

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI SULAMA SUYU KALİTESİ VE SULAMA DÜZEYLERİNİN KEKİK
BİTKİSİNDE (*Origanum onites* L.) VERİM VE KALİTE PARAMETRELERİNE
ETKİSİ**

Nurten Esen HANCIOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA ANABİLİM DALI

2012

**FARKLI SULAMA SUYU KALİTESİ VE SULAMA DÜZEYLERİNİN KEKİK
BİTKİSİNDE (*Origanum onites* L.) VERİM VE KALİTE PARAMETRELERİNE
ETKİSİ**

Nurten Esen HANCIOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA ANABİLİM DALI

**Bu tez 2011.02.0121.003 proje numarası ile Akdeniz Üniversitesi Bilimsel
Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir**

2012

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI SULAMA SUYU KALİTESİ VE SULAMA DÜZEYLERİNİN KEKİK
BİTKİSİNDE (*Origanum onites* L.) VERİM VE KALİTE PARAMETRELERİNE
ETKİSİ**

Nurten Esen HANCIOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA ANABİLİM DALI

Bu tez/...../2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından (....) not takdir edilerek
Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ahmet KURUNÇ (Danışman) :.....

Doç. Dr. Ayhan TOPUZ (Üye) :.....

Yrd. Doç. Dr. Harun KAMAN (Üye) :.....

ÖZET

FARKLI SULAMA SUYU KALİTESİ VE SULAMA DÜZEYLERİNİN KEKİK BİTKİSİNDE (*Origanum onites* L.) VERİM VE KALİTE PARAMETRELERİNE ETKİSİ

Nurten Esen HANCIOĞLU

Yüksek Lisans Tezi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Ahmet KURUNÇ
Ağustos 2012, 128 Sayfa

Bu çalışmada, Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Araştırma ve Uygulama Arazisi'nde dört tarafı açık bırakılan bir sera ortamında oluşturulan saksı denemesinde sulama suyu kalitesi ve sulama düzeyinin kekik (*Origanum onites* L.) bitkisine etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla oluşturulan ilk denemede bitkiler farklı tuzluluk kalitesine sahip sularla sulanırken, ikinci denemede ise aynı kalitede fakat farklı miktarlarda sulama suyu (sulama düzeyi) uygulanmıştır. Deneme boyunca bitkilerde su kalitesi ve sulama düzeyinin bitkiler üzerinde meydana getirdiği değişimler izlenmiş ve deneme sonunda ise verim ve uçucu yağ, toplam fenolik ve flavonoid madde, ekstrakt verimi ve antioksidan aktiviteyi de içeren kalite analizleri yapılmıştır.

Kekik bitkisinde uygulanan sulama suyu miktarının azalmasıyla (sulama düzeyi) verimde azalma meydana geldiği, fakat bitkinin kalite parametrelerinde önemli bir değişim olmadığı görülmüştür. Sulama suyu tuzluluğunun artmasıyla, verim parametrelerinde düşüş olmasına karşın, ekstrakt verimi, toplam fenolik ve flavonoid madde içerikleri ve antioksidan aktivitesi gibi bazı kalite parametrelerinde belirli bir düzeye kadar artış meydana geldiği, bu düzeyden sonra azalmaların olduğu tespit edilmiştir. Sulama düzeyi ve sulama suyu tuzluluğunun kekik bitkisine etkileri ilk defa bu çalışmayla ortaya konulmaya çalışılmıştır. Sonuçlar, incelenen bazı parametreler için daha detaylı çalışmaların yapılması gerektiğini ortaya koymuştur.

ANAHTAR KELİMELER: Kekik (*Origanum onites* L.), verim parametreleri, kalite parametreleri, ekstrakt verimi

JÜRİ: Prof. Dr. Ahmet KURUNÇ (Danışman)

Doç. Dr. Ayhan TOPUZ

Yrd. Doç. Dr. Harun KAMAN

ABSTRACT

EFFECT OF DIFFERENT IRRIGATION WATER QUALITY AND IRRIGATION LEVELS ON YIELD AND QUALITY PARAMETERS OF OREGANO (*Origanum onites* L.)

Nurten Esen HANCIOĞLU

M. Sc. Thesis in Agricultural Structures and Irrigation Department

Advisor: Prof. Dr. Ahmet KURUNÇ

August 2012, 128 Pages

In this research, a pot experiment of oregano (*Origanum onites* L.) was examined in a greenhouse which is only closed on the top at Akdeniz University Agriculture Faculty Research and Practice Fields, which is for determining the effects of irrigation water quality and irrigation regime on plants characteristics and other parameters. For this case, plants in the first experiment were irrigated with waters, which have different quality of salinity, while plants in the second experiment were irrigated with same quality waters but different quantity (irrigation level). During the experiment, water quality and water deficit effects on plants were monitored and at the end of the experiment, plants were analysed in regard to yield and quality including essential oil, total phenolic and flavonoid content, extract yield and antioxidant activity.

It was concluded that, reduction in the amount of irrigation water applied to oregano plants caused a reduction in yield, but it was observed that there was not a significant differences in plants' quality parameters. When irrigation water salinity increases, in contrast of a reduction in yield parameters, it was confirmed that there is an increase in some quality parameters like extract yield, total phenolic and flavonoid content and antioxidant activity at a certain level, but above this level a decrease has occurred in this parameters. Effects of irrigation regime and irrigation salinity on oregano had presented first time in this work. Conclusions had shown that more detailed studies must be performed for some characteristics of oregano.

KEY WORDS: Oregano (*Origanum onites* L.), yield parameters, quality parameters, extract yield

COMITTEE: Prof. Dr. Ahmet KURUNÇ (Advisor)

Assoc. Prof. Dr. Ayhan TOPUZ

Asst. Prof. Dr. Harun KAMAN

ÖNSÖZ

Dünya nüfusunun hızla artmasıyla, tarım ve gıda sektörüne duyulan ihtiyaç da önemli bir biçimde artmaktadır. Kullanılabilir su kaynaklarının hızla azalması tarımın ve dolayısıyla gıda girdilerinin sürdürülebilmesi için sulamada alternatif kaynakların ve sulama düzeylerinin kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Bu nedenle, düşük kalitedeki suların kullanımı ve sulama düzeylerinin azaltılarak daha fazla alanın sulanması sağlanabilir.

Kekik (*Origanum onites* L.), son yıllarda kültüre alınmaya başlanmış tıbbi ve aromatik bir bitkidir. Kekiğin günümüzdeki üretim miktarına göre dışsatımı dikkate alındığında, büyük rakamlar göze çarpmaktadır. Su kaynaklarının etkin bir şekilde kullanımı ve ekili alanlarının da arttırılmasıyla kekik tarımı ilerleyen yıllarda büyük bir önem kazanacaktır.

Bu araştırma boyunca bana her konuda destek veren, bilgileriyle aydınlatan, tez konusunun belirlenmesi ve tezin hazırlanmasına önemli katkı sağlayan danışmanım Prof. Dr. Ahmet KURUNÇ'a, tıbbi ve aromatik bitkilerin yetiştirilmesi ve analizleri konusunda katkılarını esirgemeyen Doç. Dr. Ayhan TOPUZ ve Arş. Gör. Işın KOCABAŞ'a, arazi çalışmalarındaki katkılarından dolayı arkadaşlarım Yük. Lis. Öğr. Ömer ÖZBEK'e, Zir. Müh. Barış MIDİK'a, Zir. Müh. İrem EYİBİLİR'e, Zir. Müh. Seymen ARITÜRK'e, Hande HANCIOĞLU'na ve Lisans öğrencileri Saddam KALKAN, Hasan Ali ÖZCAN ve Hasan MIDİK'a, laboratuvar çalışmalarında ve analizlerde büyük yardımları dokunan Gıda Yük. Müh. İsmail TONTUL'a ve Arş. Gör. Ece ASLAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, beni arazi ve laboratuvar çalışmalarım ve tez yazma aşaması boyunca hiçbir zaman yalnız bırakmayan ve büyük yardımları dokunan babam Biyolog Dr. Mustafa ERİNÇ'e ve biricik eşim Zir. Müh. İsmail HANCIOĞLU'na, beni tüm bu süreçte destekleyen çok değerli aileme teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
1.1. Kuraklık Stresi	2
1.2. Tuz Stresi	3
1.3. Tıbbi ve Aromatik Bitkiler.....	5
2. KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMALARI.....	8
2.1. Bitkilerde Kuraklık Stresi	8
2.1.1. Kuraklığın tanımı ve kuraklık çeşitleri	8
2.1.2. Kuraklık stresinin etkileri.....	9
2.1.3. Su Kısıtı.....	14
2.1.4. Su-verim fonksiyonu modeli ve parametreleri	16
2.1.4.1. Maksimum verim (Y_m).....	16
2.1.4.2. Maksimum evapotranspirasyon (ET_m).....	17
2.1.4.3. Gerçek evapotranspirasyon (ET_a).....	18
2.1.4.4. Gerçek verim (Y_a).....	19

2.1.4.5. Verim tepki faktörü (K_y)	20
2.1.5. Kuraklığın tıbbi ve aromatik bitkilere etkisi	21
2.2. Bitkilerde Tuzluluk Stresi.....	25
2.2.1. Toprakta tuzluluğun oluşumu	25
2.2.2. Tuzluluğun bitkilere etkileri ve tuzluluk stresi.....	29
2.2.3. Toksisite ve özel iyon etkileri.....	35
2.2.3.1. Toksisite	35
2.2.3.2. Özel iyon etkileri	36
2.2.4. Tuzlu topraklarda yıkama gereksinimi	37
2.2.5. Tuzluluk-verim fonksiyonu	40
2.2.6. Tuzluluk-verim fonksiyonu modelindeki parametreler	41
2.2.7. Tuzluluğun tıbbi ve aromatik bitkilere etkisi	42
2.3. Kekik Yetiştiriciliği ve Kekik Yağı Üretimi.....	45
3. MATERYAL VE METOT	48
3.1. Materyal	48
3.2. Metot.....	49
3.2.1. Sulama düzeyi ve tuzluluk denemelerinin kurulması	49
3.2.2. Ölçüm ve analizler	53
3.2.3. Sulama düzeyi ve tuzluluğun kekik bitkisine etkisinin belirlenmesi.....	57
3.2.4. İstatistiksel analizler.....	59
4. BULGULAR	60
4.1. Sulama Düzeyi Deneme Sonuçları.....	60

4.1.1. Toprak Özellikleri.....	60
4.1.2. Bitki Su Tüketimi.....	61
4.1.3. Büyüme ve Verim.....	63
4.1.4. Kalite Parametreleri	68
4.1.5. Parametreler Arasındaki İlişkiler	70
4.2. Sulama Suyu Tuzluluğu Deneme Sonuçları	73
4.2.1. Toprak Özellikleri.....	73
4.2.2. Drenaj Suyu Kalitesi ve Bitki Su Tüketimi.....	76
4.2.3. Büyüme ve Verim.....	82
4.2.4. Kalite Parametreleri	86
4.2.5. Parametreler Arasındaki İlişkiler	89
5. TARTIŞMA	94
5.1. Sulama Düzeyi Deneme Sonuçlarının Tartışılması.....	94
5.2. Sulama Suyu Tuzluluğu Denemesi Sonuçlarının Tartışılması	98
6. SONUÇ	108
7. KAYNAKLAR.....	112

ÖZGEÇMİŞ

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

$AlCl_3$	: Alüminyum klorür
AW_s	: Her sulamada uygulanacak su miktarı (su kısıntısı)
AW_t	: Her sulamada saksılara verilecek sulama suyu miktarı (tuzluluk)
b	: EC_e 'deki her birim artış için verimdeki azalma
Ca	: Kalsiyum
$CaCl_2$	: Kalsiyum klorür
Cl	: Klor
CO_2	: Karbondioksit
CO_3	: Karbonat
Cu	: Bakır
D_{cw}	: Bitkiler tarafından tüketilen suyun derinliği
D_{dw}	: Drenaj suyu derinliği
D_{iw}	: Sulama suyu derinliği
D_{rw}	: Yağmur suyunun derinliği
D_s	: Belli bir derinlikteki toprak
d_s / d_w	: Toprak ve suyun yoğunluklarının oranı
EC_d	: Drenaj suyunun elektriksel iletkenliği
EC_e	: Saturasyon çamurunun elektriksel iletkenliği
$EC_e (threshold)$	: Bitki veriminin ilk olarak Y_m 'nin altına düştüğü EC_e eşik değeri
$EC_{e(0)}$	: Verimin sıfırken saturasyon çamurunun elektriksel iletkenliğin
EC_{iw}	: Sulama suyunun elektriksel iletkenliği
EC_{rw}	: Yağmur suyunun elektriksel iletkenliği

ET_0	: Referans bitki su tüketimi
ET_a	: Gerçek evapotranspirasyon
ET_c	: Bitki su tüketimi
ET_m	: Maksimum evapotranspirasyon
Fe	: Demir
g	: Gram
ha	: Hektar
HCO_3	: Bikarbonat
K	: Potasyum
K_c	: Bitki katsayısı
K_s	: Bitki su stresi katsayısı
K_y	: Verim tepki faktörü
kg	: Kilogram
L	: Litre
LF	: Yıkama oranı
LR	: Yıkama gereksinimi
m	: Deney numunesinin kütlesi
m	: Metre
m^3	: Metreküp
Mg	: Magnezyum
$MgSO_4$	: Magnezyum sülfat
mL	: Mililitre
Mn	: Mangan
N	: Azot
Na	: Sodyum

NaCl	: Sodyum klorür
Na ₂ CO ₃	: Sodyum karbonat
NaNO ₂	: Sodyum nitrit
NaOH	: Sodyum hidroksit
nm	: Nanometre
N _m	: Hava kuru yaprak nem miktarı
Φ	: Toplam toprak suyu potansiyeli
P _s	: Su uygulama katsayısı
P	: Fosfor
p	: Kullanılabilir suyun tüketilmesine izin verilen miktarı
pH _{dw}	: Drenaj suyunun pH'sı
pH _e	: Saturasyon çamurunun pH'sı
SP	: Saturasyon yüzdesi
SO ₄	: Sülfat
UY	: Uçucu yağ miktarı
V	: Toplanan örnek miktarı
W	: Rutubet miktarı
W _a	: Sulama öncesi saksı ağırlığı
W _{fc}	: Saksı tarla kapasitesi ağırlıkları
W/m ²	: Watt bölü metrekaare
Y _a	: Gerçek bitki verimi
Y _m	: Maksimum verim
Zn	: Çinko
ΔEC_e	: Saturasyon çamurunun elektriksel iletkenliği
ρ_w	: Suyun yoğunluğu (1 kg/L)

τ : Matrik potansiyel (toprak tanelerinin suyu fiziksel olarak tutma gücü)

$^{\circ}\text{C}$: Derece santigrad

μL : Mikrolitre

KISALTMALAR

ABA	: Absisik asit
AOA	: Antioksidan aktivite
BB	: Bitki boyu
CE	: Kateşin eşdeğeri
cm	: Santimetre
d	: Devir
da	: Dekar
dk	: Dakika
dS	: DesiSiemens
dw	: Kuru ağırlık
ET	: Evapotranspirasyon
EV	: Ekstrakt verimi
GAE	: Gallik asit eşdeğeri
GKA	: Gövde kuru ağırlığı
ICP	: İndüktif olarak eşleştirilmiş plazma
ROS	: Reaktif oksijen radikalleri
SAR	: Sodyum adsorbsiyon oranı
SKR	: Su kullanım randımanı
TKA	: Toplam kuru ağırlık
TYA	: Toplam yaş ağırlık
YKA	: Yaprak kuru ağırlığı
TFeM	: Toplam fenolik madde
TFİM	: Toplam flavanoid madde
UYİ	: Uçucu yağ iğeriği

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Tuzluluğun meydana geliş mekanizması (Ergene 1982, Kwiatowsky 1998, Terry 1997, Woods, 1996)	27
Şekil 2.2. Toprak tuzluluğunun (EC_e) çeşitli derecelerinde killi tınlı toprak için toprağın nem tutma eğrileri (Ayers ve Westcot 1985).....	30
Şekil 2.3. Bitkilerin tuzluluk toleransı sınıflandırması (Maas 1990).....	34
Şekil 2.4. Bitkilerin tuza dayanım grafiği	40
Şekil 4.1. Farklı sulama düzeylerinde deneme topraklarının bazı kimyasal özelliklerindeki değişimler	61
Şekil 4.2. Farklı sulama düzeylerinde yetiştirme periyodu boyunca kekik bitkisi günlük su tüketimlerindeki değişimler	62
Şekil 4.3. Farklı sulama düzeylerinde kekik bitkisinin su tüketimi ve su kullanım randımanındaki değişimler	63
Şekil 4.4. Farklı sulama düzeylerinde yetiştirme periyodu boyunca kekik bitki boylarındaki değişimler.....	64
Şekil 4.5. Farklı sulama düzeylerinde yetiştirme periyodu boyunca bitki boylarında meydana gelen görsel değişimler.....	65
Şekil 4.6. Farklı sulama düzeylerinde kekik bitkisinin bazı büyüme ve verim parametrelerindeki değişimler	67
Şekil 4.7. Farklı sulama düzeylerinde kekik bitkisinin bazı kalite parametrelerindeki değişimler	69
Şekil 4.8. Farklı sulama düzeylerinde evapotranspirasyon – toplam kekik kuru ağırlığı ilişkisi	72
Şekil 4.9. Farklı sulama düzeylerinde evapotranspirasyon – kekik ekstrakt verimi ilişkisi	72

Şekil 4.10. Farklı sulama suyu tuzluluklarında deneme topraklarının bazı kimyasal özellikleri.....	75
Şekil 4.11. Farklı sulama suyu tuzluluklarında yetiştirme periyodu boyunca drenaj suyu elektriksel iletkenliğindeki (EC_{dw}) değişimler	77
Şekil 4.12. Farklı sulama suyu tuzluluklarında deneme topraklarının saturasyon çamuru ekstraktı elektriksel iletkenliği (EC_e) ile drenaj suyu elektriksel iletkenliği (EC_{dw}) arasındaki ilişki.....	78
Şekil 4.13. Farklı sulama suyu tuzluluklarında drenaj suyu kalitesi, kekik bitkisinin su tüketimi ve su kullanım randımanındaki değişimler	80
Şekil 4.14. Farklı sulama suyu tuzluluklarında yetiştirme periyodu boyunca kekik bitkisi günlük su tüketimlerindeki değişimler	81
Şekil 4.15. Farklı sulama suyu tuzluluklarında yetiştirme periyodu boyunca kekik bitki boylarındaki değişimler.....	82
Şekil 4.16. Farklı sulama suyu tuzluluklarında yetiştirme periyodu boyunca bitki boylarında meydana gelen görsel değişimler	83
Şekil 4.17. Farklı sulama suyu tuzluluklarında kekik bitkisinin bazı büyüme ve verim parametrelerindeki değişimler	85
Şekil 4.18. Farklı sulama suyu tuzluluklarında kekik bitkisinin bazı kalite parametrelerindeki değişimler	88
Şekil 4.19. Farklı sulama suyu tuzluluklarında toprak tuzluluğu–bitki su tüketimi ilişkisi	89
Şekil 4.20. Farklı sulama suyu tuzluluklarında toprak tuzluluğu – kekik ekstrakt verimi ilişkisi	91
Şekil 4.21. Farklı sulama suyu tuzluluklarında evapotranspirasyon – kekik ekstrakt verimi ilişkisi	93

Şekil 5.1. Su düzeyi denemesinde kekiğin verimi ve bitki su tüketimi arasındaki ilişki.....	96
Şekil 5.2. Kekik bitkisinde toprak tuzluluğu ve tuzluluk stres katsayı arasındaki ilişki.....	102
Şekil 5.3. Sulama suyu tuzluluk denemesinde kekiğin verimi ve bitki su tüketimi arasındaki ilişki.....	104
Şekil 5.4. Kekik bitkisi toplam kuru verimi için tuz tolerans modeli.....	104

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Deneme toprağının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	49
Çizelge 3.2. Yetiştirme peryodundaki önemli meteorolojik veriler	49
Çizelge 3.3. Denemelerde kullanılan konular ve sembolleri	50
Çizelge 3.4. Denemelerde kullanılan sulama suların kalite parametreleri.....	50
Çizelge 4.1. Sulama düzeyinin toprak özelliklerine etkisine ilişkin istatistiksel analizler	60
Çizelge 4.2. Sulama düzeyinin kekikte bitki su tüketimi ve su kullanım randımanı üzerine etkisine ilişkin istatistiksel analizler	63
Çizelge 4.3. Sulama düzeyinin kekikte büyüme ve verime ilişkin istatistiksel analizler	66
Çizelge 4.4. Sulama düzeyinin kekikte bazı kalite parametrelerine etkisine ilişkin istatistiksel analizler	68
Çizelge 4.5. Sulama düzeyi denemesinde incelenen parametreler arasındaki ilişkiler ..	71
Çizelge 4.6. Sulama suyu tuzluluğunun toprak özelliklerine etkisine ilişkin istatistiksel analizler.....	74
Çizelge 4.7. Sulama suyu tuzluluğunun drenaj suyuna ve kekikte bitki su tüketimi ve su kullanım randımanı üzerine etkisine ilişkin istatistiksel analizler	79
Çizelge 4.8. Sulama suyu tuzluluğunun kekikte büyüme ve verime etkisine ilişkin istatistiksel analizler	84
Çizelge 4.9. Sulama suyu tuzluluğunun kekik bitkisinde kalite parametrelerine etkisine ilişkin istatistiksel analizler.....	87
Çizelge 4.10. Tuzluluk denemesinde incelenen parametreler arasındaki ilişkiler	90

1. GİRİŞ

Tarımın en önemli amaçlarından birisi, artan nüfusun gıda ve lif ihtiyaçlarının sağlanmasıdır. Gelecek 30-40 yıl içerisinde bugünkü gıda girdi seviyelerini sürdürmek için tarımsal üretimde yaklaşık %40-50 oranında bir artışa ihtiyaç duyulmaktadır (Rhoades vd 1992). İklimin olumsuz etkilerine daha az bağımlı olan ve daha yüksek verim elde edilmesine imkan veren sulu tarım, bu ihtiyaçların karşılanması ve kararlı hale getirilmesinde önemli bir yere sahiptir. Son 25 yılda tarımsal üretimdeki artışın en az %50'si sulanan alanlardan, yani sulu tarımdan sağlanmıştır. Hâlihazırda toplam işlenebilir alanların %18'inde sulu tarım yapılmasına karşın bu alanlardan dünya gıda ve lif üretiminin yaklaşık olarak %50'si karşılanmaktadır (Hoffman vd 1992, Postel 1992, Rhoades vd 1997). Aşırı sulama ve diğer yanlış veya yetersiz tarımsal yönetim şekillerinden kaynaklanan tuzlulaşma ve arazilerin su altında kalması nedeniyle sulanan alanların bozulması ve bu bozulmanın gittikçe artan bir şekilde devam etmesinden dolayı söz konusu alanlardan dünya gıda ve lif üretimi için öngörülen hedefin karşılanması oldukça zor olmaktadır (Ghassemi vd 1995).

Bitkisel üretimde stres, yetiştirme ortamında bir veya birden fazla etmenin bitki üzerinde büyüme, gelişme ve kaliteyi olumsuz yönde etkilemesi ve sonuçta verimin düşmesine neden olduğu bir durumdur. Bitkileri herhangi bir gelişme döneminde etkilemek suretiyle ortaya çıkan değişik stres faktörleri, her bitkiden farklı tepkilerin alınmasına yol açabilir. Bitkisel üretimde meydana gelen stresler biyotik (yabancı otlar, böcekler, mikroorganizmalar ve hayvanlar) ve abiyotik (kuraklık, sıcaklık, radyasyon, su baskını ve mekanik etkiler) olmak üzere iki başlık altında toplanmaktadır (Kalefetoğlu ve Emekçi 2005, Tursun 2008, Kuşvuran 2010). Gelişme süreleri boyunca bitkiler birçok stres faktörüne maruz kalarak, önemli derecede fizyolojik ve metabolik değişimlere uğramakta ve üründe nitelik ve nicelik kaybının meydana gelmesi yanı sıra tüm bitki veya organlarının ölümü ile de karşılaşabilmektedir.

Kuraklık ve tuzluluk dünyada tarımsal üretimi sınırlandıran en önemli abiyotik stres faktörleri olarak bilinmektedir. Dünya üzerinde bulunan kullanılabilir tarımsal alanlar stres faktörlerine göre ayrıldıklarında, doğal olarak meydana gelen bir stres faktörü olan kuraklık stresi %26'lık bir payla en büyük dilimi içermektedir. Bunu %20

ile mineral stresi ve %15 ile don stresi takip etmektedir. Yine, dünya yüzeyinde bulunan alanların yaklaşık olarak %6'sı tuzluluk sorunu ile karşı karşıyadır. Bunların dışında kalan tüm stresler ise %23'luk bir dilime sahiptir. Yaklaşık olarak, %10'luk bir alan ise herhangi bir stres faktörüne maruz bulunmamaktadır (Blum 1986).

1.1. Kuraklık Stresi

Su, yüzyıllar boyunca uygarlıkların kaderini belirleyen temel bir etken olmuştur. Nüfusun hızla artması ve iklim değişikliklerinin ortaya çıkması, mevcut ve bununla birlikte giderek azalan su kaynaklarının kullanımını kısıtlandırmaktadır. Genel olarak iklim değişikliği, nedeni ne olursa olsun iklim koşullarındaki büyük ölçekli (küresel) ve önemli yerel etkileri bulunan, uzun süreli ve yavaş yavaş gelişen değişiklikler olarak tanımlanabilmektedir (Türkeş 1997).

Su, tüm biyolojik olaylarda olduğu gibi bitkisel yaşamın da önemli bir bileşenidir. Fizyolojik olarak aktif bitkilerin toplam yaş ağırlığının yaklaşık olarak %85-90'ı su içermektedir. Eğer su içeriği birçok bitki türünde bu düzeyin altına düşerse, bitkinin fizyolojik faaliyetlerinin çoğu zarar görmektedir. Yine de bitkinin içerdği su miktarı, bitkinin hayatı boyunca kullandığı ve transpirasyonla atmosfere kaybolan suyun sadece küçük bir fraksiyonu oluşturmaktadır (Turner ve Kramer 1980).

Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye de, kullanılabilir su kaynaklarının azalması, kuraklık ve çölleşme ile buna bağlı ekolojik bozulmalar gibi bir takım önemli problemlerle karşı karşıyadır ve küresel ısınmanın potansiyel etkileri açısından da risk grubu ülkelerin arasında bulunmaktadır. Küresel iklim değişikliği, kurak ve yarı kurak alanların genişlemesine ek olarak kuraklığın süresinde ve şiddetindeki artışlar, çölleşme süreçlerini, tuzlanma ve erozyonu da tetikleyeceği bildirilmektedir (Türkeş 1994).

Son 20 yılda meydana gelen küresel ısınma sonucu ortaya çıkan iklim değişiklikleri, mevcut su kaynaklarının da tükenmesine neden olmaktadır. Yıllık yağışların %55'ine karşılık gelen 274 milyon m³ evapotranspirasyon ile kaybolurken, %8'i ise yüzey akışına geçmektedir. Türkiye'de kişi başına düşen kullanılabilir su

miktarı 2010 yılında 1 430 m³ iken, bu değerin 2023 yılında 1 000 m³'e kadar düşmesi beklenmektedir. Dünyada ve Türkiye'de kullanılabilir su miktarında meydana gelen bu düşüşler, özellikle tarım sektörünü büyük ölçüde etkisi altına almaktadır. Yağışların azalması ve su kaynaklarının kullanımının kısıtlı hale gelmesi sonucu kuraklık kaçınılmaz olmaya başlayacaktır.

Doğanın en önemli afetlerinden bir olan kuraklık, zaman (yağış mevsiminin başlamasında meydana gelen gecikmeler, ürün büyüme mevsimi ve yağış zamanının ilişkisi) ve yağışların etki dereceleri (yağış yoğunluğu ve sayısı) ile yakından ilişkilidir. Yüksek sıcaklık, şiddetli rüzgâr ve düşük nem miktarı gibi değişkenler birçok bölgede kuraklığın ortaya çıkmasında etkili olmaktadır (Öztürk 2002).

Bitkisel üretimi kısıtlandıran en önemli faktörlerden biri olan kuraklık stresi (Asraf vd 2002, Gong vd 2005, Martinez vd 2007, Sankar vd 2008), büyümeyi ve verimi etkileyen en yaygın çevresel faktörlerdendir. Kuraklık stresi bitkilerde birçok fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler olayları tetikleyerek, onların sınırlı koşullara adapte olmasını sağlayacak tolerans mekanizmaları geliştirmesine de sebep olmaktadır.

Kuraklık stresi, özellikle tarımın genellikle yağmura bağımlı olduğu ülkelerde önemli olmaktadır. Bu stres, kök bölgesindeki çözelti konsantrasyonunda bir artışa neden olarak bitki hücrelerinden suyun ozmotik yolla dışarı atılmasına yol açar. Böylece bitki hücresi içerisinde çözünen konsantrasyonun artmasıyla su potansiyeli düşer ve fotosentez gibi önemli süreçlerde hücre duvarları görevini yerine getiremez. Kuraklık stresi çeken bitkiler sonuç olarak çok zayıf bir gelişme gösterir ve verimde düşüşler meydana gelir. Daha ileri aşamalarda bitkilerin tamamen ölmesi de söz konusu olabilmektedir (Aliabadi vd 2009).

1.2. Tuz Stresi

Kurak ve yarı kurak iklim bölgelerinde, tarımsal üretimin başladığı dönemlerden beri tarım alanlarında toprakların verimliliğini olumsuz yönde etkileyen, ürün verimini sınırlandıran en önemli sorunlardan birisi de tuzluluktur (Yaşar vd 2008). Yağışların

yıldan yıla azalması ve mevcut su kaynaklarının öncelikli olarak evsel ve endüstriyel alanlara kaydırılması, özellikle bu iklim bölgelerinde geleneksel üretim yöntemlerinin değiştirilmesi gerçeğini ortaya koymaktadır. Tuzluluk artışına bağlı olarak, sürdürülebilir tarım alanlarının önümüzdeki 25 yıl içerisinde %30'unun, 21. yüzyılın ortalarında ise %50'sinin tahrip olabileceği bildirilmektedir (Munns 2002, Bonilla vd 2004, Ahmadi vd 2009). Türkiye, 1.5 milyon ha alanda tuzluluk problemi ile karşı karşıya bulunmaktadır.

