliği ise WUE değerlerine benzer bulunmuştur. Gençoğlu ve Yazar (1999) Çukurova koşullarında mısırın sulama suyu kullanım etkinliğini sulama düzeylerine bağlı olarak 1.03-1.62 kg/m³; WUE değerlerini ise 1.00-2.43 kg/m³ arasında belirlemişlerdir. Gençel (2000), Harran Ovası koşullarında mısırın IWUE değerlerini 1.95-2.53 kg/m³; WUE değerlerini ise 1.94-2.27 kg/m³ arasında belirlemiştir. Howell ve Ark. (1995) IWUE değerlerini 1.95-2.48 kg/m³; WUE değerlerini ise 0.97-1.42 kg/m³ arasında değiştirdiğini bildirmişlerdir. Howell ve Ark.

(1997) damla yöntemiyle sulanan mısır için WUE değerlerinin 1.08-1.54 kg/m³ arasında değiştiğini belirtmişlerdir.

4.3. Dane Verimi

Mısır hasadı ilk yıl 09 Eylül 2005 tarihinde, ikinci yıl ise 14 Eylül 2006 tarihinde yapılmıştır. Çalışmada en yüksek dane verimi her iki yılda da 1.0 m etkili kök derinliğindeki kullanılabilir suyun %60'ının tüketildiğinde sulama yapılan I-60 konusundan ilk yıl 1098.8 kg/da, ikinci yıl ise 938.5 kg/da olarak elde edilmiştir, bunu sırasıyla I-40 (918.8, 808.2 kg/da) ve I-80 konuları (726.1, 788.3 kg/da) izlemiştir (Çizelge 4.3, 4.4). Deneme konularına ilişkin dane verimine ilişkin yapılan varyans analizi sonuçları yıllara göre Çizelge 4.5 ve 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.4. Konulara ilişkin dane verimi değerleri (2005)

Dane verimi (kg/da)			
	Sulama Konuları		
Yineleme	I-40	I-60	I-80
T1	918.6	1099.4	667.0
T2	915.2	1085.7	740.6
T3	927.1	1143.3	753.8
T4	911.0	1066.7	742.9
Ort.	918.0 b	1098.8 a	726.1 c

Çizelge 4.5. Konulara ilişkin dane verimi değerleri (2006)

Dane verimi (kg/da)			
	Sulama Konuları		
Yineleme	I-40	I-60	I-80
T1	832.7	987.2	801.1
T2	754.6	938.8	755.2
T3	837.3	964.6	808.6
T4	809.3	962.8	788.1
Ortalama	808.2b	963.5 a	788.3 c

Gençoğlu ve Yazar (1999), Çukurova’da kısıtlı sulamanın mısır verimine etkilerini inceledikleri çalışmalarında dane verimini sulama yapılmayan konularda ortalama 105 kg/da, tam su verilen konularda ise ortalama olarak 1001.5 kg/da olarak bulmuşlardır. Gençel (2000), Harran ovası koşullarında, damla sulama yöntemiyle sulanan ikinci ürün mısır bitkisinin su-verim ilişkilerini, su kısıntısının verime ve verim unsurlarına etkilerini belirlemek için çalışma yapmış, dane verimleri 725.3 kg/da ile 1192.0 kg/da arasında değişmiştir. Boz (2001), Çukurova koşullarında yağmurlama yöntemiyle sulanan birinci ürün mısır bitkisinde su-verim ilişkisini belirlemek için yaptığı çalışmada sulama konularından dekara 326 kg ile 851 kg arasında verim alınmıştır. Köksal (1995), denemesinde tam su alan konuda 775-801.8 kg/da arasında değişen en yüksek verim alırken susuz konudan 226.1 kg/da ile en düşük verimi almıştır. Bozkurt ve ark. (2006) aynı araştırma alanında damla yöntemiyle sulanan ikinci ürün mısırdaki en yüksek verimi 979 kg/da olarak belirlemiştir. Bu çalışmadan elde edilen verim değerleriyle daha önce aynı alanda yürütülmüş denemelerden elde edilen verim değerleri büyük benzerlikler göstermektedir.

Çizelge 4.6. Dane verimine ilişkin varyans analiz çizelgesi (2005)

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	Hesaplanan f
Yineleme	3	3487.11	1162.37	1.5201
Sulama	2	277892.715	138946.358	181.730*
Hata	6	4588.12	764.687	

Çizelge 4.7. Dane verimine ait varyans analiz çizelgesi (2006)

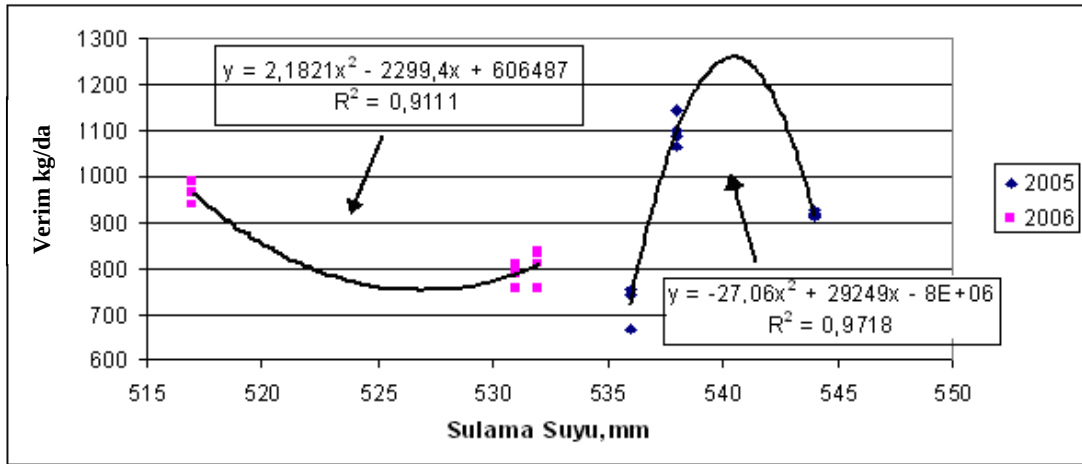
Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	Hesaplanan f
Yineleme	3	6222.066	2074.022	13.2846
Sulama	2	55201.413	27600.707	176.789*
Hata	6	936.732	156.122	

Yapılan varyans analiz sonuçları her iki araştırma yılında da sulama konularının dane verimi üzerine etkilerinin istatistiksel olarak farklı olduğunu göstermiştir. Duncan gruplandırması sonrasında üç farklı grup olduğu belirlenmiştir. Hafif stresin olduğu ve en yüksek dane verimi değerlerine sahip olan I-60 konuları birinci grubu, stressiz koşulları temsil eden I-40 konuları ikinci grubu ve aşırı stresli koşulları temsil eden I-80 konuları da üçüncü grubu oluşturmuştur. Strese izin verilmeyen I-40 konusunda kullanılabilir toprak suyu tarla kapasitesi ile %40 arasında değişmiştir. Dolayısıyla anılan konudaki bitkilerde sık sulama etkisiyle vejetatif gelişme özendirilmiş ve verim değeri ise I-60 konusuna göre %11 daha düşük bulunmuştur. I-60 konusu, deneme sonuçlarına göre daha uygun toprak suyu ortamı sağlamıştır. Stresli konuyu temsil I-80 konusunda ise kullanılabilir toprak suyunun %80'e dek kullanılmasına izin verilmiştir. Bu durum sulama aralıklarının uzamasına ve bitkinin strese girmesine neden olmuştur. Bu konu stres indeksi konusunda ayrıntılı olarak tartışılmıştır.

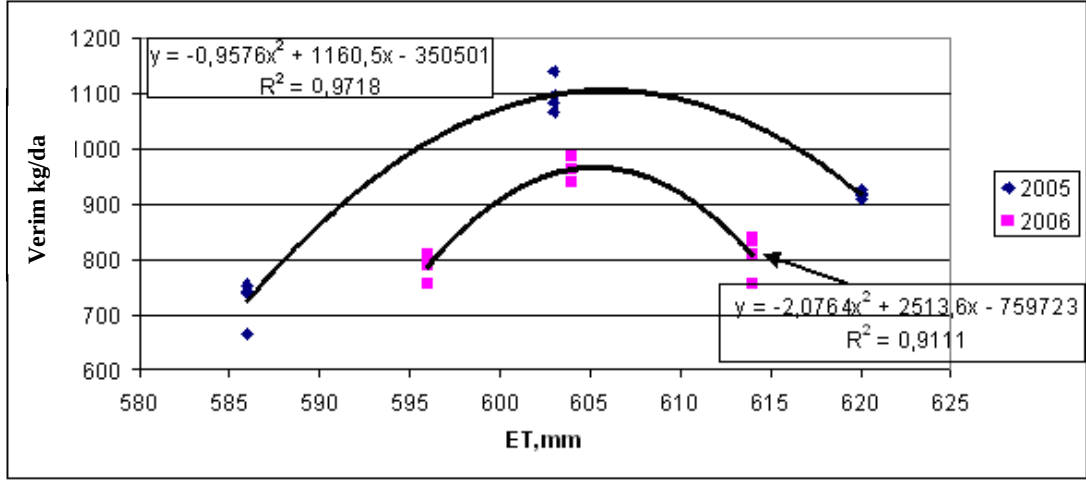
4.3.1. Dane Veriminin Sulama Suyu ve Su Tüketimi ile İlişkisi

Çalışmada gerek yığışımli su tüketimiyle verim arasında, gerekse uygulanan sulama suyu ile mısır verimi arasında önemli ilişkiler elde edilmiştir. Sulama suyu ile verim arasındaki ilişkiler Şekil 4.3’de, yığışımli su tüketimi ile verim arasındaki ilişkiler ise Şekil 4.4’de gösterilmiştir.

Dane verimiyle sulama suyu ve su tüketimi arasında ikinci dereceden polinomial ilişkiler belirlenmiştir. Bozkurt ve ark. (2006) aynı araştırma alanında yürüttükleri çalışmalarında ikinci dereceden polinom ilişkiler belirlemişlerdir. Benzer biçimde, Gençdoğan ve Yazar (1999) ise Çukurova koşullarında sulama suyu ile dane verimi arasında ikinci dereceden ilişkiler belirlemişlerdir. Değirmenci ve ark.(1998) Harran Ovası, Öğretir (1993) Eskişehir, Ul (1990) Menemen, Gençdoğan ve Yazar (1999) Çukurova, Howell ve Ark. (1995) Bushland, Texas’ta yürüttükleri denemelerde su tüketimi ile dane verimi arasında doğrusal ilişkiler elde etmişlerdir.



Şekil 4.5. Sulama suyu – verim ilişkisi



Şekil 4.6. Yıgışım su tüketimi – verim ilişkisi

4.4. Bin Dane Ağırlığı

Denemede sulama konularına göre elde edilen ortalama bin dane ağırlıkları Çizelge 4.8’de verilmiştir. Sulama konularında saptanan bin dane ağırlıkları 299.7 ile 356.4 g arasında değişmiştir. Denemenin ilk yılında en yüksek bin dane verimi stressiz koşulları temsil eden I – 40 konusunda (356.4 g), en düşük bin dane verimi ise aşırı stresli koşulu temsil eden I – 80 konusunda (338.6 g) oluşmuştur. İkinci yılda da benzer şekilde en yüksek bin dane ağırlığı stressiz koşulları temsil eden I – 40 konusunda (318.2 g), en düşük bin dane ağırlığı ise I – 80 konusunda (299.7) belirlenmiştir. Anılan çizelgedeki değerlerin varyans analizi yapılmış ve sulama konularının bin dane verimi üzerine 0.01 önem düzeyinde istatistiksel açıdan önemli bir etkisinin bulunduğu ortaya çıkmıştır (Çizelge 4.9, 4.10).

Çizelge 4.8. Konulardan Elde Edilen Ortalama Bin Dane Ağırlıkları

Yıllar	Konular	Bin Dane Ağırlığı (g)				
		T1	T2	T3	T4	Ortalama
2005	I – 40	358.6	357.3	354.5	355.3	356.4a
	I – 60	348.7	357.1	358.5	356.6	356.2a
	I – 80	338.5	335.3	337.6	343.3	338.6b
2006	I – 40	323.7	315.2	317.4	316.7	318.2a
	I – 60	309.5	299.7	302.2	301.8	303.3b
	I – 80	299.6	305.6	295.6	298.2	299.7b

Çizelge 4.9 . Bin Dane Ağırlıklarına İlişkin Varyans Analiz Sonuçları (2005)

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	Hesaplanan f
Yineleme	3	14.901	4.967	0.3378
Sulama	2	787.207	393.604	26.7636**
Hata	6	88.240	17.707	

Çizelge 4.10 . Bin Dane Ağırlıklarına İlişkin Varyans Analiz Sonuçları (2006)

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	Hesaplanan f
Yineleme	3	63.753	21.251	1.46
Sulama	2	771.140	385.570	26.5585**
Hata	6	87.107	14.52	

Yapılan Duncan gruplandırmasına göre her iki yılda da 2 grup ortaya çıkmıştır. Birinci yılda I – 40 ve I – 60 konuları birinci grubu, I – 80 konusu ise ikinci grubu oluştururken ikinci yılda I – 40 konusu birinci grubu, I – 60 ve I – 80 konuları ise ikinci grubu oluşturmuştur.

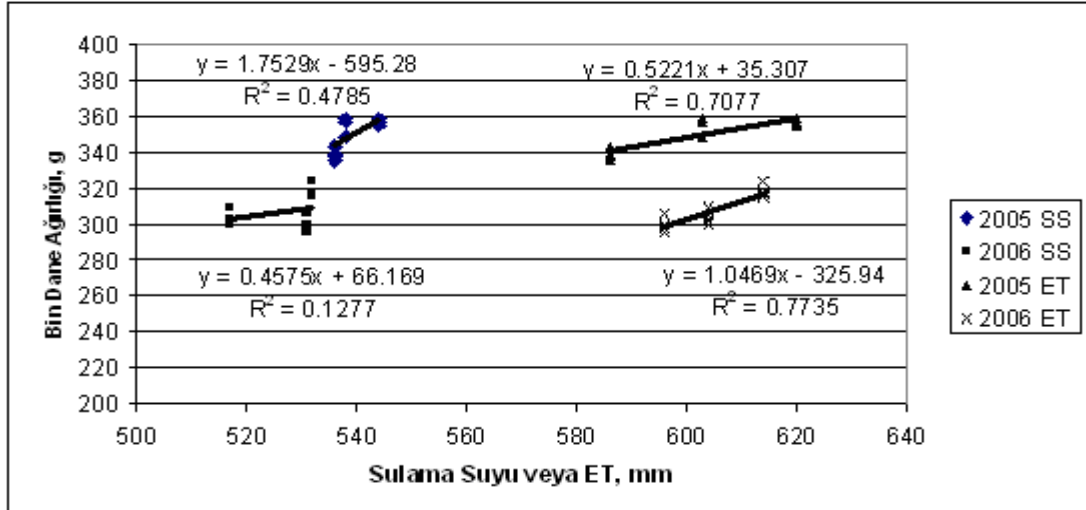
Yıldız ve Genç (1990), Çukurova koşullarında yürüttükleri mısır denemesinde bin dane ağırlıklarını 264.7 ile 307.3 g arasında; Gençoğlu (1996), yaptığı çalışmada en yüksek bin dane ağırlığını tam su alan I₁₀₀ konusunda (321.4

– 332.8 g) ve en düşük bin dane ağırlığını su kısıntısının en fazla olduğu I_0 konusunda (134.4 – 161.7 g) elde etmiştir. Boz (2001), Çukurova koşullarında yürüttükleri mısır denemesinde en yüksek bin dane ağırlığını I_{100} sulama konusunda 294 g ve en düşük bin dane ağırlığını I_{50} sulama konusunda 214 g olarak belirlemiştir.

4.4.1. Bin Dane Ağırlığı ile Sulama Suyu ve Su Tüketimi İlişkisi

Araştırma konularına uygulanan sulama suyu miktarları ve bu konulara ilişkin su tüketimiyle (ET) bin dane ağırlıkları arasında belirlenen ilişkiler Şekil 4.7’de verilmiştir. Anılan şekilde görüldüğü gibi, bin dane ağırlığı – su tüketimi ve sulama suyu – bin dane ağırlığı arasında doğrusal ilişkiler belirlenmiştir.

Genel olarak uygulanan sulama suyu ve bitki su tüketimi değerleri arttıkça bin dane ağırlığının da arttığı gözlenmiştir. En yüksek bin dane ağırlığı her iki yılda da stressiz koşulları temsil eden I – 40 konularında elde edilmiştir.



Şekil 4.7. Konulara Göre Bin Dane Ağırlığı – Sulama Suyu veya ET İlişkisi

4.5. Kuru Madde (Biyomas) Verimi, Yaprak Alan İndeksi (LAI) ve Bitki Boyu

Deneme parsellerinin 2. ve 9. sıralarından alınan bitki örnekleri üzerinde yapılan bitki boyu, kuru madde miktarı ve ölçümler sonucunda hesaplanan yaprak alan indeksi değerleri araştırma yılları için sırasıyla Çizelge 4.11 ve 4.12’de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Konulara göre bitki boyu, kuru madde miktarı (KMM) ve yaprak alan indeksi (LAI) değerleri (2005).

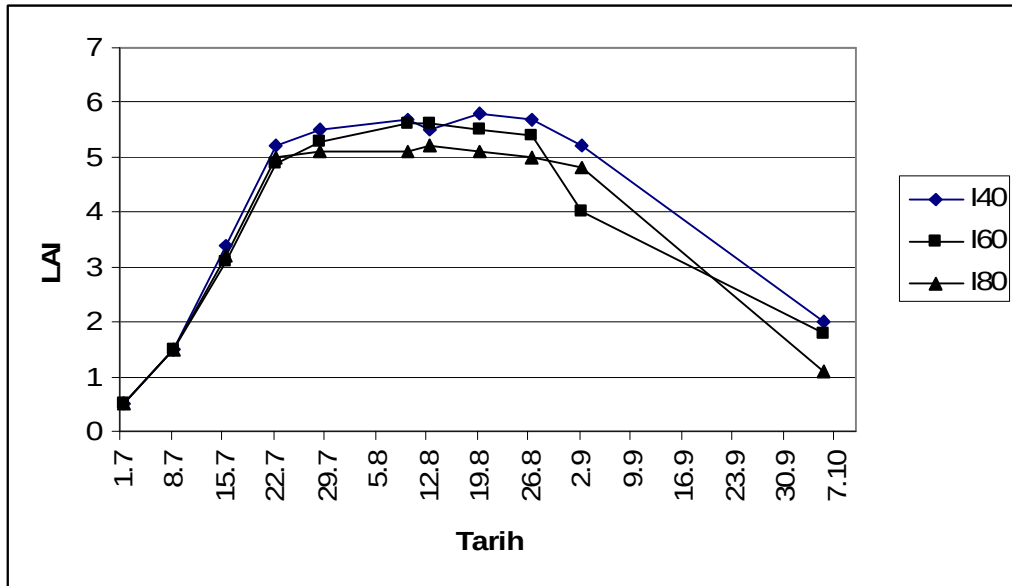
Tarih	Bitki Boyu (cm)			KMM (g/m ²)			LAI		
	I-40	I-60	I-80	I-40	I-60	I-80	I-40	I-60	I-80
01.07.2005	59	59	59	26.2	26.2	26.2	0.5	0.5	0.5
08.07.2005	101	101	101	115.0	115.0	115.0	1.5	1.5	1.5
15.07.2005	138	136	132	307.4	287.8	323.1	3.4	3.1	3.2
22.07.2005	190	180	179	586.7	623.5	581.2	5.2	4.9	5.0
28.07.2005	207	206	200	878.3	874.0	737.7	5.5	5.3	5.1
09.08.2005	245	237	233	1393.5	1284.6	1177.2	5.7	5.6	5.1
12.08.2005	254	248	237	1589.0	1430.0	1240.0	5.5	5.6	5.2
19.08.2005	261	256	247	1845.0	1618.0	1475.3	5.8	5.5	5.1
26.08.2005	267	260	245	2112.0	1961.6	1771.8	5.7	5.4	5.0
02.09.2005	266	259	245	2301.3	2291.2	2193.3	5.2	4.0	4.8
Hasat	266	260	242	2362.3	2391.9	2181.8	2.0	1.8	1.1

Çizelge 4.12 . Konulara göre bitki boyu, kuru madde miktarı (KMM) ve yaprak alan indeksi (LAI) değerleri (2006).

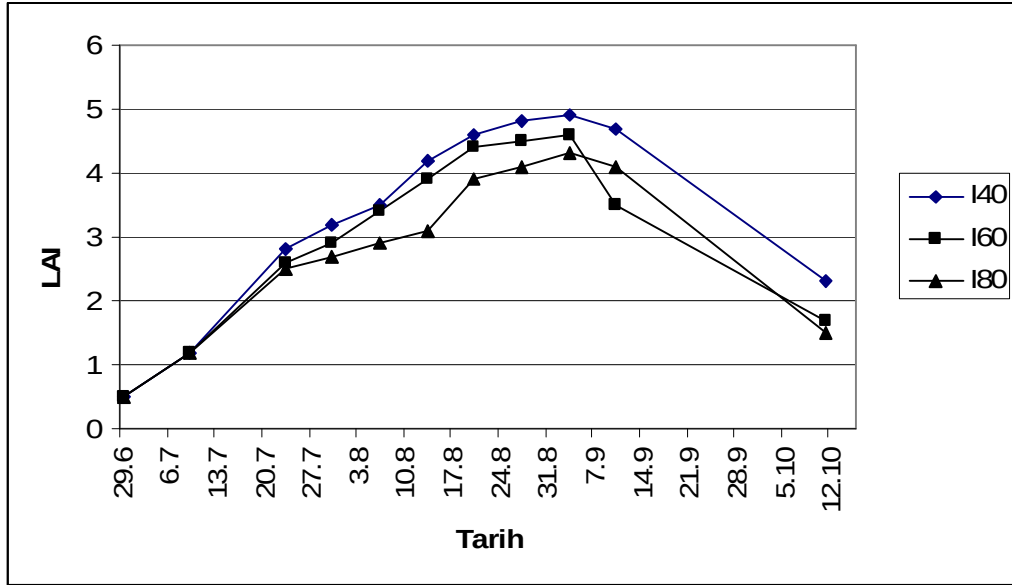
Tarih	Bitki Boyu (cm)			KMM (g/m ²)			LAI		
	I-40	I-60	I-80	I-40	I-60	I-80	I-40	I-60	I-80
29.06.2006	32	32	32	24.4	24.4	24.4	0.5	0.5	0.5
09.07.2006	88	86	86	116.0	116.0	116.0	1.2	1.2	1.2
23.07.2006	128	122	121	401.6	317.4	226.6	2.8	2.6	2.5
30.07.2006	176	173	175	786.3	617.5	593.2	3.2	2.9	2.7
06.08.2006	246	238	226	1175.3	944.0	731.3	3.5	3.4	2.9
13.08.2006	256	244	235	1893.5	1684.6	1129.2	4.2	3.9	3.1
20.08.2006	264	252	246	2340.4	2047.0	1766.8	4.6	4.4	3.9
27.08.2006	268	257	248	2659.1	2410.0	2070.0	4.8	4.5	4.1
03.09.2006	275	258	246	3304.3	3191.9	2787.4	4.9	4.6	4.3
10.09.2006	275	260	248	3438.1	3287.1	2866.2	4.7	3.5	4.1
Hasat	272	260	248	3278.6	3208.9	2806.1	2.3	1.7	1.5

Anılan çizelgede I – 40 konularında gözlenen bitki boyu, kuru madde miktarı ve yaprak alan indeksi değerlerinin her iki yılda da genellikle diğer sulama konularına kıyasla daha yüksek olduğu görülmektedir. En yüksek dane verim değerinin I – 60 konusundan elde edildiği dikkate alındığında, yapılan sık sulamaların vejetatif gelişmeyi özendirdiği ve sonuçta verimde azalmalara yol açtığı söylenebilir.

Denemenin ilk yılındaki yaprak alan indeksi değerleri incelendiğinde en yüksek değerin 5.8 ile en çok su alan I – 40 konusunda, bunu azalan sulama suyuna paralel bir biçimde 5.6 ile I – 60 ve 5.2 ile I – 80 konularının izlediği görülmektedir (Şekil 4.8). Sulama uygulamalarının yaprak alanı indeksi üzerine etkisinin önemli olduğu görülmüştür.



Şekil 4.8. Yaprak alan indeksi gelişimi (2005)

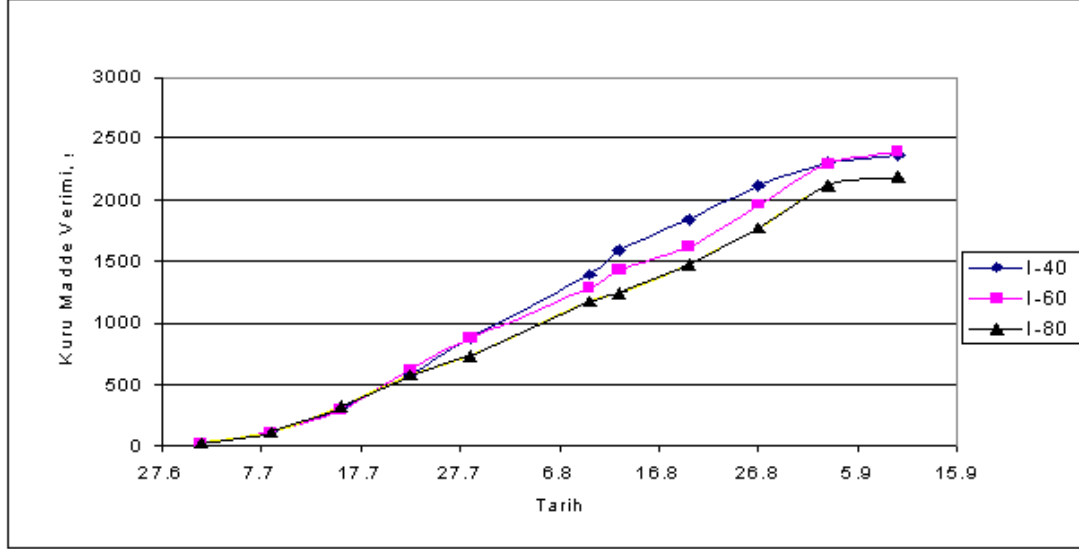


Şekil 4.9. Yaprak alan indeksi gelişimi (2006)

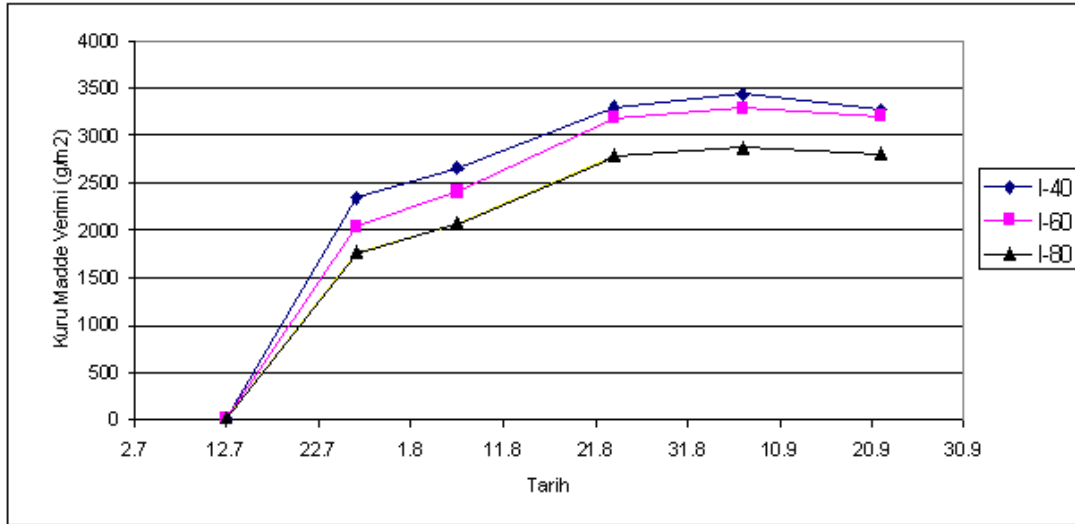
Denemenin ikinci yılında yaprak alan indeksi (LAI) değerleri incelendiğinde en yüksek değerin 5.32 ile en çok su alan I – 40 konusunda, bunu azalan sulama suyuna paralel bir biçimde 4.7 ile I – 60 ve 4.2 ile I – 80 konularının izlediği görülmektedir (Şekil 4.9). LAI değerleri ekimden yaklaşık 40 gün sonraya dek hızla artmış, bu tarihten itibaren ise artış hızı yavaşlamıştır. Ekimden 70 gün sonra ise artış durmuştur. Çok belirgin omamakla birlikte yaşlanma sürecinin en erken I – 80 konusunda ortaya çıkmış olmasının su stresinden kaynaklandığı düşünülebilir. Hasada yaklaştıkça bitkilerdeki fizyolojik olgunluğa bağlı olarak LAI değerleride azalmış ve hasatta en düşük değerler ölçülmüştür.

Boz (2001) Çukurova koşullarında yürüttükleri çalışmada LAI değerleri I_{100} konusunda 4.49, I_{75} konusunda 4.05, I_{50} konusunda 3.65 olarak belirlemiştir. Gençdoğan (1996), araştırmasının birinci yılında, son sulamada I_0 konusunun LAI'ı 2.50, I_{100} konusunda ise 4.55 olarak saptamıştır. I_{20} sulama konusundan I_{40} , I_{60} ve I_{80} sulama konularına doğru uygulanan sulama suyu miktarı arttıkça, LAI değerleri de artmıştır. Denemenin ikinci yılında son sulama tarihinde belirlenen LAI, birinci yıldaki değerlere benzer bulunmuştur. Köksal (1995), LAI değerlerini tam su alan konuda 4.84, susuz konuda ise 3.80 olarak saptamıştır.

Deneme konularında kuru madde yığılımları yıllara göre Şekil 4.10 ve 4.11’de grafiklenmiştir. Anılan şekiller incelendiğinde denemenin birinci yılında belirlenen kuru madde verimleri ikinci yıla kıyasla daha düşük bulunmuştur.



Şekil 4.10. Konulara göre kuru madde yığılımı (2005)



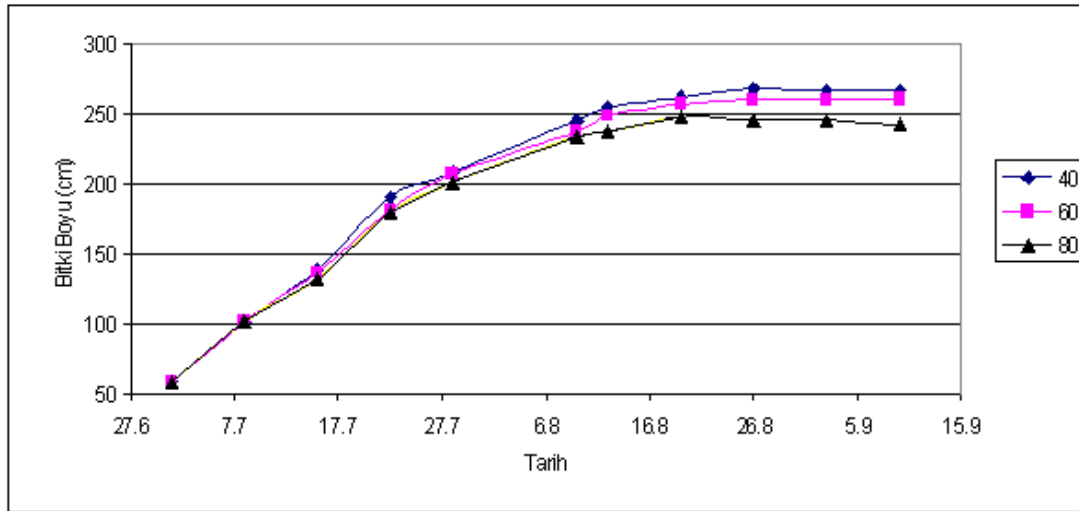
Şekil 4.11. Konulara göre kuru madde yığılımı (2006)

Denemenin birinci yılında konulara ilişkin yığılımlı kuru madde verimleri incelendiğinde, I – 40 ve I – 60 konularında 2362.3 ve 2391.9 g/m², stresin en fazla olduğu I – 80 konusunda ise 2181.8 g/m² olarak belirlenmiştir (Şekil 4.10).