Bitkilerde tuz stresine sebep olan suda eriyebilir formdaki tuzlar, kayaların bünyesindeki primer minerallerin parçalanması ve ayrışması sonucu ortaya çıkar. Ancak tuzluluk problemi, tuzların ayrıştıkları yerlerden sular aracılığıyla taşınıp düz ve alçak yerlerde birikmeleri nedeniyle meydana gelmektedir. Ayrıca, arazinin jeolojik olarak eski bir iç deniz veya tuzlu göl olması da tuzlu toprakların oluşmasında önemli bir faktör olabilmektedir (Tuncay 1983).

Tuzlu suların tarımsal üretim için kullanımı son 10 yılda kayda değer bir şekilde artmıştır. Genel olarak sulanan alanların yaklaşık %10'unun tuzluluk ile karşı karşıya olduğu kabul edilmektedir (Dinar 2009). Genel olarak, tuzluluk sorunları sulama suyunda tuz konsantrasyonlarının artması ile birlikte ortaya çıkmaktadır (Ayman 2003). Dünyadaki tüm yer altı suyu kaynaklarının yarısından fazlası tuzludur. Tuzlu suların sulama amaçlı kullanılması için, tuzluluğun bitkileri nasıl etkilediğinin anlaşılması, tuzluluk düzeylerinin kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalmasının sağlanması için sabit tutulması ve ortalama verimlerden daha düşük verimlerin kabul edilmesi için hazırlıklı olunması gerekmektedir (Hassanpour ve Aliabadi 2009). Kurak ve yarı kurak bölgelerde, özellikle yoğun tarım sistemlerinde, tuzlu suların sulama amacıyla kullanılması, ikincil tuzluluğun en temel sebeplerinden birisi olup (Szabolcs 1994) toprak bozulması ile sonuçlanabilmektedir (UNEP 1991).

Tuzluluk ve kuraklık stresi bitkilerdeki birçok metabolik olayı olumsuz yönde etkileyerek, ürün kalitesinde ve verimde azalmalara neden olmaktadır. Her iki stres faktörü de, birçok bölgede kısmen yaygın hale gelmeye başlamış ve 2050 yılına kadar işlenebilir arazilerin %50'sinden fazlasının ciddi derecelerde tuzlulaşacağı tahmin edilmektedir (Wang vd 2003). Kuraklık ve tuz stresi koşullarında bitkilerin geliştirdiği

mekanizmalar incelendiğinde, bu bitkilerin belirli parametrelerinde değişiklikler olduğu gözlenmekte ve bu değişikliklerin her iki faktör açısından da benzer sonuçlar ortaya çıkardığı belirtilmektedir.

1.3. Tıbbi ve Aromatik Bitkiler

Tıbbi bitkiler eski çağlardan beri tedavi amacıyla kullanılmaktadır. Mezopotamya uygarlığı döneminde tanınan 250 civarındaki tıbbi bitki sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Son yıllarda, özellikle de son otuz yılda dünyada tıbbi ve aromatik bitkilerin ilaç sanayisi için kullanımında büyük bir artış görülmektedir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) 20 000 civarında bitkinin tıbbi amaçlarla kullanıldığını saptamıştır. Bunlardan yaklaşık 4 000'i bitkisel drog olarak yoğun bir şekilde kullanılırken 400 kadar drog da ticareti yapılmaktadır (Başer 1998).

Türkiye’de bulunan tıbbi ve aromatik bitkilerin büyük bir kısmı doğal olarak yetişmektedir. Ancak doğadan her yıl bilinçsiz bir şekilde toplanan bitkilerden birçoğunun nesli tükenmek üzeredir. Bu durum, çevre koruma ile ilgili yasal düzenlemelerin veya uygulamalarının yetersizliği nedeniyle doğal zenginliklerimizi ve bitkisel gen kaynaklarımızı tehdit eder hale getirmiştir. Doğal kaynaklarımızı korumak ve devamlılığını sağlamak için yapılan yasal düzenlemelerin yanı sıra, bu konuda alınabilecek en acil önlem, bir an önce bu bitkilerin kültüre alınmasıdır.

Tıbbi ve aromatik bitkilerin çok az kısmı kültüre alınmıştır. Üretimleri de diğer kültür bitkilerine kıyasla çok dar alanlarda yapılmaktadır. Gerek ekonomi ve gerekse insan sağlığı açısından düşünüldüğünde tıbbi bitkilerin önemi kendiliğinden ortaya çıkmaktadır. Tıbbi ve aromatik bitkilerdeki etkili maddelerin sentetik yolla elde edilenlere nazaran etkisinin çok yönlü olması, bu bitkilerin ilaç sanayi yanında, meşrubat, parfüm ve kozmetik endüstrisi gibi alanlarda da kullanılması, ayrıca insanların sentetikler yerine doğal ürünlere yönelmesi tüketimi hızlandırmıştır. Bitkisel ürünlere karşı olan ilgi dünya çapında kayda değer bir miktarda artmaktadır, çünkü birçok bitkisel ilacın herhangi bir yan etkisi bulunmamaktadır. Çoğu tıbbi bitkinin ham olarak tüketilmesi nedeniyle yüksek kaliteli bitkilerin elde edilebilmesi için uygun bir

bitkisel üretim yönetimi gerekmektedir. Bu nedenlere bağlı olarak tıbbi ve aromatik bitkilerin kültüre alınıp üretimlerinin artırılması bir zorunluluk arz etmektedir.

Son yıllarda tıbbi ve aromatik bitkiler, gıda, parfümeri, ilaç endüstrisi ve doğal kozmetik ürünler gibi birçok alanda büyük bir önem kazanmaya başlamıştır (Olfa Baatour vd 2009). Tıbbi ve aromatik bitkilerdeki ikincil metabolitlerin genetik süreçler vasıtasıyla üretilmesine karşın, bunların biyosentezi temelde çevresel faktörler tarafından güçlü bir şekilde etkilenmektedir (Yazdani vd 2002). Diğer bir deyişle, biyotik ve abiyotik çevresel faktörler, büyüme parametrelerine, uçucu yağ verimine ve bileşenlerine önemli düzeylerde etkide bulunmaktadır (Aziz vd 2008, Clark ve Menary 2008). Abiyotik çevresel streslerden özellikle tuzluluk ve kuraklık, tıbbi bitkileri büyük ölçüde etkilemektedir (Heidari vd 2008). Kalitatif ve kantitatif parametreler üzerinde tuzluluğun etkileri değişik sonuçlar ortaya çıkarmaktadır. Tuzluluk stresinin artmasıyla, birçok bitkinin büyüme ve gelişme parametrelerinin, tıbbi ve aromatik bitkilerde uçucu yağ miktarının ve uçucu yağ veriminin azaldığı kanıtlanmıştır (Öztürk vd 2004, Razmjoo vd 2008).

Türkiye’de yetiştirilen tıbbi ve aromatik bitkilerden yurt dışına en fazla ihracatı yapılan kekik, yüzyıllardır baharat, kişisel bakım ürünü, ilaç, parfüm ve insektisit olarak kullanılan, Akdeniz Bölgesi’ne özgü çok yıllık bir bitkidir. Timol ve karvakrol, kekik yağının temel fenolik bileşenleridir. Yüksek timol içerikli kekik yağı, bakteriyel gelişimi güçlü bir şekilde engellemektedir. Ayrıca, timol mantarlara karşı yüksek aktiviteye sahiptir (Özgüven vd 1998). Tıpta antispazmolitik, antibakteriyel, antifungal, balgam söktürücü, antiseptik, kurt döktürücü ve öksürük ilacı olarak kullanıldığı diğer araştırmacılar tarafından rapor edilmiştir (Bouchberg ve Allegrini 1976, Broucke vd 1983, Broucke 1983, Özgüven 1987).

Türkiye’de “kekik” olarak tanımlanan *Labiata* (*Lamiaceae*) familyasından pek çok aromatik bitki türü bulunmaktadır. Ancak, özellikle timol/karvakrol tipi uçucu yağ içeren türler “kekik” olarak kabul edilmektedir. Bu türler arasında özellikle *Thymus* (57 takson), *Origanum* (31 takson), *Satureja* (14 takson), *Thymbra* (4 takson) ve *Coridothymus* (1 tür) cinsleri hem yayılış hem de ekonomik olarak büyük önem taşımaktadırlar (Başer 1993). Resmi kayıtlara geçmemiş olmakla birlikte, Türkiye’den

ihraç edilen *Origanum* türlerinin başında *O. onites*, *O. minutiflorum*, *O. majorana*, *O. syriacum* var. *bevaii*, *O. vulgare* var. *hirtum* geldiği belirtilmektedir (Başer 1993).

Türkiye tıbbi ve aromatik bitkilerde dışsatım yapan ülkeler arasında %5'lik pay ile 12. sırada yer almaktadır. Türkiye'nin 2005-2009 yıllarını kapsayan beş yıllık tıbbi ve aromatik bitkiler dışsatım miktarı ortalama 44 930 ton olup, ortalama 60.5 milyon dolar gelir sağlanmıştır (OSİB-OGM 2009). Bu bitkiler içinde kekik, 2008 yılında 9 682 ton ile 42 877 563 dolar, 2009 yılında 11 474 ton ile 28 662 424 dolar gelir sağlayarak ilk sırada yer almıştır (TÜİK 2010). 2009 yılında ise ekiliş alanı 8 500 ha olup yaklaşık 135 kg/da verim elde edilmiştir (TÜİK 2009). 2011 yılında kekik tarımı yapılan toplam arazi 7 700 ha'a düşerek 10 953 ton'luk bir üretim sağlanmıştır ve yaklaşık 142 kg/da verim alınmıştır (TÜİK 2011). Türkiye'nin kekik ihraç ettiği ülkelerin başında %25'lik bir payla ABD gelirirken, diğer dışsatım yapılan ülkeler arasında Almanya, Kanada, İtalya, Polonya, Hollanda, Fransa ve Avustralya bulunmaktadır (Bayram vd 2010).

Başlangıçta dışsatımı yapılan kekiğin %95'i doğadan toplanarak, %5'i ise tarla üretiminden elde edilirken, son yıllarda dışsatımı yapılan kekiğin yarısından fazlası tarla üretiminden sağlanmaktadır. Doğadan toplanan kekik *O. onites*, *O. syriacum*, *O. majorana*, *O. vulgare* subsp. *hirtum*, *O. minutiflorum*, *Thymbra spicata*, *Cordothymus capitatus* gibi farklı tür ve cinsleri kapsamaktadır. Kültürü yapılan kekik türleri ise *O. onites* ve *O. vulgare* subsp. *hirtum* olup Antalya, Isparta, Denizli ve İzmir civarında yetiştirilmektedir (Anonim 2004).

Origanum onites L. *Labiatae* familyasından, 65 cm kadar boylanabilen ve çok sayıda yan dal oluşturabilen tıbbi ve aromatik bir bitkidir (Davis 1982). Yaygın olarak; İzmir kekiği, Türk kekiği, Bilyalı kekiği veya Beyaz kekik olarak adlandırılmaktadır. *Origanum onites* L.'in yağı, timol ve karvakrol olarak bilinen fenolik bileşenleri içermektedir (Tanker 1965). *Origanum onites* L., doğal floramızın bir türünü oluşturmasının yanı sıra kültür bitkisi olarak yetiştirilen tek ticari *Origanum* türüdür.

Bu çalışmada, son yıllarda kültüre alınmaya başlanan kekik bitkisinde (*Origanum onites* L.) verim ve kalite parametrelerine sulama düzeyleri ve sulama suyu tuzluluğunun etkileri araştırılmış ve aktarılmaya çalışılmıştır.

2. KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMALARI

2.1. Bitkilerde Kuraklık Stresi

2.1.1. Kuraklığın tanımı ve kuraklık çeşitleri

Kuraklık genel olarak su noksanlığı ve kuruma olarak iki farklı şekilde tanımlanabilmektedir (Smirnoff 1993). Buna göre:

a) Su noksanlığı, stomaların kapanmasına ve hücredeki gaz değişiminin kısıtlanmasına neden olan orta derecedeki su kaybı olarak ifade edilmektedir. Oransal su içeriğinin yaklaşık %70'e düştüğü hafif düzeydeki su noksanlığına maruz kalan bitkilerde stomaların kapanmasına bağlı olarak karbondioksit alımı kısıtlanmaktadır.

b) Kuruma, metabolizma ve hücre yapısının tamamen bozulmasına ve sonunda enzimlerle katalizlenen reaksiyonların tamamen durmasına neden olabilecek aşırı miktardaki su kaybı olarak tanımlanabilir. Genel olarak, kurumaya duyarlı vasküler bitkilerde vejetatif doku, %30'un altındaki oransal su içeriğinde iyileşme gösteremez.

Kuraklık, diğer bir kaynağa göre de; ağır (akut), sürekli (kronik) ve fizyolojik kuraklık olmak üzere üçe ayrılmaktadır (Eriş 1990):

a) Sıcaklıkta meydana gelen artış, nemde hızlı bir düşüş veya kuru hava kütlesi, bitkilerde hızlı bir şekilde su kayıplarına neden olmaktadır. Bu tip atmosferik değişiklikler, transpirasyon oranının artmasına sebep olmakta ve akut kuraklık sonucunda bitkilerin genç ve yaşlı yapraklarında solma, sürgün uçlarında kuruma, verimde azalma ve büyümede yavaşlama gibi belirtiler ortaya çıkarır. Kuraklığın en erken belirtisi solgunluktur. Solma noktası aşılmadığı sürece, bitkiye su verildiğinde solgunluk belirtileri ortaya çıkmaz (Çırak ve Esendal 2006).

b) Kronik kuraklık toprakta taban suyunun düşmesi sonucu görülür. Sürekli kuraklık etkisinde kalan bitkilerde önce solgunluk ve daha ilerleyen dönemlerde de kuruma görülmektedir (Eriş 1990).

c) Toprakta yeterli su varlığına karşın, çeşitli nedenlerle bitkinin sudan yararlanamaması fizyolojik kuraklık olarak tanımlanır. Toprakta yeterli miktarda su bulunmasına rağmen, toprağın su tutma kapasitesinin, bitkinin suyu emme kuvvetinden

daha fazla olması durumunda bitkiler suyu alamayarak kuraklık stresine girmektedirler. Toprakta meydana gelen tuzluluk, toprak çözeltisinin ozmotik basıncını artırarak toprak suyunun bitkiler tarafından alımını güçleştirmekte ve böylece bitkinin fizyolojik kuraklıkla karşı karşıya kalmasına sebep olmaktadır (Çırak ve Esenal 2006).

2.1.2. Kuraklık stresinin etkileri

Kuraklık, tarımsal ve ekolojik sistemler üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Bitkiler, stresin yoğunluğu ve süresi kadar, bitki çeşidine ve gelişim aşamasına bağlı olarak da farklı şekillerde tepkiler gösterirler. Bitkilerin gösterdikleri bu tepkiler, strese karşı toleransın ortaya çıkmasında büyük bir öneme sahiptir. Yine de kuraklık stresi, üretimi sınırlandıran en önemli abiyotik streslerden birisi olarak karşımıza çıkmaktadır (Reddy vd 2004, Jaleel vd 2007).

Topraktaki su içeriğinin, bitkilerin su azlığından sıkıntı çektiği miktara kadar, belirgin yağışın olmadığı bir periyodu ifade eden kuraklık, toprağın su tutma kapasitesi ve bitkiler tarafından gerçekleştirilen evapotranspirasyon hızına bağlıdır (Jones 1992, Kozłowski ve Pallardy 1997, Özcan vd 2004). Bitkilerde belirli bir sürede transpirasyon ile kaybolan suyun, çevreden alınan su miktarından fazla olması durumunda kuraklık stresi ortaya çıkar. Su miktarı azalan bitkisel dokular arasında suyun alımı için rekabet başlar ve bunun sonucunda bitki dokuları arasındaki su dengesi bozulur.

Bitki kökleri sadece toprak gözeneklerinde bulunan serbest su moleküllerini absorbe edebilmektedir. Bu nedenle, su potansiyeli kavramı, bir ortamda bulunan serbest su moleküllerinin bir ölçüsü olarak belirtilmektedir, yani bir ortamda bulunan serbest su molekülleri ne kadar fazlaysa bu ortamdaki su potansiyeli de o kadar yüksek olmaktadır. Su molekülleri genellikle su potansiyelinin yüksek olduğu ortamdaki düşük olduğu ortama doğru hareket etmektedir. Eğer toprakta çözünen madde miktarı yeterince düşük ise, bitki suyu topraktan alabilmektedir. Fakat toprakta kimyasal madde oranı yüksek ve su potansiyeli düşük ise bitkiler su kaybeder ve böylelikle su stresine maruz kalarak topraktaki suyu alamayıp ölürlür.

Bitkiyi strese sokan en önemli durum, topraktaki su potansiyelinin azalmasıdır. Çünkü transpirasyonla meydana gelen su kaybı, toprakta yeterli miktarda su bulunursa karşılanabilmektedir. Ancak toprakta yeterli miktarda su bulunmaması ve bitkinin buna karşı tolerans mekanizmalarını devreye sokamaması bitkide su kaybı ile sonuçlanır ve böylece su stresi ortaya çıkar. Topraktaki su potansiyeli, sürekli solma noktasına (15 atm) yaklaştığında, yaprakların su potansiyeli, kökün ve toprağın su potansiyelinin altındadır. Yani bir su potansiyeli farkı olmasına rağmen, bitki su alamaz ve solmaya başlar. Bu durum uzun süre devam ederse, bitki kuruyarak ölür. Topraktaki suyun azalmasıyla, toprakta mevcut suyun toprak kolloidleri tarafından daha sıkı bir şekilde tutulması sonucu köklerin emme gücü kolloidlerin tutma gücünü yenemez ve su alımı meydana gelmez. Böylece, sürekli solma noktasındayken, yaprak ve köklerde solma meydana gelir (Kocaçalışkan 2003).

Kuraklık, bitkilerde fotosentezin engellenmesi sonucunda klorofil içeriği ve bileşenlerinde çeşitli değişmelere sebep olmasının yanında bitkideki fotosentetik düzende de bir takım zararlanmalar meydana getirmektedir. Buna ek olarak, Kelvin döngüsünde görevli enzimlerde ve fotokimyasal aktivitelerde de aksamalara yol açmaktadır. Bitkinin fotosentetik düzeninde meydana gelen aksamalar sonucunda reaktif oksijen radikalleri (ROS) ve antioksidan savunma mekanizmaları arasındaki denge de bozulmaktadır. Bitkinin strese girmesi sonucunda, ROS birikimi meydana gelerek, proteinlerin ve diğer hücresel bileşenlerin yapısı bozulmaktadır (Kuşvuran 2010).

Kuraklık stresinin ortaya çıkması durumunda, turgor kaybı nedeniyle hücre büyümesi ve dolayısıyla da hücre çeperinin sentezi olumsuz yönde etkilenir ve hücreler küçük kalır. Proteinler ve klorofiller de olumsuz etkilenerek, tohumların çimlenme yetenekleri kaybolur. Stres durumunda, fotosentez ve solunumun yavaşladığı veya tamamen durduğu gözlemlenmektedir. Çünkü hücre büyümesindeki gerileme yaprak alanının azalmasına yol açmakta ve bu nedenle fotosentez üretiminde de düşüş meydana gelmektedir. Yeterli miktarda suyun bulunmaması, ksilem ve floemde madde iletiminin olumsuz etkilenmesine, meyvelerin küçük kalmasına, tahıllarda ise tohumların dolgunlaşamamasına ve böylelikle ürün kalitesinin de düşmesine neden olur (Tursun 2008).

Su noksanlığı bitkilerde turgor kaybıyla beraber ozmotik potansiyelin de azalmasına yol açmaktadır. Su noksanlığına cevap olarak ortaya çıkan bu durum, bitkide çeşitli eriyebilir maddelerin birikimine yol açmakta ve vakuolden yapraklara su ile birlikte taşınan ozmotik maddelerin miktarlarında artışlar görülmektedir. Söz konusu durum kök bölgesindeki ozmotik potansiyel ve su alımı mekanizması çerçevesinde ozmotik uyum veya ozmoregülasyon olarak tanımlanmaktadır (Pessarakli vd 1987).

Su stresi bitkilerde enzim aktivitesi ve enzim miktarı üzerinde de önemli bir etkiye sahiptir. Ayrıca yapraklarda absisik asit (ABA) miktarı yaklaşık olarak 40 kat artarken, kök ve diğer organlarda bu artış daha düşük olmaktadır. Absisik asit, stomaların kapanmasını sağlayarak, suyun transpirasyon yoluyla kaybolmasını önlemektedir. Bununla birlikte, bitkinin tepe organlarındaki gelişmeyi azaltarak suyun kök sisteminde kullanılmasına, dolayısıyla kökün derinlere doğru inebilmesine ve daha fazla suya ulaşabilmesine olanak sağlar (Tursun 2008).

Bitkilerin kuraklığa dayanım stratejileri aşağıdaki şekildedir (Tursun 2008):

- a) Kuraklık öncesi hızlı bir olgunlaşma ve yağış sonrası üreme;
- b) Derin kökler oluşturarak su kaybını geciktirme;
- c) Transpirasyonun azaltılmasına yönelik önlemler veya suyun depo edilmesi;
- d) Dokularda su kaybına izin verilmemesi ve suyun azaldığı durumlarda büyümeye devam etme, şiddetli su kaybında ise hayatını sürdürmeye çalışma.

Su noksanlığına bağlı olarak bitkilerde bir takım adaptasyonlar görmek mümkündür. Örneğin, yapraklarda ve bazen gövdede su eksikliği nedeniyle tüylenme meydana gelmektedir. Bu tüylerin görevleri; bitki üzerine gelen veya topraktan yansıyan ışınları kırmak, zararlı canlıların saldırılarından bitkiyi korumak ve yaprak yüzeyinin serinletilmesine katkı sağlamaktır. Yine kuraklığa kısmen dayanıklı bitkilerde daha az dayanıklı bitkilere göre stomaların kapanma hızının daha fazla olduğu bilinmektedir. Stomaların erken kapanması, toprağın kuru olmasıyla ilişkili bir tepki mekanizmasıdır ve yaprağın transpirasyon hızına bağlı olarak ideal su dengesinin kurulmasına da yardımcı olabilmektedir. Diğer bir adaptasyon mekanizması ise, bitkinin yaprak yüzeyinde bir mum tabakası oluşturması ve bunun daha kalın bir kütiküle oluşumuna yol açarak epidermisten su kaybının azaltılmasıdır. Bu durum aynı zamanda

karbondioksit alımını da azaltmaktadır, fakat fotosentezde herhangi bir değişim meydana gelmemektedir. Bunun nedeni ise, kütiküle altındaki epidermal hücrelerin fotosentetik olmayışıdır (Tursun 2008).

Hücre büyümesindeki azalma su eksikliğinin görünür etkilerinden biridir ve daha ciddi bir eksiklik meydana gelirse diğer daha az duyarlı bitkisel olaylar da sırasıyla etkilenebilmektedir (Hsiao 1973, Hsiao vd 1976). Bununla birlikte, büyümenin iki yakın bileşeni olan hücre bölünmesi ve hücre uzamasının nispi duyarlılıkları hakkında fikir ayrılıkları bulunmaktadır. Tütünde (Clough ve Milthorpe 1977) palisat hücreleri ve soya fasulyesinde (Bunce 1977) epidermal hücrelere ilişkin veriler, hücre uzamasının su eksikliğine hücre bölünmesinden daha duyarlı olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, belirli koşullar altında hücre bölünmesi ve hücre uzamasının su eksikliğine eşit miktarlarda duyarlı olduğu bilinmektedir (McCree ve Davis 1974).

Küçük miktarda su eksikliklerine karşın hücre büyümesi sonucu meydana gelen önemli olaylardan birisi de yaprak alanında belirgin bir azalmanın olmasıdır. Yaprak büyümesinin genellikle su stresine stomasal iletimden ve karbondioksit asimilasyonundan daha duyarlı olması sebebiyle bitki büyümesi, su eksikliği sonucu çok az da olsa gerileyerek stoma açılmasında ve fotosentezde bir azalmaya sebep olur (Fischer ve Hagan 1965, Boyer 1970, Hsiao ve Acevedo 1974). Yaprak alanındaki azalma, özellikle yetersiz ışıklandırma durumunda çimlenme boyunca bitki büyümesinin azalmasına sebep olur. Bu durum özellikle yaprak alanı indeksi 3'ten az olduğunda ortaya çıkar (Fischer ve Kohn 1966a, Ritchie ve Burnett 1971, Ritchie 1974). Bu nedenle su kullanım oranının azaltılmasını sağlayan bir mekanizma devreye sokulur ve daha ciddi bir stresin başlangıcı geciktirilmiş olur.

Su kullanım oranının azaltılmasına ek olarak, kök/sürgün oranındaki bir artış nedeniyle toprak suyunun girişinin artırılabilceğine dair kanıtlar bulunmaktadır (Pearson 1966, Davidson 1969, El Nadi vd 1969, Hoffman vd 1971). Stres bazı durumlarda sadece sürgün gelişimi ile ilişkili değil, gelişmiş kök büyümesi ile de ortaya çıkabilmektedir (Bennett ve Doss 1960, Hsiao ve Acevedo 1974). Bu etki karbondioksit asimilasyonunda değil, fakat sürgün gelişimini önemli miktarda azaltan su eksikliği düzeylerinde ortaya çıkma eğilimindedir. Karbondioksit asimilasyonundaki artış sürgün

gelişimini azaltarak ozmotik ayarlama ve buna ek olarak kök gelişimine olanak sağlamaktadır.

Kuraklık stresi ayrıca fizyolojik olarak yaşlı yaprakların olgunlaşma oranını hızlandırarak (Fischer ve Hagan 1965, Fischer ve Kohn 1966b, Fischer 1970, Slatyer 1973, Ludlow 1975) yaprak alanının azalmasına sebep olmaktadır. Bununla birlikte, yaprak olgunluğunun artmasının kuraklığa dayanıklı yaprak dökme çalimsı bitkilerde bir adaptasyon mekanizması olduğu düşünülmektedir (Hall vd 1979).

Bitkinin büyüme ve gelişme dönemlerinde meydana gelen morfolojik adaptasyonların bir dezavantajı, büyük ölçüde geri dönülemez olmasıdır. Özellikle belirli bitkilerde yaprak sayısının artırılmasıyla yapılan telafinin bir ölçüsü bulunmamaktadır. Bu nedenle eğer istenilen koşullara geri dönüş mümkün değilse, büyüme ve verim potansiyelinde tamamen karşılanamayacak kayıplar meydana gelmektedir (Turner ve Kramer 1980).

Yaprak alanı gelişimi tamamlandığında, strese adapte olunması için temel mekanizmalardan birisi de yaprak açısının değiştirilmesidir. Açının değiştirilmesi, enerjinin latent ısı olarak harcanması için daha az su bulunması durumunda stres bulunan yapraklardaki ışık yükünün azaltılması için etkili bir mekanizma olabilmektedir ve yaprak yönündeki bir değişim aşırı ısınmayı ve yanmayı önleyebilmektedir. Yaprak açısını veya yönünü değiştirmeden sorumlu mekanizmanın belirli özellikleri, stresin hafifletilmesinde hızlı bir şekilde gelişim gösterir ve verimin ciddi bir şekilde azalmasını engeller (Turner ve Kramer 1980).

Suyun depolanması sıklıkla kuru bölgelerdeki bitkilerde ortaya çıkmaktadır. Tüm temel bitki organlarında (örneğin yapraklar, gövde ve kökler) bir depolama fonksiyonu bulunabilmektedir (Turner ve Kramer 1980). Kuru koşullara adapte olan kökler genellikle geniş alanlara sığ olarak yayılmış, dolgun ve sulu bir yapıda olup kalın bir kabuğa sahiptir.

Kök azalmasının bir adaptasyon kriteri olduğuna dair bir kanıt bulunmamaktadır. Bununla birlikte, birçok çalimsı türün yazın yapraklarını dökme

davranışı göstermesi, Akdeniz iklimlerinin kuru yaz dönemlerine karşı oluşturduğu belirgin bir adaptasyondur (Mooney ve Dunn 1970).

Kök ve kök sistemlerinin yapraklarla karşılaştırıldığında nispeten daha az adaptasyon yapısına sahip olduğu görülmektedir. Kökler, yeryüzündeki bitki kısımlarına nazaran çevresel strese karşı koyma bakımından daha esnektirler. Yaprak adaptasyonları, su stresi bulunan bir ortamda bir türün başarısından en çok sorumlu olan oluşumdur (Turner ve Kramer 1980).

2.1.3. Su Kısıtı

Suyun toprağa girişi ya doğal yağışlarla meydana gelmekte ya da sulama ile sağlanmaktadır. Sulama, bitki tarafından gereksinim duyulan fakat doğal yağışlarla karşılanamayan suyun değişik yöntemlerle toprağa verilmesi biçiminde tanımlanmaktadır. Bitkilerin yetiştirme döneminde yağışların miktar ve dağılımının yetersiz olması, sulamanın önemini daha da artırmaktadır. Yine susuz koşullara göre sulu koşullarda bitki verimi birkaç kat artmaktadır. Örneğin, Çukurova koşullarında pamuk bitkisi ile yapılan çalışmalar, susuz koşullara göre sulu koşullarda 3-5 kat daha fazla ürün alındığını göstermiştir (Kanber 1977).

Doorenbos ve Kassam (1986)'a göre; bitki, iklim, su ve toprak arasındaki ilişki oldukça karmaşık bir yapıda olup birçok biyolojik, fizyolojik, fiziksel ve kimyasal olayları içerir. Sulama sistemlerinin planlama, projelendirme ve işletme aşamalarında uygulama açısından, suyun verim üzerindeki etkisini incelemek mümkündür. Ancak bu, oldukça karmaşık bir olaydır. Sürekli değişken bir ortamda canlılığını sürdüren bir bitkinin, sadece su ile ilişkisini belirtmek, soruna tek boyutlu bakıldığı için oldukça güçtür.