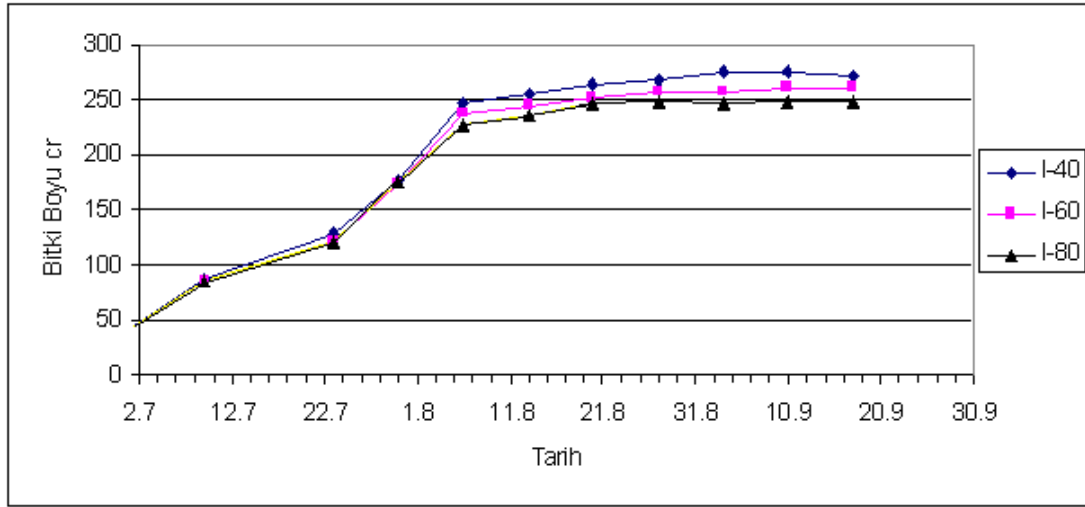
Denemenin ikinci yılın ait yığılımlı kuru madde verimleri incelendiğinde, değerlerin bir önceki yılda olduğu gibi I - 40 konusunda (3278.66 g/m^2) diğer konulara göre daha yüksek olduğu, bunu sırasıyla I – 60 konusu (3208.9 g/m^2) ve I – 80 (2806.1 g/m^2) konusunun izlediği görülmektedir (Şekil 4.11).

Bozkurt ve Ark. (2006) aynı araştırma alanında yürüttükleri çalışmalarında kuru madde verimleri genel olarak tam su alan konularda, kısıntılı sulamalara oranla daha yüksek çıkmıştır. Hasatta en yüksek kuru madde verimi 2588.7 kg/da ile tam su konusunda, en düşük ise 2011 kg/da kısıntılı sulama konusunda elde edilmiştir. Boz (2001), Çukurova koşullarında mısır bitkisinde yaptıkları çalışmalarında hasattaki kuru madde veriminin en yüksekten düşüğe doğru sırasıyla I_{100} (2.900 kg/m^2), I_{75} (2.350 kg/m^2) ve I_{50} (1.780 kg/m^2) olduğu görülmüştür. Gençdoğan ve Yazar (1999), sulama konularında ilk yıl kuru madde miktarı $0.76\text{-}2.64 \text{ kg/m}^2$; ikinci yıl ise $0.72\text{-}2.90 \text{ kg/m}^2$ arasında değiştiğini belirlemişlerdir.

Deneme süresince belirli aralıklarla ölçülen bitki boylarının zamana göre gelişimleri araştırma yılları için Şekil 4.12 ve 4.13’de verilmiştir.



Şekil 4.12. Konulara göre bitki boyu değişimi (2005)



Şekil 4.13. Konulara göre bitki boyu değişimi (2006)

Konulara göre bitki boyları incelendiğinde ilk yıl en yüksek değerin 262.5cm ile en çok su alan I – 40 konusunda, bunu azalan sulama suyuna paralel bir biçimde 256.9 cm ile I – 60 ve 238.1cm ile I – 80 konularının izlediği görülmektedir (Şekil 4.12). Bitki boyu gelişiminin de denemenin ikinci yılında, ilk yıla benzer şekilde olduğu ve en fazla bitki boyunun sık sulanan I-40 konusunda (272 cm), bunu sırasıyla I-60 (260 cm) ve I-80 (248) konularının izlediği görülmüştür (Şekil 4.13).

Bozkurt ve Ark. (2006) Çukurova yöresindeki çalışmalarında en yüksek bitki boyu tam sulama konusunda 271cm, en küçük bitki boyu ise kısıntılı sulama konusunda 253 cm olarak belirlemişlerdir. Gençel (2000), Harran Ovası koşullarında yaptığı çalışmada bitki boylarının 242-289 cm; Gençoğlu (1996), Çukurova’da farklı sulama suyu miktarları için ortalama bitki boyunun 168 ile 246 cm; Derviş (1986), yaptığı çalışmada sulama konularına ve yıllara göre bitki boyunu 184 ile 212 cm; Sammis ve Ark. (1998), farklı yerlerde farklı mısır çeşitlerinde yaptıkları denemelerde, mısır bitki boyunun su stresinin iyi bir göstergesi olduğunu ve 269 ile 287 cm; Ul (1990), Menemen ovası koşullarında G-4507 hibrit mısır çeşidi için 208 ile 154 cm arasında değiştiğini bildirmişlerdir.

Denemenin ilk yılına ilişkin hasat indeksi (HI) değerleri incelendiğinde en yüksek hasat indeksi değerinin I – 60 konusunda (0.45) olduğu, bunu sırasıyla I – 40 (0.39) ve I – 80 (0.27) konularının izlediği görülmüştür (Çizelge 4.13). Hasat indeksi

değerlerinin varyans analizi sonuçları Çizelge 4.15 ve 4.16’da verilmiştir. Anılan çizelgeden görüldüğü gibi, hasat indeksi değerleri arasında %5 önem seviyesinde istatistiksel açıdan önemli farklar bulunmuş ve yapılan Duncan gruplandırmasında konuların üç farklı grup oluşturduğu görülmüştür. En yüksek HI değeri 0.46 ile I-60 konusunda belirlenmiş, bunu sırasıyla 0.39 değeriyle I-40 ve 0.33 ile I-80 konuları izlemiştir.

Çizelge 4.13. Konulara ilişkin hasat indeksi (HI) değerleri (2005)

Hasat İndeksi (2005)			
	Sulama Konuları		
Yineleme	I – 40	I – 60	I – 80
T1	0.39	0.46	0.30
T2	0.39	0.45	0.34
T3	0.39	0.48	0.34
T4	0.38	0.45	0.34
Ort.	0.39 b	0.46 a	0.33 c

Çizelge 4.14. Konulara ilişkin hasat indeksi değerleri (2006)

Hasat İndeksi (2006)			
	Sulama Konuları		
Yineleme	I – 40	I – 60	I – 80
T1	0.26	0.31	0.28
T2	0.23	0.30	0.27
T3	0.25	0.30	0.28
T4	0.25	0.30	0.28
Ort.	0.25 c	0.30 a	0.28 b

Denemenin ikinci yılında elde edilen hasat indeksi değerleri incelendiğinde en yüksek hasat indeksi değerinin I-60 konusunda (0.30) olduğu, bunu sırasıyla I-80 (0.28) ve I-40 (0.25) konularının izlediği görülmüştür (Çizelge 4.14). Hasat indeksi değerlerinin varyans analizi sonuçları Çizelge 4.15 ve 4.16’da verilmiştir. Anılan

çizelgeden görüldüğü gibi, hasat indeksi değerleri arasında %5 önem seviyesinde istatistiksel açıdan önemli farklar bulunmuş ve yapılan Duncan gruplandırmasında konuların üç farklı grup oluşturduğu görülmüştür.

Çizelge 4.15. Hasat İndeksi değerlerine ilişkin varyans analiz çizelgesi (2005).

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	Hesaplanan f
Yineleme	3	0.001	0.00033	1.00
Sulama	2	0.034	0.017	81.48*
Hata	6	0.001	0.000167	

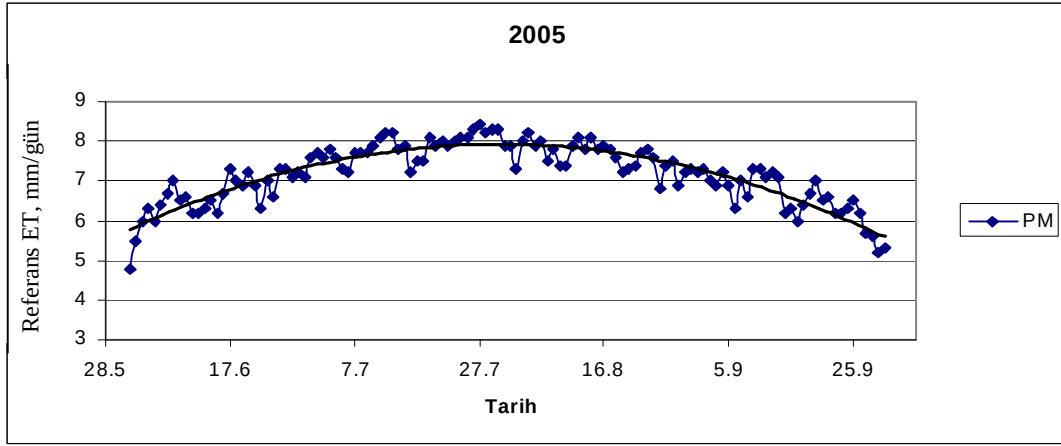
Çizelge 4.16. Hasat İndeksi değerlerine ilişkin varyans analiz çizelgesi (2006).

Varyasyon Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	Hesaplanan f
Yineleme	3	0.0001	0.000033	4.25
Sulama	2	0.006	0.003	91.0001*
Hata	6	0.0001	0.0000167	

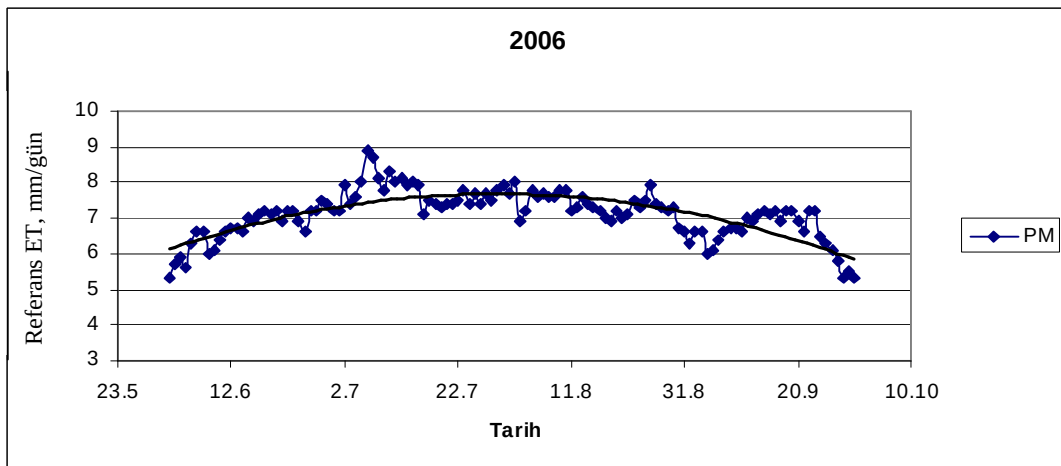
Bozkurt ve Ark. (2006) damla yöntemiyle sulanan mısırdan en yüksek hasat indeksini 0.42, en düşük 0.33 olarak belirlemişlerdir. Gençdoğan ve Yazar (1999) Çukurova koşullarında yaptıkları çalışmada denemenin ilk yılında HI'nin 0.25-0.27 arasında, ikinci yılda ise bu değer 0.20-0.43 arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Yazar ve Ark. (2002) Harran Ovası koşullarında yaptıkları çalışmada HI'nin 0.218-0.346 değerleri arasında değiştiğini bulmuşlardır. Howell ve Ark. (1994) Bushland'da yaptıkları çalışmada HI'nin 0.337-0.578 arasında; Boz (2001) Çukurova koşullarında yaptıkları çalışmada HI'nin 0.31-0.55 arasında değiştiğini belirlemiştir.

4.6. Referans ET (Kıyas Bitki Su Tüketimi)

Çalışmada, bitki su stresi indeksinin teorik yaklaşımla hesaplanmasında kullanılan günlük referans ET değerleri materyal ve metod bölümünde ayrıntıları verilen FAO Penman-Monteith yöntemiyle hesaplanmış ve elde edilen veriler araştırma yılları için sırasıyla Şekil 4.14 ve 4.15’de verilmiştir. Anılan şekiller incelendiğinde aylık ortalama referans ET değerleri çalışmanın ilk yılında Haziran ayında 6.7 mm, Temmuz ayında 7.8 mm, Ağustos ayında 7.4 mm, Eylül ayında 6.6 mm, ikinci yılında Haziran ayında 6.6 mm, Temmuz ayında 7.9 mm, Ağustos ayında 7.6 mm ve Eylül ayında 6.5 mm olarak belirlenmiştir.



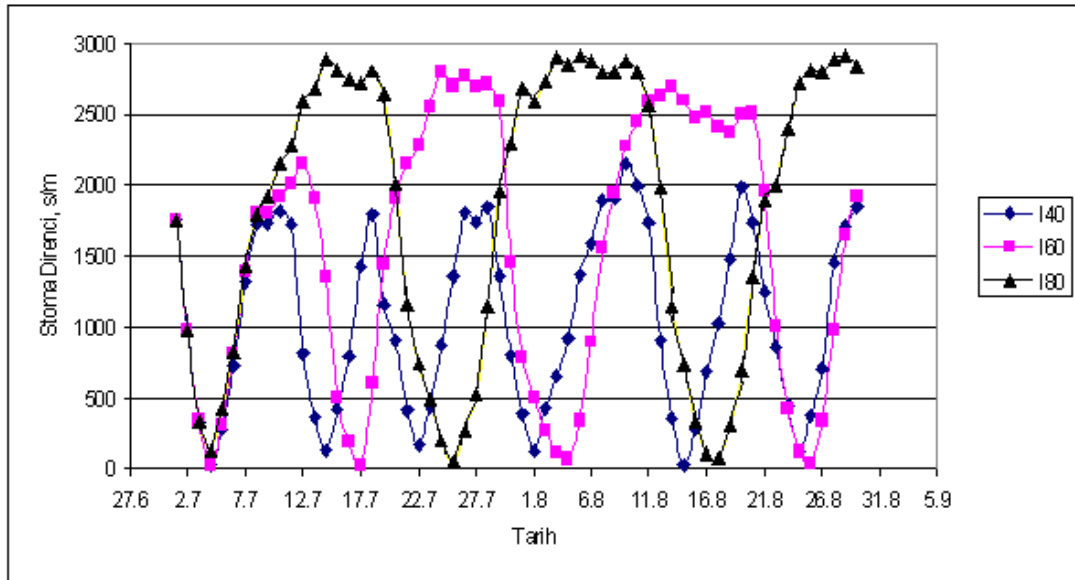
Şekil 4.14. Referans ET değerinin zamansal değişimi (2005)



Şekil 4.15. Referans ET değerinin zamansal değişimi (2006)

4.7. Bitki Su Stresi İndeksi (CWSI) ve Stoma Direnci Değerlerine İlişkin Bulgular

Denemenin birinci yılında bitkilerin toprak yüzeyini yaklaşık olarak %70 oranında kapattıkları 16 Temmuz 2005 ve ikinci yılında da 18 Temmuz 2006 tarihlerinden itibaren infrared termometre ile bitki tacı sıcaklıkları, hava sıcaklıkları ve havanın buhar basıncı açığını belirlemek üzere psikrometre termometre ile de ıslak ve kuru termometre ölçümlerine başlanmış ve ölçümler ilk yıl fizyolojik olgunluğun gerçekleştiği 2 Eylül 2005 tarihine ikinci yıl ise 9 Eylül 2006 tarihine kadar sürdürülmüştür. Infrared ölçümleriyle eşzamanlı olarak yaprak (stoma) direncini belirlemek amacıyla fotosentez cihazıyla ölçümler yapılmıştır. Belirlenen stoma direnci değerlerinin konulara göre zamanla değişimi Şekil 4.16'da verilmiştir. Araştırmanın ikinci yılında stoma direnci ölçümleri aygıttaki arıza nedeniyle gerçekleştirilememiştir.

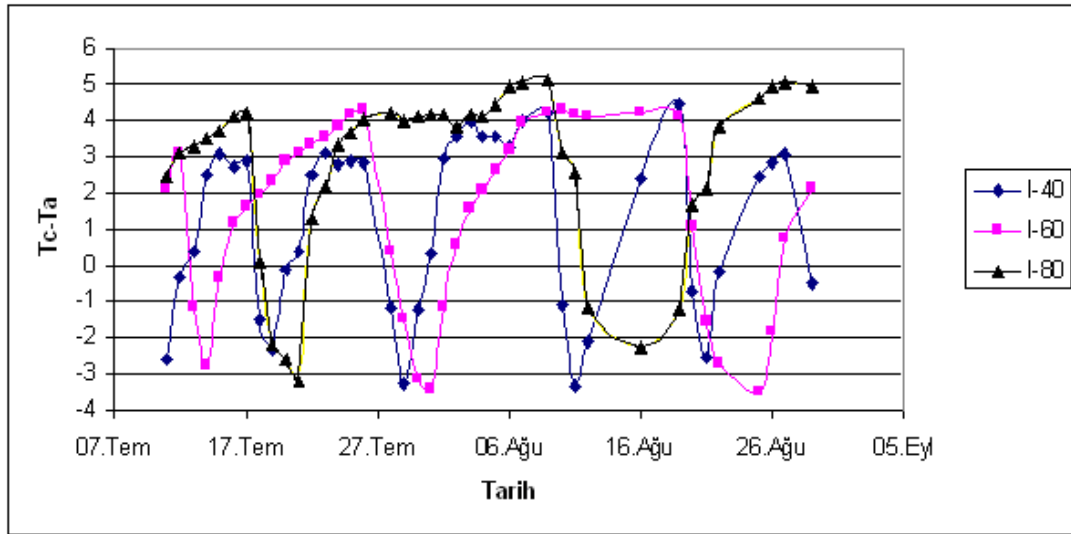


Şekil 4.16. Deneme konularında, mısır bitkisinde stoma direnci değerlerinin zamana göre değişimi.

Yapılan stoma direnci ölçümlerinde en sık sulanan I-40 konusunda değerin 0 ile 2000 s/m değerleri arasında değiştiği görülmüştür. Sulama aralığı arttıkça bu değerin I-60 konusunda 0 ile 2800 s/m ve I-80 konusunda da 0 ile 3000 s/m değerleri

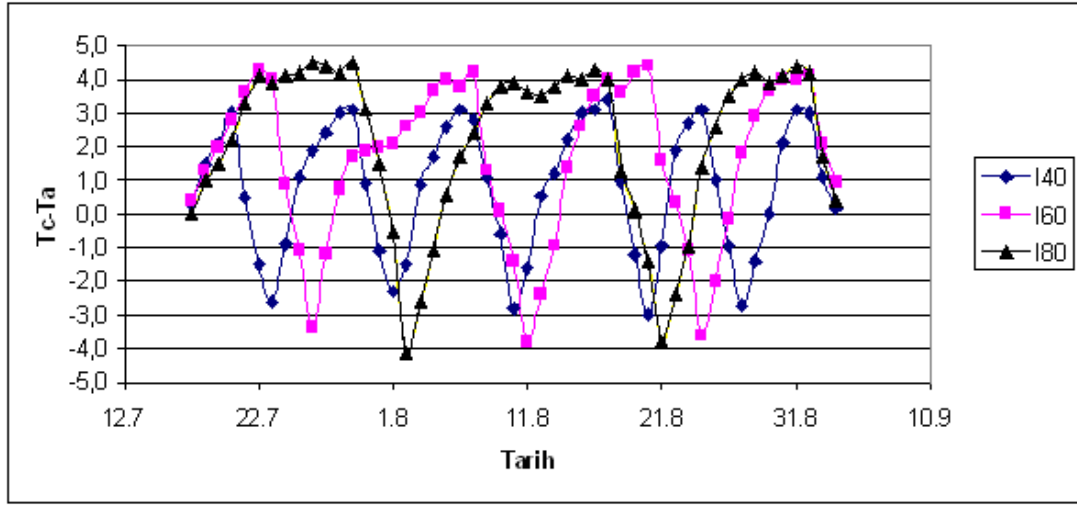
arasında değiştiği görülmüştür. Stoma direncinin sulamalardan hemen sonra 0'a düşmediği, I-40 konusunda 3-4 gün, I-60 konusunda 4-5 gün ve I-80 konusunda 5-6 gün sonra 0 değerine ulaşabildiği belirlenmiştir. Bu süreç bitkinin kaybettiği suyu kökleri yardımıyla alıp yapraklarına ulaştırmasındaki gecikme (recovery) olarak nitelendirilmekte ve su stresi şiddeti arttıkça bu süreç daha da uzun sürmektedir.

Bitki su stresi indeksi (CWSI) hesaplamasında kullanılan taç-hava sıcaklıkları farklarının (T_c-T_a) zamanla değişimi araştırma yılları için Şekil 4.17 ve 4.18'de verilmiştir. Toprak suyundaki azalmaya bağlı olarak bitki stomaları kapanmakta ve taç sıcaklığı artmaktadır. Taç sıcaklığı ile hava sıcaklığı farkı sulamadan birkaç gün sonraya dek yavaş yavaş artmış (negatif değer olarak) ve bitkinin turgoruna kavuşma süresinden sonra fark yeniden azalmaya başlamıştır. Mısır bitkisi yapraklarının turgoruna kavuşma süresi genellikle 3 gün olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.17. Deneme konularında T_c-T_a farklarının zamana göre değişimi (2005).

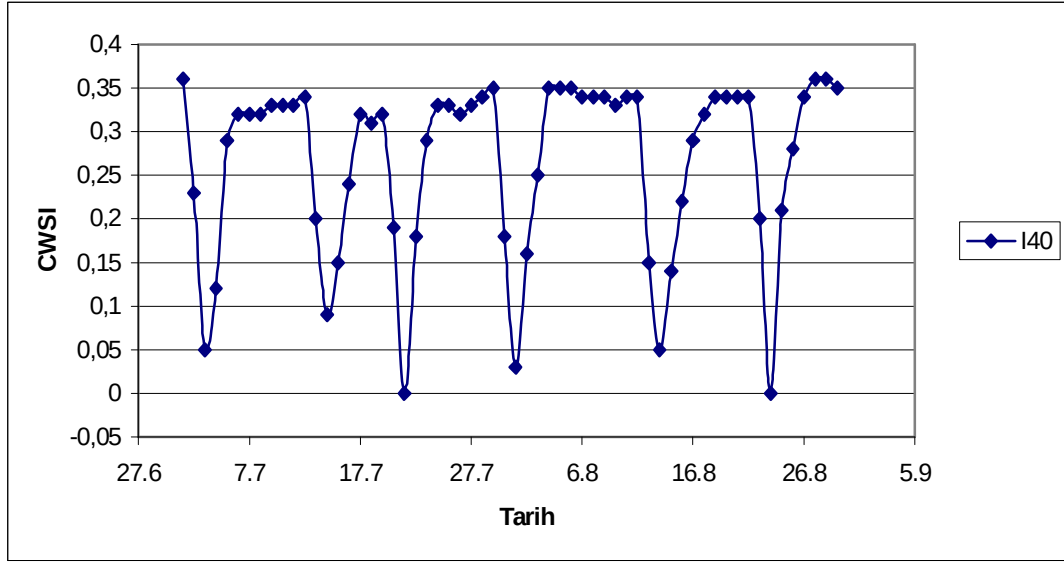
T_c-T_a değeri sık sulanan, su stresinin olmadığı kabul edilen I-40 konusunda sulama döngüsü içerisinde, $-3.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $+4.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında değişmiştir. Hafif stres konusunda (I-60) bu değerler $-3.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $+4.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında değişirken stresli koşulları temsil eden I-80 konusunda söz konusu değerler $-3.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $+5.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında değişmiştir. Genel olarak sulamalardan hemen önce T_c-T_a değerleri en yüksek değerlerde, sulamalardan birkaç gün sonra ise en düşük değerlere ulaşmaktadır.



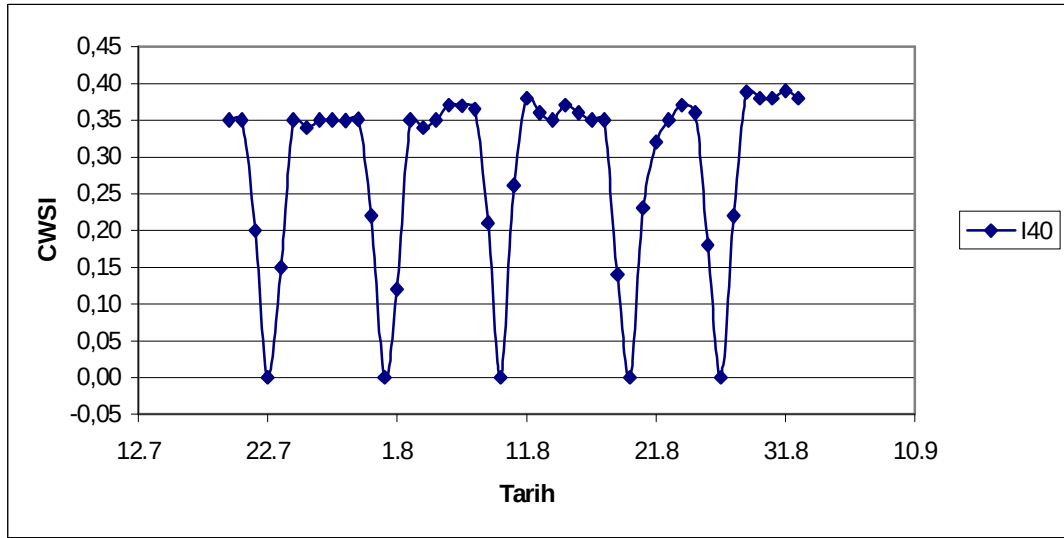
Şekil 4.18. Deneme konularında Tc-Ta farklarının zamana göre değişimi (2006).

Denemenin ikinci yılında da ilk yıla benzer şekilde seyir izleyen Tc-Ta farkı sık sulanan I-40 konusunda -3,0 °C ile +3,0 °C arasında değişmiştir. I – 60 konusunda bu değer -4,0 °C ile +4,2 °C arasında değişirken I – 80 konusunda -4,0 °C ile +4,5 °C arasında değişmiştir.

Ayrıntıları materyal ve yöntem bölümünde verilen teorik yaklaşımla hesaplanan bitki su stresi indeksi (CWSI) değerlerinin konulara göre zamansal değişimleri Şekil 4.19, 4.20, 4.21, 4.22, 4.23 ve 4.24 de gösterilmiştir. En sık sulanan I-40 konusunda CWSI değeri çalışmanın her iki yılında da sulama aralıklarında en yüksek 0,35-0,40 (sulamalardan hemen önce) değerine ulaşmış ve sulamalardan yaklaşık 2 gün sonra ise en düşük değeri olan 0'a düşmüştür (Şekil 4.19, 4.20). Sulamalardan sonra CWSI değerleri yavaş yavaş 0,35 değerine doğru yükselmiş ve diğer civarında yaklaşık 4-6 gün süreyle kalmıştır. CWSI değerlerinin I-40 konusundaki değişim deseni sulama aralıklarında benzer olmuştur. Deneme yıllarında araştırma konularında CWSI'nin değişim tavırları benzer olmuştur. Ancak, ikinci deneme yılında bitkilerde belirlenen CWSI değerleri bir miktar daha yüksek bulunmuştur. Bu farklılık iki araştırma yılındaki hava durumu farklarından kaynaklanmış olabilir.



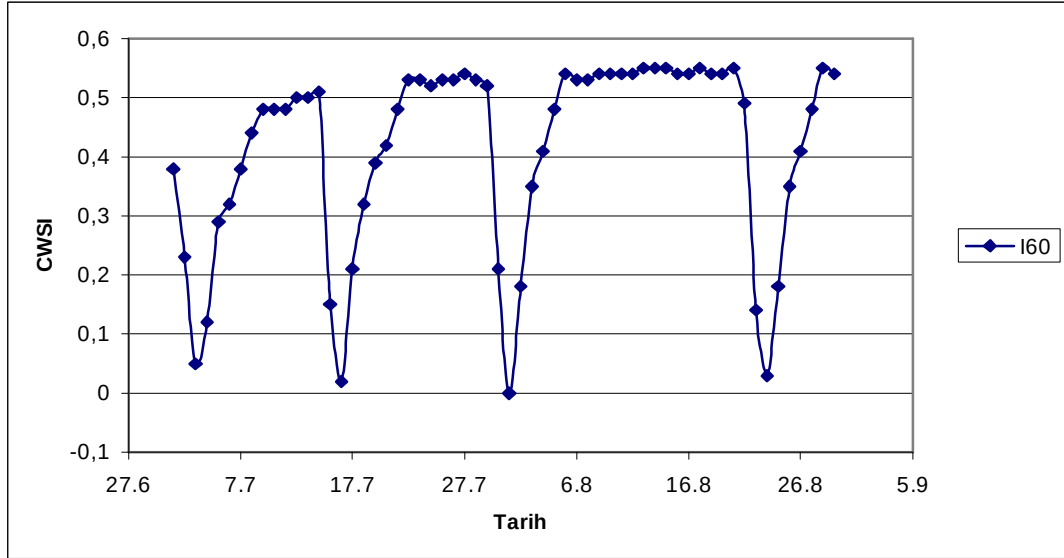
Şekil 4.19. I – 40 konusunda CWSI değerinin zamansal değişimi (2005).



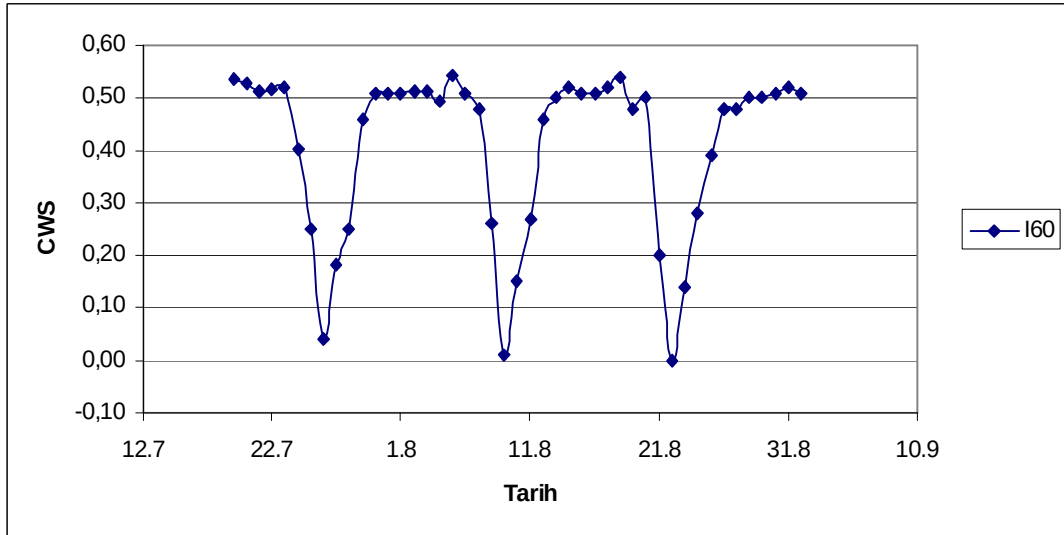
Şekil 4.20. I – 40 konusunda CWSI değerinin zamansal değişimi (2006).

İkinci ürün mısır bitkisi için hafif derecede su stresini ifade eden ve bölgede üreticilerin uyguladığı sulama programına benzerlik gösteren I-60 konusunda CWSI değerinin sulama döngüsü içerisinde 0 ile 0,55 değerleri arasında değiştiği görülmüştür (Şekil 4.21, 4.22). Sulamalardan hemen sonra azalmaya başlayan CWSI değerleri birkaç gün içerisinde 0'a yaklaşmıştır. Sulamayı izleyen günlerde CWSI ise yavaş yavaş artmış ve 0,50-0,55 değerlerinde 4-8 gün kaldıktan sonra sulamayla

birlikte yeniden azalmaya başlamıştır. Denemenin ikinci yılında I-60 konusunda belirlenen CWSI değerleri ilk yıla göre bir miktar daha küçük bulunmuştur.



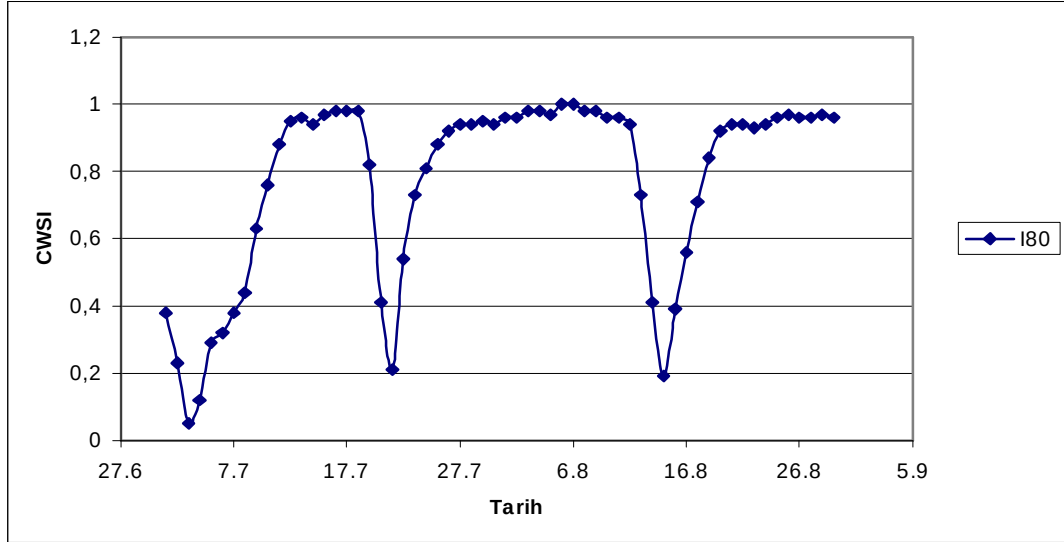
Şekil 4.21. I – 60 konusunda CWSI değerinin zamansal değişimi (2005).