Bitkiler tarla kapasitesiyle solma noktası arasındaki toprak neminden istifade edebilmektedirler. Serbest drenaj koşullarında, yoğun sulama veya yağış sonrasında sature hale gelmiş topraktan fazla su kök bölgesi altına sızmakta ve toprak tarla kapasitesine erişmektedir. Tarla kapasitesindeki nem gerek bitki transpirasyonu ve

gerekse toprak yüzeyinden buharlaşmayla azalmakta ve solma noktasına doğru ulaşmaktadır. Solma noktasına doğru yaklaştıkça topraktaki nem azalmasından dolayı toprak tanecikleri tarafından su daha kuvvetle tutulmakta ve bitkilerin su alımı gittikçe güçleşmektedir. Tarla kapasitesi ile solma noktası arasında belirli bir eşik nem düzeyi aşıldığında bitkiler su alımında zorlanmaktadır. Bu durumda bitkiler, büyümeleri için harcamaları gerekli enerjiyi su alımı için sarf etmekte ve dolayısıyla verimde düşüşler meydana gelmektedir. Söz konusu eşik nem düzeyi bitkilerin suya duyarlılıklarına göre değişiklik göstermektedir. Verimli ve kaliteli bir yetiştiricilik için sulamalar, toprak nem düzeyi söz konusu eşik değeri altına düşmeden yapılmalıdır (Doorenbos ve Kassam 1986, Allen vd 1998).

Sulama suyu, sıcak ve kurak yaz dönemlerinde bitkisel üretimde en önemli kısıtlayıcı faktörlerden biri olmaktadır. Bitkisel üretimde yüksek verim alınması için, bitkiler için mutlak gerekli suyun en iyi şekilde kullanımının sağlanması gerekir. Bu, farklı gelişme koşullarında suyun bitki gelişimi ve verimi üzerine etkisinin yeterince anlaşılmasıyla mümkün olabilir (Doorenbos ve Kassam 1986).

Mevcut sulama suyunun kısıtlı oluşu, sulama yönteminde köklü değişimler yapılmasını veya sudan tasarruf etme yöntemlerinin uygulanmasını gerektirmektedir. Bazen, elde bulunan su kaynağı, olağan koşullarda hizmet götürülebilecek alana yeterli olmayabilir. Bu gibi durumlarda birim sudan en yüksek gelirin elde edilmesini amaçlayan kısıntılı sulama gibi bazı uygulamalara gidilmektedir. Kısıntılı sulamada olağandan daha az su uygulanarak, aynı miktardaki su ile daha fazla alanın sulamaya ve üretime açılması sağlanır.

Kısıntılı sulama düzeylerinin düşürülmesi, sulama aralıklarının artırılarak sulama sayılarının azaltılması, bazı sulamaların terk edilmesi, düşük verim düzeyine sahip alanlar sulama dışı bırakılıp suyun diğer alanlara kaydırılması gibi değişik uygulamaları içermektedir. Kısıntılı sulama yönetimine ilişkin uygulamaların belirlenmesi ve değerlendirilmesinde, su eksikliğinin bitkilerde oluşturduğu strese karşı verimde meydana gelen tepkiyi tanımlayan su-verim fonksiyonları büyük önem taşırlar.

2.1.4. Su-verim fonksiyonu modeli ve parametreleri

Bitkinin su gereksinimleri ve su kısıntısı miktarları ile maksimum ve gerçek bitki verimleri biliniyorsa, bitki verimi ve su kaynağının yeterliliği arasındaki ilişki belirlenebilir. Bitki yetiştiriciliğindeki su kısıntıları ve bunun sonucunda bitkide meydana gelen su stresinin, bitki su tüketimi ve verimi üzerinde önemli bir etkisi bulunmaktadır. Bitkide meydana gelen su stresi, maksimum evapotranspirasyon (ET_m) oranına bağlı olarak gerçek evapotranspirasyon (ET_a) oranının hesaplanmasıyla elde edilebilmektedir (Doorenbos ve Kassam 1986).

Bitkinin su gereksinimi tamamen karşılanamadığı durumlarda bitkideki su eksikliği, bitki gelişmesini ve verimi etkileyecek düzeylere kadar ulaşabilmektedir. Fakat bu durum bitki çeşidine ve bitki büyüme periyoduna bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Bitki su stresinin verim azalması üzerine etkisinin oransal evapotranspirasyon (ET_a / ET_m) yardımıyla hesaplanması için, farklı sulama düzeylerinde elde edilen gerçek (Y_a) ve maksimum verim (Y_m) değerlerine ilişkin yeterli bilginin bulunması gerekmektedir (Doorenbos ve Kassam 1986).

2.1.4.1. Maksimum verim (Y_m)

Herhangi bir bitkinin maksimum verimini, öncelikle genetik özellikleri ve çevresel koşullara adaptasyon kabiliyeti belirler. Optimum gelişme ve verim için gerekli olan toprak, su ve iklim gibi çevresel koşullar bitkiden bitkiye ve hatta bitki çeşidine göre farklılık göstermektedir. Bu nedenle yüksek verimli bir üretim için bitkinin ve çeşidinin dikkatli bir biçimde yöreye uygun olarak seçilmesi büyük bir önem arz eder (Doorenbos ve Kassam 1986).

Maksimum verim, olgunluğa erişme açısından yeterli zamanı da içeren; suyun, bitki besin maddelerinin, bitki hastalık ve zararlılarının verimi kısıtlamadığı durumlarda yetişme ortamına iyi uyum sağlamış, yüksek verimli bir bitki çeşidinden hasat edilen ürün miktarı olarak tanımlanabilir. Maksimum verim yüksek düzeyde bir bitki ve su idaresi ile gerçek tarla koşullarında elde edilmektedir (Doorenbos ve Kassam 1986).

Maksimum verimi belirleyen iklimsel faktörler; sıcaklık, radyasyon ve toplam büyüme mevsiminin uzunluğudur. Bunlara ek olarak, bitki gelişimi için gerekli olan gün uzunluğu ve bitkiden bitkiye değişen özel sıcaklık istemleri de sayılabilir. Genel olarak sıcaklık, bitki gelişme oranını ve sıklıkla da bitkinin verim oluşturabilmesi için gereken toplam büyüme mevsiminin uzunluğunu etkilemektedir. Örneğin, mısır bitkisi ortalama günlük sıcaklık 25-30°C olduğunda 100 günde; 20°C olduğunda 150 günde ve 15°C olduğunda 250 veya daha fazla günde olgunluğa erişebilmektedir (Doorenbos ve Kassam 1986).

Bazı bitkiler, büyüme ve gelişmenin başlaması için özel sıcaklık değerlerine ve gün uzunluklarına gereksinim duymaktadırlar. Örneğin, patates yumrularının oluşabilmesi için gece sıcaklığının 15°C'nin altında olması gerekmektedir; yine bazı sorgum çeşitleri çiçeklenme döneminde kısa gün uzunluğuna duyarlı olmaktadır, kışlık buğday çeşitleri ise hem soğuk bir dönem hem de uzun gün istemektedir. Buna ek olarak sıcaklık, bazı bitkilerin ürün kalitesine de etki etmektedir. Örneğin, ananasta meyvenin şeker içeriği, verim oluşumu dönemindeki sıcaklık tarafından belirlenmektedir. Ayrıca, birçok bitki ürün oluşumu, olgunluk ve hasat dönemlerinde uygun iklimsel koşullara gereksinim duymaktadırlar (Doorenbos ve Kassam 1986).

Bitki gelişimi ve verimi, büyüme sezonu boyunca yeryüzüne gelen toplam radyasyondan da etkilenmektedir. Herhangi bir miktarda radyasyon ve sıcaklığın ne kadarının verim ve büyüme için kullanılacağı bitkiden bitkiye farklılık göstermektedir. Bu farklılık, bitkisel üretim için kullanılan suyun bitkiye ne kadar fayda sağladığı açısından önemli bir etkiye sahiptir. Bu nedenle bitki seçiminde sıcaklık ve gün uzunluğuna ek olarak radyasyon gereksinimi de göz önünde bulundurulmalıdır. Örneğin, iyi gelişmiş bir mısır bitkisi yeryüzüne gelen toplam radyasyonun %1-2'sini büyüme için kullanmaktadır (Doorenbos ve Kassam 1986).

2.1.4.2. Maksimum evapotranspirasyon (ET_m)

İklim, kısıtlandırılmamış bitki gelişimi ve verimi için gerekli olan bitki su gereksiniminin belirlenmesinde en önemli etmenlerden birisidir. Bitki su gereksinimi,

evapotranspirasyon (ET) olarak adlandırılmakta ve mm/gün veya mm/dönem olarak ifade edilmektedir. Evapotranspirasyonun düzeyi, atmosferin doyma açığına göre belirlenir. Maksimum evapotranspirasyon, suyun büyüme ve gelişmeyi sınırlamadığı koşullardaki su tüketim değeridir. Maksimum evapotranspirasyon değeri, optimum agronomik ve sulama idaresi koşullarında geniş alanlarda sağlıklı olarak büyüyen bir bitkiye ilişkin maksimum su tüketimini gösterir (Doorenbos ve Kassam 1986).

Maksimum evapotranspirasyonun hesaplanmasında, sulanan alanda bulunan bir istasyondan elde edilen meteorolojik veriler kullanılır. Eğer veriler kuru, çıplak alanlar ve düz çatı üstleri gibi yerlerden elde edilmişse, sulama alanında bulunan farklı mikro-iklimleri temsil etmeyeceğinden, hesaplanan ET_m değerleri düzeltilmelidir. Orta derecede rüzgarlı kurak ve yarı kurak alanlarda ET_m , sulanan alanın dışından sağlanan verilerle hesaplanmışsa, %20-25 oranında azaltılarak düzeltilmelidir (Doorenbos ve Kassam 1986).

2.1.4.3. Gerçek evapotranspirasyon (ET_a)

Bitkilerin su gereksinimi, kök sistemi aracılığı ile topraktaki sudan karşılanır. Bitkilerin maksimum evapotranspirasyon ile ilişkili olarak topraktan alıp tükettikleri gerçek su miktarı, toprakta kullanılabilir suyun yeterli olup olmadığı veya bitkinin su eksikliği nedeniyle strese maruz kalıp kalmadığına bağlı olarak belirlenir.

Gerçek evapotranspirasyonu belirlemek için, topraktaki kullanılabilir su düzeyinin dikkate alınması gerekmektedir. Topraktaki kullanılabilir su yeterli olduğunda, gerçek evapotranspirasyon maksimum evapotranspirasyon değerine eşit olur. Bununla birlikte, kullanılabilir suyun kısıtlı olduğu durumlarda $ET_a < ET_m$ olmaktadır. Kullanılabilir (elverişli) toprak suyu, gerçek evapotranspirasyonun maksimum evapotranspirasyondan küçük olmasına neden olmaksızın, toplam kullanılabilir toprak suyunun tüketilmesine izin verilen miktarı (p) olarak tanımlanabilir. Gerçek evapotranspirasyon miktarı, sulamalar veya yağışlar arasındaki aylık dönemler için belirlenebilmektedir (Doorenbos ve Kassam 1986).

Gerçek evapotranspirasyon iki koşulda belirlenir (Doorenbos ve Kassam 1986):

a) Yeterli Toprak Suyu Koşullarında, $ET_a = ET_m$: Sulama veya sağanak bir yağıştan hemen sonra, gerçek evapotranspirasyon değeri, bitki için atmosferin buharlaşma istemi ile belirlenen maksimum evapotranspirasyona eşit olacaktır. Kullanılabilir toprak suyu tüketildiğinde, herhangi bir noktada bulunan ET_a değeri, ET_m 'den daha küçük olacaktır.

b) Sınırlı Toprak Suyu Koşullarında, $ET_a < ET_m$: Kullanılabilir suyun tüketilmesine izin verilen miktarı (p) bitinceye dek, maksimum evapotranspirasyon devam edecektir. Bu tüketim düzeyinden sonra, gerçek evapotranspirasyon bir sonraki sulama veya sağanak bir yağışa dek giderek artan ölçüde küçülmeye başlar. Gerçek evapotranspirasyon değeri veya miktarı $ET_a < ET_m$ olduğunda toprakta kalan kullanılabilir su miktarına ve ET_m 'e bağlı olmaktadır.

2.1.4.4. Gerçek verim (Y_a)

Elde mevcut bulunan su kaynağı, bitkinin su gereksinimini karşılayamadığı zaman, gerçek evapotranspirasyon maksimum evapotranspirasyonun altına düşmektedir ($ET_a < ET_m$). Bu koşullarda, bitkide su stresi ortaya çıkmakta ve buna bağlı olarak bitki gelişimi ve verim olumsuz etkilenmektedir. Su stresinin bitki gelişimi ve verimi üzerindeki etkisi bir taraftan bitki türü ve çeşidine bağlı olurken, diğer taraftan su stresinin miktarı ve ortaya çıkma zamanına da bağlı olmaktadır.

Bitkiler, su eksikliğine karşı gelişme ve verim yönünden farklılık göstermektedir. Bitkinin su gereksinimi elde bulunan su kaynağıyla tamamen karşılandığında ($ET_a = ET_m$), birim su için elde edilen toplam kuru madde ve üretilen verim miktarları (kg/m^3) bitkiden bitkiye farklılık göstermektedir.

Bitkinin su gereksinimi tam olarak karşılanamadığında ($ET_a < ET_m$), bitkilerin su eksikliğine karşı gösterdikleri tepkiler de farklı olmaktadır. Su eksikliği, bazı bitkilerde su kullanım randımanını artırırken bazılarında azaltmaktadır. Örneğin, belli bir orandaki su eksikliği toplam büyüme mevsimine dağıtıldığında, mısırdaki su kullanım

randımanı azalırken, aynı iklimsel koşullarda yetişen sorgum bitkisinde artmaktadır. Buna karşın, su kısıtlı olduğunda her iki bitkide de birim alanda verim azalması (kg/ha) görülürken, bu azalma mısırdaki daha fazla olmaktadır. Bitki büyüme mevsiminin herhangi bir döneminde meydana gelen su eksikliğine karşı bitki veriminin durumu, söz konusu gelişme döneminin su eksikliğine ne kadar duyarlı olduğuna bağlı olmaktadır. Genel olarak bitkiler, çimlenme, çiçeklenme ve verim oluşumu başlangıcı dönemlerinde, vejetatif gelişme ve büyüme döneminin sonlarına (olgunlaşma) oranla su eksikliğine daha fazla duyarlıdır (Doorenbos ve Kassam 1986).

2.1.4.5. Verim tepki faktörü (K_y)

Elde bulunan su kaynağına karşı bitki verim tepkisi, oransal verim azalışı ($1 - Y_a / Y_m$) ile oransal evapotranspirasyon eksikliği ($1 - ET_a / ET_m$) ilişkisinden yararlanılarak, verim tepki faktörü (K_y) ile ölçülmektedir. Su eksikliğinin miktarı, gerçek evapotranspirasyonun (ET_a) maksimum evapotranspirasyona (ET_m) oranı ile elde edilir. Su stresinin hesaplanabilmesi için, ampirik olarak elde edilen verim tepki faktörünün (K_y) kullanılmasıyla, oransal verim azalması ve oransal evapotranspirasyon eksikliği arasındaki bağlantının bulunması gerekmektedir (Stewart ve Hagan 1973; Doorenbos ve Kassam 1986):

$$\left(1 - \frac{Y_a}{Y_m}\right) = K_y \left(1 - \frac{ET_a}{ET_m}\right) \quad (2.1)$$

eşitlikte; Y_a ve Y_m gerçek ve maksimum verimi, K_y verim tepki faktörünü, ET_a ve ET_m gerçek ve maksimum evapotranspirasyonu ifade etmektedir.

Değişik bitkiler için K_y değerleri, çok değişik büyüme koşulları altında, sayısız araştırmada yapılan hesaplamalar sonucu elde edilmiştir. Bu ilişki, deneysel kanıtlara dayandırılarak, bitkilerin toplam yetiştirme mevsimi için yapılabileceği gibi yetiştirme mevsiminin herhangi bir dönemi (çimlenme, vejetatif gelişme, çiçeklenme, verim oluşumu veya olgunlaşma gibi) için de yapılabilmektedir. Burada evapotranspirasyon eksikliği ($1 - ET_a / ET_m$), mevsimlik veya belirli bir büyüme dönemine ilişkin olarak

ifade edildiğinde, verim etmeni olarak adlandırılan K_y değerleri bitkinin söz konusu büyüme dönemleri için tahmin edilebilmektedir (Doorenbos ve Kassam 1986).

K_y değerleri, geniş aralıklardaki büyüme koşulları göz önüne alınarak yapılan tarla denemelerinin bir analizine dayanmaktadır. Deneysel sonuçlar, yüksek verimli, yetiştiği çevreye iyi uyum sağlamış ve iyi düzeyde bir bitkisel üretim yönetimi altında yetiştirilmiş bitki çeşitlerini temsil etmek için kullanılmaktadır. Tarla denemelerinin değerlendirilmesi; araştırma yetersizlikleri, iklimsel farklılıklar, evapotranspirasyon düzeyi ve toprak çeşitliliğinden dolayı K_y değerlerinde bazı değişimlerin olabileceğini göstermektedir. Fakat K_y değerlerinde bu etmenlerden dolayı meydana gelen dağılım, sonuçların doğruluk derecelerini azaltmamaktadır. Denemeler sonucu elde edilen K_y değerleri, toplam mevsimlik su tüketiminden belli oranda bir kısıntı yapıldığında, verimde beklenen olası azalmanın tahmin edilmesinde kullanılmaktadır. Bununla birlikte, bitki yetiştirme mevsiminin herhangi bir döneminde yapılacak bir su kısıntısının üründe ne kadar azalma meydana getireceği de hesaplanabilmektedir (Doorenbos ve Kassam 1986).

2.1.5. Kuraklığın tıbbi ve aromatik bitkilere etkisi

Kuraklığa dayanıklılık, kuraklık koşulları altında bitkinin gelişebilme yeteneğine sahip olması ve tatminkâr olarak ürün vermesi anlamına gelmektedir. Kuraklığa uyum sağlama ise, bitkinin kuraklığı daha iyi tolere edebilmesi için yapısını ve fonksiyonlarını yavaş yavaş değiştirebilme yeteneğine sahip olma durumunu ifade eder (Turner 1986). Tıbbi ve aromatik bitkilerin verimlerinin artırılması için temel strateji, kuraklığa nispeten dayanıklı ve kuru koşullarda üstün verimler ile sonuçlanan üretim bileşenleri uygulamalarının tanımlanması olmaktadır (Popp vd 2002). Bu nedenle, su stresinin etkisinin kuru koşullar altında yetiştirilen tıbbi ve aromatik bitkilerde tanımlanması gerekmektedir.

Tıbbi ve aromatik bitkilerin büyüme ve gelişmesinde kuraklık stresinin etkileri üzerine çok az çalışma bulunmaktadır. Sonuçlar, vejetatif dönem (çiçeklenme döneminden önce) boyunca su eksikliğinin nane (Abbaszadeh vd 2008), kandil çiçeği

(Sharifi Ashoorabadi vd 2007) ve hindiba bitkisinde (Taheri vd 2008) daha kısa bitki boyuna ve daha küçük yaprak alanına, nergiste (Rahmani vd 2008) bitki boyunda azalmaya bağlı olarak su kullanımının azalmasına ve melisada (Aliabadi vd 2009a) vejetatif kuru maddenin azalmasına neden olduğunu göstermiştir. Kuraklık stresi tıbbi ve aromatik bitkilerin verimini üç temel mekanizma vasıtasıyla azaltmaktadır. İlk olarak, yaprak alanının artmasının kuraklığa bağlı olarak kısıtlanması, geçici yaprak solgunluğu veya ciddi stres dönemleri boyunca kıvrılma veya erken yaprak olgunlaşması ile tüm yaprak absorpsiyonunun, fotosentetik aktif radyasyon durumunda azalabilmesidir. İkinci olarak, yeni kuru maddenin oluşturulması için bitki tarafından kullanılan absorbe edilmiş fotosentetik aktif radyasyonun etkinliğinin kuraklık stresi ile azalmasıdır. Bu durum, belirli bir zaman periyodunda her birim absorbe edilen fotosentetik aktif radyasyon için bitkide biriken kuru madde miktarındaki bir azalma veya her birim absorbe edilen fotosentetik aktif radyasyon için anlık tüm yaprak net CO₂ değişim oranında bir azalma olarak saptanabilmektedir. Üçüncü olarak, kuraklık stresi tıbbi ve aromatik bitkilerin tane verimini hasat indeksini düşürmek vasıtasıyla kısıtlayabilmektedir. Bu durum, eğer stresin kısa bir dönemi çiçeklenme boyunca kritik gelişme dönemi ile çakışırsa, toplam tıbbi ve aromatik bitki kuru madde birikiminde güçlü bir azalma meydana getirebilir (Earl ve Davis 2003). Üretken periyot boyunca su eksikliği, tohum oluşumu ve polen dağılımı arasındaki süreyi azaltır ve tane dolumu periyodunu kısaltır. Ayrıca farklı tıbbi ve aromatik bitki verim bileşenlerine su eksikliğinin etkisi üzerine çok geniş miktarda literatür bilgisi bulunmaktadır (Barnabas vd 2007). Sayısız çalışmada tane veriminin, kışniş (Aliabadi vd 2008), Meksika çuhası (Mohamed vd 2002) ve asmanın (Scalabrelli vd 2007) meyve tutumu periyodu boyunca su eksikliğine maruz kalması sonucu aşırı bir şekilde azaldığı gösterilmiştir. Tane verimindeki bu azalma, azalan tane sayısına, tane ağırlığına veya her ikisine de bağlı olmaktadır. Sonuç olarak kuraklık stresi, vejetatif gelişme periyodunu ve çiçeklenme dönemine geçiş süresini azaltmaktadır. Bu nedenle, kurak koşullar altında tıbbi ve aromatik bitkilerin kantitatif karakteristikleri şiddetli bir şekilde azalmaktadır (Aliabadi vd 2009b).

Bitkilerin ikincil ürünleri çevresel faktörler tarafından değiştirilebilmektedir ve su eksikliğinin bitki fizyolojisi ve biyokimyasını birçok yönden etkileyen temel bir faktör olduğu düşünölmektedir (Charles vd 1994). Aromatik bitkilerin yetiştirilmesi

durumunda kuraklığın bazı metabolit verimleri ve bileşimlerinde önemli değişimlere sebep olabileceği bilinmektedir (Petropoulos vd 2008). Hücre zarları, kuraklık tarafından tetiklenen bozulma süreçlerinin esas hedefidir. Kuraklığın bitki morfolojisi üzerine depresif etkisini gösteren bir çalışmada, adaçayı bitkisi (*Salvia officinalis* L.) orta ve yüksek düzeyde su eksikliği uygulamalarına tabi tutulmuştur (Bettaieb vd 2009). Ciddi su eksikliğine maruz kalan bitkiler, kontrol konularına göre daha ince bir gövdeye ve daha az, kuru ve küçük yapraklara sahiptir. Diğer yandan sonuçlar, su uygulamalarının bitki boyunu önemli bir şekilde azalttığını ve bu etkinin kuraklığın ciddiyetine göre daha belirgin hale geldiğini göstermektedir. Su kısıntısı, adaçayının yeşil aksamının gelişimini, su potansiyelini ve biyokütlesini azaltmıştır.

Uçucu yağlar, bazı bitkilerden elde edilen uçucu aroma bileşenleri içeren konsantre ve hidrofobik sıvılardır. Bitkide daha çok metabolit üretilip, substanslar hücrelerde oksitlenmeyi önlediğinden kuraklık stresi çoğu tıbbi ve aromatik bitkinin uçucu yağ yüzdesini artırmakta buna karşın uçucu yağ içeriğini düşürmektedir. Çünkü uçucu yağ yüzdesi ve sürgün verimi arasındaki etkileşim, uçucu yağ içeriğinin iki bileşeni olarak dikkate alınır. Genel olarak strese karşı konulmasıyla uçucu yağ yüzdesi artar ve sürgün verimi azalır, buna bağlı olarak da uçucu yağ içeriği düşer (Aliabadi vd 2009a). Köklerin yağ verimi düşük olmakta ve su eksikliği stresinin kök yağ bileşimine çok az bir etkisi bulunmaktadır. Rahmani vd (2006), kuraklık stresinin nergisin yağ verimi ve yüzdesine önemli bir etkisi olduğunu göstermiştir. Bu çalışmanın sonuçları, en yüksek yağ veriminin kurak olmayan koşullarda ve en yüksek yağ yüzdesinin kuraklık koşullarında elde edildiğini göstermiştir. Singh-Sangwan vd (2006), uçucu yağ düzeylerinin kuraklık koşullarında aynen korunduğuna veya arttığına dikkat çekmişlerdir. İki tür limon otunda (*Cymbopogon nardus* ve *C. pendulus*) temel yağ bileşenleri olan geraniol ve citral oldukça fazla bir artış göstermiştir. Geraniol dehidrogenazın aktivitesi de su stresi koşullarında yavaşlamıştır. Hindiba ile yapılan bir çalışmada sulama ile verilecek su, pan buharlaşma kabından buharlaşan su miktarına göre belirlenmiştir. Bu çalışmada, kuraklık stresıyla hindibanın kempferol içeriği gibi bileşenlerinin ve uçucu yağ yüzdesinin ve kurak olmayan uygulamalarda da bitkilerin uçucu yağ veriminin oldukça arttığı görülmüştür (Taheri vd 2008). Ayrıca su stresinin kişnişin çiçek sürgünü verimine, çiçek sürgünlerinin uçucu yağ verimine ve çiçek sürgünlerinin uçucu yağ yüzdesine önemli bir etkisi bulunmaktadır: Çiçek sürgünü yağ

yüzdesi hariç en yüksek değerlere stresin olmadığı koşullarda ulaşılmıştır (Aliabadi vd 2008). Adaçayında (*Salvia officinalis* L.) yapılan bir çalışmada hem orta derecede hem de ciddi derecede kuraklık stresi koşullarında uçucu yağ veriminin arttığı görülmüştür (Bettaieb vd 2009). Benzer bir sonuç, daha önce benzer koşullarda yetiştirilen diğer bitki türlerinde de rapor edilmiştir. Maydanoz (*Petroselinum crispum*) (Petrooulos vd 2008), Meksika kekiği (*Lippia berlandieri* Schauert) (Dunford ve Vazquez 2005) ve sater otu (*Satureja hortensis* L.) (Baher vd 2002) bunlara birer örnek teşkil etmektedir. Buna karşılık, su eksikliği biberiye (*Rosmarinus officinalis* L.) ve anason (*Pimpinella anisum* L.)'un yağ verimini azaltmıştır (Singh ve Ramesh 2000, Zehtab-Salmasi vd 2001). Sonuç olarak, kuraklık stresi birçok tıbbi ve aromatik bitkinin uçucu yağ içeriğini azaltırken, uçucu yağ yüzdesini artırmaktadır (Aliabadi vd 2009b).

Genel olarak kısıtlı toprak suyu yarayışlılığı tıbbi ve aromatik bitkilerin gelişimini diğer tüm çevresel faktörlerin birleşiminden daha fazla azaltmaktadır. Kurak ve yarı kurak bölgelerde sulama için gerekli su kaynakları tüketildiğinden, ticari yetiştiriciler için daha etkili sulama yönetimi uygulamaları gerekmektedir. Tıbbi ve aromatik bitkilerin toprak nemi eksikliği koşullarında üretimi, verimin artırılması için yeni bitki çeşitlerinin geliştirilmesi en iyi seçenek olmaktadır. Yaprak su potansiyeli, bitki su stresi tepkisinin nitelendirilmesi için güvenli bir parametre olarak dikkate alınmaktadır. Sinclair ve Ludlow (1985), yaprak nispi su içeriğinin, su potansiyelinden daha iyi bir su durumu göstergesi olabileceğini ifade etmişlerdir. Kuraklık stresi tıbbi ve aromatik bitkilerin biyolojik verimlerini şiddetli bir şekilde azaltmakta fakat su kullanım randımanını artırmaktadır, çünkü bitkiler topraktaki kullanılabilir suyu en uygun biçimde kullanmaktadır. Ayrıca, bitkiler stomalarını tamamen veya kısmen kapatarak ve yaprak alanlarını, bitki boyunu ve lateral sap sayılarını azaltarak evapotranspirasyonu azaltabilmektedirler. Bu nedenle, genel olarak tıbbi ve aromatik bitkilerin su kullanım randımanı kuraklık koşullarında artmaktadır (Aliabadi vd 2009b).

2.2. Bitkilerde Tuzluluk Stresi

2.2.1. Toprakta tuzluluğun oluşumu

Tuzluluk problemine neden olan ve suda çözünerek su ile taşınabilen en önemli tuzlar, Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{-2} , HCO_3^- , ve CO_3^{-2} 'dur. Bunlar yer kabuğunda bulunan en önemli 15 element içerisinde bulunmaktadır (Chhabra 1996). Tuzluluk, özellikle kurak ve yarı kurak iklim bölgelerinde yıkanarak yer altı suyuna karışan çözünebilir tuzların toprak yüzeyine çıkması ve buharlaşma sonucu suyun topraktan ayrılmasıyla tuzun toprak yüzeyinde veya yüzeye yakın bölümünde birikmesi olayıdır (Ergene 1982, Kwiatowsky 1998, Kara 2002). Kültür bitkilerinin normal büyüme ve gelişmelerini engelleyecek düzeyde eriyebilir tuz bulunduran topraklar tuzlu topraklar olarak nitelendirilir. Genellikle bu toprakların saturasyon çamuru elektriksel iletkenlik değeri 4 dS/m'den daha fazla, değişebilir sodyum yüzdesi 15'ten ve pH değeri de daima 8.5'ten daha düşüktür. (Ayyıldız 1976).

Tuzlulukla ilgili çalışmalarda temel düşünce, tuzluluğun tüm canlı yaşamına olan etkisinin anlaşılmasını sağlamak ve yaşamın hangi ölçü içinde tuzluluktan etkilenmediğini ortaya koymaktır. Günümüzde en yeni ve çağdaş toprak, bitki, su ve çiftlik işletmeciliği tekniğine rağmen tuzluluk nedeniyle tarım dışı kalmış alanlar oldukça yaygındır. Türkiye'de yaklaşık 1.5 milyon hektarda tuzluluk ve alkalilik sorunu bulunmakta olup bu değer sulamaya uygun arazilerin yaklaşık %32.5'ine denk gelmektedir. Toprakların tuzlulaşmasını ve alkalileşmesini sulama, drenaj toprak özellikleri ve iklim faktörleri gibi etmenler önemli ölçüde etkilemektedir. FAO'nun tahminlerine göre, sulanan alanların yaklaşık yarısı tuzluluk, alkalilik ve yüksek tabansuyu tehdidi altındadır (Kanber vd 2005). Tuzluluk nedeniyle bitkisel üretimin ya da verimin düşmesinde temel neden bitkilerin, tuz düzeyi sürekli artan çevreye uyum gösterememeleridir (Kanber vd 1992).