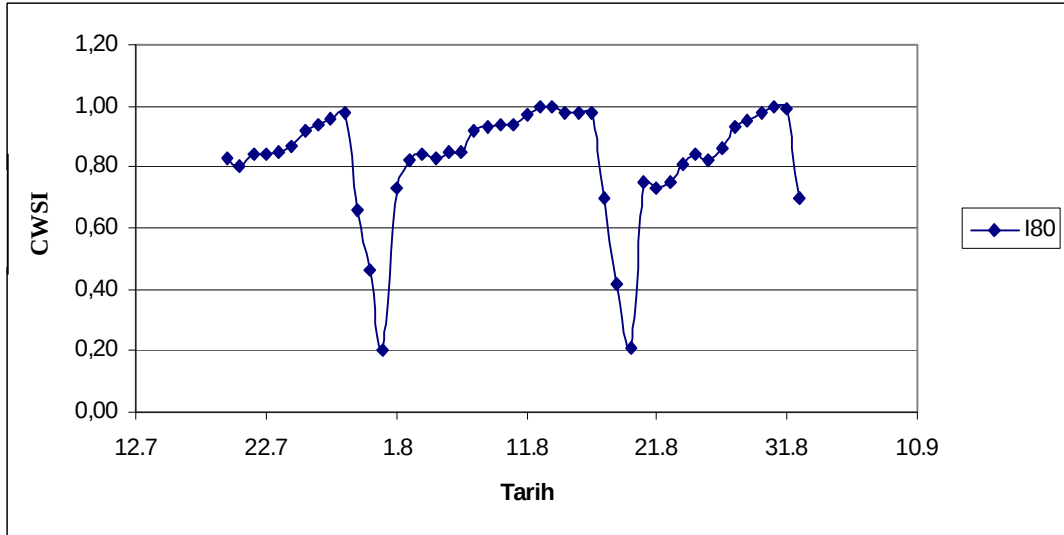
Şekil 4.22. I – 60 konusunda CWSI değerinin zamansal değişimi (2006).

Bitkide aşırı stresli koşulları temsil eden I-80 konusunda CWSI sulama öncesinde her iki yılda da en yüksek değeri olan 1.0 değerine ulaşmıştır (Şekil 4.23, 4.24). Sulama sonrası azalmaya başlayan CWSI değerleri sulamayı izleyen günlerde

yavaş yavaş yükselmeye başlamış ve 0.80-1.0 değerleri arasında uzun süre kalmıştır. Her iki araştırma yılında da benzer tavırlar izlenmiştir.



Şekil 4.23. I – 80 konusunda CWSI değerinin zamansal değişimi (2005).



Şekil 4.24. I – 80 konusunda CWSI değerinin zamansal değişimi (2006).

Gençoğlan ve Yazar (1999), Çukurova koşullarında yetiştirilen I. ürün mısır bitkisinin su – verim ilişkilerini, infrared termometre (IRT) ve porometre gözlemlerinden saptanan bitki su stres indekslerinden (CWSI) yararlanarak sulama programını hazırlamak amacıyla yapılan çalışmada, mısır dane veriminin düşmeye

başladığı, sulamadan önceki infrared gözlemlerinden belirlenen eşik CWSI değerinin 0.19, porometre gözlemlerinden belirlenen eşik değerinin ise 0.26 olarak bulunduğunu ve bu koşullarda sulanan mısırdaki verim kaybı olmayacağını belirtmişlerdir.

4.8. Bitki Su Stresi İndeksi (CWSI)- Toprak Su Stresi İndeksi (SWSI) İlişkisi Bulguları

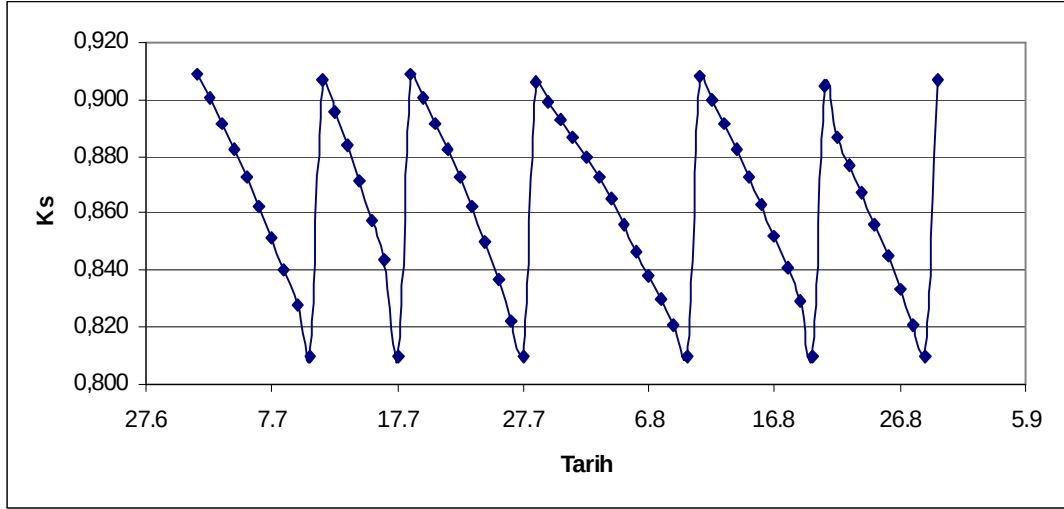
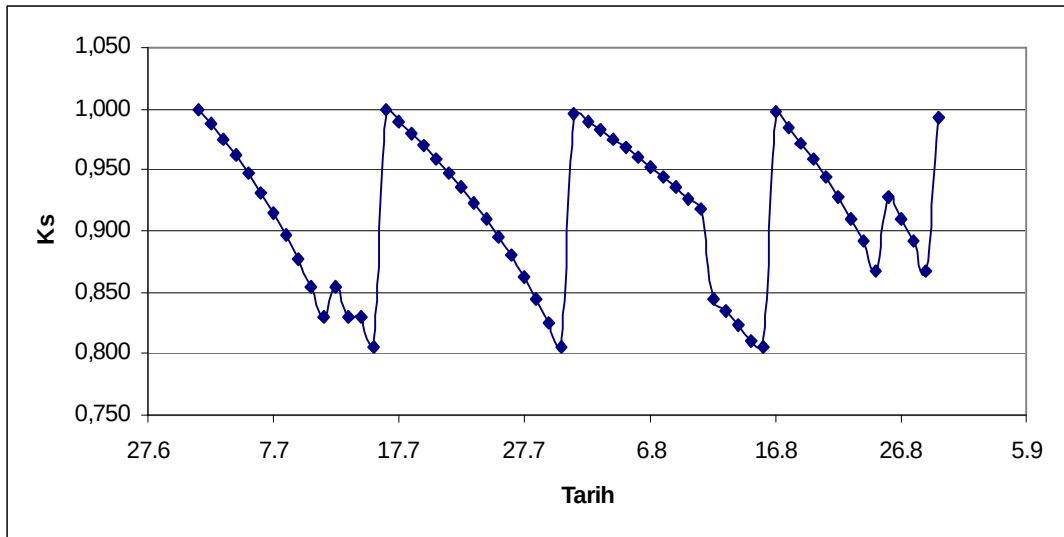
Bitki su stresi indeksi (CWSI) ile toprak su stresi indeksi (SWSI) arasındaki ilişkinin belirlenebilmesi için öncelikle gerçek fDEP terimi belirlenmiştir. fDEP terimi etkili kök bölgesindeki kullanılabilir suyun tüketilen yüzdesini ifade etmektedir. fDEP teriminin hesaplanmasında aşağıda verilen eşitlikten yararlanılmıştır.

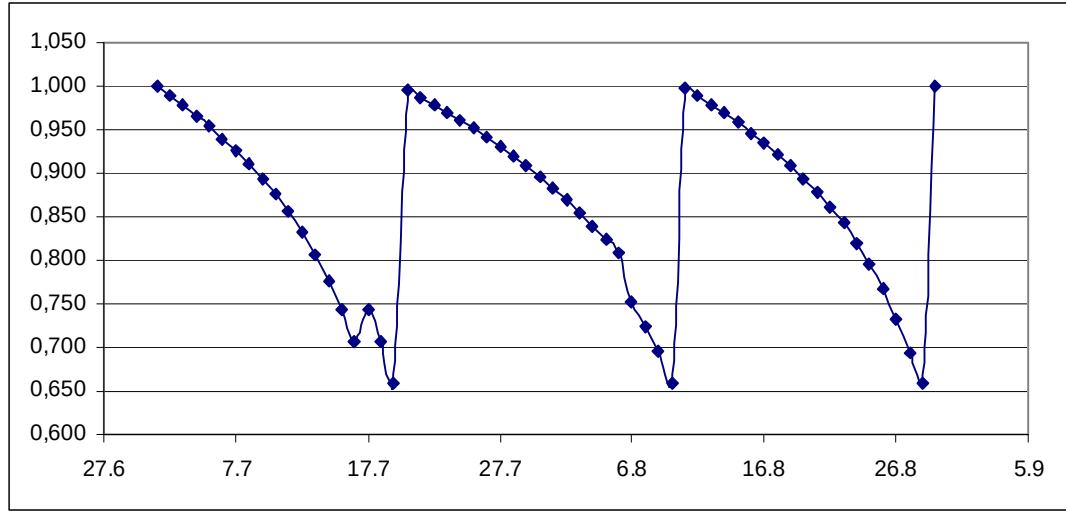
$$fDEP = \frac{q - q_{sn}}{q_{tk} - q_{sn}} \quad (4.1)$$

Bu eşitlikte θ profilde ölçülen toprak su içeriği (mm/100cm), θ_{tk} ve θ_{sn} sırasıyla tarla kapasitesi ve solma noktası su içerikleridir. Sulama mevsiminin tamamı için hesaplanan gerçek fDEP terimi aşağıda verilen eşitlik 3.16'da yerine konularak su stresi katsayısı olarak tanımlanan K_s terimi hesaplanmıştır.

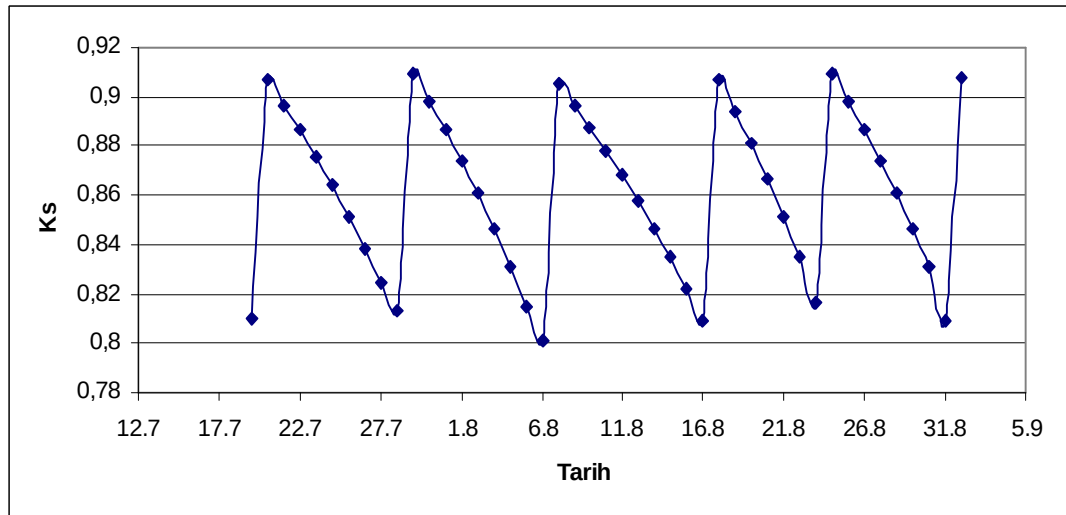
$$K_s = \frac{\ln[(1 - fDEP)100 + 1]}{\ln[101]} \quad (4.2)$$

Eşitlik 3.16 kullanılarak hesaplanan K_s katsayılarının zamansal değişimleri araştırma yıllarında konulara göre Şekil 4.25, 4.26, 4.27, 4.28, 4.29 ve 4.30'da grafiklenmiştir.

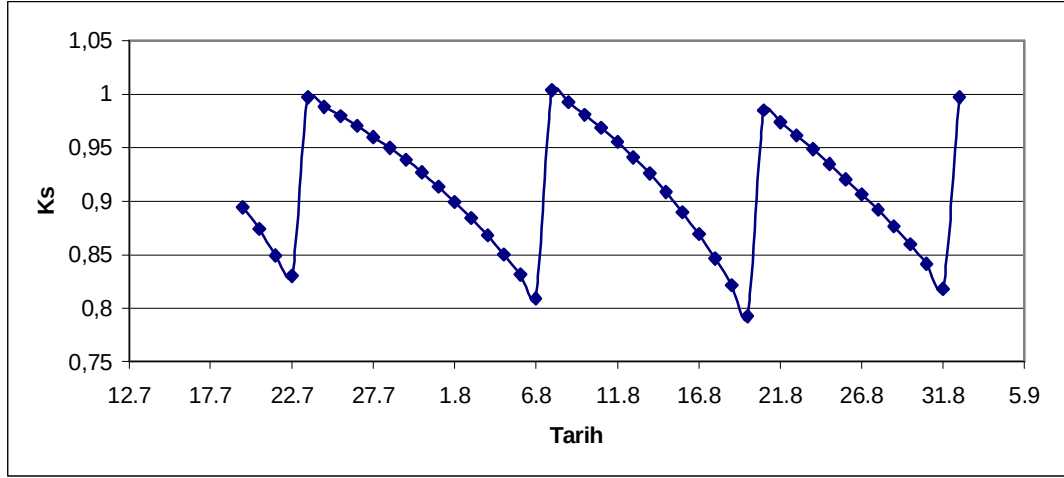
Şekil 4.25. K_s değerinin zamansal değişimi (I-40 konusu, 2005)Şekil 4.26. K_s değerinin zamansal değişimi (I-60 konusu, 2005)



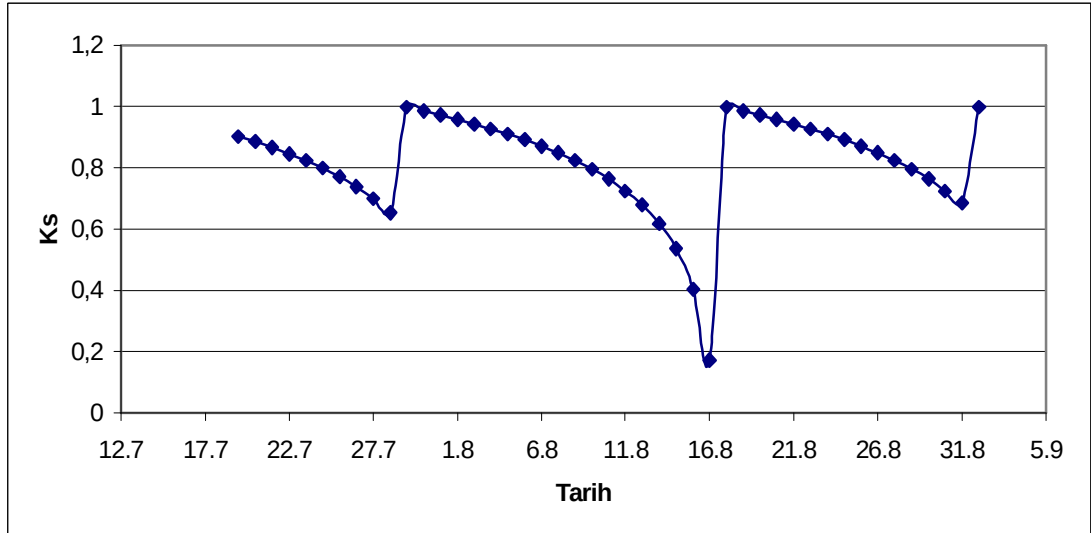
Şekil 4.27. Ks değerinin zamansal değişimi (I-80 konusu, 2005)



Şekil 4.28. Ks değerinin zamansal değişimi (I-40 konusu, 2006)



Şekil 4.29. Ks değerinin zamansal değişimi (I-60 konusu, 2006)

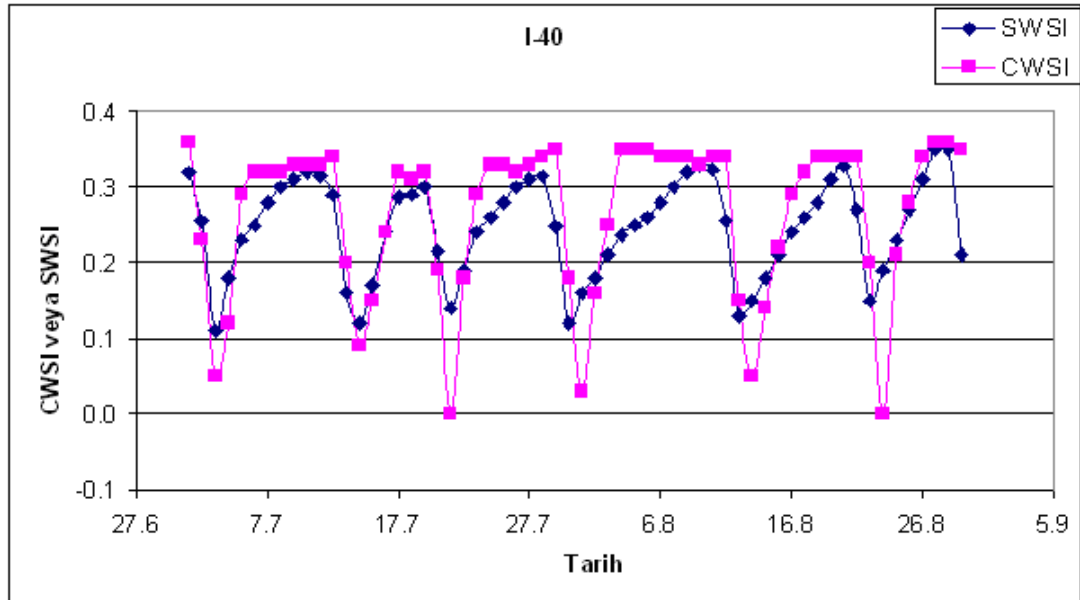


Şekil 4.30. Ks değerinin zamansal değişimi (I-80 konusu, 2006)

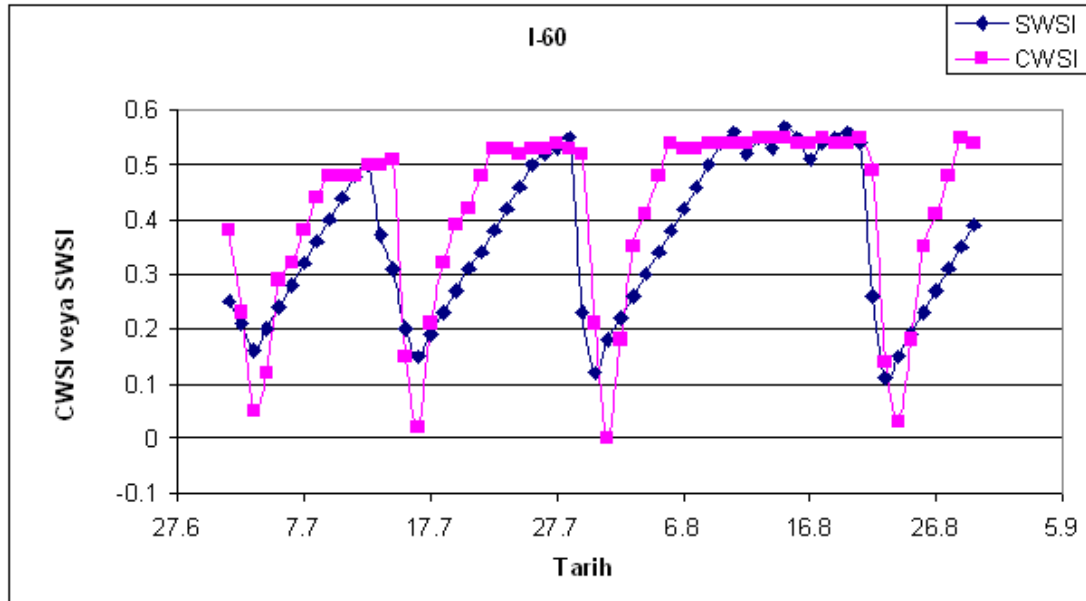
Toprak su stresi katsayısının (K_s) zamansal değişiminin en net olarak görülebildiği I-80 konusuna ilişkin Şekil 4.30 incelendiğinde K_s değerinin sulamalardan hemen sonra 1,0 değerine ulaştığı ve zamanla toprak nemindeki azalmanın fonksiyonu olarak parabolik bir şekilde azaldığı görülmektedir.

Hesaplanan K_s terimi kullanılarak elde edilen SWSI ile CWSI arasındaki ilişkinin belirlenebilmesi için her iki terimin de zamansal değişimi Şekil 4.31, 4.32, 4.33, 4.34, 4.35 ve 4.36'da oluşturulmuştur. Şekiller incelendiğinde bu iki terim arasında önemli bir ilişki olmadığı görülmektedir. İlişkinin daha doğru olarak belirlenebilmesi için K_s değerinin, sulamadan hemen sonra köklerin suyu alması ve

yapraklara iletmesi için geçen süre (turgora kavuşma süresi) dikkate alınarak K_{rec} ile düzeltilmesi gerekmektedir.

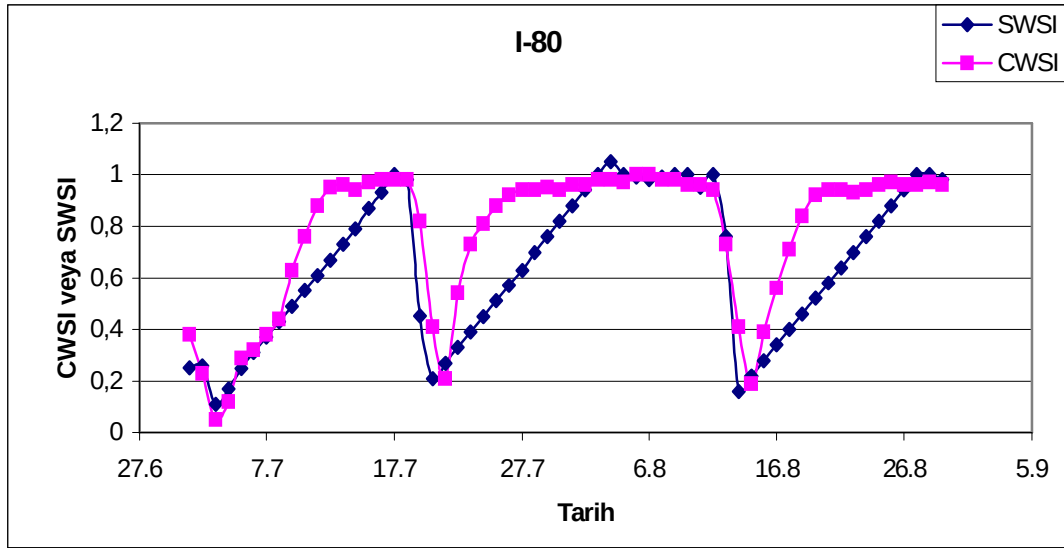


Şekil 4.31. CWSI ve SWSI değerlerinin zamansal değişimi (I40, 2005)

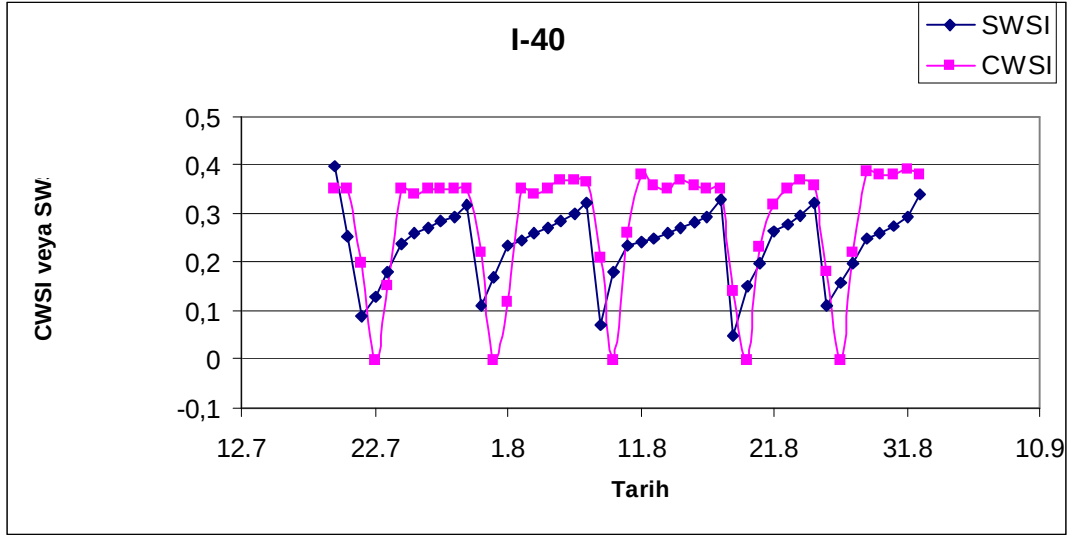


Şekil 4.32. CWSI ve SWSI değerlerinin zamansal değişimi (I60, 2005)

Denemenin ilk yılında I-40 konusuna 11 Temmuz 2005 tarihinde su uygulandıktan sonra CWSI değerleri 0.30 civarından sulamadan üç gün sonra 0.05 değerine düşmüş ve bu tarihten itibaren yeniden yükselmeye başlamış 17 Temmuz tarihinde 0.32 değerine yükselmiştir. 18, 28 Temmuz, 10, 18 ve 20 Ağustosta yapılan sulamalardan sonra CWSI'nin izlediği tavır benzer olmuştur. Aynı dönemler için SWSI grafiği incelendiğinde ilk üç sulamada izlenen desen benzer olmuş ancak 4.sulamadan sonra sapmalar gözlenmiştir. I-60 konusunda CWSI ile SWSI arasında sulama sonrası dönemde izlenen tavrın eğimleri farklı olmakla birlikte genel eğilimleri benzer bulunmuştur. I-80 konusunda ise I-60 konusuna benzer durum ortaya çıkmakla birlikte CWSI ile SWSI arasındaki fark daha belirgin olmuştur. Bu farklar Krec ile düzeltme işleminden sonra giderek azalma eğilimi göstermiştir.

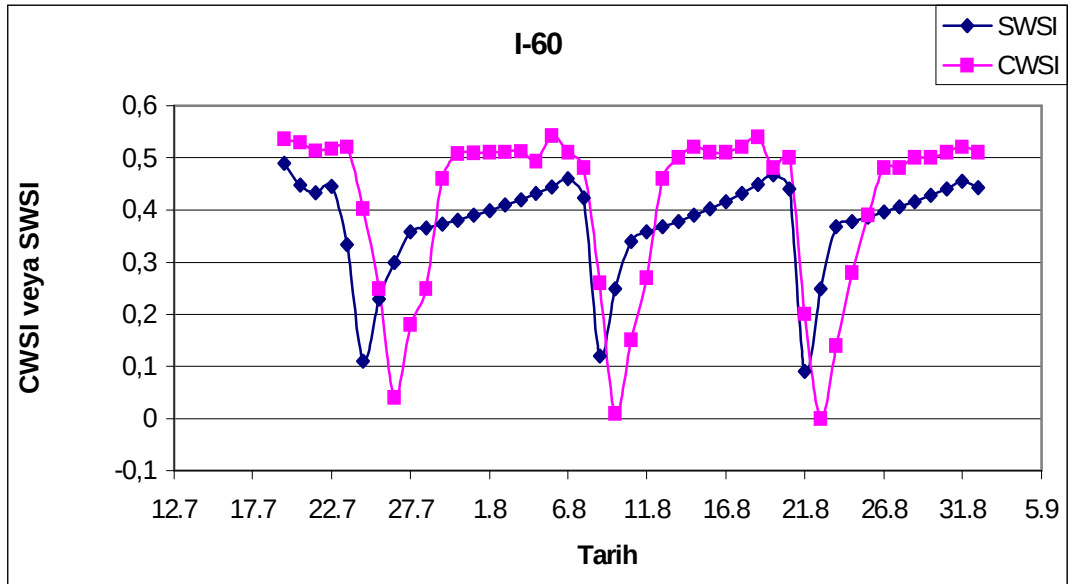


Şekil 4.33. CWSI ve SWSI değerlerinin zamansal değişimi (I80, 2005)

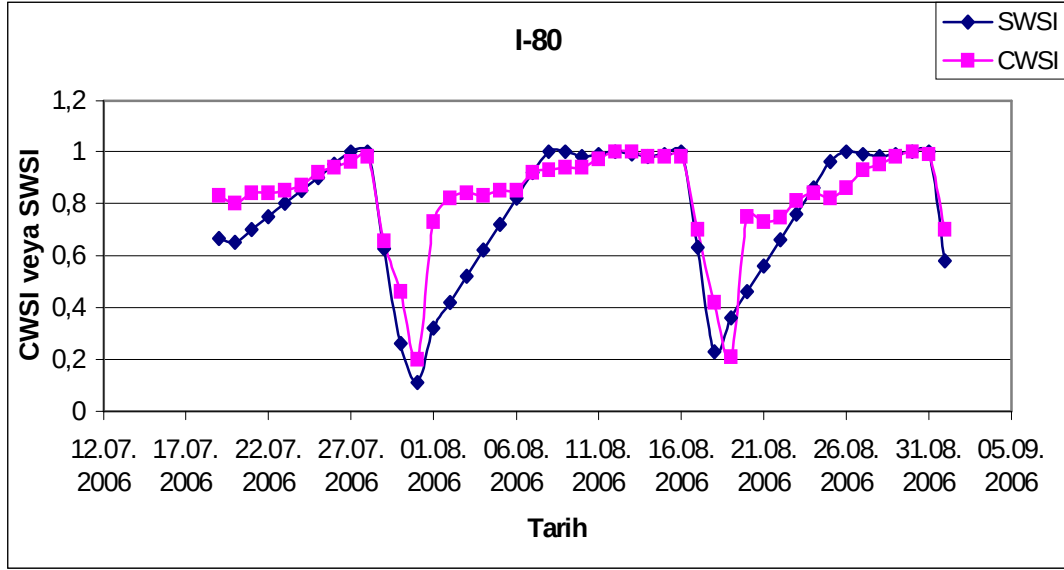


Şekil 4.34. CWSI ve SWSI değerlerinin zamansal değişimi (I40, 2006)

Denemenin ikinci yılında da sulama konularında belirlenen CWSI ve SWSI değerleri benzer tavır izlemelerine karşın sulama sonrası izledikleri desenlerin eğimleri farklı olmuştur. Genel olarak sulamadan sonra CWSI değerleri SWSI değerlerine göre daha hızlı değişim eğilimindedir.



Şekil 4.35. CWSI ve SWSI değerlerinin zamansal değişimi (I60, 2006)

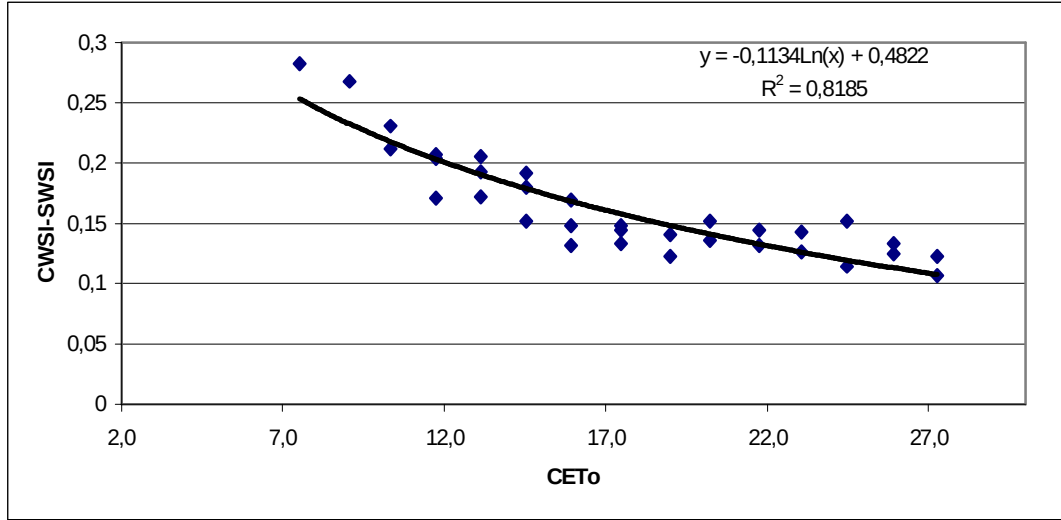


Şekil 4.36. CWSI ve SWSI değerlerinin zamansal değişimi (I80, 2006)

CWSI ile SWSI arasındaki farkın sulamadan sonra bitkinin turgoruna hemen kavuşmadığı, bu sürecin birkaç gün aldığı gözlenmiştir. Bu çalışmanın esas amaçlarından biri de sulama sonrası oluşan turgora ulaşma süresini dikkate alarak bir Krec katsayısı hesaplamak ve bu katsayıyı kullanarak CWSI ile SWSI arasında gözlenen farkın düzeltilmesidir.