Tuzlar sadece çoğu bitkinin tarımsal üretimini etkilemekle kalmaz, aynı zamanda toprağın fizikokimyasal özelliklerine de etki etmek suretiyle bölgedeki

ekolojik dengenin de olumsuz etkilenmesine neden olur. Tuzların bazı zararlı etkileri (Chhabra 1996):

- a) Düşük tarımsal üretim;
- b) Toprağın dağılabilirliğinin yüksek olması ve kayma gerilimindeki düşüşe bağlı olarak su ve rüzgar ile meydana gelen toprak erozyonunda artış;
- c) Toprağın geçirgenliğinin azalması sonucu fazla miktarda yüzey akışının meydana gelmesine bağlı olarak sel baskınlarındaki artış;
- d) Bitki örtüsünün mezofitlerden halofitlere ve ağaçlardan çalılara değişmesi sonucu ekolojik dengesizlikler;
- e) Sucul yaşam formlarının tatlı sulardan az tuzlu sulara dönüşmesi;
- f) Elementlerin toksik etkileri ve sıtma ve diğer hastalıkların salgın hale gelmesine bağlı olarak sağlık risklerinin artması;
- g) Verim ve kalite azalması nedeniyle ekonomik geri dönüşteki azalma;
- h) Tuzların aşındırıcı etkisi nedeniyle binaların, yolların, barajların, kuyuların ve çiftlik makinelerinin bakım masraflarının artması ve kullanım ömürlerinin azalması.

Tuzluluk kurak ve yarı kurak iklim bölgelerinde tipiktir ve oluşumunda iklimin yanında topografyanın da etkisi büyüktür. Yağışlar ve aşırı sulama sebebiyle derine sızan sular gerek sızma esnasında ve gerekse yer altı suyu akışı sırasında toprak ve kayalarda bulunan eriyebilir tuzları eritirler. Sular yerçekiminin etkisiyle tabana doğru hareket eder. Geçirimsiz tabakaya ulaşınca akış durur ve birikme başlar. Bu birikme bazen toprak yüzeyine kadar ulaşabilir. Toprak yapısına göre değişmekle beraber, tuzluluğun meydana gelebilmesi için kritik taban suyu derinliği yaklaşık 2 metre civarındadır (Henry vd 1987). Bu düzeydeki taban suyu, su tablası seviyesinden itibaren doymamış akış sistemine göre hareket eder. Su molekülleri adezyon kuvvetinin etkisiyle yukarı ve yana doğru çok nemli kısımdan az nemli bölgelere doğru ilerler. Bu hareket sırasında toprakta bulunan mevcut eriyebilir tuzlar çözünerek su molekülleriyle beraber taşınır. Su zerrecikleri yüzeye ulaşınca bünyelerindeki tuzları toprak yüzeyine bırakarak buharlaşırlar. Bu buharlaşma işlemi kurak bölgelerde toprak yüzeyinin daha aşağılarından başlar (Anonim 2000). Tuzluluğun oluşma mekanizması Şekil 2.1’de gösterilmiştir.

Tuz konsantrasyonu, bitkilerin suyu alarak tuzu geride bırakması sonucu toprak suyunun hacminin büyük oranda düşmesi nedeniyle derinliğe bağlı olarak artmaktadır. Her bir sonraki sulamada, tuzlar kök bölgesinde daha derine yıkanır ve burada yıkama yapılına kadar birikmeye devam ederler. Sulamayı takiben, en yararışlı su üst kök bölgesinde yani az tuzlu bölgede bulunur. Bitki suyu kullandığında, üst kök bölgesindeki su tükenir ve iki sulama arasındaki zaman uzatılırsa yararışlı su seviyesi daha da aşağı kısımlara doğru kayar. Bu bölgelerde tuz konsantrasyonu genellikle daha fazladır. İyi bir bitki yetiştiriciliğinde, daha fazla toprak suyunun devamlı olarak kök bölgesinde bulunmasına ve tuz konsantrasyonunun bitkinin tolere edebileceği düzeyleri altında tutulması için biriken tuzların periyodik olarak yıkanmasına önem verilmelidir. Bu nedenle sulama zamanlaması bitkinin alması gereken suyu kök bölgesinin daha az yararışlı derin kısımlarından, yüksek tuz içeren toprak suyundan alması sonucu oluşacak sorunları azaltmak açısından oldukça önemlidir (Ayers ve Westcot 1985).

Şekil 2.1. Tuzluluğun meydana geliş mekanizması (Ergene 1982, Kwiatowsky 1998, Terry 1997, Woods, 1996)

Sulu tarımda, tuzluluk problemi genellikle bitki kök bölgesine taşınan tuzların önemli bir kaynağı olan sığ su tablasıyla ilişkilidir. Mevcut sığ su tablasının ve dolayısıyla tuzluluk kontrolü için başarılı ve uzun vadeli drenaj ve sulama yönetimi gerekmektedir. Yüksek tuzlu su, yıkama için fazla su kullanımına neden olmakta, bu da ortaya potansiyel bir su tablası yani drenaj sorunu ortaya çıkarmaktadır. Eğer drenaj yeterli ise, bitkiye ihtiyaç duyduğu suya ek olarak yeteri miktarda yıkama suyu uygulanarak tuzluluk kontrolü sağlanabilir.

Tuzlu topraklarda su, ozmotik olarak kuvvetli bir şekilde tutulduğundan, bu durum fizyolojik kuraklığa neden olmaktadır. Fizyolojik kuraklık durumunda, topraktaki su miktarı bitki için yeterli düzeyde olsa bile, ozmotik olarak toprak çözeltisine kuvvetle bağlanan su bitki tarafından alınamamaktadır (Jacoby 1994).

Bitkilerin topraktan suyu alabilmesi aşağıdaki eşitlik ile ilgilidir:

$$\Phi = \tau + \pi \quad (2.2)$$

eşitlikte; Φ toplam toprak suyu potansiyeli (toprağın suyu tutma gücü), τ matrik potansiyeli (toprak tanelerinin suyu fiziksel olarak tutma gücü) ve π ozmotik potansiyeli (toprak çözeltisindeki tuzların oluşturduğu basınç) ifade etmektedir.

Evapotranspirasyon nedeniyle toprak neminin azalmasıyla, toprak tanecikleri etrafındaki su tabakasının kalınlığı azalır ve su toprak taneleri tarafından daha fazla bir kuvvetle (matrik potansiyelle) tutulur. Yine suyun evaporasyon ve/veya transpirasyonla saf veya safa yakın olarak toprak suyundan tüketilmesi nedeniyle toprak çözeltisinin tuz konsantrasyonu ve dolayısıyla ozmotik potansiyeli de hızla artar. Toprak neminin azalmasıyla hem matrik hem de ozmotik potansiyel artacağından bu iki faktörün birlikte etkileri, mevcut toprak neminin bitkilere elverişliliği yönünden oldukça kritik durumlar ortaya çıkartabilir (Ayyıldız 1976).

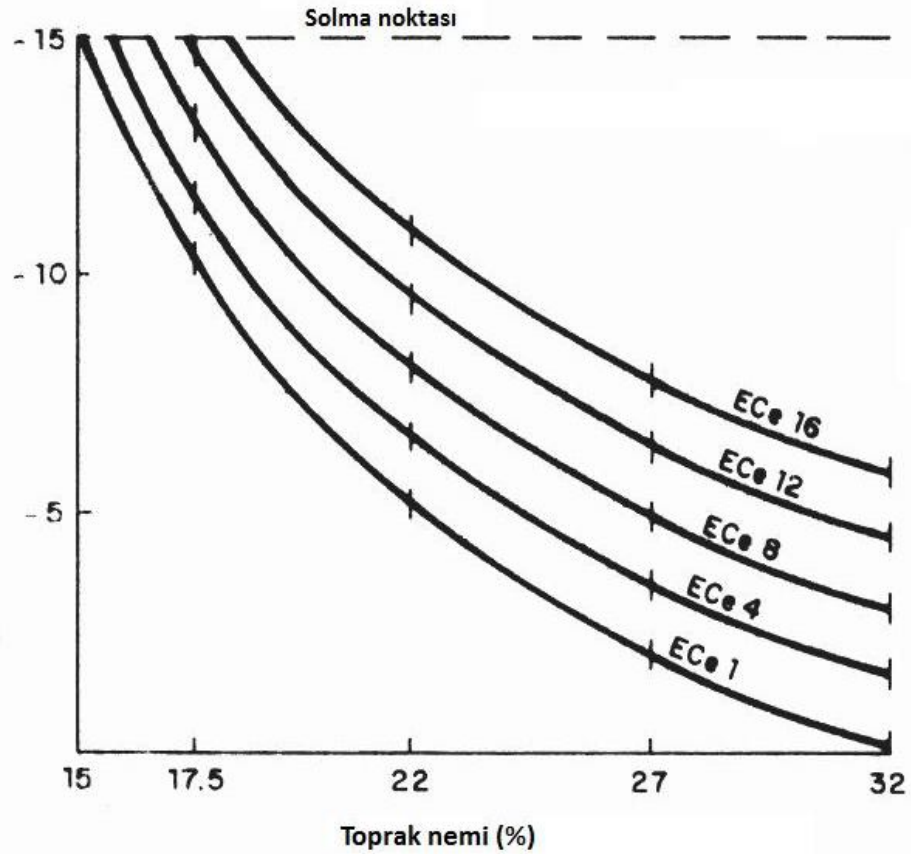
Eğer planlı bir şekilde daha çok sulama suyunun toprağa infiltrasyonu sağlanırsa, bir önceki sulamada birikmiş bir kısım tuzlar kök bölgesinin aşağısına yıkanabilir. Yıkama, su kalitesine bağlı tuzluluk sorunlarının kontrolünde anahtar görevindedir. Yıkama ile tuz taşınımı, tuzun zarar verici konsantrasyonlara ulaşip

birikmesini önlemek için, uygulanan sudaki tuz ilavesine eşit veya daha fazla olmalıdır. Gerekli yıkama miktarı, sulama suyu kalitesi ve bitkinin tuz toleransına bağlı olarak değişebilir (Ayers ve Westcot 1985).

2.2.2. Tuzluluğun bitkilere etkileri ve tuzluluk stresi

Sulamalarda amaç bitkiye yeterli miktarda ve zamanında su sağlamak olmalıdır. Böylece bitkinin su eksikliğine duyarlı olduğu büyüme dönemleri boyunca, uzayan su stresi periyodu sonucu ortaya çıkabilecek olası bir verim kaybı önlenmiş olur. Tekrarlanan sulamalar boyunca, sulama suyundaki tuzlar toprakta birikerek suyun bitkiye yarıyışlılığını azaltabilir ve su eksikliğinin başlangıcını hızlandırabilir. Bunun nasıl meydana geldiğinin bilinmesi, gerekli önlemlerin alınarak etkilere karşı konulmasına ve verimde olası bir kaybın azaltılmasına yardımcı olacaktır.

Bitkiler, suyun toprakta tutulduğu güçten daha fazla emici bir güç sarf ederek suyu alırlar. Eğer bitki yeterli içsel ayarlamayı yapamaz ve yeterli bir güç sarf edemezse, su ihtiyacını karşılayamaz ve su stresi çekmeye başlar. Bu olay özellikle toprağın çok kuru olduğu durumlarda meydana gelir. Toprak suyundaki tuzlar, bitkinin suyu almak için harcaması gereken enerji miktarını daha da artırır ve bu ek güç, ozmotik etki veya ozmotik potansiyel olarak adlandırılır. Aynı su içeriğine ve bünyeye sahip fakat bir tanesi diğerine göre daha yüksek tuz konsantrasyonuna sahip iki toprakta, bitki tuzlu toprağa göre tuzsuz topraktan daha fazla su alacak ve kullanabilecektir. Bitki tuzsuz toprak suyu solüsyonuna göre tuzlu toprak suyundan alacağı bir birim su için daha fazla enerji harcar. Değişik tuzluluk düzeylerinde bir toprağın tutabileceği nem miktarları Şekil 2.2’de gösterilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi tuzluluk arttıkça bitki için kullanışlı su miktarı azalmaktadır.



Şekil 2.2. Toprak tuzluluğunun (EC_e) çeşitli derecelerinde killi tınlı toprak için toprağın nem tutma eğrileri (Ayers ve Westcot 1985)

Topraktaki tuzların konsantrasyonları yıkama oranı ve kök bölgesi derinliğine göre değişebilmektedir. Yıkama oranının azalması veya kök bölgesi derinliğinin artmasıyla topraktaki tuz konsantrasyonu artmaktadır. Her sulamayı takiben, kök bölgesinde her derinlikteki toprak suyu içeriği maksimuma ve çözülmüş tuzların konsantrasyonları minimuma yakındır. Suyun tüketilmesi ile birlikte kullanılabilirliği de azalmaktadır, çünkü toprakta azalan nem koşulunda suyun tutulma gücü artmaktadır. Suyun bitkiler tarafından alınması ile tuzun büyük kısmı kök bölgesinde bırakılmakta ve biriktirilmektedir. Bu nedenle, toprak kök bölgesi içerisinde sulamalar arasında kalan dönemde nem miktarı azalırken tuzluluk artmakta bunun bir sonucu olarak da bitki sürekli olarak değişen toprak nem potansiyeli etkisinde kalmaktadır.

Bitkiler ihtiyaç duyduğu suyu, kök derinliği boyunca en az emici güç harcayarak alabileceği bölgeden karşılar. Genellikle bu bölge sulama ve yağış ile sıklıkla yenilenen üst kök bölgesidir. Bu bölge daha fazla suyun infiltre olması nedeniyle daha fazla

yıkamaya maruz kalmakta dolayısıyla ozmotik veya tuzluluk etkileri aşağı derinliklere göre daha düşük olmaktadır. Kök gelişmesinin üst kök bölgesinde daha yoğun olmasından dolayı iki sulama arasında, bu bölge alt kök bölgelere göre daha çabuk kurur. Üst kök bölgesindeki kullanılabilir su tüketildiğinde, bitki su ihtiyacını daha aşağı derinliklerden karşılamak zorundadır. Bu durumda hem aşağıdaki toprak nemi hem de üst bölgede kalan toprak nemi yüksek bir tuzluluğu ve ozmotik potansiyele sahiptir.

Bitki kök bölgesindeki toprak suyunu, bir su alım desenine göre kullanır. Normal sulama koşulları altında meydana gelen ve sulama sıklığı ile yakından ilişkili olan tipik su alım deseni seyrek sulamalarda 40-30-20-10, sık sulamalarda ise 60-30-7-3 olabilmektedir. Sıklık ne olursa olsun, yeterli suyun sağlanması için sulama uygulamaları planlanmalı ve sulamalar arasında, özellikle toprak tuzluluğu da su yarıyışlılığını etkiliyorsa, bitki nem stresi önlenmelidir (Ayers ve Westcot 1985).

Üst kök bölgesinde yeterli su bulunduğunda, alt kök bölgesindeki tuzluluk bitki için daha az öneme sahiptir. İki sulama arasının uzun tutulduğu durumlarda bitki alacağı suyun önemli bir kısmını daha alt derinliklerden almak zorunda bırakılırsa, daha derin kök bölgesindeki tuzluluk bitki için özellikle önemli hale gelir. İki sulama arasında toprak neminin azalması periyodunun son devrelerinde, sıcak ve rüzgarlı bir günde bitkinin su gereksinimi ciddi derecede artabilir. Bu durumda, absorpsiyon ve suyun köklere doğru hareketi bitkiyi besleyecek kadar hızlı olmamakta ve bitkide ciddi su stresi sorunları ortaya çıkabilmektedir (Ayers ve Westcot 1985). Yüksek tuzluluğun bulunduğu ekstrem koşullarda, dış ozmotik potansiyel hücre su potansiyelinin altına kadar indirgenebilir. Bu durum bitkinin kökler vasıtasıyla su kaybetmesine ve ozmotik kurumaya (plazmolizis) neden olur (Hillel 2000).

Uygulanacak bazı tarım şekilleri, değişik gelişme dönemlerindeki bitkilerin verimliliklerine etki edebilmektedir. Örneğin bitkiler zayıf olarak çimlenme ve ilk gelişme devresi geçirdiklerinde daha sonraki vejetatif gelişmelerini iyi sürdüremeyip, verimlerinde azalma oluşturabilmektedirler. Bu nedenle özellikle ilk gelişme dönemlerinde uygulanacak bazı kısa dönem kültürel önlemlerle bu olumsuz etki azaltılabilir. Bunlar (Emekçi vd 2005);

- a) Daha iyi bir su dağılımı için arazi tesviyesi,
- b) Stresi önlemek amacıyla sulama zamanının düzenlenmesi,
- c) Tohum ekiminin tuzluluk etkisinin olabileceği karık sırtına yapılmaması,
- d) Gübre çeşitlerinin, miktarlarının ve zamanlarının seçimine dikkat edilmesi.

Sulamanın olduğu her yerde toprağa tuz iletimi de söz konusudur. Sulama suları ile toprağa iletilen tuzlar, toprak çözeltisi içerisinde birikerek üzerinde yetiştirilen bitkileri farklı biçimlerde etkilerler. Bu tuzlar toprak fiziksel özelliklerini etkileyebileceği gibi doğrudan bitki üzerine toksik (zehir) etki de yapabilirler (Kara ve Apan 2000). Bitki yetiştirme ortamındaki fazla tuz bitkinin gelişmesini önemli ölçüde sınırlandırabilir. Tuzlar bitki büyümesine üç şekilde etki ederler (Emekçi vd 2005);

- 1) Fiziksel etki; ozmotik basıncın yükselmesi sonucu bitkinin su alımı ve dolayısıyla beslenmesi yavaşlar veya tamamıyla durur. Bitki su alımında güçlük çeker. Buna ozmotik basınç etkisi de denir.
- 2) Kimyasal etki; bir kısım tuzlar, bitki besin maddelerinin alımını zorlaştırıp, metabolizmayı bozarak bitkinin bünyesine zarar verirler. Buna özel iyonların toksisitesi de denir.
- 3) Dolaylı etkiler; tuzluluk veya sodyumluluğun toprak üzerinde meydana getirdiği değişiklikler, bitkinin gelişmesine de etki eder. Örneğin su alımının sağlanması için metabolik enerjinin kullanılması ve verimde düşme meydana gelmesi gibi.

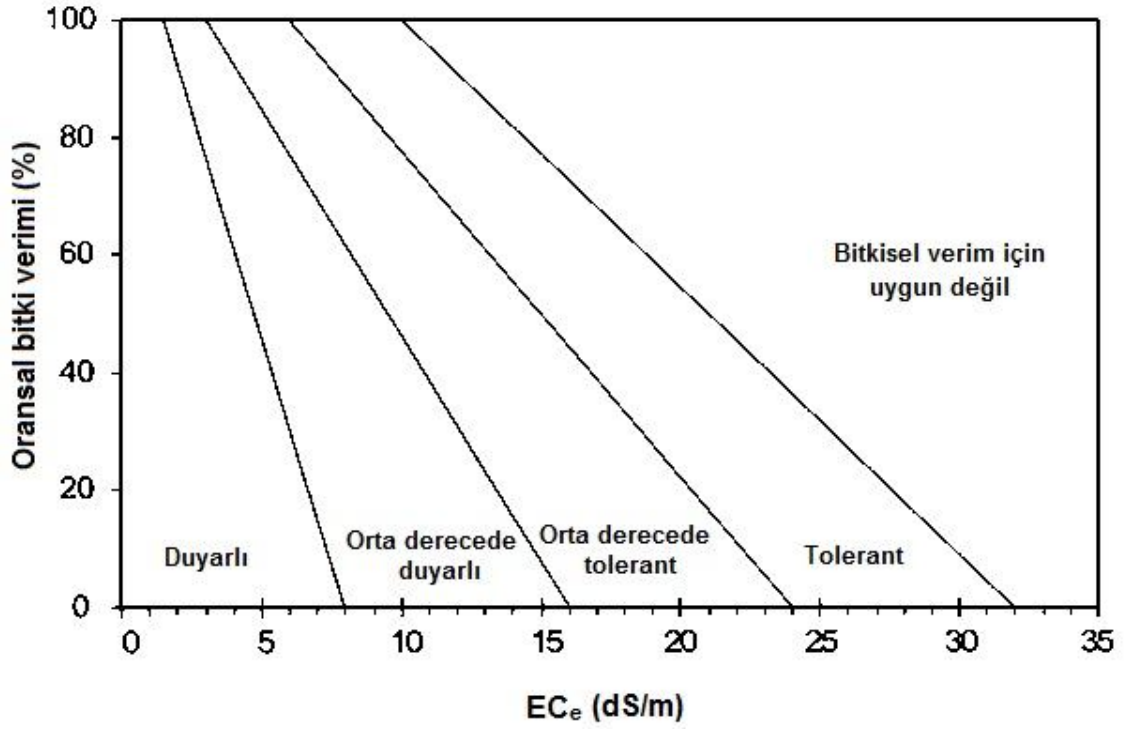
Stres koşulları, bitkilerin tam bir potansiyelle büyüme, gelişme ve üreme gibi olayları gerçekleştirmelerini önlemektedir. Gerçekte, stresin varlığı veya yokluğu arasında kesin ayırt edici bir çizgi yoktur. Bitkinin artan tuzluluğa tepkisi devamlı olup, görünür olmayan stresten şiddetli strese kadar değişiklik gösterir. Bu nedenle, tuza toleranslı ve tuza duyarlı bitkiler arasında kesin bir ayırım bulunmamaktadır. Bilinen bir türün çeşitlerinin ve genotiplerinin bile tuzun değişik seviyelerine karşı oluşturdıkları tepkiler önemli derecede farklılık gösterebilir. Tuzlu koşullar altında büyümeye adapte olmuş bitkilere halofit bitkiler diğerlerine ise glikofit bitkiler denir. Çoğu bitki ikinci kategoridedir, duyarlılıklarının derecelerine göre bunlar yine kendi aralarında da çeşitlilik gösterirler (Hillel 2000).

Halofitler ve glikofitler arasındaki anatomik ve fizyolojik farklılıklar, onların tuza toleranslılıklarındaki çeşitliliği yansıtır. Geçmişte ve günümüzde genetikçiler bitkilere tuza dayanıklılık özellikleri eklemek için değişik araştırmalar yapmışlar ve yapmaya devam etmektedirler. Fakat her nasılsa tuzluluğa toleranslılık açısından bitki yetiştiriciliğinde önemli buluşlar yapılamamıştır.

Kök bölgesi etrafında bulunan çözeltideki tuz konsantrasyonu, suyun çözeltideki enerji potansiyelini zayıflatmakta, bu da bitkinin ihtiyaç duyduğu suyu alabilmesi için büyük bir enerji sarf etmesine neden olmaktadır. Bitki bunu hücrelerinin iç solüsyonunu yoğunlaştırarak iki değişik mekanizma ile yapar ki bunlar tuzun ortamdan absorpsiyonu veya organik çözeltilerin sentezidir. Ozmotik ayarlama denilen bu işlem suyu almak amacıyla bitkinin kendi su potansiyelini dış solüsyonun altına düşürmesiyle meydana gelir ve fotosentezin ek metabolik enerjisinin kullanımını gerektir (Hillel 2000).

Yüksek tuzluluğa toleranslı bitkiler veya halofitler, ortamdan tuzu emme eğilimi gösterirler ve tuzu vakuollerinde ayırırlar. Bu sırada sitoplazmada organik olarak uygun çözeltiler ozmotik ayarlama fonksiyonunu meydana getirirler. Çoğu bitki tuzluluğa duyarlıdır, bunlar sodyum ve kloru sürgünlerinden ve özellikle yapraklarından dışarı çıkarma eğilimindedirler. Bu nedenle bu bitkiler halofitlere göre organik ozmolitlerin sentezine daha çok güvenmektedirler (Hillel 2000).

Bir bitkinin tuza duyarlılığı, kök büyüme ortamında bulunan aşırı tuzların etkilerine dayanma kapasitesi olarak tanımlanır. Bu durum birbiriyle bağlantılı çok çeşitli faktörlere ve koşullara bağlıdır. Bunlar, iklim (sıcaklık ve potansiyel evaporasyon), toprak verimliliği (bitki besin maddelerinin kullanılabilirliği) ve toprağın fiziksel koşulları (gözeneklilik, havalanma ve su düzeyi) olarak belirtilebilir. Bitki duyarlılığı aynı zamanda bitki gelişmesinin fizyolojik devrelerine göre de çeşitlilik gösterir (Hillel 2000). Bir bitkinin tuzluluğa dayanıklılık kapasitesinin tam anlamıyla saptanamamasına rağmen çeşitli bitkilerin nispi tepkileri belirli koşullar altında karşılaştırılabilir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Bitkilerin tuzluluk toleransı sınıflandırması (Maas 1990)

Ölçüt olarak, toprağın ortalama mevsimsel tuzluluğunu dikkate almak yanıltıcı olabilmekte, çünkü toprak çözeltisi tipik olarak büyüme sezonu boyunca değişiklik göstermekte ve ek olarak ara sıra veya geçici olarak yükselen tuzluluk, bitkinin tolerans seviyesini geçtiği zamanlarda bitki üzerinde öldürücü bir etkiye bulunabilmektedir. Bu etki özellikle bitkinin gelişmesindeki duyarlı dönemlerde ortaya çıkar. Bir bitkinin tuza duyarlılığı farklı gelişme dönemlerinde değişiklik gösterebilir. Bazı halofitler ki bunların vejetatif büyümeleri tuzluluk tarafından sık sık uyarılmaktadır, filizlenme dönemi boyunca tuza toleranslı olmayabilirler. Diğer taraftan, vejetatif gelişmesi tuzluluk tarafından engellenen bazı tuza duyarlı bitkiler, yüksek tuz konsantrasyonunun bulunması durumunda da filizlenebilir. Eğer bitki, filizlenme ve büyüme dönemleri boyunca tuzluluğun üstesinden gelmeyi başardıysa, halofit olmayan bazı türler üreme dönemlerinde daha dayanıklı olabilmektedir (Hillel 2000).

Tuza duyarlı bitkilerde kök büyümesi çoğu zaman tuzluluktan etkilenir. Tuzlu koşullarda sürgünlerde ve yaprak alanında bir azalma olduğu gözlenmektedir. Bu açık bir şekilde turgor basıncının düşmesine sebep olan ozmotik etkinin bir sonucudur. Ozmotik basınç yüksek olduğunda, bitki çok geçmeden su stresi çekmeye başlar ve

tuzluluk nedeniyle besin maddelerinin alımında dengesizlikler oluşur ve bitkinin beslenmesini engeller. Kök bölgesinin tuzlulaşması, birçok türde respirasyonu artırır, fakat toplam respirasyon azalan fotosentez ile birlikte düşer. Çoğu bitkinin tuzluluğa toleransı bitkilerin olgunlaşmasıyla artar. (Hillel 2000).

2.2.3. Toksisite ve özel iyon etkileri

2.2.3.1. Toksisite

Topraktaki veya sudaki temel iyon veya bileşenler bitki tarafından alınarak bitkiye zarar verecek veya verimi düşürecek konsantrasyonlarda birikirse toksisite sorunları ortaya çıkar. Zararın derecesi, alınan miktara ve bitkinin duyarlılığına bağlıdır. Çok yıllık bitkiler nispeten düşük konsantrasyonlarda bile ortaya çıkabilen bu zararlara karşı daha duyarlıdır. Genellikle ilk olarak yaprak kenarlarında yanma ve damarların sararması şeklinde kendini gösterir. Birikme yeteri kadar fazla ise, verimde azalmalar meydana gelir (Ayers ve Westcot 1985).

Toksisiteye neden olan temel iyonlar; klor, sodyum ve bordur. Bu iyonların düşük konsantrasyonlarında bile ortaya çıkan toksisite problemleri bazen tuzluluk ve su infiltrasyon sorunları ile birleşerek de meydana gelebilir. Bitki tarafından absorbe edilen iyonlar transpirasyon boyunca birikecekleri yapraklara taşınırlar ve genellikle yaprak uçları ve yaprak kenarları gibi su kaybının yüksek olduğu bölgelerde daha fazla miktarlarda biriktirilir. Toksik konsantrasyonların birikmesi uzun zaman alır ve görünür zararların ortaya çıkması oldukça yavaştır. Zararın derecesi, maruz kalma süresine, toksik iyonların konsantrasyonuna, bitki duyarlılığına ve bitkiden buharlaşan su miktarına bağlıdır. Sıcak bir iklim bölgesinde veya yılın sıcak bir mevsiminde birikme serin bir iklim veya serin mevsimde yetişen bir bitkiye göre daha hızlı olur (Ayers ve Westcot 1985).

Toksisite aynı zamanda, yağmurlama sulama ile yaprakların ıslatılması durumunda toksik iyonların direkt yapraklardan absorpsiyonu ile de ortaya çıkar. Sodyum ve klor yapraklardan absorbe edilebilen temel iyonlardır ve turunçgiller gibi

duyarlı bitkilerde her ikisi de toksisite problemi ortaya çıkarabilir. Uygulanan sulama suyunda konsantrasyonları artarsa, zarar daha hızlı oluşur ve artan bir biçimde daha şiddetli hale gelir. Sodyum ve klor, özellikle meyve ağaçları ve odunsu bitkilerde toksiktir. Bu bitkilerin yaprakları kuru ağırlık bazında %0.5 klor ve %0.25 sodyumdan fazlasını biriktirirse, karakteristik zararlanma belirtileri ortaya çıkar (Hillel 2000).

2.2.3.2. Özel iyon etkileri

Tuzluluğun bitkilere genel etkilerinin yanında, bazı belirli iyonların da etkisi olabilmektedir. İyonların yüksek konsantrasyonları genellikle tuzlulukla bağlantılı olup besin dengesizliklerine neden olabilirler. Örneğin, yüksek sodyum konsantrasyonu bitkilerin gerekli besin elementlerinden potasyum veya kalsiyumun alımını engelleyebilmektedir. Diğer taraftan, kalsiyumun yüksek konsantrasyonları tuzluluğun olumsuz etkilerini azaltabilmektedir.

Sodyumun aşırı miktarları bitkiler için zararlı olsa da tuz toleransı eşiğinin altında bulunan konsantrasyonları faydalı olabilir. Bu eşiğin üzerinde, özellikle odunsu türler için, sodyum zararlı olmaktadır. Türler ve çeşitler arasında sodyuma toleranslılık geniş oranda değişkenlik gösterir.

Klor, toprakta her ne kadar az miktarlarda bulunsa da, çoğu bitki için gerekli bir mikro elementtir. Yüksek konsantrasyonlarda bile, bazı bitkiler örneğin soya fasulyesi hariç, özellikle toksik değildir. Parker vd (1983)'ne göre, klorun köklerden sürgünlere taşınmasında kısıtlayıcı özellikleri, bitkilerin belirleyici bir özelliği olarak ortaya çıkar. Çoğu odunsu tür, klor toksisitesine karşı duyarlıdır. Bu duyarlılığın derecesi türler ve çeşitler arasında farklılık gösterebilir.

Bor, bitkiler için az konsantrasyonları gerekli bir elementtir, fakat yüksek konsantrasyonlarında toksik hale gelmektedir. Bazı bitkiler için, toksisite eşiği birkaç ppm'den azdır. Bor, bitkinin hassas dokularında biriken miktarı 0.1 mg/kg'ı geçtiği zaman çoğu bitkide toksik olmaktadır. Aşırı borun meydana getirdiği semptomlar, yapraklardaki klorotik ve nekrotik lekelerdir. Bazı duyarlı meyve ağaçlarında da

görünür zararlanmalar olmaksızın verim azalmaları meydana gelmektedir. Borun ürün verimine olan etkisi, sulama suyundaki konsantrasyonuna, bitkinin bu elemente karşı fiziksel duyarlılığına ve sulama düzeyine (özellikle suyun uygulanma sıklığı ve miktarına) da bağlıdır. Çünkü su düzeyi, kök bölgesine uygulanan sulama suyunda bulunan bor konsantrasyonunun ne kadar yüksek olup olmayacağını belirler. Yıkama fraksiyonu, iki sulama arasındaki önemli bor artışını önlemektedir. Bor, kil parçacıklarının yüzeyinde tutulup bırakıldığından, toprak çözeltisi, bor konsantrasyonunun hızlı değişimine karşı bir tampon görevi görür. Toprak solüsyonunda bor miktarındaki karmaşık değişimler uzun süreçlerde dengeye ulaşır. Bu denge de sulama suyunun konsantrasyonu ve yıkama fraksiyonundan oldukça etkilenir (Hillel 2000).

2.2.4. Tuzlu topraklarda yıkama gereksinimi

Çözünebilir tuzların kök bölgesinden yıkanması sulanan topraklarda önemli bir gereksinimdir. Yıkamanın yapılmadığı durumlarda tuzlar, sulama suyunun tuz içeriğine ve uygulanan suyun derinliğine bağlı olarak birikmektedir. Toprak solüsyonundaki tuz konsantrasyonu, prensipte evaporasyon ve transpirasyon süreçleri ile topraktan kaybolan nem sonucu meydana gelmektedir. Tuzlanma süreci boyunca yıkama yapılmadığı ve çözünebilir bileşenlerin çökelmediği varsayılırsa, belli bir derinlikteki toprağın (D_s) saturasyon çamurunun elektriksel iletkenliğini bir miktar (ΔEC_e) arttıran elektriksel iletkenliği bilinen (EC_{iw}) sulama suyu derinliği (D_{iw}) aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilmektedir (Richards 1954):

$$\frac{D_{iw}}{D_s} = \left(\frac{d_s}{d_w} \right) \left(\frac{SP}{100} \right) \left(\frac{\Delta EC_e}{EC_{iw}} \right) \quad (2.3)$$

eşitlikte; d_s ve d_w toprak ve suyun yoğunluklarını ve SP saturasyon yüzdesini göstermektedir.

Yıkama gereksinimi, toprak tuzluluğunun herhangi bir düzeyde kontrolünün sağlanabilmesi için kök bölgesi boyunca uygulanması gereken sulama suyunun

fraksiyonu olarak tanımlanabilmektedir. Bu değer sulama suyunun tuz konsantrasyonu ve toprak solüsyonunda izin verilen maksimum konsantrasyona bağlıdır (Richards 1954).

Yıkama gereksiniminin (LR), basit olarak drenaj suyu derinliğinin sulama suyunun derinliğine oranı (D_{dw} / D_{iw}) olarak bir fraksiyon veya yüzde şeklinde gösterilmektedir. Mevcut koşullar altında bu oran, drenaj ve sulama sularının elektriksel iletkenlik değerlerinin ters bir şekilde oranlanmasına da eşdeğerdir (Richards 1954):

$$LR = \frac{D_{dw}}{D_{iw}} = \frac{EC_{iw}}{EC_{dw}} \quad (2.4)$$

Koşulların sabit olup olmadığının veya uzun süreli ortalamaların anlaşılmasının sağlanması için, Eşitlik 2.4'ün kullanımında bazı hususlara dikkat edilmesi gerekmektedir. Uzun bir zaman periyodunun ortalaması olarak, Eşitlik 2.4'te kullanılan sulama suyunun elektriksel iletkenliği, yağmur suyunun (EC_{rw}) ve sulama suyunun (EC_{iw}) iletkenliklerinin ağırlıklı ortalaması olarak yazılabilmektedir (Richards 1954):

$$EC_{(rw+iw)} = \frac{D_{rw}EC_{rw} + D_{iw}EC_{iw}}{D_{rw} + D_{iw}} \quad (2.5)$$

eşitlikte; D_{rw} ve D_{iw} sırasıyla toprağa giren yağmur ve sulama suyunun derinliklerini ifade etmektedir. Uzun vadeli ortalamalar, örneğin eğer tüm kök bölgesi kısa süreli bir sağanak yağış boyunca yıkandıysa, herhangi bir zaman diliminde gerçek koşullardan belirgin bir şekilde sapma gösterebilmektedir (Richards 1954).

Toprak tuzluluğunun eşik değerleri aşmaması için uygulanması gereken sulama suyu miktarı, hem bitkiler tarafından tüketilen hem de drene olması gereken su miktarlarını içermelidir. Bu durumda sulama suyunun derinliği (D_{iw}), bitkiler tarafından tüketilen suyun derinliği (D_{cw}) ve drenaj suyu eş derinliği (D_{dw}) değerleri yardımıyla hesaplanabilir (Richards 1954):

$$D_{iw} = D_{cw} + D_{dw} \quad (2.6)$$

Eşitlik 2.4'den D_{dw} 'nin çekilerek Eşitlik 2.6 'da yerine konulması ve eşitliğin yeniden düzenlenmesiyle, bitki su tüketimi ve yıkama gereksiniminin bir fonksiyonu olan sulama suyu derinliğini veren eşitlik aşağıdaki gibi yazılabilir (Richards 1954):

$$D_{iw} = \frac{D_{cw}}{(1 - LR)} \quad (2.7)$$

Bu eşitlikte yıkama gereksinimini, Eşitlik 2.2'de verilen elektriksel iletkenlik oranı şeklinde de yazmak mümkündür (Richards 1954):

$$D_{iw} = \left(\frac{EC_{dw}}{EC_{dw} - EC_{iw}} \right) D_{cw} \quad (2.8)$$

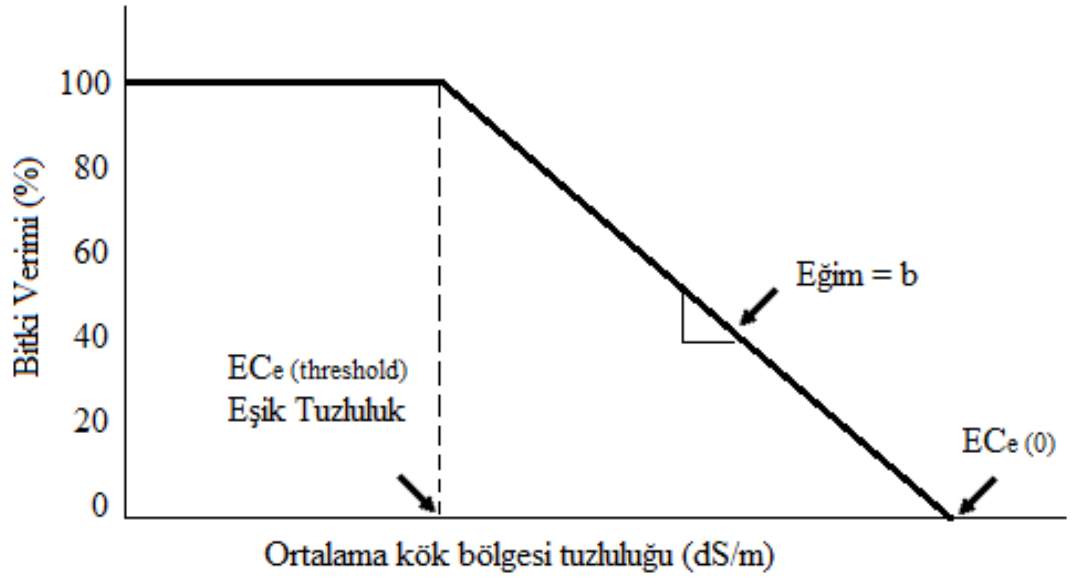
Bu durumda, sulama suyunun derinliği (D_{iw}), sulama suyunun elektriksel iletkenliği, bitkinin su tüketimi ve bitkinin tuz toleransı olarak adlandırılan bitkisel ve iklimsel koşullar tarafından belirlenmektedir. Bitkinin tuz toleransının, EC_{dw} 'nin izin verilebilir değerlerinin seçiminde dikkate alınması gerekmektedir (Richards 1954).

Yıkama gereksiniminin niceliksel olarak değerlendirilmesi, drenajın kısıtlı olduğu veya mevcut sulama suyunun etkin olarak kullanıldığı durumlarda önemli olmaktadır. Suyun büyük bir kısmı sulama için saptırıldığında, çeşitli iletim, düzenleme ve özellikle uygulama kayıplarına uğruyorsa, yıkama gereksiniminin hesaplanması çok az bir pratik öneme sahiptir (Richards 1954).

Hasat edilen bitkinin kaldırdığı tuzların nispi önemi, sulama suyundaki tuz girdisinin azalması ile artar, fakat normal drenaja sahip topraklar için sulama suyunun tuzluluğu azaldıkça, hesaplanan yıkama gereksiniminin pratik olarak kullanılabilirliği de azalır. Buna ek olarak yıkamanın, düşük toprak geçirgenliği ile ciddi bir şekilde kısıtlandığı ve ayrıca sulama suyunun tuz içeriğinin çok düşük olduğu özel durumlarda da hasat edilen bitkiler tarafından topraktan kaldırılan tuzlar, sulu tarımın devamlılığının belirlenmesinde önemli bir faktör haline gelmektedir (Richards 1954).

2.2.5. Tuzluluk-verim fonksiyonu

Bitkilerin tuza dayanım grafiği Şekil 2.4 'de gösterilmiştir. Optimum yönetim koşulları altında toprak suyu çözeltisinin elektriksel iletkenliği özel bir eşik değerine ulaşılmadıkça bitki verimleri, maksimum potansiyel düzeyde kalmaktadır. Bu eşik tuzluluk değeri aşıldığında, bitki verimi tuzluluk artışına paralel olarak azalmaya başlayacaktır.



Şekil 2.4. Bitkilerin tuza dayanım grafiği

Tuzluluk-verim fonksiyonu aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir (Allen vd 1998):

$$\frac{Y_a}{Y_m} = 1 - \left(EC_e - EC_{e(threshold)} \right) \frac{b}{100} \quad (2.9)$$

eşitlikte; Y_a ve Y_m gerçek ve maksimum ($EC_e < EC_{e(threshold)}$ durumunda) bitki verimini, EC_e ortalama kök bölgesi saturasyon çamuru elektriksel iletkenliğini (dS/m), $EC_{e(threshold)}$ bitki veriminin ilk olarak Y_m 'nin altına düştüğü EC_e eşik değerini (dS/m) ve b EC_e 'deki her birim artış için verimdeki azalmayı (% / (dS/m)) ifade etmektedir.

Şekilden de görüleceği gibi b değeri aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanabilir:

$$b = \frac{100}{EC_{e(0)} - EC_{e(threshold)}} \quad (2.10)$$

eşitlikte $EC_e(0)$ verimin sıfır olduğu andaki saturasyon çamurunun elektriksel iletkenliğini (dS/m) ifade etmektedir.

2.2.6. Tuzluluk-verim fonksiyonu modelindeki parametreler

Toprak suyu içeriği değiştiğinde tuz konsantrasyonu da değiştiğinden, toprak tuzluluğu genel olarak toprağın saturasyon çamurunun elektriksel iletkenliği (EC_e) olarak gösterilebilmektedir. Bu değer, toprak suyu içeriğini saturasyon durumuna getirmek için verilen yeterli miktarda saf sudan sonra, toprak suyu çözeltisinin elektriksel iletkenliğini tanımlanmaktadır. Optimum yönetim koşulları altında, toprak suyu saturasyon çamurunun elektriksel iletkenliği özel bir eşik değerine gelmeden ($EC_{e(threshold)}$), bitki verimi maksimum potansiyel düzeyde kalmaktadır. Eğer kök bölgesinin ortalama EC_e 'si, bu kritik eşik değerinin üzerine çıktığında, verim, tuzluluğun artışına bağlı olarak azalmaya başlar. Tuzluluğun artmasıyla meydana gelen verim azalmasının oranı eğim, b, ile ifade edilir ki bu toprak tuzluluğundaki her birim (dS/m) artışa karşın, verimdeki azalmayı (%) ifade etmektedir.

Tüm bitkiler tuzluluğa aynı oranda tepki göstermezler, bazı bitkiler daha yüksek toprak tuzluluğunda diğer bitkilere göre daha verimli olabilirler. Bunun nedeni bazı bitkilerin tuzlu topraktan daha fazla su alabilmelerini sağlayan ozmotik düzenlemeleri daha iyi yapabilmeleri veya tuzluluğun bazı toksik etkilerine daha toleranslı olabilmelerinden kaynaklanmaktadır (Allen vd 1998).

$EC_{e(threshold)}$ ve b eğim parametreleri toprak suyu içeriği tarla kapasitesine yakın düzeylerde tutulduğunda yapılan sabit sulama denemelerindeki araştırmalarla belirlenmektedir. Bununla birlikte, yağmurlama ve yüzey sulama gibi birçok sulama yönteminde, toprak suyu içeriği tarla kapasitesinin altındayken de iyi bir su tüketimi

meydana gelir, böylelikle, sulamadan önce saturasyon çamurunun EC'si değişmemesine rağmen, toprak suyu çözeltisinin EC'si (EC_{sw}) artar. Toprak suyu çözeltisinde tuz konsantrasyonunun artması sonucu toprak suyu çözeltisinin ozmotik potansiyeli azalır, böylelikle bitkinin metabolik enerji kullanımı artar ve suyu alabilmek için daha fazla mekanik kuvvet harcamaya başlar. Buna ek olarak, toprak nemi azaldıkça ve tuz konsantrasyonu arttıkça, tuzların bitkiler üzerindeki metabolik ve toksik etkileri daha belirgin hale gelmektedir (Allen vd 1998).

Bazı durumlarda, toprak yüzeyinin sık olarak sulanması ile artan evaporasyon, kök bölgesinin EC_e 'sinin de yükselmesiyle bitki katsayısı (K_c) değerinde azalmaya sebep olur. Bu koşullar altında, toplam K_c ve ET_c , bitki verimi ve transpirasyonu azalsa bile, az aralıklı sulama yapıldığında, tuzsuz ve standart koşullardan pek farklı olmayacaktır. Bu sebepten dolayı, tuzlu koşullar altında, K_s azaltma faktörü sadece ikili K_c yaklaşımı ile kullanılabilmektedir (Allen vd 1998).

Letey vd (1985) ve Shalhevet (1994), bitkisel üretimde tuzluluğun etkileri üzerine yaptıkları araştırmalarda, toprak tuzluluğu ve su stresinin genellikle bitki evapotranspirasyonu üzerine benzer etkiler yaptığını değinmişlerdir. Bu nedenle, hem su kısıntısı ile oluşan hem de tuzlulukla oluşan streslerde benzer verim-ET fonksiyonları elde edilebilmektedir.

2.2.7. Tuzluluğun tıbbi ve aromatik bitkilere etkisi

Sulamada tuzlu suların kullanımı; tatlı su kaynaklarının azalması, nüfusun artması ve tarım endüstrisinin genişlemesi ve büyümesi sebebiyle artmaktadır (Feizi 2006). Üretim potansiyelini arttırması sebebiyle tarım arazilerinde sulamanın önemi her geçen gün daha da artmaktadır. Bununla birlikte, sulama çoğunlukla tuzluluk sorunlarıyla ilişkilendirilmektedir. Yıkama teknikleri ve damla sulama yöntemleri bu sorun için kısmen de olsa bir çözüm sağlamaktadır (Ben-Asher 1987). Kurak ve yarı kurak bölgelerde su kaynaklarının kıt olması sebebiyle damla sulama yöntemiyle düşük kalitedeki suların etkin olarak kullanımı gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Tuzluluğa bağlı olarak bitki gelişiminin azalması genellikle kök bölgesindeki toprak solüsyonunun

ozmotik potansiyeliyle ilgilidir. Bu durum, üretimde belli bir fenolojik değişime ve önemli bir azalmaya yol açmakta ve ayrıca tuzluluk toprak fiziksel özelliklerini de etkilemektedir (Ayman 2003).

Tuzlu suların papatya (*Matricaria recutita*)’da, morfolojik değerler, mineral içeriği, yağ miktarı (yüzde ve verim) ve yağ bileşenleri üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada beş farklı tuzluluğa (0, 4, 8, 12 ve 16 dS/m) sahip sulama suları kullanılmıştır (Baghalian vd 2008). Farklı uygulamalarda yağ çiçek ağırlık ortalamaları, yağ çiçek veriminin tuzluluğun artması ile azaldığını ve diğerleri ile karşılaştırıldığında kontrol konusunun yağ çiçek ağırlığının daha fazla olduğunu göstermiştir. Varyans analizleri sonucu tuzlu suların yağ miktarında (verim ve yüzde) ve kalitesinde önemli bir etkiye sahip olmadığı görülmüştür. Sonuçlar, papatyanın tuzluluk koşullarında tüm özelliklerini sürdürebildiğini ve ekonomik olarak yetiştirilebileceğini göstermiştir.

Adaçayı (*Salvia officinalis* L.)’nda, değişik tuz konsantrasyonlarının (25, 50, 75 ve 100 mM) bitki gelişimi, uçucu yağ verimi ve bileşenleri üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışma, sera denemesi olarak yürütülmüştür (Ben-Taarit vd 2009). Yüksek konsantrasyonlardaki tuzluluklar bitki gelişimini %65 oranında azaltmıştır. Bununla birlikte, uçucu yağ verimi kontrol konusundan 75 mM konsantrasyon bulunan konuya kadar artmaktayken 100 mM tuzlulukta azalmıştır. Ayrıca tuz stresi uçucu yağ bileşenlerini, özellikle de temel uçucu yağları miktar olarak etkilemiştir.

Melisa (*Melissa officinalis* L.)’da, tuzluluk stresi (0.25, 1.00, 2.00, 4.00 ve 6.00 dS/m) ve su kısıntısının. bazı verim bileşenleri ve uçucu yağ verimi üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışma Öztürk vd (2004) tarafından yürütülmüştür. Sonuçlar, melisanın tuzluluğa karşı orta derecede duyarlı olduğunu göstermiş ve 6 dS/m elektriksel iletkenliğe sahip sulama suyu konusunda tüm bitkilerin öldüğü gözlemlenmiştir. Tuzluluktaki artış ile uçucu yağ verimi de azalma göstermiştir.

Nane (*Mentha piperita* L.) bitkisinde yürütülen bir saksı denemesinde sulamalar dört farklı tuzluluk seviyesinde (0, 50, 100 ve 150 mM) gerçekleştirilmiştir (Khorasaninejad vd 2010). Sonuçlar, tuzluluk stresinin nane bitkisinde büyüme parametrelerine, uçucu yağ verimine ve bileşimine önemli bir şekilde etki ettiğini göstermiştir. En yüksek sap uzunluğu, kök uzunluğu, yağ sürgün ağırlığı, yağ kök

ağırlığı, kuru sürgün ağırlığı, kuru kök ağırlığı, boğumlar arası uzunluk, stolon uzunluğu, biyokütle, uçucu yağ verimi ve uçucu yağ yüzdesine 0'dan 100 mM'e kadar artan tuzlulukta ulaşılmıştır. Nane bitkileri 150 mM koşullarındaki tuzluluğu tolere edemeyerek ölmüştür. Nanedeki temel uçucu yağ bileşenleri (menton ve mentol) her bir uygulamada toplam yağ kompozisyonunun yaklaşık olarak %58-66.2'sini oluşturmaktadır. Bu çalışmanın sonuçları göstermiştir ki, tuzluluk stresi genel olarak morfolojik karakteristikler üzerinde negatif bir etkiye sahiptir ve tuzluluğun 0'dan 100 mM'e kadar artmasıyla bitki gövdesi, kök uzunluğu, boğumlar arası uzunluk ve stolon uzunluğu azalmaktadır. Tuzluluk aynı zamanda sürgünlerde, yaş kök ağırlığında, kuru kök ağırlığında ve biyokütlede de azalmaya sebep olmaktadır.

Pelin (*Artemisia annua* L.)'de yapılan bir çalışmada; 0.9, 2.2, 6.0, 10.4, 14.3 dS/m elektriksel iletkenliğe sahip sulama sularının etkileri araştırılmıştır (Prasad vd 2010). Sonuçlar, bitki boyunun toprak tuzluluğu arttıkça azaldığını, buna karşın yaprak/sürgün oranının tuz uygulanan bitkilerde görünür bir şekilde arttığını göstermiştir. Sürgün yaş ağırlığında 6.0 dS/m tuzluluğa kadar bir artış görülürken, yüksek tuzluluklarda azalmalar meydana gelmiştir. Pelindeki temel uçucu yağ olan artemisin içeriğinde 10.4 dS/m'ye kadar olan uygulamalarda bir değişme görülmezken, en yüksek düzeydeki tuzlu su uygulamasında önemli bir azalma meydana geldiği kaydedilmiştir.

İran'da tuzluluk stresi üzerine yürütülen bir çalışmada Şiraz kekiği (*Zataria multiflora*), kakooti (*Ziziphora clinopodioides*), bahçe kekiği (*Thymus vulgaris*) ve kedi kekiği (*Teucrium polium*) bitkileri, 0, 5 ve 10 dS/m elektriksel iletkenliğe sahip tuzlu sular ile sulanmıştır (Koochehi vd 2008). Şiraz kekiği ve kedi kekiğinde 5 dS/m tuzlulukta yaprak/sürgün oranında önemli ölçüde azalma meydana gelirken, benzer azalmalar diğer türlerde 10 dS/m tuzlulukta ortaya çıkmıştır. Verim azalmaları 10 dS/m tuzluluk düzeyinde ortaya çıkmaya başlamıştır ve en yüksek verim azalması sırasıyla Şiraz kekiği, kedi kekiği ve kakootide görülürken, en düşük verim azalması bahçe kekiğinde olmuştur. Sonuç olarak, diğer türlere göre bahçe kekiğinin tuzluluk stresine karşı daha dayanıklı olduğu tespit edilmiştir.

2.3. Kekik Yetiştiriciliği ve Kekik Yağı Üretimi

Kekik, Labiatae (Lamiaceae) familyasında bulunan, uçucu yağ bakımından değerli olarak kabul edilen bir baharat bitkisidir. Kekiğin yayılma alanının geniş olması ile birlikte, orijini Yunanistan, Girit ve Güney-Batı Anadolu yöreleri olarak kabul edilmektedir.

Çok yıllık bir Akdeniz bitkisi olan kekik 40-100 cm boylanabilmektedir. Sapları dik gelişmekle birlikte, üzeri tüylerle kaplıdır. Çok sayıda yan dal oluşturan kekik yarı çalimsı bir bitki olup, sıcağa ve kuraklığa oldukça dayanıklıdır. Tüm toprak tiplerine adaptasyon sağlamıştır, ancak en iyi killi arazilerde gelişir (Anonim 2009, Baydar 2005, Esetlili ve Çakıcı 2010).

Kekik bitkisi sahip olduğu önemli bir adaptasyon mekanizması (mevsimsel disformismus) sayesinde bulunduğu bölgenin çevre koşullarına göre kendini ayarlayabilmektedir. Buna göre, kurak dönemlerde ince ve küçük yapraklar oluşturulurken, yılın diğer dönemlerinde yapraklar daha geniş ve oval biçimde olmaktadır.

Ekonomik bakımdan önemli olarak değerlendirilen kekik genellikle yemeklerde baharat olarak kullanılmasının yanında değişik hastalıkların tedavisinde de kullanılmaktadır. Kekiğin vejetatif organları sindirim sistemi hastalıklarına, soğuk algınlıklarına ve baş ağrısına karşı başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Uçucu yağları ile yapılan çalışmalarda, bu yağların ağrı kesici bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Fenol içeriğinin yüksek olması sebebiyle antibakteriyel, antispazmodik ve antiseptik etkilere sahip olduğu bilinmektedir (Oflaz vd 2002, Özhatay 1997).

Kekiğin tohumları çok küçük olmakla birlikte, 1000 dane ağırlığı çeşide göre 0.20-0.25 g arasında değişmektedir. Bu nedenle, kekiğin tarlaya direkt olarak ekimi yapılamamaktadır (Baydar 2005). Kekik, hem tohumla hem de çelikle üretilen bir bitkidir. Tohumla üretimde tohumlar, 1/3 kum, 1/3 toprak ve 1/3 yanmış hayvan gübresi karışımı ile oluşturulan yastıklarda çimlenmeye bırakılır. Tohumların ekimi Antalya koşullarında Mart başlangıcında olup, fidelerin şaşırtılması Nisan-Mayıs aylarında gerçekleştirilmektedir. Çelikle üretimde ise, 7-8 cm boyundaki çelikler alınarak, 1/3

kum, 1/3 toprak ve 1/3 yanmış hayvan gübresi karışımı ile doldurulan viyollere dikilir ve köklenmeye bırakılır. Her iki üretim şekli için tarla diskaro ve tırmık işlemlerinden geçirilerek 6 kg/da saf azot, 6 kg/da saf fosfor veya yanmış hayvan gübresi ile gübrenenerek hazır halle getirilir. Elde edilen fideler 45-50 cm sıra arası ve 15 cm sıra üzeri bırakılacak şekilde tarlaya dikilir ve yetiştiricilik boyunca gerekli kültürel işlemlere tabi tutulur (Tuğrul Ay, 2008).

Kekiğin çok yıllık bir bitki olması ve dolayısıyla her yıl birden fazla biçim yapılması, yüksek miktarlarda besin maddesi kaldırdığını göstermektedir. Verim ve kalite karakteristikleri üzerine organik ve inorganik gübrelerin etkisini inceleyen çalışmalar mevcut bulunmaktadır. Azotlu gübrelerin verime etkisini araştıran bir çalışmada, gübrelerin ikinci yıldan itibaren verimi önemli düzeyde artırdığı ve azotlu gübrelerin yetiştirme dönemi boyunca iki veya üç defada verilmesi gerektiği ortaya konulmuştur. Bununla birlikte, dikim esnasında ve ilkbaharda fosforlu gübre uygulaması da şart koşulmaktadır (Bayram 2003).

Kekik, bir vejetasyon döneminde birkaç kez biçilen bir bitkidir. Her biçimden sonra ve çiçeklenme dönemi içerisinde bir kez sulama yapılması gerekmektedir. Sulama yapılmadığında kurak aylarda bitki belirli ölçüde yaşamını sürdürür, ancak büyümesi çok yavaş olmaktadır. Günümüzde daha çok salma sulama yöntemi ile sulaması yapılmaktadır. Bunun yanında fide dikiminden sonra yağmurlama sulama da iyi sonuç vermektedir. Her sulamadan sonra özellikle sıra aralarında kaymak tabakasının kırılarak hem toprağın havalandırılması ve hem de topraktan suyun kaybının önlenmesi için çapa yapılması gerekmektedir. Yabancı otların yok edilmesinde de çapalama en etkili yöntemdir. Tohum ve çelikle üretimde ilk yıl ürün alınmaz, fakat yan dalların teşvik edilmesi için bir biçim uygulanabilir. Biçim işlemi, 10-15 cm yükseklikten, keskin bir bıçakla yapılmalıdır ve biçim sırasında köklerin zarar görmemesine dikkat edilmelidir. Kışa girmeden önce bir kez temizlik biçimi yapılmalıdır (Tuğrul Ay 2008).

Kekiğin tüm toprak üstü organları (Herba Thymi, Herba Origani) drog olarak kullanılmaktadır. Ancak, baharat olarak en fazla yapraklarından (Folia Thymi, Folia Origani) faydalanılmaktadır. Kekik yapraklarından buhar distilasyonu ile % 0.5 – 7.7 arasında uçucu yağ elde edilmektedir. Ancak, uçucu yağ endüstrisinde kullanılan kekik

türlerinde en az % 2.5 oranında uçucu yağ bulunması istenmektedir (Bayram 2003, Baydar 2005).

Biçilen kekik bitkisi tarladan hemen toplanmalı, temiz ve gölge bir yerde kurutulmalıdır. İyi bir kuruma için serme kalınlığı 20 cm'i geçmemelidir ve kekik dalları sık sık alt üst edilmelidir. Kurutulmuş kekik yaprakları dövülerek saplarından ayrıştırılıp çuvallanır ve satılincaya kadar serin ve kuru bir yerde depolanır (Tuğrul Ay 2008).