Krec değeri hesaplanırken bitkinin turgoruna kavuşuncaya kadarki yığışimli referans bitki su tüketimi (CET_o) değeri eşitlik 6'da yerine konulmuş ve her sulama konusu için Krec değerleri günlük olarak belirlenmiştir. Stresten çıkma katsayısı olarak tanımlanan Krec değeri, sulamadan sonra yeni köklerin oluşturulması ve yaprakların yeniden hidrasyonu için önerilmiştir (Colaizzi ve Ark. 2003).

Krec değeri ile yığışimli ETo değeri arasındaki ilişkinin belirlenebilmesi için bitkinin turgorunu geri kazandığı dönemdeki su ve toprak stres indeksleri farkı (CWSI-SWSI) ile aynı döneme ait yığışimli ETo değerleri Şekil 4.37'de gösterildiği gibi grafiklenmiş ve elde edilen eğrinin eşitliği belirlenmiştir.



Şekil 4.37. CWSI-SWSI ile yığışımlı ETo arasındaki ilişki.

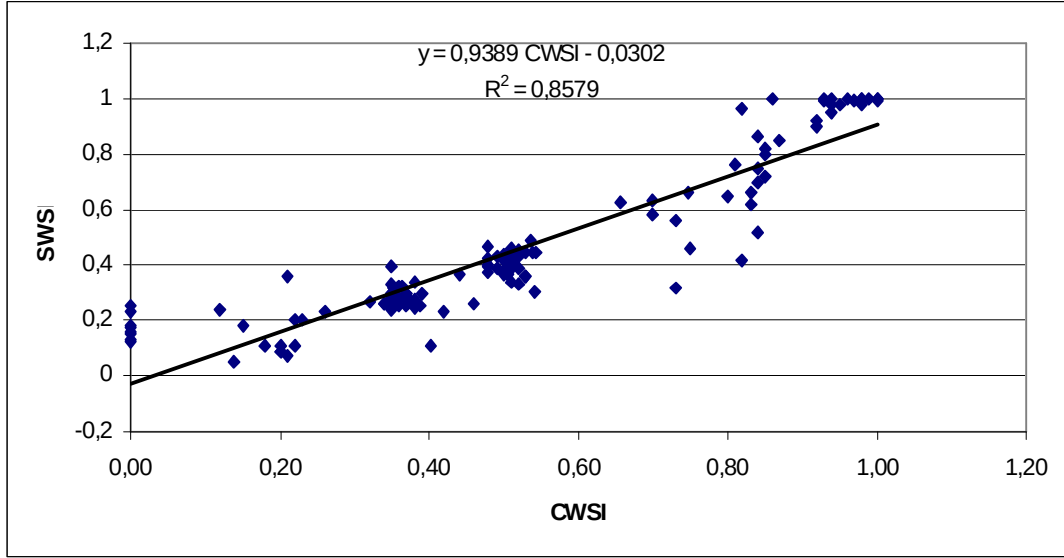
Elde edilen $CWSI-SWSI = -0.1134 \ln (CETo) + 0.4822$ eşitliği kullanılarak tüm sulama dönemi için her konuda ayrı ayrı K_{rec} terimi hesaplanmıştır. Hesaplanan K_{rec} terimi ile düzeltilen toprak su stresi katsayısı (K_s) terimi eşitlik 19’da yerine konularak SWSI terimi hesaplanmıştır. Düzeltilmiş SWSI ile CWSI arasındaki ilişki Şekil 4.38’ de verilmiştir.

Elde edilen $SWSI = 0.9389 CWSI - 0.0382$ eşitliği CWSI için çözümlenmiş ve SWSI değeri içinde eşitlik 19’ da verilen değeri kullanılarak CWSI, f_{DEP} ’in fonksiyonu olarak ifade edilmiştir.

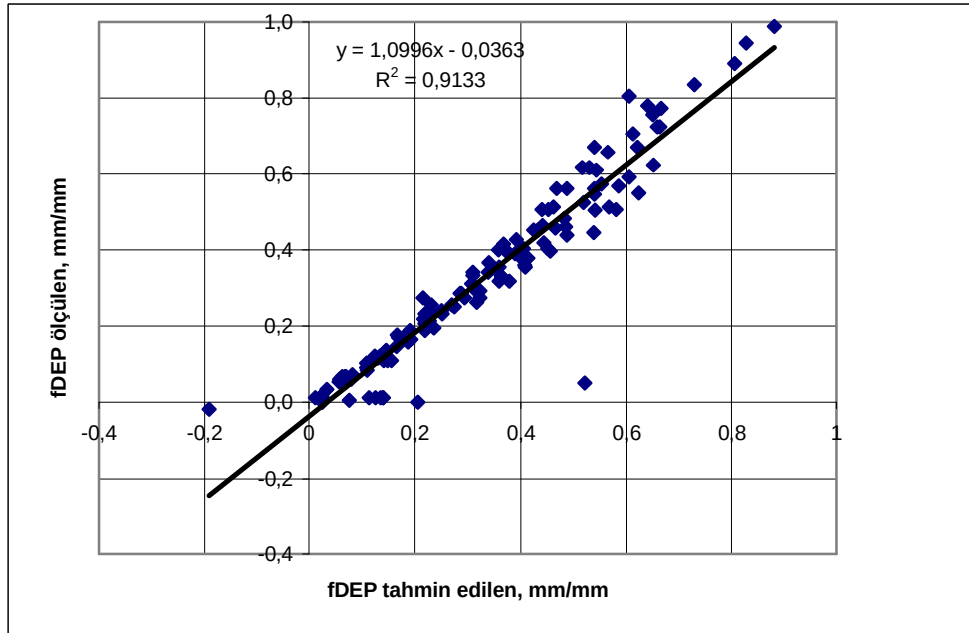
Anılan eşitlik f_{DEP} için çözümlendiği zaman aşağıda verilen şeklini almaktadır.

$$f_{DEP} = \frac{e^{\frac{1.0302 - (0.9389 CWSI)}{K_{rec}}}}{100} \quad (4.3)$$

Eşitlikteki f_{DEP} değeri hesap yoluyla bulunan f_{DEP} terimini ifade etmektedir. Toprak su içeriği kullanılarak bulunan gerçek f_{DEP} değeri ile CWSI değeri kullanılarak bulunan f_{DEP} değeri karşılıklı grafiklendiğinde (Şekil 4.39) aralarında çok yakın bir ilişki olduğu görülmektedir.

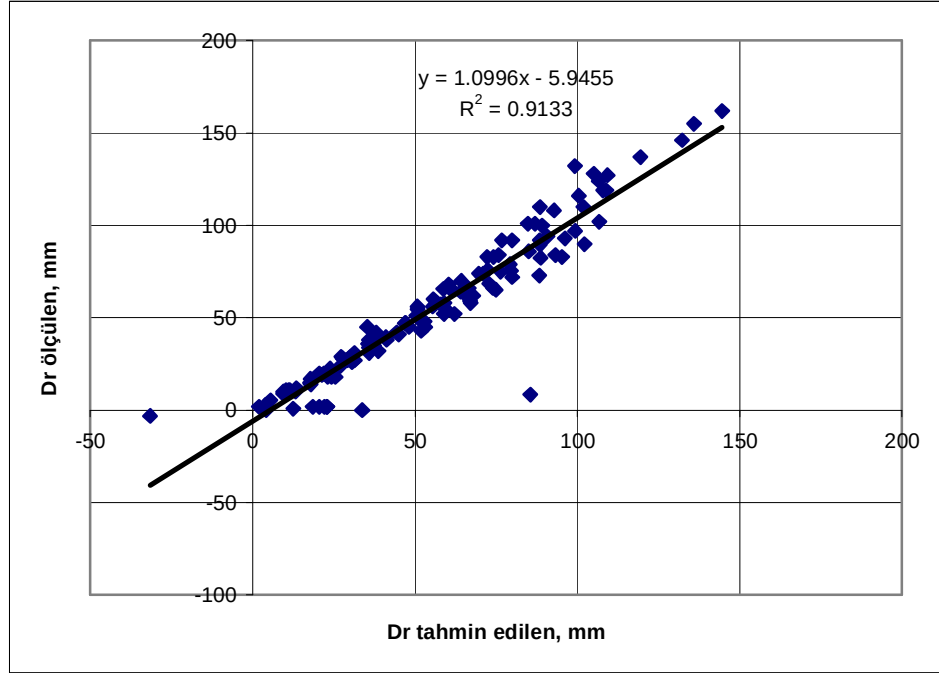


Şekil 4.38. Bitki su stresi indeksi (CWSI) ile toprak su stresi indeksi (SWSI) arasındaki ilişki



Şekil 4.39. Gerçek fDEP değeri ile hesaplanan fDEP değeri arasındaki ilişki.

fDEP değeri yukarıda açıklanan yöntemle belirlendikten sonra ne kadar sulama suyu uygulanacağını hesaplamak kolaylaşır. Etkili kök bölgesinde tutulan toplam kullanılabilir su miktarı (TAW) ile fDEP çarpılarak kök bölgesinden tüketilen su miktarı, dolayısıyla bir sulamada uygulanacak sulama suyu miktarı (D_r) belirlenir. Ölçülen ve tahmin edilen su tüketimleri Şekil 4.40’da grafiklenmiştir.



Şekil 4.40. Ölçülen ve tahmin edilen su tüketimleri (uygulanacak sulama suyu miktarları) arasındaki ilişki

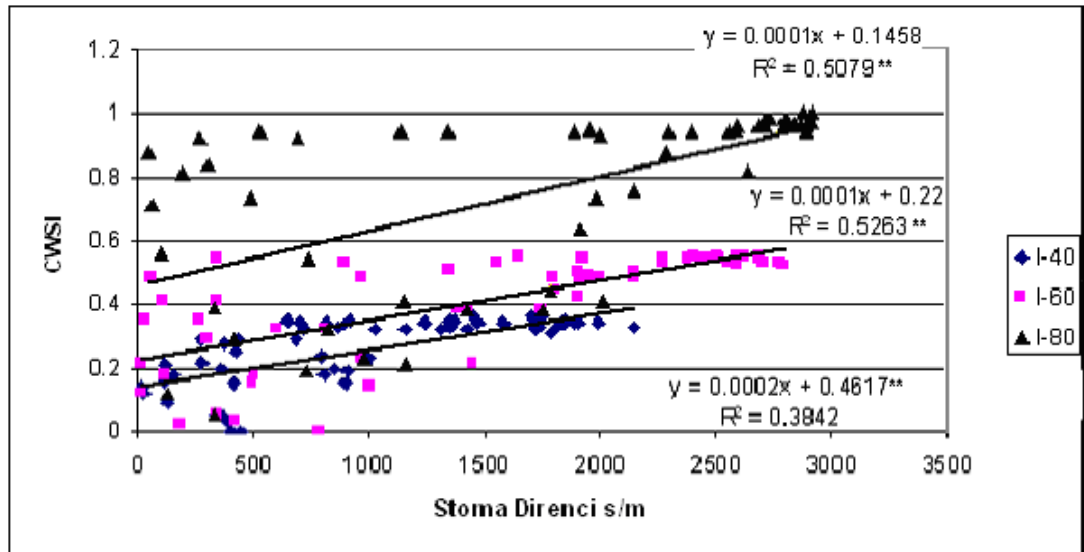
4.8.1. Bitki Su Stresi İndeksi Kullanılarak Sulama Suyu Miktarının Hesaplanmasında İzlenen Yol

Ayrıntıları materyal ve yöntemde verilen bitki su stresi kullanılarak toprak neminin hesaplanması için çalışmada elde edilen ilişkiler ile ilgili eşitlikler düzenlenmiştir. İnfrared termometre kullanılarak elde edilen taç sıcaklıkları ve iklim istasyonundan alınan veriler kullanılarak CWSI değeri hesaplandıktan sonra çalışmada elde edilen $SWSI = 0.9389 CWSI - 0.0382$ eşitliği yardımıyla SWSI değeri hesaplanabilmektedir. SWSI hesabında yer alan 2 parametreden (K_{rec} ve K_s) biri olan K_{rec} terimi bitkinin turgorunu kazanıncaya kadar geçen süredeki yığılmış ET değerini kullanarak hesaplanmıştır ($K_{rec} = -0.1134 \ln(CETo) + 0.4822$). K_{rec} ve SWSI yerine konup eşirlik K_s için ($SWSI = 1 - K_s K_{rec}$) çözüldüğünde fDEP terimini içeren K_s eşitliğinin sonucu bulunmuş olur ($K_s = \frac{\ln[(1 - fDEP)100 + 1]}{\ln[101]}$). Bu

eşitlikte fDEP için çözümlendiğinde sonuçta CWSI değerini kullanarak uygulanacak sulama suyu hesaplanmaktadır.

4.9. Bitki Su Stresi İndeksi (CWSI) ile Stoma Direnci Arasındaki İlişkiler

Bitki su stresi indeksi (CWSI) ile stoma direnci arasındaki ilişkinin belirlenebilmesi için aynı anda yapılan ölçümler grafiklenmiştir.



Şekil 4.41. Bitki Su Stresi İndeksi (CWSI) İle Stoma Direnci Arasındaki İlişkiler.

Şekil 4.41. incelendiğinde her üç sulama konusunda da stoma direnci ile CWSI arasında istatistiksel açıdan önemli ilişkilerin olduğu görülmektedir. Su stresi arttıkça stoma direnci ile CWSI arasındaki ilişkinin belirginliğini kaybettiği buna karşın su stresinin daha düşük olduğu I-40 konusunda ise bu ilişkinin daha belirgin olduğu görülmektedir. Her üç sulama konusunda da stoma direncinin düşük değerlerinde noktalar arasındaki varyasyonun fazla olduğu stoma direnci arttıkça noktaların birbirine yaklaştıkları gözlenmiştir (I-40 konusunda 1800 – 2000 s/m, I-60 konusunda 2300 – 2800 s/m ve I-80 konusunda 2600 – 3000 s/m).

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Uzaktan algılama tekniği ile belirlenen CWSI'ni kullanarak toprak profilinde kök bölgesi derinliğinden tüketilen su miktarını (fDEP) (ne zaman sulanmalı) ve kök bölgesinden kaldırılan su yüzdesini (Dr) (ne kadar su uygulanmalı) kestirmeye yönelik olarak geliştirilen bir yaklaşım arazi koşullarında test edilmiştir. Söz konusu yöntem Çukurova koşullarında yüzey yöntemiyle sulanan ikinci ürün mısır bitkisi üzerinde denenmiştir. Araştırmadan elde edilen sonuçlar söz konusu yöntemin aşırı su stresi uygulanan konu (I-80) dışındaki diğer iki konuda (I-40 ve I-60) sağlıklı bir şekilde sulamada uygulanacak su miktarını kestirdiği göstermiştir. Çalışmada CWSI, araştırma alanında ölçülen toprak nemi değerlerini bir katsayı (Ks) aracılığı ile ilişkilendirilmiştir.

Denemenin ilk yılında I-40 konusuna 11 Temmuz 2005 tarihinde su uygulandıktan sonra CWSI değerleri 0.30 civarından sulamadan üç gün sonra 0.05 değerine düşmüş ve bu tarihten itibaren yeniden yükselmeye başlamış 17 Temmuz tarihinde 0.32 değerine yükselmiştir. 18, 28 Temmuz, 10, 18 ve 20 Ağustosta yapılan sulamalardan sonra CWSI'nin izlediği tavrı benzer olmuştur. Aynı dönemler için SWSI grafiği incelendiğinde ilk üç sulamada izlenen desen benzer olmuş ancak 4.sulamadan sonra sapmalar gözlenmiştir. I-60 konusunda CWSI ile SWSI arasında sulama sonrası dönemde izlenen tavrın eğimleri farklı olmakla birlikte genel eğilimleri benzer bulunmuştur. I-80 konusunda ise I-60 konusuna benzer durum ortaya çıkmakla birlikte CWSI ile SWSI arasındaki fark daha belirgin olduğu görülmüştür.

Çalışmada Krec adı verilen ve bitkini streten çıkıp turgoruna kavuşmak için geçen süreyi tanımlayan bir terim önerilmiştir. Bu katsayı turgora ulaşmadaki gecikme süresini dikkate alarak toprak su stresi (SWSI) değerini ölçülen veya hesaplanan CWSI değerine ilişkilendirmektedir. Stresin fazla olduğu I-80 konusunda CWSI ile SWSI arasındaki farkın büyüklüğü fDEP değerinin 0.6'dan daha düşük değerlerinde belirgin olarak ortaya çıkmıştır. Diğer bir ifade ile, test edilen yaklaşım aşırı stres koşullarını tam olarak tanımlamakta yeterli olmamaktadır. Bunun nedeni, Ks katsayısı fDEP'in bu sınırlardaki değerlerindeki değişime daha az duyarlıdır.