Kekik yağı Anadolu'da basit olarak imbiklerde elde edilmektedir. Bakır veya kalaylı sacdan yapılmış iki parçadan oluşan imbiğin alt kısmına kekik ve su doldurulur. Genelde, su miktarı kekik miktarının 3 katıdır. Ördekbaşı şeklindeki konik yapılı üst kısmın alt kenarında boylu boyunca bir yalak bulunur. Damıtma başladığında, baş kısmın soğuk iç yüzeyine çarpan buhar sıvılaşarak kenarlardan yalağın içine sızar ve yağ+su karışımı bir boru aracılığı ile dışarıdaki toplama kabına akar. Bazen, boru bir soğuk su varilinin içerisinden geçirilerek buharın tamamı yoğunlaştırılır. Toplama kabında, suyun üstünde toplanan yağ ayrı bir kaba alınır (Baydar 2005).

Endüstriyel kekik yağı ise buhar distilasyonu tekniği ile üretilmektedir. Bu yöntemde yaklaşık 500 kg kapasiteli distilasyon kazanları kullanılmaktadır. Kazanın alt kısmında bulunan sabit veya hareketli ızgara yaklaşık 200 litrelik bir su tankının üzerine oturtulur. Izgara üzerine taze veya kuru kekik materyali (taze ise 350-400 kg, kuru ise 150-200 kg kadar) konur. Odun ateşiyle ısıtılan su tankında üretilen buhar, ızgaradan geçirilerek kekik materyalinin içine gönderilir. Bazı distilasyon tesislerinde, distilasyon kazanlarının yanına buhar kazanları tesis edilir. Buhar kazanından gelen basınçlı buhar doğrudan kekik materyalinden geçirilir. Su buharı ile birlikte sürüklenen uçucu yağlar kazanın üstünde bulunan yoğunlaştırıcıya geçer. Yoğunlaştırıcı, etrafında soğuk su borularının spiral olarak dolandığı bir ünitedir. Uçucu yağlar yoğunlaştırıcıdan geçerken soğuyarak florentin kabına damlamaya başlar. Bu sistemde 1 kg kekik yağı üretmek için yaklaşık 25-50 kg kekik materyali kullanılmaktadır. Aynı sistemde lavanta, biberiye, adaçayı ve oğul otu gibi diğer aromatik bitkilerden de uçucu yağ üretilmektedir (Baydar 2005).

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Farklı sulama suyu tuzluluk ve sulama düzeylerinin kekik bitkisinde büyüme, verim, bitki su tüketimi ve uçucu yağ bileşenleri ve diğer kalite parametrelerine etkisini ayrı ayrı belirlemek amacıyla yürütülen bu çalışma Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Araştırma ve Uygulama Arazisi'nde kısmen kontrollü şartlarda gerçekleştirilmiştir. Denemelerde su stresi oluşturabilmek ve tuzlu su uygulanması sonucu toprakta oluşacak tuzluluğun yağmurla yıkanmasını önlemek amacıyla denemeler dört tarafı açık yalnızca üstü plastik örtü ile kaplanmış bir alanda ve yeterli büyüklükteki plastik saksılarda yürütülmüştür. Denemelerde sulama düzeyinin etkisini belirleyebilmek amacıyla kurulan ilk denemede (sulama düzeyi) bitkilere farklı miktarlarda su uygulaması yapılırken, kekik bitkisinin eşik tuzluluk ve eğim değerlerini belirlemek amacıyla yapılan ikinci denemede (tuzluluk) farklı düzeylerde tuz konsantrasyonlarına sahip sulama suları deneme konusu olarak seçilmiştir.

Her iki denemede de materyal olarak *Origanum onites* L. türü kekik bitkisi kullanılmıştır. Denemede Batı Akdeniz Araştırma Enstitüsü'nden sağlanan tohumlar %50 torf ve %50 perlit karşımı ile doldurulan geniş tepsilere ekilerek, çimlenme için yeterli toprak sıcaklığının (18°C) sağlanması amacıyla sera ortamında çimlenmeye bırakılmıştır. Daha sonra çimlenen tohumlar yeterli büyüklüğe ulaştığında (3 cm) yine torf ve perlit karşımı ile doldurulan viyollere aktarılmıştır. Deneme materyali olan bitkiler fide oluşum aşamasına kadar su stresine ve tuzluluğa maruz bırakılmamıştır. Denemede kullanılacak topraklar 4 mm'lik elekten geçirilmiş ve 34 cm yüksekliğinde 40 cm üst ve 33 cm taban çapına sahip 36 litre hacim kapasiteli saksılara hava kuru ağırlığı 38 kg olacak şekilde doldurulmuştur. Deneme toprağının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir. Daha sonra viyollerdeki fidelerden homojen büyüklükte olanlar seçilerek her bir saksıya 3 adet olacak şekilde şaşırtılmıştır. Saksı altlarından sızan suların toplanması için 4 litre drenaj suyu toplayabilen leğenler saksı altlığı olarak kullanılmıştır. Fidelerin tutma aşamasından sonra deneme konularının uygulanmasına başlanmıştır. Yetiştirme periyodunca en yakın meteoroloji istasyonundan alınan meteorolojik veriler Çizelge 3.2'de sunulmuştur.

Çizelge 3.1. Deneme toprağının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Özellik	Değer	Özellik	Değer	Özellik	Değer
Org. madde (%)	2.02	N (%)	0.09	Na (ppm)	67.49
pH	7.80	P (ppm)	60.22	Fe (ppm)	22.09
EC (dS/m)	0.19	K (ppm)	79.03	Mn (ppm)	9.04
Tekstür	Kumlu Tın	Ca (ppm)	4818.00	Zn (ppm)	0.29
Tarla Kapasitesi (% Nem)	19.41	Mg (ppm)	312.00	Cu (ppm)	2.81
Solma Noktası (% Nem)	8.85				

Çizelge 3.2. Yetiştirme periyodundaki önemli meteorolojik veriler*

Aylar	Hava Sıcaklığı (°C)			Nem (%)	Yağış (mm)	Radyasyon (W/m ²)
	Ort.	Min.	Max.	Ort.	Ort.	Ort.
Kasım	12.9	0	27.7	56	28	84
Aralık	10.5	-0.3	19.5	69	155	59
Ocak	9.0	-3.3	17.7	66	108.4	62
Şubat	9.3	-2.0	20.1	61	125.4	86
Mart	12.7	-0.3	25.8	55	54.6	122
Nisan	16.5	7.4	31.2	72	40.2	134
Mayıs	20.3	11.7	33.9	74	56.6	130

* Tüm meteorolojik veriler, Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Meteoroloji İstasyonu'ndan alınmıştır.

3.2. Metot

3.2.1. Sulama düzeyi ve tuzluluk denemelerinin kurulması

Her iki araştırma tesadüf parselleri deneme deseninde kurulmuştur. Sulama düzeyi denemesinde, ihtiyaç duyulan suyun %133 (aşırı sulama), %100 (kontrol), %75 (az kısıntılı), %50 (orta kısıntılı) ve %25 (çok kısıntılı) olmak üzere beş adet sulama suyu miktarı ve tuzluluk denemesi için 0.54 (kontrol), 1.2, 1.8, 2.5, 3.5, 5.0, 7.0 ve 10.0

dS/m olmak üzere sekiz adet sulama suyu tuzluluk düzeyi konusu bulunmaktadır (Çizelge 3.3).

Çizelge 3.3. Denemelerde kullanılan konular ve sembolleri

Sulama Düzeyi Denemesi		Sulama Suyu Tuzluluk Denemesi	
Konular	Su uygulama katsayısı	Konular	EC (dS/m)
S ₁	1.33	T ₁	0.54
S ₂	1.00	T ₂	1.20
S ₃	0.75	T ₃	1.80
S ₄	0.50	T ₄	2.50
S ₅	0.25	T ₅	3.50
		T ₆	5.00
		T ₇	7.00
		T ₈	10.0

Su kaynağı olarak her iki denemede de elektriksel iletkenlik değeri 0.54 dS/m olan kuyu suyu kullanılmıştır. Denemelerde kullanılan suların kalite parametreleri Çizelge 3.4 'de sunulmuştur.

Çizelge 3.4. Denemelerde kullanılan sulama suların kalite parametreleri

Deneme Konusu	EC (dS/m)	pH	K (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Na (ppm)
T ₁ *	0.54	7.60	2.3	87	17	21
T ₂	1.20	7.85	2.1	116	36	141
T ₃	1.80	7.77	2.0	149	71	215
T ₄	2.50	7.58	1.9	335	90	302
T ₅	3.50	7.45	1.8	336	131	406
T ₆	5.00	7.26	1.1	584	155	535
T ₇	7.00	7.21	2.0	823	254	694
T ₈	10.0	7.05	1.8	1242	608	891

* Sulama düzeyi denemesinin tüm konularında bu sulama suyu kullanılmıştır

Tuzluluk denemesindeki kontrol konusu aynı zamanda sulama düzeyi denemesinde yer alan S₁ konusudur. Bu durumda sulama düzeyi ve tuzluluk denemeleri için toplam 13 konu mevcuttur. Denemelerde her bir konu için 5 tekerrür

oluşturulmuştur. Böylece her iki deneme için toplam 65 (13 konu × 5 tekerrür = 65) adet saksı kullanılmıştır. Sulama suları kontrollü ve ölçülü olarak her bir saksıya konusu dikkate alınarak uygulanmıştır.

Sulama düzeyi denemesinde her sulamada saksılara verilecek sulama suyu miktarları (AW_s , L);

$$AW_s = \frac{W_{fc} - W_a}{\rho_w} \times P_s \quad (3.1)$$

eşitliği yardımıyla hesaplanmıştır. Eşitlikte; AW_s her sulamada uygulanacak su miktarını (L), W_{fc} saksı tarla kapasitesi ağırlıklarını (kg), W_a sulama öncesi saksı ağırlığını (kg), ρ_w suyun yoğunluğunu (1 kg/L) ve P_s ise su uygulama katsayısını (sulama düzeyi denemesi konuları için su uygulama katsayıları sırasıyla 1.33, 1.0, 0.75, 0.50, 0.25 ve 0) ifade etmektedir. Her bir saksının tarla kapasitesi ayrı ayrı belirlenmiştir. Bu amaçla 38 kg hava kurusu toprak ile doldurulan saksılar suyla doygun hale getirilmiş ve buharlaşmayı önlemek için üzerleri tamamen kapatılarak drenajın durması beklenmiştir (yaklaşık 36 saat). Saksılardan meydana gelen drenaj tamamen durduktan sonra her bir saksı tartılmış ve her bir değer ilgili saksının tarla kapasitesi olarak kabul edilmiştir.

Tuzluluk denemesi için tuzlu suların hazırlanmasında $CaCl_2$, $MgSO_4$ ve $NaCl$ tuzları kullanılmıştır. Tuzluluk denemesinin tüm konuları kontrol konusu olarak kullanılan kuyu suyu kaynağının sodyum adsorpsiyon oranı (SAR) değerine yakın tutulmaya çalışılmış, böylece belirli bir iyonun baskın etkisi önlenerek SAR değerinin sonuçlar üzerine etkisi elimine edilmiş ve sadece toplam tuzluluğun oluşturacağı etkilerin incelenmesi hedeflenmiştir.

Tuzlu suların istenilen konsantrasyonlarda hazırlanmasında, SAR değerinin kontrolünde ve deneme başlangıcında ve sonunda topraktaki tuzluluk düzeylerinin belirlenmesi amacıyla Ziraat Fakültesi Toprak ve Bitki Besleme Bölümü laboratuvarında bulunan ICP cihazından yararlanılmıştır. Tüm sulama konularında SAR değeri 5'den küçük ve Ca/Mg oranı 1/1 olacak şekilde istenilen elektriksel iletkenlik değerlerini sağlamak için gerek duyulan tuz miktarları hesapla bulunduktan sonra hazırlanan tuzlu

suların elektriksel iletkenlik (EC_i) değerleri laboratuarda kontrol edilmiştir. Gerekli düzeltmeler yapıldıktan sonra her bir sulama suyu tuzluluğu konusu için hesaplanan tuz miktarları dikkate alınarak deneme alanında 200 litrelik plastik su depolarında hazırlanan tuzlu sular denemelerde kullanıma hazır hale getirilmiştir.

Tuzluluk denemesinde her sulamada saksılara verilecek sulama suyu miktarları (AW_t, L);

$$AW_t = \frac{W_{fc} - W_a}{\rho_w(1 - LF)} \quad (3.2)$$

eşitliği yardımıyla hesaplanmıştır. Eşitlikte LF yıkama oranını ifade etmektedir. Saksılarda aşırı tuz birikimini önlemek ve her bir tuzluluk konusu iin belirli bir toprak tuzluluk seviyesini yakalayabilmek amacıyla yıkama oranı %25 olarak alınmıştır (Maas ve Hoffman 1977, Ayers ve Westcott 1989).

Her iki deneme için sulama zamanına karar vermede kontrol konuları dikkate alınmıştır. Sulamalardan sonra kontrol konularının durumları gözlemlenerek sulama zamanlarına karar verilmiştir. Kış aylarında 2 haftada bir ve havaların ısınması ile haftada bir olmak üzere deneme boyunca 16 kez sulama yapılmıştır. Denemelerin başlamasından 2 hafta sonra bitki boylarında homojenliğin sağlanması ve bitkilerin yan sürgün gelişimini arttırmak amacıyla bitki boyları toprak üzerinden itibaren 8 cm olacak şekilde biçim yapılmıştır. Bazı konularda bitkiler 8 cm'den uzun olmadığından, bu konularda biçim yapılmamıştır.

Deneme konuları için gram kuru madde üretimi için harcanan su miktarı olarak ifade edilebilen su kullanım randımanı (SKR), Eşitlik 3.3 yardımıyla belirlenmiştir:

$$SKE = \frac{TKA}{ET} \quad (3.3)$$

eşitlikte; TKA toplam bitki kuru ağırlığı (g), ET ise dönemlik evapotranspirasyonu (mm) ifade etmektedir.

Denemenin başlangıcından itibaren ayda bir olmak üzere her saksıya 250 mL yapraktan azotlu gübre uygulaması yapılmıştır. Bunun dışında hastalık ve zararlılarla mücadele amacıyla gerek görüldükçe her bir saksıya lambda-cyhalothrine ve acetamiprid etkili maddelerini içeren püskürtülebilir toz formülasyonlu ilaçlamalar yapılmıştır.

3.2.2. Ölçüm ve analizler

Sulamalardan yaklaşık 24 saat sonra saksı altından sızarak altlıklarda biriken su miktarları ölçü silindirleri yardımıyla ve bu suların EC ve pH değerleri arazi tipi bir EC-pH metre ile ölçülmüştür. Drenaj suyu miktarlarının ölçümlerinden yararlanarak bitki gelişmesi nedeniyle zamanla tarla kapasitesi ağırlığında oluşabilecek değişimler izlenerek saksıların tarla kapasitesi ile ilgili düzeltmeler yapılmış ve her bir tuzluluk konunun net bitki su tüketimi belirlenebilmiştir.

Her iki araştırmada deneme boyunca iki haftada bir bitki boyları ölçülmüş ve belirgin fizyolojik değişiklikler kaydedilmiştir. Deneme sonunda büyüme parametreleri, olarak bitki ağırlıkları saptanmıştır. Hasadı takiben toprak derinliği boyunca saksılardan alınan toprak örnekleri gölgede kurutulduktan sonra 2 mm'lik elekten elenmiş ve saf suyla hazırlanan saturasyon çamurlarından alınan çözeltilerin EC_e değerleri EC-pH metre cihazı yardımıyla ölçülmüştür (Richards 1954, Carter 2000).

Deneme boyunca kısıntılı sulama konularında büyüme gerilemesinin dışında herhangi bir değişiklik görülmezken, tuzluluk konularında 7 dS/m (T₇) ve 10 dS/m (T₈) elektriksel iletkenliğe sahip sulama suyu tuzluluğu konularında tüm tekerrürler ve 5 dS/m (T₆) elektriksel iletkenliğe sahip konunun ise iki tekerrüründe bitkilerin değişik zamanlarda öldükleri gözlenmiştir.

Literatürlere göre kekik, %50 çiçeklenme döneminde biçilerek hasat edilir (Baydar 2005). Bu dönemde bitkiler toprak üzerinden 1 cm yükseklikte kesilerek laboratuarda yaş ağırlıkları tartılmış ve kurutma kâğıtlarının üzerinde kurumaya

bırakılmıştır. 8-10 gün kurutulan bitkiler sabit ağırlığa ulaşınca kuru ağırlıkları kaydedilmiş ve örnekler laboratuvar analizleri için hazır hale getirilmiştir.

Hasat sonrasında her iki deneme konularından alınan bitki örneklerinde nem miktarı, uçucu yağ miktarı, toplam fenolik madde, toplam flavonoid madde, antioksidan aktivite ve ekstrakt verimi analizleri yapılmıştır. Bu amaçla Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü'nün laboratuvar olanaklarından yararlanılmıştır.

Örneklerin nem miktarı Anonim (1987)'ye göre belirlenmiştir. Bu amaçla 10 ± 0.001 g hassasiyetle tartılan örnekler 500 mL hacimli balon içersine aktarıldıktan sonra üzerine bitkileri tamamen kaplayacak kadar (150 mL) tolüen ilave edilmiştir. Daha sonra bu balon üzerine toplayıcı ve toplayıcının üzerine de geri soğutucu yerleştirilmiştir. Aparatın toplayıcı bölümü geri soğutucudan akıtılan tolüen ile balona taşınmaya kadar doldurularak distilasyon başlatılmıştır. İşlem toplayıcıdaki su seviyesi 5 saat süre ile değişmeden kalıncaya kadar sürdürülmüştür. Toplayıcı, çözücü tabakası berrak oluncaya kadar soğutularak, suyun hacmi okunmuştur. Nem miktarı (N_m), Eşitlik 3.4 ile ağırlıkça yüzde olarak hesaplanmıştır:

$$N_m = \frac{100xV}{m} \quad (3.4)$$

eşitlikte; V toplanan suyu (mL) ve m deney numunesinin kütlesini (g) ifade etmektedir.

Uçucu yağ miktarı, Anonim (1991)'de belirtilen yöntemle göre Neoclevenger düzeneğinde gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla 20 ± 0.001 g hassasiyetle tartılan örnekler 500 mL'lik balonlara aktarılmış, üzerine 200 mL saf su ilave edilmiştir. Soğutucu sistemdeki cam boru, toplama kısmı ve eğik boru, yan koldan verilen su ile doldurulmuştur. Damıtma hızı 2-3 mL/dk olacak şekilde ayarlanmış ve damıtma işlemi 5 saat devam ettirilmiştir. Damıtma süresi sonunda sistemin soğuması beklendikten sonra yağın hacmi okunmuştur. Uçucu yağ miktarı (UY) 100 g kuru madde de mililitre olarak Eşitlik 3.5 ile hesaplanmıştır:

$$UY = 100x \frac{V}{m} x \frac{100}{100 - W} \quad (3.5)$$

eşitlikte; V ölçülen uçucu yağ hacmini (mL), m deney numunesinin kütlesini (g) ve W rutubet miktarını (% (m/m)) ifade etmektedir.

Fenolik maddeler, bitkilerin yapılarında bulunan ikincil metabolitler olup, herhangi bir dış stres durumunda üretilerek bitkinin korunmasına yardımcı olurlar. Bitkilerde bulunan bu fenolik bileşenler, fenolik asitler ve flavonoidler olarak iki gruba ayrılır. Fenolik maddeler aynı zamanda meyve veya sebzelerin kendilerine özel tatlarının ve kokularının oluşmasında etkili olan maddelerdir. Flavonoidlerin içinde bulundurduğu gruplardan bazıları ise meyvelerin kendilerine özgü renklerinden sorumlu olmaktadır. Tüm fenolikler aynı zamanda antioksidan madde özelliği de gösterirler (Güngör 2007, Zor 2007, Nizamlioğlu ve Nas 2010). Bitkilerin fenolik madde içeriği ve bu maddelerin antioksidan aktivitesini belirlemek amacıyla farklı oranlarda metanol ve su ekstraksiyonu uygulanan araştırmalar (Tunalier vd 2002, Zuo vd 2002, Skerget vd 2005) dikkate alınarak metanol/su (80:20, v/v) ekstraktı kullanılmıştır. Ekstraktların eldesi için 1 ± 0.001 g hassasiyetle tartılan parçalanmış bitki örnekleri 250 mL'lik balon içerisine konularak üzerine 99 mL %80'lik metanol ilave edilmiştir. Balonların ağzı kapatılarak, çalkalamalı su banyosunda (150 d/dk'da orbital olarak) 40°C'de 2 saat süre ile ekstraksiyona tabi tutulmuştur (Tunalier vd 2002, Skerget vd 2005). Elde edilen balon içeriği soğutulduktan sonra mavi bantlı süzgeç kâğıdından süzölmüştür. Elde edilen bu ekstraktlarda ekstrakt verimi, toplam fenolik, toplam flavonoid ve antioksidan aktivite analizleri aşağıda açıldığı şekilde yapılmıştır.

Ekstrakt veriminin belirlenmesi için ekstrakt örneklerinden 15'er mL alınarak önceden darası alınmış petrilere aktarılmıştır. Daha sonra 65°C'de etüvde sabit tartıma gelene kadar kurutulmuştur. Ekstrakt verimi kuru madde üzerinden Eşitlik 3.6 ile hesaplanmıştır (Anonim 1990):

$$\text{Ekstrakt verimi (\%)} = \frac{15x(A - B)}{\%Kuru\ madde} \quad (3.6)$$

eşitlikte; A petri + kurutulmuş ekstrakt ağırlığı (g) ve B petri ağırlığını ifade etmektedir.

Ekstraktların toplam fenolik madde miktarı spektrofotometrik yöntemle belirlenmiştir. Bu amaçla, çıkarılan ekstraktlardan 0.5'er mL örnekler sızdırmaz kapaklı

cam tüpler içerisine aktarılmış, üzerine sırasıyla 2.5 mL Folin-Ciocalteu çözeltisi (saf su ile 10 kat seyreltilmiş) ve 2 mL %7.5'lik Na₂CO₃ çözeltisi eklenmiştir. Elde edilen karışım vorteksle karıştırıldıktan sonra 50°C'deki su banyosunda 5 dakika bekletilmiştir. Daha sonra oda sıcaklığına soğutularak spektrofotometrede (Shimadzu UV-vis 160A) 760 nm dalga boyunda, %80'lik metanol körüne karşı absorbansı okunmuştur. Elde edilen absorbans değerleri gallik asit çözeltileri ile oluşturulan kurve yardımıyla mg gallik asit eşdeğeri (GAE)/g kuru örnek ağırlığına dönüştürülmüştür (Skerget vd 2005).

Toplam flavonoid tayini için ekstraktlardan alınan 0.5'er mL örnek, cam tüpler içerisine konularak üzerine sırasıyla 2.5 mL saf su ve 150 µL %5'lik NaNO₂ çözeltisi eklendikten sonra vortekste karıştırılmıştır. Elde edilen çözelti 5 dakika bekletildikten sonra üzerine önce 300 µL %10'luk AlCl₃ çözeltisi daha sonra 1 mL 1M NaOH çözeltisi ve son olarak 550 µL saf su ilave edilmiştir. 5 dakika daha bekletilen çözeltinin absorbansı spektrofotometrede 510 nm dalga boyunda ölçülmüştür. Elde edilen absorbans değerleri (+)-kateşinle hazırlanan eğri yardımıyla mg (+)-kateşin eşdeğeri/g kuru örnek ağırlığına dönüştürülmüştür (Chang vd 2006).

Antioksidan aktivite tayini Von Gadow vd (1997) ve Maisuthisakul vd (2007) tarafından kullanılan DPPH radikalinin inhibisyonuna dayanan yöntemle yapılmıştır. Yöntemin uygulanmasında Molyneux (2004)'un değerlendirmelerine göre bazı düzenlemeler yapılmıştır. Bu yöntemde bitki ekstraktlarının her birinden dört farklı konsantrasyonda hazırlanan çözeltilerden birer tüp içerisine 100'er µL alınarak üzerine 4'er mL 6x10⁻⁵ M DPPH çözeltisi (metanol içerisinde hazırlanmış) ilave edilmiştir. Daha sonra çözeltiler oda sıcaklığındaki karanlık bir yerde 30 dakika (t) bekletilmiştir. Bu süre sonunda çözeltilerin absorbansı (A_{A(t)}) %80'lik metanole karşı spektrofotometrede (Shimadzu UV-vis 160A) 516 nm dalga boyunda okunmuştur. Bunun yanında örnek yerine % 80'lik metanol ve yine 4 mL DPPH çözeltisi ilave edilerek elde edilen çözeltinin absorbansı (A_{C(0)}) aynı dalga boyunda okunarak Eşitlik 3.7 yardımıyla inhibisyonu hesaplanmıştır (Yen ve Duh 1994, Katalanic vd 2006):

$$Inhibisyon = \frac{100 \times (A_{C(0)} - A_{A(t)})}{A_{C(0)}} \quad (3.7)$$

DPPH radikalinin %50'sini inhibe eden ekstrakt konsantrasyonu olarak tanımlanan IC₅₀ değeri ise 4 farklı konsantrasyonda hazırlanan ekstraktlara karşı çizilen DPPH radikalinin %inhibisyon oranından elde edilen doğru denkleminde hesaplanmıştır (Molyneux 2004, Bilušić Vundać 2007). Ayrıca aynı yöntemle Troloks standartlarının da IC₅₀ değerleri hesaplanmıştır.

3.2.3. Sulama düzeyi ve tuzluluğun kekik bitkisine etkisinin belirlenmesi

Her iki denemede de ardışık iki sulama arasındaki bitki su tüketimi (evapotranspirasyon, ET) aşağıda verilen su dengesi eşitliği yardımıyla belirlenmiştir:

$$ET = (W_n - W_{n+1}) + (AW - R) \quad (3.8)$$

eşitlikte W_n ve W_{n+1} sırasıyla n. ve n+1. sulama öncesindeki saksı ağırlığını (kg), AW sulama düzeyi veya tuzluluk denemesi için sırasıyla Eşitlik 3.1 veya 3.2'den elde edilen uygulanacak sulama suyu miktarını (L), ve R ise n. sulama sonrası saksı altlığında ölçülen drenaj suyu miktarını (L) ifade etmektedir.

Su ve tuzluluk stresi nedeniyle meydana gelen birim bitki su tüketimi azalışına karşılık verimde meydana gelen azalmayı (bitki verim tepki faktörü, K_y) belirlemek için Eşitlik 2.1'de de verilen su üretim fonksiyonu eşitliği kullanılmıştır. (Stewart ve Hagan 1973);

$$K_y = \left(1 - \frac{Y_a}{Y_m}\right) \left/ \left(1 - \frac{ET_a}{ET_m}\right) \right. \quad (3.9)$$

eşitlikte; Y_m ve ET_m su stresi oluşmadan elde edilen maksimum verimi ve bitki su tüketimini, Y_a ve ET_a su stresi altında elde edilen verimi ve bitki su tüketimini göstermektedir (Doorenbos ve Kassam 1986).

Bitki su tüketiminin (ET_c) hesaplanmasında Eşitlik 3.10' da verilen FAO Penman-Monteith yöntemi kullanılmaktadır;

$$ET_c = K_c \times ET_0 \quad (3.10)$$

eşitlikte; ET_c bitki su tüketimini (mm/gün), K_c bitki katsayısı, ve ET_0 ise referans bitki su tüketimini (mm/gün) simgelemektedir. Ancak sulama düzeyindeki su kısıtı konularında oluşacak su stresi nedeniyle bitki su tüketiminde düşüşler meydana gelecektir. Bu düşüşleri belirlemek için Allen vd (1998)'de verilen Eşitlik 3.11 önerilmektedir;

$$ET_{c\ adj} = K_s \times K_c \times ET_0 \quad (3.11)$$

Eşitlikte; $ET_{c\ adj}$, su stresi nedeniyle düzeltilmiş bitki su tüketimini (mm/gün); K_s , bitki transpirasyonu üzerine su stresinin etkilerini tanımlamaktadır. Son iki eşitliğin birbirine oranlanmasıyla bitki su stresi katsayısı (K_s) Eşitlik 3.12 yardımıyla belirlenmiştir.

$$K_s = \frac{ET_{c\ adj}}{ET_c} \quad (3.12)$$

eşitlikte; ET_c ve $ET_{c\ adj}$ değerleri sırasıyla kontrol ve su stresi/sulama suyu (toprak) tuzluluğu uygulanan konularda meydana gelen bitki su tüketimleri olup bu değerler denemeler boyunca saksıların düzenli olarak tartılmasıyla belirlenmiştir.

Maas ve Hoffman (1977) de önerilen tuzluluk-tepki modeli Van Genuchten (1983) tarafından geliştirilen yöntemle, vejetatif kuru ağırlık ve kök kuru ağırlığı için çizilmiş ve her bir faktör için eşik tuzluluk değeri ve eşik sonrası eğim değeri belirlenmiştir. Tuzluluk stresi nedeniyle meydana gelen verim azalmalarını belirlemek amacıyla kullanılan tuz tolerans modeli Maas ve Hoffman (1977);

$$\frac{Y_a}{Y_m} = 1 - \left(EC_e - EC_{e\ threshold} \right) \frac{b}{100} \quad (3.13)$$

eşitliği ile gösterilmektedir. Eşitlikte; Y_m $EC_e < EC_{e\ threshold}$ durumunda elde edilen maksimum verimi, Y_a $EC_e > EC_{e\ threshold}$ durumunda elde edilen verimi, EC_e bitki kök bölgesindeki toprağın saturasyon çamuru ekstraksiyonunun elektriksel iletkenlik

değerini (dS/m), EC_e (threshold) verim kaybının ilk meydana geldiği andaki saturasyon çamuru ekstraksiyonunun elektriksel iletkenlik değerini (dS/m), ve b eşik sonrası birim tuzluluk artışı için verim düşüşünü ifade etmektedir (Allen vd 1998).

3.2.4. İstatistiksel analizler

Denemelerden elde edilen veriler SPSS istatistik paket programı ile analiz edilmiştir (SPSS, 2002). Varyans analizlerinin yapılması ve parametreler arasındaki regresyon katsayılarının (R) belirlenmesi için Genel Lineer Model prosedürü kullanılmıştır. Değişkenler arasındaki lineer ilişkilerin derecesi Devore ve Peck (1993) tarafından önerildiği şekilde R^2 değerine dikkate alınarak; kuvvetli ($R \geq 0.8$), orta ($0.5 < R < 0.8$) ve zayıf ($R \leq 0.5$), olarak değerlendirilmiştir. Aksi belirtilmedikçe, bütün istatistiksel analizler 0.01 önem düzeyinde yapılmış ve yorumlanmıştır. Konulara ait ortalamaların sınıflandırılması 0.05 önem düzeyinde Duncan testi yardımıyla yapılmıştır.

4. BULGULAR

4.1. Sulama Düzeyi Deneme Sonuçları

4.1.1. Toprak Özellikleri

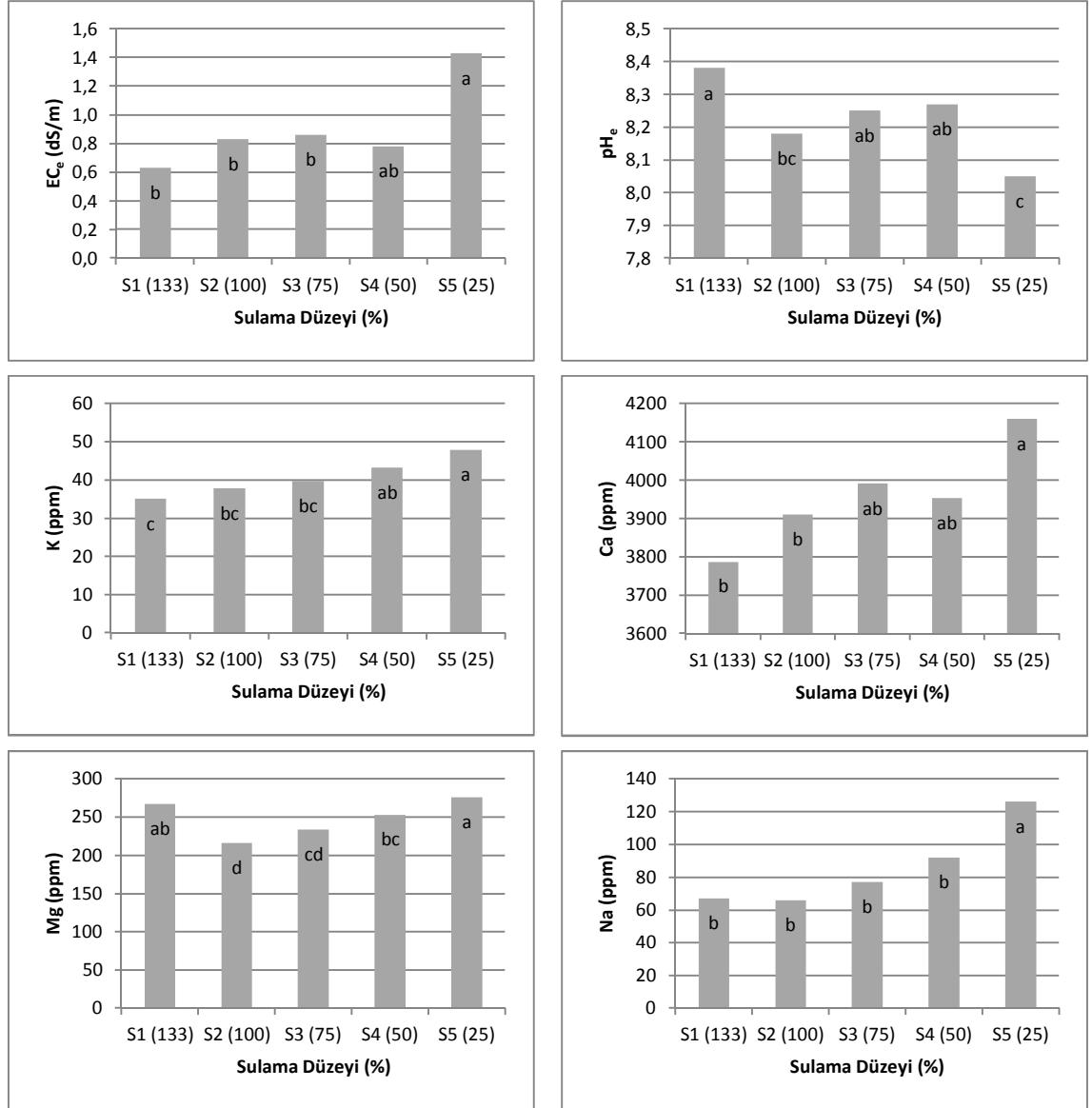
Sulama düzeyinin toprak özellikleri üzerine etkisine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Sulama düzeyinin toprak özelliklerine etkisine ilişkin istatistiksel analizler

Konular	EC _e (dS/m)	pH _e	K (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Na (ppm)
S ₁ (%133)	0.63 b [£]	8.38 a	35.2 c	3911 b	266 ab	67 b
S ₂ (%100)	0.83 b	8.18 bc	38.2 bc	3910 b	216 d	66 b
S ₃ (%75)	0.86 ab	8.25 ab	39.8 bc	3991 ab	234 cd	77 b
S ₄ (%50)	0.78 b	8.27 ab	43.2 ab	3952 ab	253 bc	92 b
S ₅ (%25)	1.43 a	8.05 c	48.0 a	4160 a	276 a	126 a
P Değeri	0.075	0.001	0.003	0.119	0.000	0.004
(Önemlilik)	ÖD	**	**	ÖD	*	**

EC_e: toprak saturasyon ekstraktı elektriksel iletkenliği, pH_e: toprak saturasyon ekstraktı pH değeri,
K: potasyum, Ca: kalsiyum, Mg: magnezyum, Na: sodyum
[£]: satırlarda Duncan testine göre %5 önem düzeyinde farklı ortalamalar ayrı harflerle gösterilmiştir
*: 0.001 olasılık düzeyinde önemli, **: 0.05 olasılık düzeyinde önemli, ÖD: Önemli değil

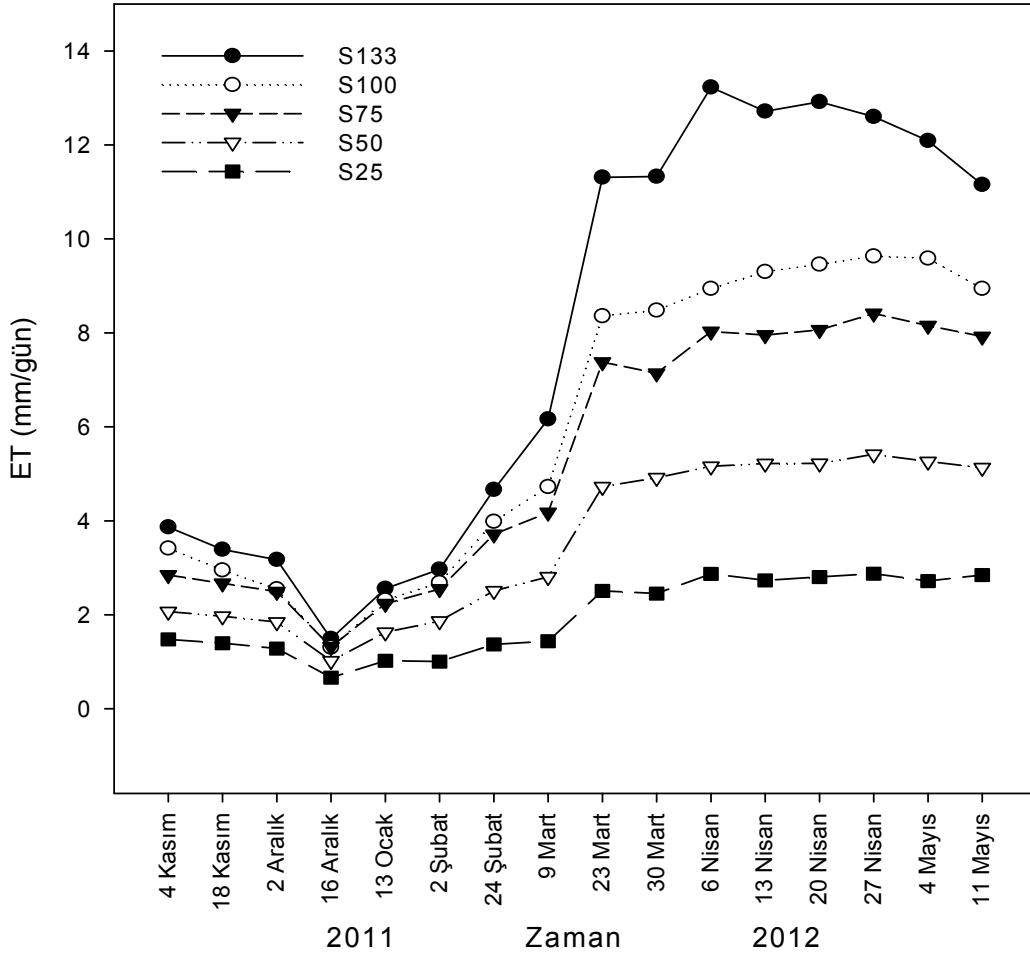
İstatistiksel analiz sonuçlarına göre sulama düzeyi denemesinde topraktaki magnezyum (Mg) 0.001 olasılık düzeyinde ve toprak saturasyon çamuru pH’sı (pH_e), toprak potasyum (K) ve sodyum (Na) miktarlarının 0.05 olasılık düzeyinde farklılık gösterdiği belirlenmiştir (Çizelge 4.1). Toprak saturasyon çamuru elektriksel iletkenliği (EC_e) ve topraktaki kalsiyum (Ca) miktarında ise 0.05 önem düzeyinde istatistiksel olarak bir farklılık oluşmamasına karşın Duncan test sonuçları bu parametrelerin konulara ait ortalamalarını sınıflara ayırmıştır. Duncan test sonuçlarına göre, genel olarak su kısıtının artmasıyla EC_e ile topraktaki K, Ca, Mg ve Na miktarları artmakta, pH_e değeri ise azalmaktadır (Çizelge 4.1, Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Farklı sulama düzeylerinde deneme topraklarının bazı kimyasal özelliklerindeki değişimler

4.1.2. Bitki Su Tüketimi

Sulama düzeyi denemesinde kekik bitkisinin yetiştirme dönemi boyunca günlük bitki su tüketimi (mm/gün) değişimi Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Beklenildiği gibi günlük su tüketimi değerleri tüm yetiştirme dönemi boyunca aşırı sulama (S₁) konusunda en fazla iken, en yüksek kısıntılı sulama (S₅) konusunda ise en az olmuştur. Günlük bitki su tüketiminde en büyük değişim yine S₁ konusunda gözlenirken, en düşük değişim S₅ konusunda meydana gelmiştir.



Şekil 4.2. Farklı sulama düzeylerinde yetiştirme periyodu boyunca kekik bitkisi günlük su tüketimindeki değişimler

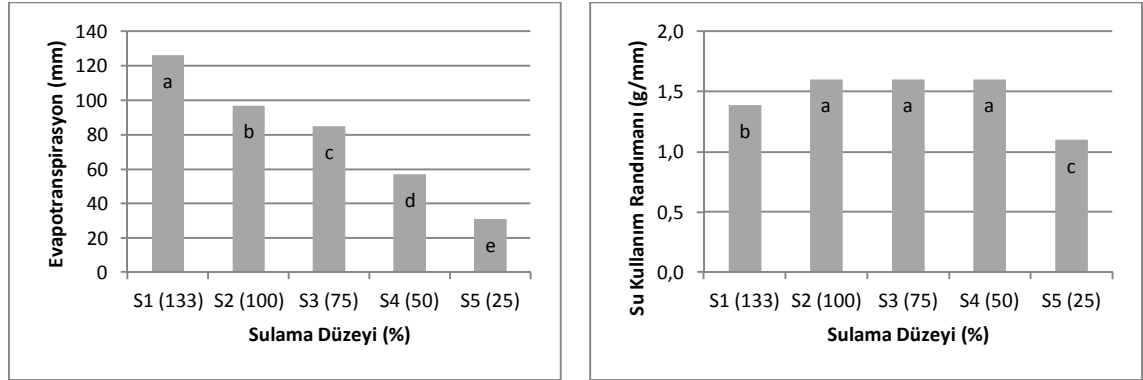
İstatistiksel analiz sonuçları 0.001 olasılık düzeyinde kekik bitkisinin su tüketiminin ve su kullanım randımanının sulama düzeyinden etkilendiğini göstermektedir. Söz konusu denemede ihtiyaç duyulan suyun sırasıyla %133, %100, %75, %50 ve %25'i bitkilere verildiğinden, beklendiği şekilde tüm konuların ET değerleri birbirinden farklılık arzemiş ve en yüksek ve en düşük bitki su tüketimi sırasıyla S₁ (%133) ve S₅ (%25) konularında ortaya çıkmıştır (Çizelge 4.2, Şekil 4.3). Kontrol (S₂) konusuna göre ET değerleri S₁ konusunda %30 daha fazla, S₃, S₄ ve S₅ konularında ise sırasıyla %12, %41 ve %68 daha azdır.

Çizelge 4.2. Sulama düzeyinin kekikte bitki su tüketimi ve su kullanım randımanı üzerine etkisine ilişkin istatistiksel analizler

Konular	ET (L)	SKR (g/mm)
S ₁ (%133)	126 a [£]	1.39 b
S ₂ (%100)	97 b	1.64 a
S ₃ (%75)	85 c	1.62 a
S ₄ (%50)	57 d	1.60 a
S ₅ (%25)	31 e	1.06 c
P değeri	0.000	0.000
(Önemlilik)	*	*

ET: bitki su tüketimi, SKR: bitki su kullanım randımanı
[£]: satırlarda Duncan testine göre %5 önem düzeyinde farklı ortalamalar ayrı harflerle gösterilmiştir
*: 0.001 olasılık düzeyinde önemli.

Su kullanım randımanı S₂, S₃, ve S₄ konularında en yüksek (sırasıyla 1.64, 1.62 ve 1.60 g/mm) ve S₅ (1.06 g/mm) konusunda ise en düşüktür. Birim su miktarı (mm) için kuru madde üretimi S₁ konusu için 1.39 g olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.2, Şekil 4.3).

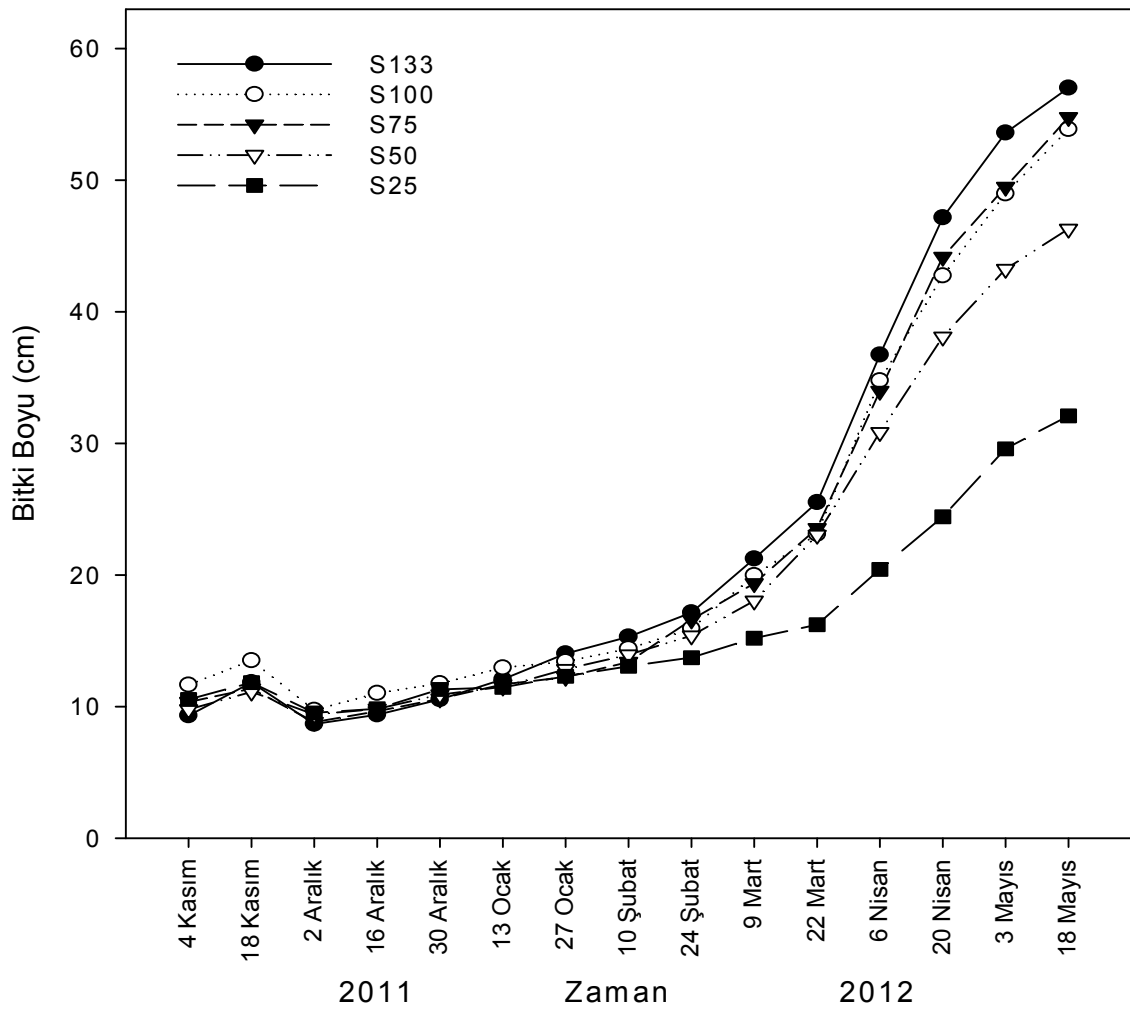


Şekil 4.3. Farklı sulama düzeylerinde kekik bitkisinin su tüketimi ve su kullanım randımanındaki değişimler

4.1.3. Büyüme ve Verim

Yetiştirme dönemi boyunca boyunca 15 günde bir yapılan bitki boyu ölçümleri Şekil 4.4'de grafiksel olarak sunulmuştur. Denemelerin başlamasından 2 hafta sonra homojenliği sağlanmak ve yan sürgün gelişimini arttırmak amacıyla bitki boyları toprak

üzerinden itibaren 8 cm olacak şekilde biçim yapılmıştır. Kış mevsimi boyunca bitki boylarında yavaş bir gelişme gözlenirken, havaların ısınmasıyla bitki boylarında önemli artışlar meydana gelmiştir. Özellikle Şubat ayından sonra bitki boylarındaki gelişim konular itibariyle şekillenmeye başlamıştır. Bitki boyları genel olarak aşırı sulama (S_1), kontrol (S_2) ve az kısıntılı (S_3) sulama düzeyi konularında benzer şekilde seyrederken, orta kısıntılı (S_4) sulama düzeyinde daha düşük, çok kısıntılı (S_5) sulama düzeyinde ise diğer konulara göre daha düşük bir artış göze çarpmaktadır (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Farklı sulama düzeylerinde yetiştirme periyodu boyunca kekik bitki boylarındaki değişimler



şekil 4.5. Farklı sulama düzeylerinde yetiştirme periyodu boyunca bitki boylarında meydana gelen görsel değişimler

Sulama düzeyin denemesinde kekik bitkisinin bitki boyu (BB), toplam yaş ağırlığı (TYA), yaprak kuru ağırlığı (YKA), gövde kuru ağırlığı (GKA) ve toplam kuru ağırlığı (TKA) değerlerine ilişkin verilerin istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.3'te sunulmuştur. İstatistiksel değerlendirmeler söz konusu tüm parametrelerin 0.001 olasılık düzeyinde sulama düzeyinden etkilendiğini ortaya koymaktadır.

Çizelge 4.3. Sulama düzeyinin kekikte büyüme ve verime ilişkin istatistiksel analizler

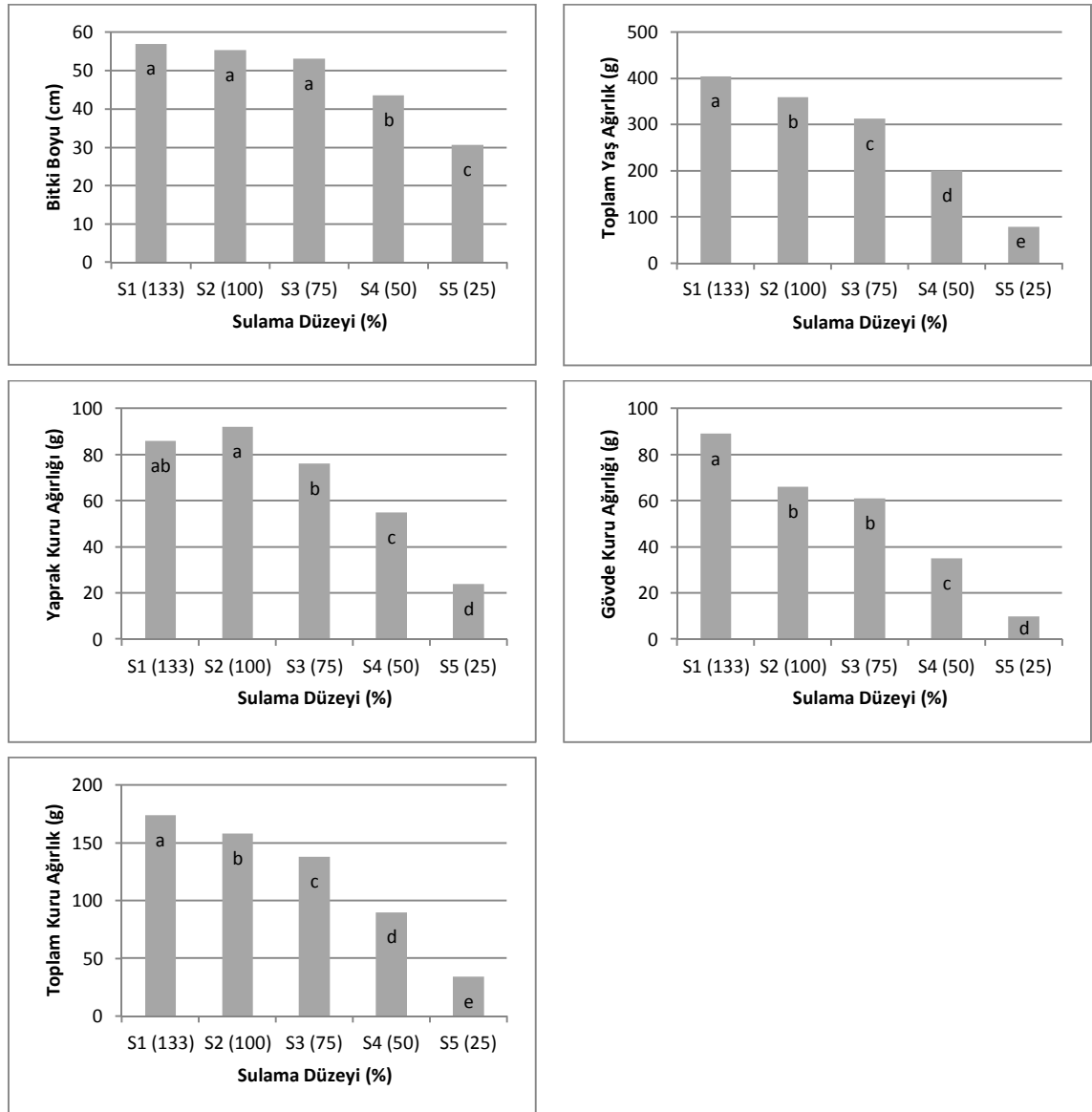
Konular	BB (cm)	TYA (g)	YKA (g)	GKA (g)	TKA (g)
S ₁ (%133)	57.0 a [£]	405 a	86 ab	89 a	174 a
S ₂ (%100)	55.4 a	359 b	92 a	66 b	158 b
S ₃ (%75)	53.2 a	313 c	76 b	61 b	138 c
S ₄ (%50)	43.6 b	202 d	55 c	35 c	90 d
S ₅ (%25)	30.8 c	79 e	24 d	10 d	34 e
P değeri	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
(Önemlilik)	*	*	*	*	*

BB: bitki boyu, TYA: toplam yaş ağırlık, YKA: yaprak kuru ağırlığı, GKA: gövde kuru ağırlığı, TKA: toplam kuru ağırlık
[£]: satırlarda Duncan testine göre %5 önem düzeyinde farklı ortalamalar ayrı harflerle gösterilmiştir
*: 0.001 olasılık düzeyinde önemli

Yetiştirme dönemi sonunda en yüksek ortalama bitki boyu S₁ için (57.0 cm) belirlenmiş olup bu değer S₂ ve S₃ konularından (sırasıyla 55.4 ve 53.2 cm) 0.05 önem düzeyinde bir farklılık arz etmemektedir. Yani kekik bitkisinde boy gelişimi aşırı (%133), tam (%100) ve az kısıntılı (%75) sulama düzeylerinde benzer etkiler göstermektedir. Buna karşın sulama düzeyindeki orta ve aşırı düzeydeki su kısıntılarının bitki boyunda önemli azalmalara neden olduğu söylenebilir (Çizelge 4.3, Şekil 4.6).

Bitkilerin toplam yaş ve kuru ağırlıkları birbiriyle uyum içerisinde olup sulama miktarının azalmasıyla azalmaktadır. Her iki parametre için de tüm konular birbirinden istatistiksel olarak farklılık göstermektedir (Çizelge 4.3, Şekil 4.6). En yüksek toplam yaş ve kuru ağırlık değerleri S₁ konusundan (sırasıyla 405 ve 174 g) elde edilirken en düşük değerler S₅ konusunda (sırasıyla 79 ve 34 g) kaydedilmiştir. Bitkilerin kurutulmasıyla ağırlıkta meydana gelen azalmalar %55 - %57 arasında değişmektedir.

Toplam yaş ve kuru ağırlıklara benzer şekilde yaprak ve gövde kuru ağırlıkları genel olarak artan su stresiyle azalmaktadır. En yüksek değerler yaprak kuru ağırlığı için S₁ ve S₂ konularından, gövde kuru ağırlığı için ise S₁ konusundan elde edilirken her iki parametre için de en küçük değerler aşırı su kısıntısında (S₅) ölçülmüştür (Çizelge 4.3, Şekil 4.6). Bu sonuçlar göstermektedir ki sulama uygulamalarında yapılacak kısıntılar kekik bitkisinin hem yaprak hem de gövde gelişimini olumsuz etkilemektedir.



Şekil 4.6. Farklı sulama düzeylerinde kekik bitkisinin bazı büyüme ve verim parametrelerindeki değişimler

4.1.4. Kalite Parametreleri

Sulama düzeyinin kekikte nem içeriği, uçucu yağ içeriği, toplam fenolik ve flavonoid madde, ekstrakt verimi ve antioksidan aktiviteye karşı meydana getirdiği etkilere ilişkin verilerin istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.4'te verilmiştir. Varyans analiz sonuçlarına göre sulama düzeyinin kalite parametrelerinden hava kuru yaprak nem içeriği ve antioksidan aktiviteye (AOA) etkisi 0.05 olasılık düzeyinde önemli bulunurken, uçucu yağ içeriği (UYİ), toplam fenolik (TFeM) ve flavonoid madde (TFIM) ve ekstrakt verimine (EV) etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır. Buna rağmen Duncan testi ekstrakt verimine ait ortalama değerleri sınıflandırmıştır.

Çizelge 4.4. Sulama düzeyinin kekikte bazı kalite parametrelerine etkisine ilişkin istatistiksel analizler

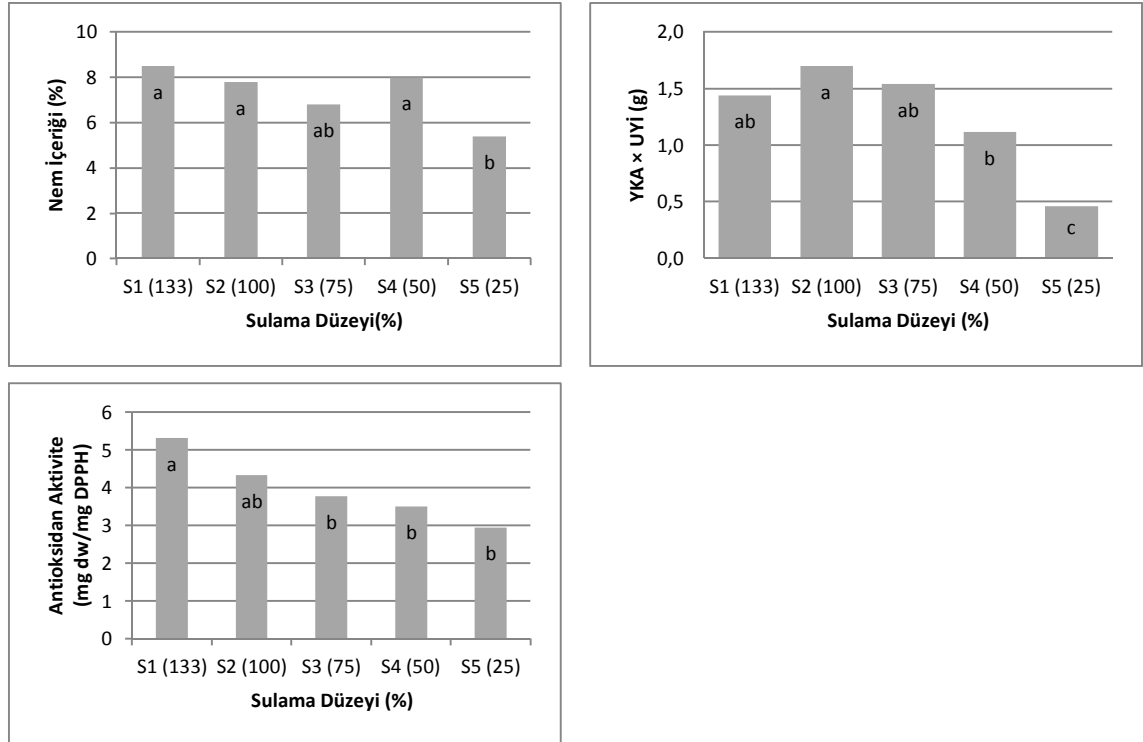
Konular	Nem (g/100g)	UYİ (g/100g)	YKA×UYİ (g)	TFeM (mg GAE/g)	TFIM (mg CE/g)	EV (g/100g)	AOA (IC ₅₀) (mg dw/mg DPPH)
S ₁ (%133)	8.50 a [£]	1.70	1.44 ab	2.22	1.65	15.4 b	5.32 a
S ₂ (%100)	7.80 a	1.84	1.70 a	2.35	1.62	17.1 ab	4.33 ab
S ₃ (%75)	6.80 ab	1.99	1.54 ab	2.64	1.87	17.9 ab	3.77 b
S ₄ (%50)	8.00 a	2.06	1.12 b	2.89	2.02	19.7 ab	3.51 b
S ₅ (%25)	5.39 b	2.04	0.46 c	2.76	2.06	20.7 a	2.94 b
P Değeri (Önemlilik)	0.049 **	0.447 ÖD	0.000 *	0.185 ÖD	0.434 ÖD	0.083 ÖD	0.021 **

UYİ: Uçucu yağ içeriği, YKA×UYİ: Toplam yağ miktarı TFeM: Toplam fenolik madde, TFIM: Toplam flavonoid madde, EV: Ekstrakt verimi, AOA: Antioksidan aktivite, GAE: Gallik asit eşdeğeri, CE: Kateşin eşdeğeri
£: satırlarda Duncan testine göre %5 önem düzeyinde farklı ortalamalar ayrı harflerle gösterilmiştir
*: 0.001 olasılık düzeyinde önemli, **: 0.05 olasılık düzeyinde önemli, ÖD: önemli değil

En düşük kuru yaprak nem içeriği değeri S₅ konusunda (5.39 g/100g) belirlenirken bu konu S₁, S₂ ve S₄ konularından (sırasıyla 8.50, 7.80 ve 8.00 g/100g) istatistiksel olarak farklılık göstermektedir (Çizelge 4.4, Şekil 4.7). Duncan test sonuçlarına göre en düşük ekstrakt verimi 15.4 g/100g değeri ile S₁ konusundan elde edilirken bu konu yalnızca S₅ konusundan (20.7 g/100g) farklılık göstermektedir.