Bu çalışma sonucunda infrared termometre kullanılarak belirlenen CWSI yöntemi bu çalışmada test edilen yaklaşımla birlikte kullanıldığında dolaylı olarak sulamada ne kadar su uygulanacağını da belirlenebileceğini kanıtlanmıştır. Buradan, CWSI yaklaşımının eksik yönü olan “sulamada ne kadar su uygulanacağı” konusu giderilmiş ve sulama programlamasında daha etkin kullanılabilir hale getirilmiştir. Gerek küresel ısınma ve gerekse son yıllarda sıkça ortaya çıkan kuraklık nedeniyle sınırlı olan su kaynakların tarımda daha etkin olarak kullanılması kaçınılmazdır.

Sonuç olarak, şimdiye dek yalnızca sulama zamanının belirlenmesinde kullanılan CWSI yaklaşımı, bu çalışma ile de kanıtlandığı üzere, artık sulamada uygulanacak su miktarını da kestirilebilmektedir.

Bu tür çalışmaların diğer bitkiler için de yapılması anılan yaklaşımın başka alanlarda da test edilmesi önerilir. Ayrıca, bitkiye dayalı diğer sulama programlama teknikleri, yaprak su potansiyeli, bitki özsuyu akış hızı,vb., için de bu çalışmada test edilen yaklaşımın incelenmesi yararlı sonuçlar doğurabilir.

KAYNAKLAR

- ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S., RAES, D., SMITH, M., 1998. Crop Evapotranspiration. Irrigation and Drainage Paper No. 56, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- BEADLE, C.L., 1985. Plant Growth Analysis. Techniques in Bioproductivity and Photosynthesis. Edited by J. Coombs, D.O. Hall, S.P. Long and J.M.O. Scurlock. Chapter 2, P:20-25. Pergoman Press. Oxford, England.
- BOZ, B., 2001. Çukurova Koşullarında CERES Maize Bitki Büyüme Modelinin Test Edilmesi. Ç.Ü. Fen Bilimleri Ens. Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, yüksek Lisans Tezi, 59s, Adana.
- BOZKURT, Y., 2005. Çukurova koşullarında Damla Yöntemiyle Sulanan İkinci Ürün Mısır Bitkisinde Optimum Lateral Aralığının Belirlenmesi. Ç.Ü. Fen Bilimleri Ens. Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, yüksek Lisans Tezi, 70s, Adana.
- BOZKURT, Y., YAZAR, A., GENÇEL, B., SEZEN, S.M., 2006. Optimum Lateral Spacing for Drip Irrigated Corn in the Mediterranean Region of Turkey. Agric. Water Man. Vol:85 p:113-120.
- BROUNWORTH, W.S., MACK, H.J., 1989. The Possible Use of Crop Water Stress Index as a Indicator of Evapotranspiration Deficits and Yield Reduction in Sweet Corn. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 114(4): 542 – 546.
- CALLE, J.L., MANGES, H.L., BARNES, P.L., 1992. Scheduling Irrigation of Corn with Infrared Thermometry. ASAE Paper No. MC: 92 – 102.
- CLAWSON, K.L., BLAD, B.L., 1982. Infrared Thermometry for Scheduling Irrigation of Corn. Agronomy Journal 74: 311 – 316.
- CLAWSON, K.L., JACKSON, R.D., PINTER, JR., P.J., 1989. Evaluating Plant Water Stres With Canopy Temperature Differences. Argon. J. 81: 858-863.
- COLAIZZI, P.D., BARNES, E.M., CLARKE, T.R., CHOI, C.Y., WALLER, P.M., 2003. Estimating Soil Moisture Under Low Frequency Surface Irrigation Using Crop Water Stress Index. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. Vol 129(1): 27-35.

- DEĞİRMENCİ, V., GÜNDÜZ, M., KARA, C., 1998. GAP Bölgesi Harran Ovası Koşullarında II. Ürün Mısırın Su Verim İlişkisi. KHGM Şanlıurfa Araştırma Enstitüsü Yayınları, Şanlıurfa, 35s.
- DERVİŞ, Ö., 1986. Çukurova Koşullarında Buğdaydan Sonra İkinci ürün Mısırın (NK-PX610'nun) Su Tüketimi. Köy Hizmetleri Genel Müd., Tarsus Araştırma Enst. Müd. Yayınları. Genel Rapor no:106. Rapor Seri No:56. Tarsus.
- DOORENBOS, J. and PRUITT, W.O.,1977.Guidelines for Predicting Crop Water Requirements. Irrigation and Drenage Paper 24. FAO, Roma Italy, 144 P.
- ECK, H.V., 1986. Effects of Water Deficits on Yield. Yield Components, and Water Use Efficiency of Irrigated Corn. Agron. J. 78:1035 – 1040.
- EHLER, W.,1973. Cotton Leaf Temperatures as Related to Soil Water Depletion and Meteorological Factors. Agron. J. 65: 404-409.
- GENÇEL, B., 2000. GAP (Güneydoğu Anadolu Projesi) Bölgesinde İkinci Ürün Mısır Bitkisinin Damla Yöntemiyle Sulanması Üzerine Bir Çalışma. Ç.Ü. Fen Bilimleri Ens. Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 61s, Adana.
- GENÇOĞLAN, C., 1996. Mısır Bitkisinin Su Verim İlişkileri, Kök Dağılımı ile Bitki Su Stresi İndeksinin Belirlenmesi ve CERES Maize Bitki Büyüme Modelinin Yöreye Uyumluluğunun İrdelenmesi. Ç.Ü. Fen Bilimleri Ens. Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Adana.
- GENÇOĞLAN, C. VE YAZAR, A., 1999. Çukurova Koşullarında Yetiştirilen I. Ürün Mısır Bitkisinde Infrared Termometre Değerlerinden Yararlanılarak Bitki Su Stresi İndeksi (CWSI) ve Sulama Zamanının Belirlenmesi. Tr. J. of Agriculture and Forestry, TÜBİTAK. 23 s:87-95.
- HANKS, R.J., KELLER, J., RASMUSSEN, V.P. and WILSON, G.D.; 1976. Line Source Sprinkler For Continuous Variable Irrigation-Crop Production Studies. Soil Sci. Soc. Amer. 40(3):426-429
- HANKS, R.J., ASHCROFT, G.L., RASMUSSEN, V.P. and WILSON, G.D.,1978. Corn Production as Influenced by Irrigation and Salinity – Utah Studies. Irri. Sci. 1,47-59

- HANKS, R.J., 1983. Yield and Water-Use Relationship: An Overview. (Taylor, H.M., ve Ark. Edit.). Limitations to Efficient Water Use in Crop Production. Amer. Soc. Agron., 393-411.
- HORST, G.L., O'TOOLE, J.C., FAVER, K.L., 1989. Seasonal and Species Variation in Baseline Functions for Determining Crop Water Stress Indices in Turfgrass. Crop Sci. 29: 1227 – 1232.
- HOWELL, T.A., MUSICK, J.T., TOLK, J.A., 1986. Canopy Temperature of Irrigated Winter Wheat. Trans. ASAE Vol. 29(6): 1692-1699.
- HOWELL, T.A., YAZAR, A., SCHNEIDER, A.D., DUSEK, D.A., COPELAND, K.S., 1992. LEPA Irrigation of Corn and Sorghum. Center Pivot Field at USDA-ARS, Conservation and Production Research Laboratory, Bushland, TX.
- HOWELL, T.A., YAZAR, A., SCHNEIDER, A.D., DUSEK, D.A., COPELAND, K.S., 1995. Yield and Water Use Efficiency of Corn in Response to LEPA Irrigation. Trans. ASAE 38 (6), 1737-1747.
- HOWELL, T.A., SCHNEIDER, A.D., EVETT, S.D., 1997. Subsurface and Surface Microirrigation of Corn-Southern High Plains. Trans. ASAE 40(3), 635-641 .
- IDSO, S.B., REGINATO, R.J., REICOSKY, D.C., HATFIELD, J.L., 1981. Determining Soil-Induced Plant Water Potential Depressions in Alfalfa By Means of Infrared Thermometry. Argon. J., 73: 826-830.
- IDSO, S.B., 1982. Non – Water – Stressed Baselines: A Key to Measuring and Interpreting Plant Water Stress. Agric. Meteorol. 27: 59 – 70.
- JACKSON, R.D., IDSO, S.B., REGINATO, R.J., PINTER, JR., P.J., 1981. Canopy Temperature as a Crop Water Stress Indicator. Water Resources Research. Vol.17, No:4 Pages: 1133-1138.
- JACKSON, R.D., 1982. Canopy Temperature and Crop Water Stress. Advances in Irrigation. Edited by Daniel Hillel. Academic Press 1: 43-85. New York. London.
- JACKSON, R.D., KUSTAS, W.P., CHOUDHURY, B.J., 1988. A Reexamination of the Crop Water Stress Index. Irrig. Sci. 9: 309-317.

- JAMES, D.W., HANKS, R.J., JURINAK, J.J., 1982. Modern Irrigated Soils. John Willey and Sons, Inc. USA.
- JENSEN, M.E., ROBB, D.C.N., FRANZOY, C.E., 1970. Scheduling Irrigation Using Climate-Crop-Soil Data. J. Irrig. Drain. Eng., 96(1), 25-38.
- KANBER, R., YAZAR, A. EYLEN, M., 1990 Çukurova Koşullarında Buğdaydan Sonra Yetiştirilen İkinci Ürün Mısırın Su-Verim İlişkisi. Tarsus Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları. Genel Yayın No: 173 Rapor Serisi No: 108, Tarsus. 77S.
- KANBER, R., KIRDA, C., 1994. Evaluation of Deficit Irrigation Programmes of Cotton, Maize, Wheat and Soybean. International Conference on Land and Water Resources Management in the Mediterranean Region. Volume V. Instituto Agronomico Mediterraneo Valenzano Bari Italy. 4 -8 September 1994. P: 117 – 133.
- KÖKSAL, H., 1995. Çukurova Koşullarında II. Ürün Mısır Bitkisi Su – Üretim Fonksiyonları ve Farklı Büyüme Modellerinin Yöreye Uygunluğunun Saptanması Üzerine Bir Araştırma. Ç.Ü. Fen Bil. Ens. Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı Doktora Tezi. 199 s.
- MONTEITH, J.L., 1973. Principles of Environmental Physics. Amer. Elsevier Pub. Comp. New York, 147 PP.
- MUSICK, L.T., DUSEK, D.A., 1980. Irrigated Corn Yield Response to Water. TRANSACTION of the ASAE. Vol:23 No:1, P: 92 – 103.
- NIELSEN, D.C., GARDNER, B.R., 1987. Scheduling Irrigation for Corn with the Crop Water Stress Index (CWSI). Applied Agricultural Research Vol. 2, No.5, p. 295 – 300.
- O'TOOLE, J.C., HATFIELD, J.L., 1983. Effect of Wind on the Crop Water Stress Index Derived by Infrared Thermometry. Agron. J. Vol. 75: 811 – 817.
- O'TOOLE, J.C., REAL, J.G., 1986. Estimation of Aerodynamic and Crop Resistances from Canopy Temperature. Agron. J. 78:305-310.
- ÖĞRETİR, K., 1993. Eskişehir Koşullarında Mısırın Su-Verim İlişkileri, Doktora Tezi, Ç.Ü. Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı, 85s.

- ÖZBEK, H., DINÇ, U., KAPUR,S., 1974. Çukurova Üniversitesi Yerleşim Sahası Topraklarının Detaylı Etüd ve Haritası. Ç.Ü. Ziraat Fak., Yay. 73. Bilimsel Araştırma ve İncelemeler 8, Adana, 149 s.
- PINTER, P.J., REGINATO, R.J., 1982. A Thermal Infrared Technique for Monitoring Cotton Water Stress and Scheduling Irrigations. TRANSACTIONS of the ASAE. Vol. 25(6): 1651 – 1655.
- REGINATO, R.J., 1983. Field Qualification of Crop Water Stress. Trans. Amer. Soc. of Agr. Eng. 26(3): 772 – 781.
- REGINATO, R.J., HOWE, J.,1985. Irrigation Scheduling Using Crop Indicators. Journal of Irrigation and Drainage Engineering ASCE, Vol. 111, No. 2, p:125-133, Paper No:19798.
- RETTA, A. And HANKS, R.J., 1980. Corn and Alfalfa Productions as Influenced by Limited Irrigation. Irrig. Sci. 1:135-147.
- RUSSO, D., BAKKER, D., 1987. Corn – Water Production Functions for Sweet Corn and Cotton Irrigated with Saline Waters. Soil. Sci. Am. J., Vol. 51, P: 1554-1562.
- SAMMIS, T.W., SMEAL, D., WILLIAMS, S. PREDICTING, 1998. Corn Yield Under Limited Irrigation Using Plant Height. Trans. Of the ASAE. 3(13): 830-838.
- SLACK, D.C., SCHERER, T.F., CLARK, L.J., FOX, F., 1989. Theoretical Basis for Crop Water Stress Index Unstressed Baseline Variability. Amer. Soc. Agr. Eng., Paper No: 89 – 2085.
- SMITH, M., 1984. Irrigation Scheduling and Water Distribution. Crop Water Requirements International Conference. P: 498-514.
- STEWART, J. I. And HAGAN, R.M., 1973. Functions to Predict Effects of Crop Water Deficits. J. of the Irrigation and Drainage Div., ASCE 99(IR4):421-439. Proc. Paper 10229.
- STEWART, J.I., MISRA, R.D., PRUITT, W.O., HAGAN, R.M., 1975. Irrigating Corn and Grain Sorghum With a Deficient Water Supply. Transaction of ASAE, 18(2): 270-280.

- STOCKLE, C.O., DUGAS, W.A., 1992. Evaluating Canopy Temperature – Based Indices for Irrigation Scheduling. *Irrig. Sci.* 13: 31 – 37.
- STUTLER, R.K., JAMES, D.W., FULLERTON, T.M., WELLS, R.F., SHIPE, E.R., 1981. Corn Yield Functions of Irrigation and Nitrogen in Central America. *Irrig. Sci.* 2:79 – 88.
- UL, M.A., 1990. Menemen Ovası Koşullarında II. Ürün Olarak Yetiştirilen Mısır Bitkisinin Değişik Gelişim Aşamalarında Uygulanan Sulamaların Verime Etkisi Üzerine Bir Araştırma, Doktora Tezi, E.Ü. Fen Bilimleri Enst. Kültürteknik Anabilim Dalı, İzmir, 115 s.
- WANJURA, D.F., HATFIELD, J.L., UPCHURCH, D.R., 1990. Crop Water Stress Index Relationships with Crop Productivity. *Irrig. Sci.* 11: 93 – 99.
- WIEGAND, L.L., NIXON, P.R., JACKSON, R.D., 1983. Drought Detection and Quantification by Reflectance and Thermal Responses. *Agric. Water Man.* 7:303-321.
- YAZAR, A., 1993. İnfrared Termometre ile Bitki Su Stresi İndeksinin Ölçülmesi. S. Şener Edit. Sulama Teknolojilerinde Yeni Gelişmeler. Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Genel Müdürlüğü. Yayın No:76. TARSUS.
- YAZAR, A. HOWELL, T. A., DUSEK, D. A., COPELAND, K.S., 1999. Evaluation of Crop Water Stress Index for LEPA Irrigated Corn. *Irrigation Science* 18:171-180.
- YAZAR, A., SEZEN, S.M., GENÇEL, B., 2002. Drip Irrigation of Corn in the Southeast Anatolia Project (GAP) area in Turkey. *Irrig. And Drainage.* 51, 293-300.
- YAZAR, A., 2009. Sulama ve Drenaj Ders Notları. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Adana.
- YILDIZ, G., GENÇ, İ., 1990. Bazı Hibrit Mısır Çeşitlerinin Çukurova Koşullarında Uyum Yetenekleri Üzerine Bir Araştırma. Ç.Ü. Fen Bil. Enst. Y.L. Tezi. 4(3):35-51.
- ZIPOLI, G., 1990. Remote Sensing for Scheduling Irrigation: Review of Thermal Infrared Approach. *Acta Horticulture Volume I (1-442):* 281-288.

ÖZGEÇMİŞ

1975 yılında Adana’da doğdum. İlk ve orta öğrenimimi Adana’da tamamladım. 1993 yılında Çukurova Üniversitesi Ceyhan Meslek Yüksekokulu İnşaat Programına girdim. 1995 yılında Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama bölümüne girdim ve 1999 yılında mezun oldum. Aynı yıl Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilimdalın da yüksek lisansa 2002 yılında da Doktora eğitimime başladım. 1999 yılında Fen Bilimleri Enstitüsünün açmış olduğu araştırma görevliliği sınavını kazanarak Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilimdalın da araştırma görevlisi olarak çalışmaya başladım. Halen aynı bölümde çalışmaktayım.