Elde edilen uçucu yağ miktarlarının toplam yaprak kuru ağırlığına uyarlanması ile her uygulamadan elde edilen toplam yağ miktarlarının, uçucu yağ içeriklerine karşın istatistiksel olarak 0.001 düzeyinde farklılık gösterdiği belirlenmiştir (Çizelge 4.4, Şekil 4.7). Duncan test sonuçları, birim alandan elde edilen en yüksek uçucu yağ miktarlarının S₂, S₃ ve S₁ konularından (sırasıyla 1.70, 1.54, 1.44 g), en düşük miktarın ise S₅ konusundan (0.46 g) elde edildiğini göstermektedir.

IC₅₀ değerinin düşük olması, antioksidan aktivitenin yüksek olduğunu göstermektedir. Kekik bitkisine uygulanan sulama suyu miktarı azaldıkça antioksidan aktivitede artış meydana gelmektedir. En düşük antioksidan aktiviteye 5.32 mg dw/mg DPPH değeri ile S₁ ve en yüksek antioksidan aktiviteye ise S₅ konusunda (2.94 mg dw/mg DPPH) ulaşılmıştır. Ancak S₅ konusu yalnızca S₁ konusundan istatistiksel olarak önemlilik arz etmektedir (Çizelge 4.4, Şekil 4.7). Bu da bitki ihtiyacından fazla verilen suyun kekik bitkisinde antioksidan aktivitesini azaltacağını göstermektedir.



Şekil 4.7. Farklı sulama düzeylerinde kekik bitkisinin bazı kalite parametrelerindeki değişimler

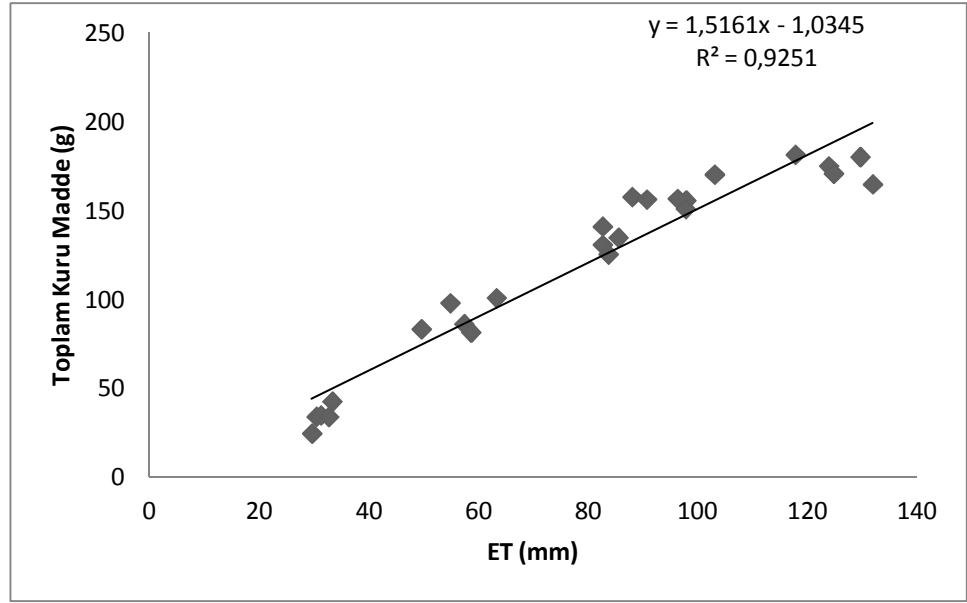
4.1.5. Parametreler Arasındaki İlişkiler

Sulama düzeyi denemesinden elde edilen tüm parametreler arasındaki ilişkilere ait korelasyon katsayıları (R) ve P değerleri Çizelge 4.5’de verilmiştir. Parametreler arasındaki ilişkiler %5 önem seviyesi için yorumlanmıştır.

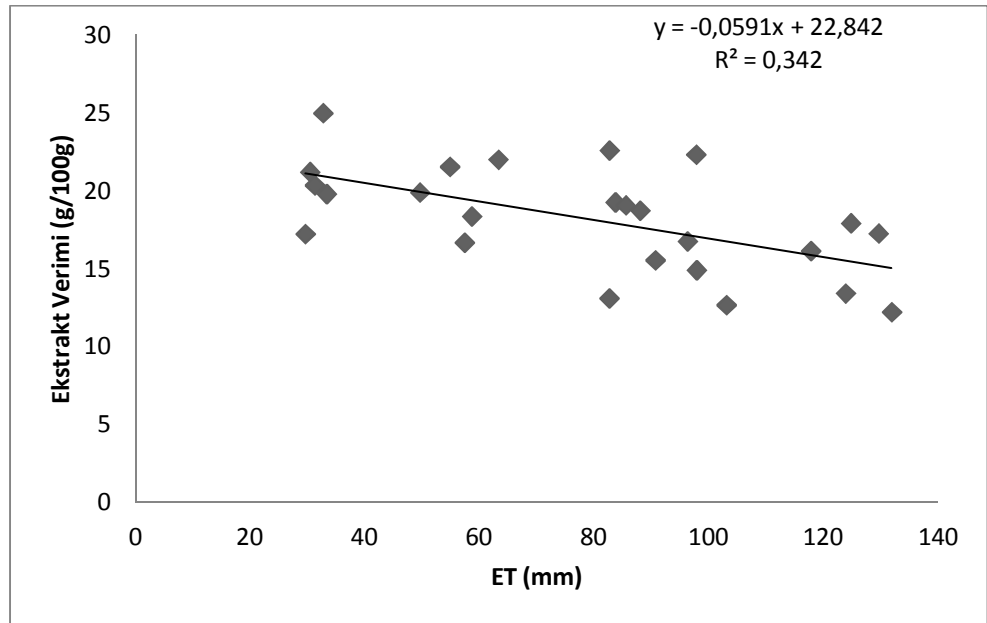
Toprak kimyasal özelliklerinden saturasyon çamurunun EC_e değeri ile pH_e arasında negatif-kuvvetli; Mg arasında pozitif-zayıf; Na arasında pozitif-orta; evapotranspirasyon, su kullanım randımanı, bitki boyu ve gövde kuru ağırlığı arasında negatif-zayıf; toplam yaş ve kuru ağırlık, yaprak kuru ağırlığı ve kuru yaprak nem içeriği arasında negatif-orta düzeyde bir ilişki bulunmaktadır. Sulama düzeyi denemesi için beklenildiği gibi toprak saturasyon çamuru EC_e değeriyle K, Ca, uçucu yağ içeriği, toplam fenolik ve flavonoid madde, ekstrakt verimi ve antioksidan aktivite arasında ise herhangi bir ilişki belirlenememiştir. Saturasyon çamurunun pH_e değeri ile K ve antioksidan aktivite arasında negatif-zayıf; Na arasında negatif-orta; bitki boyu ve kuru yaprak nem içeriği arasında ise pozitif-zayıf; evapotranspirasyon, toplam yaş ve kuru ağırlık ve yaprak ve gövde kuru ağırlığı arasında ise pozitif-orta düzeyde bir ilişki mevcuttur. pH_e değeri ile Ca, Mg, uçucu yağ içeriği, toplam fenolik ve flavonoid madde ve ekstrakt verimi arasında istatistiksel olarak bir ilişki yoktur.

Toprak K içeriği arttıkça kekik bitkisinde su tüketimi, bitki boyu ve verim (toplam yaş ve kuru ağırlık, yaprak ve gövde kuru ağırlığı) değerleri ve su kullanım randımanı azalırken; Ca, Na, toplam fenolik ve flavonoid madde, ekstrakt verimi ve antioksidan aktivite değerleri ise artmaktadır. Ca içeriği Mg, Na, ekstrakt verimi ve antioksidan aktivite değerleriyle pozitif; evapotranspirasyon, bitki boyu ve verim ve kuru yaprak nem içeriği değerleriyle ise negatif bir ilişki sergilemektedir. Toprak Mg içeriği yalnızca Na’la pozitif fakat su kullanım randımanı, toplam yaş ve kuru ağırlık, yaprak kuru ağırlığı değeriyle ise negatif bir ilişkiye sahiptir. Na içeriğindeki artış ekstrakt verimini ve antioksidan aktivitesini düşük düzeylerde arttırabilmekte ise de evapotranspirasyon, bitki boyu, toplam yaş ve kuru ağırlık, yaprak ve gövde kuru ağırlığı ve kuru yaprak nem içeriğinde azalmasına neden olmaktadır.

Çizelge 4.5. Sulama düzeyi denemesinde incelenen parametreler arasındaki ilişkiler



Şekil 4.8. Farklı sulama düzeylerinde evapotranspirasyon – toplam kekik kuru ağırlığı ilişkisi



Şekil 4.9. Farklı sulama düzeylerinde evapotranspirasyon – kekik ekstrakt verimi ilişkisi

Evapotranspirasyon sürpriz bir şekilde su kullanım randımanı ile herhangi bir ilişkisi göstermemesine rağmen bitki boyu ve toplam yaş ve kuru (Şekil 4.8) ağırlık, yaprak ve gövde ağırlığı değerlerini pozitif-kuvvetli; kuru yaprak nem içeriği değerlerini pozitif-orta, toplam fenolik ve flavonoid madde, ekstrakt verimi (Şekil 4.9)

ve antioksidan aktivitesi ise zayıf veya orta düzeyde negatif olarak etkilemektedir. Su kullanım randımanı arttıkça kekik bitkisinde bitki boyu, toplam yaş ve kuru, yaprak ve gövde kuru ağırlığı ve kuru yaprak nem içeriği orta düzeyde artmaktadır. Su kullanım randımanı ile incelenen kekik kalite parametreleri ve ekstrakt verimi arasında ise herhangi bir ilişki belirlenememiştir.

Kekikte bitki boyunun artışı ile beklenildiği gibi toplam yaş ve kuru ağırlık, yaprak ve gövde kuru ağırlık verimlerinin kuvvetli bir şekilde arttığı, ancak bu artışın ekstrakt verimi ve antioksidan aktiviteyi düşük düzeyde azalttığı görülmektedir. Kekik bitkisi toplam yaş ve kuru ağırlık, yaprak ve gövde kuru ağırlığı değerleri birbirleri ile pozitif-kuvvetli bir ilişki sergilerken; kuru yaprak nem içeriği ile orta veya zayıf düzeyde pozitif; toplam fenolik ve flavonoid (gövde kuru ağırlığı verimi hariç) madde, ekstrakt verimi ve antioksidan aktivite değerleriyle orta veya zayıf düzeyde negatif bir ilişki sergilemektedir.

Kekik bitkisinin kuru yaprak nem içeriği artışına bağlı olarak toplam fenolik ve flavonoid madde, ekstrakt verimi ve antioksidan aktivite değeri orta veya zayıf bir şekilde artmaktadır. Sulama düzeyi denemesinde kekik bitkisinin uçucu yağ içeriği ile diğer incelenen parametreler arasında herhangi bir ilişki bulunamamıştır. Toplam fenolik ve flavonoid madde içeriği, ekstrakt verimi ve antioksidan aktivite değerlerinin tümünün birbirinden kuvvetli bir şekilde pozitif olarak etkilendikleri belirlenmiştir.

4.2. Sulama Suyu Tuzluluğu Deneme Sonuçları

4.2.1. Toprak Özellikleri

Denemelerde uygulanan farklı sulama suyu tuzluluk düzeylerinin kekik bitkisinin yetiştirildiği saksı toprağının bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.6’te verilmiştir.

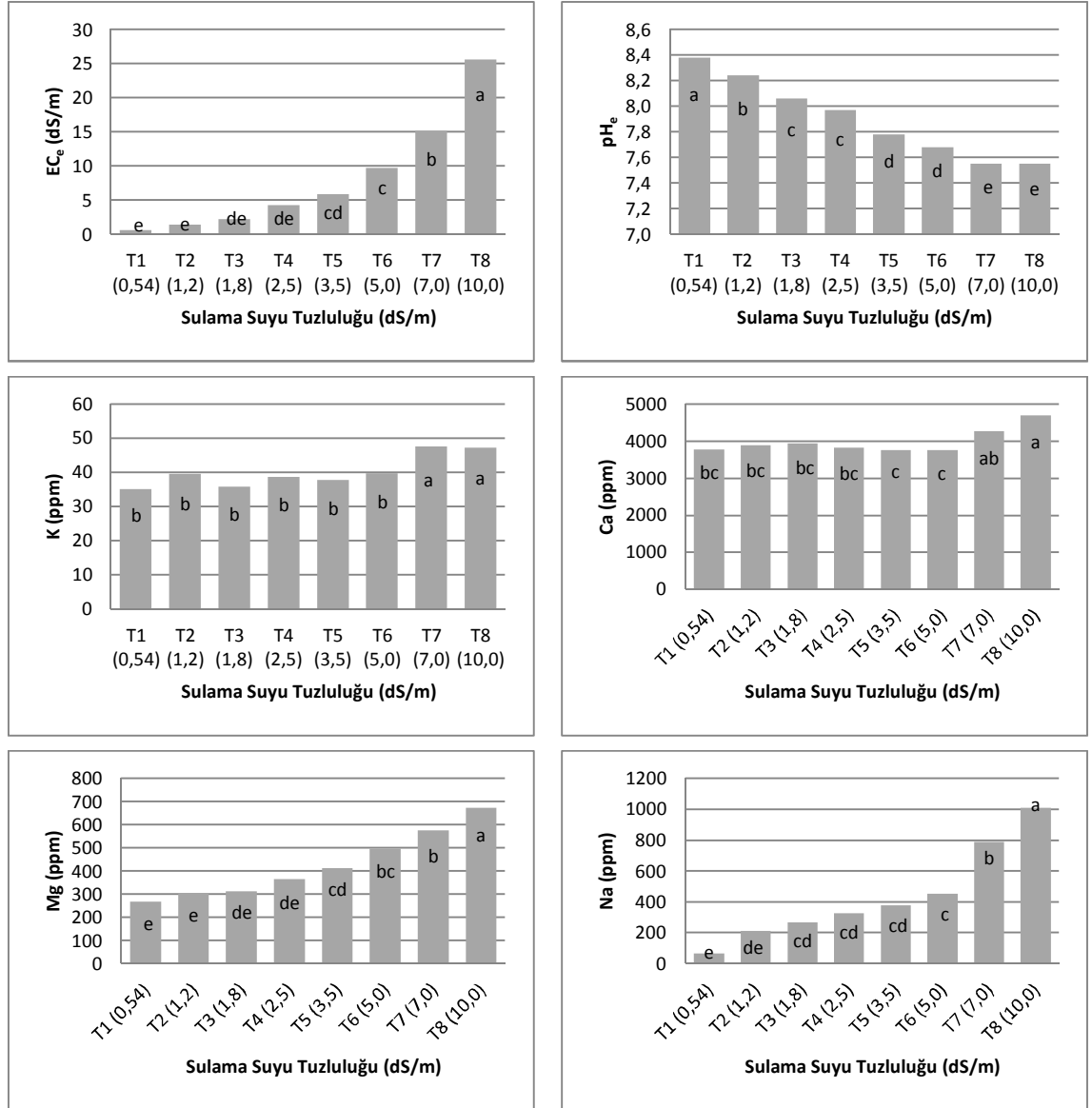
Çizelge 4.6. Sulama suyu tuzluluğunun toprak özelliklerine etkisine ilişkin istatistiksel analizler

Konular (dS/m)	EC _e (dS/m)	pH _e	K (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Na (ppm)
T ₁ (0.54)	0.63 e [£]	8.38 a	35.2 b	3911 bc	266 e	67 e
T ₂ (1.2)	1.41 e	8.24 b	39.6 b	3887 bc	303 e	213 de
T ₃ (1.8)	2.25 de	8.06 c	35.8 b	3937 bc	312 de	267 cd
T ₄ (2.5)	4.28 de	7.97 c	38.8 b	3836 bc	366 de	325 cd
T ₅ (3.5)	5.90 cd	7.78 d	38.2 b	3768 c	412 cd	377 cd
T ₆ (5.0)	9.69 c	7.68 d	39.7 b	3762 c	496 bc	452 c
T ₇ (7.0)	15.19 b	7.55 e	47.8 a	4280 ab	577 b	788 b
T ₈ (10.0)	25.64 a	7.55 e	47.2 a	4706 a	673 a	1010 a
P Değeri	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
(Önemlilik)	*	*	*	**	*	*

EC_e: toprak saturasyon ekstraktı elektriksel iletkenliği, pH_e: toprak saturasyon ekstraktı pH değeri,
K: potasyum, Ca: kalsiyum, Mg: magnezyum, Na: sodyum
[£]: satırlarda Duncan testine göre %5 önem düzeyinde farklı ortalamalar ayrı harflerle gösterilmiştir
*: 0.001 olasılık düzeyinde önemli, **: 0.05 olasılık düzeyinde önemli

İncelenen parametrelerden toprak tuzluluğu (saturasyon ekstraktı elektriksel iletkenliği, EC_e) sulama suyu tuzluluğundan 0.001 olasılık düzeyinde önemli derecede etkilenmiştir. Genel olarak sulama suyu tuzluluğu arttıkça EC_e değeri arttığı görülmektedir. Ancak Duncan test sonuçları dikkate alındığında 0.54 dS/m düzeyindeki kontrol (T₁) konusu ile T₂ (1.2 dS/m), T₃ (1.8 dS/m), ve T₄ (2.5 dS/m) konuları arasında sulama suyu tuzluluğunun toprak tuzluluğuna (sırasıyla 0.63, 1.41, 2.25 ve 4.28 dS/m) etkileri bakımından herhangi bir istatistiksel farkın olmadığı görülmektedir. En yüksek toprak tuzluluğu 25.64 dS/m ile T₈ konusunda ortaya çıkmıştır (Çizelge 4.6, Şekil 4.10).

Sulama suyu tuzluluğunun saturasyon ekstraktı pH (pH_e) değeri üzerine etkisi 0.001 olasılık düzeyinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. EC_e değerinin aksine artan sulama suyu tuzluluğu pH_e değerinin azalmasına neden olmuştur. En yüksek ve en düşük pH_e değerleri sırasıyla 8.38 değeri ile kontrol ve 7.55 değeriyle T₇ ve T₈ konularında ortaya çıkmıştır (Çizelge 4.6, Şekil 4.10).



Şekil 4.10. Farklı sulama suyu tuzluluklarında deneme topraklarının bazı kimyasal özellikleri

EC_e ve pH_e parametrelerine benzer şekilde sulama suyu tuzluluğu deneme topraklarının K, Mg ve Na içeriği 0.001 olasılık düzeyinde önemli derecede etkilenirken, Ca miktarındaki değişim 0.05 olasılık düzeyinde önemli bulunmuştur. Genel olarak sulama suyu tuzluluğu arttıkça toprakların K, Ca, Mg ve Na içerikleri de artmaktadır. Deneme başlangıcında 79.0 ppm (Çizelge 3.1) olan K içeriği deneme sonunda kontrol konusunda 35.2 ppm değerine kadar düşmüştür. En yüksek K içeriği

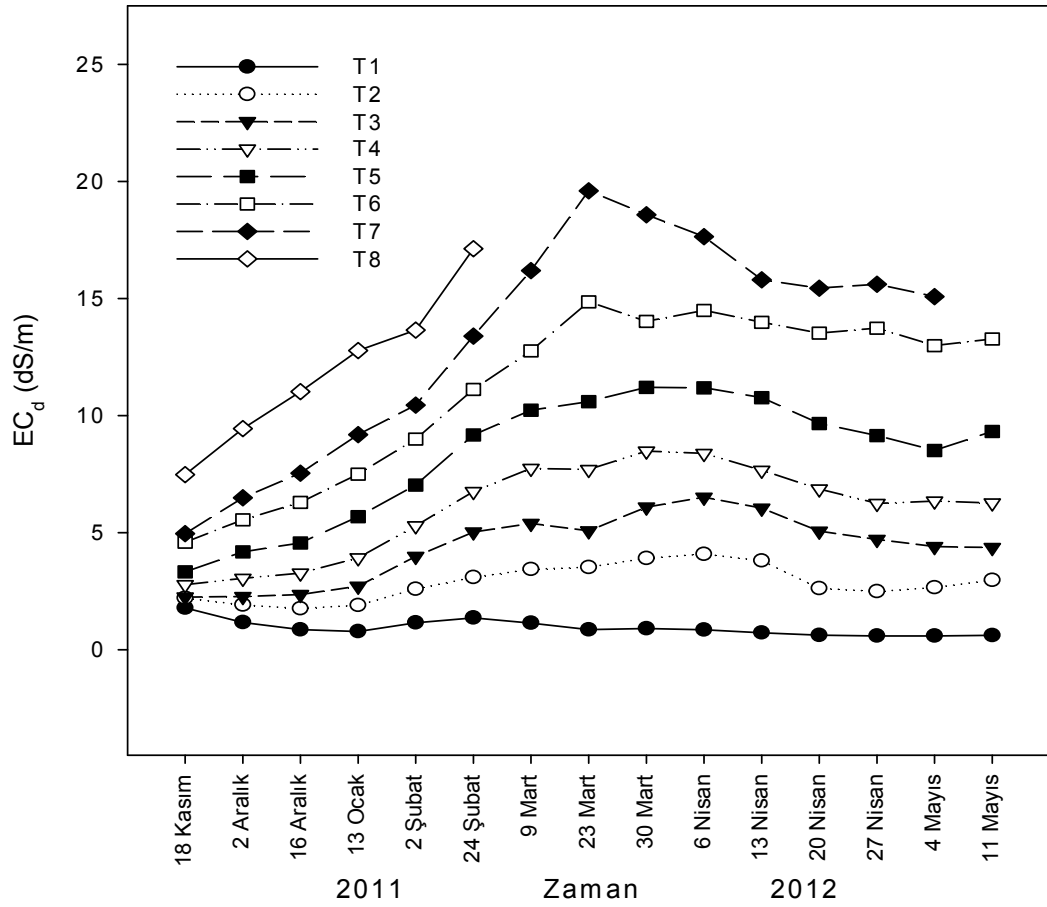
bitkilerin öldüğü T₇ (47.8 ppm) ve T₈ (47.2 ppm) konularından elde edilmiştir ki bunlar istatistiksel olarak diğer konulardan farklılık göstermektedir.

Her ne kadar bitkiler besin maddesi olarak kullanılsalar da, farklı konsantrasyonlarda sulama suyu tuzluluk değerlerin elde edilmesi amacıyla Na, Ca ve Mg tuzları kullanıldığından deneme sonunda yüksek tuzluluk konularında bu elementlerin daha yüksek konsantrasyonları beklenen bir durumdur. En yüksek değerler Ca için T₇ (4280 ppm) ve T₈ (4706 ppm) konularından, Mg ve Na için T₈ (sırasıyla 673 ve 1010 ppm) konusundan elde edilmiştir (Çizelge 4.6, Şekil 4.10).

4.2.2. Drenaj Suyu Kalitesi ve Bitki Su Tüketimi

Tuzluluk denemesinde her sulamada sulama suyuna ek olarak uygulanan yıkama suyu nedeniyle kök bölgesini yıkayarak saksı altlıklarında biriken drenaj sularının elektriksel iletkenlikleri (EC_{dw}) ve pH değerleri periyodik olarak ölçülmüştür. Deneme boyunca her sulama sonrasında ölçülen drenaj sularının elektriksel iletkenlik değerlerinin sulama aralıklarında değişimi Şekil 4.11’da verilmiştir.

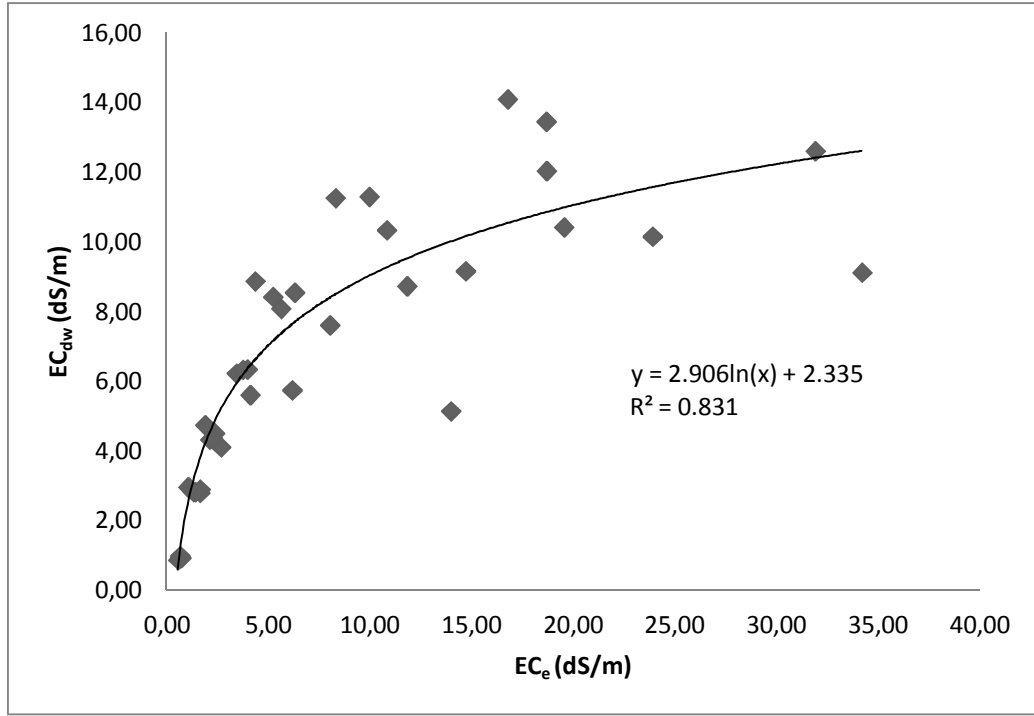
Genel olarak EC_{dw} değerleri, düşük tuzluluk (T₁ ve T₂) konularında kısa sürede dengeye gelerek yatay bir seyir izlerken, yüksek tuzluluk (T₆ ve T₇) konularında daha geç dengelenme ortaya çıkmış ve daha dalgalı bir seyir izlemiştir. T₈ konusu için sürekli olarak artan bir toprak tuzluluğu söz konusudur. Yüksek tuzluluğa bağlı olarak tüm tekerrürlerdeki bitkilerin ölmesi nedeniyle T₈ konusu için ancak 2 Şubat, T₇ konusu için ise 27 Nisan tarihine kadar drenaj suyu ölçüm ve analizleri yapılabilmektedir. Drenaj suyu EC değerinde meydana gelen dalgalanmanın kaynağı her sulamada ortaya çıkan gerçek yıkama oranların özellikle bitki büyümesi nedeniyle hedeflenen yıkama oranından (%25) sapmalar göstermesidir.



Şekil 4.11. Farklı sulama suyu tuzluluklarında yetiştirme periyodu boyunca drenaj suyu elektriksel iletkenliğindeki (EC_{dw}) değişimler

Konulara ait EC_e ile ortalama EC_{dw} arasındaki ilişki grafiksel olarak Şekil 4.12’de gösterilmiştir. Saturasyon çamuru ekstraktı elektriksel iletkenliği artışına paralel olarak drenaj suyu elektriksel iletkenliği logaritmik bir şekilde artmaktadır. İki parametre arasındaki bu kuvvetli logaritmik ilişki ($R^2 = \%83$) dikkatlice incelenecek olursa yaklaşık 5 dS/m EC_e değerinden sonra EC_{dw} değerlerindeki artışın azalmaya başladığı hatta 10 dS/m EC_e değerinden sonra nispeten yatay bir seyir izlediği görülmektedir.

Sulama suyu tuzluluğunun drenaj suyu kalitesine (EC_{dw} ve pH_{dw}) ve kekik bitkisinde bitki su tüketimi ve su kullanım randımanına etkisine ilişkin varyans analizleri sonuçları ve 0.05 önem düzeyinde konulara ait ortalamaların sınıflandırılması Çizelge 4.7’de sunulmuştur.



Şekil 4.12. Farklı sulama suyu tuzluluklarında deneme topraklarının saturasyon çamuru ekstraktı elektriksel iletkenliği (EC_e) ile drenaj suyu elektriksel iletkenliği (EC_{dw}) arasındaki ilişki

Tuzluluk denemesinde farklı tuzluluk değerlerine sahip sulama sularının uygulamalarına başlanmasından sonra özellikle yüksek tuzluluğa sahip konularda toprakta sürekli ve artan bir şekilde tuz birikiminin önlenmesi, belirli bir zaman diliminde her bir konu için belirli tuzluluk düzeyinin oluşturulması amacıyla her sulamada saksılara uygulanması gereken su miktarına %25'lik bir yıkama suyu eklenmiştir (Eşitlik 3.2). Böylelikle uygulanan sulama suyu tuzlulukları nedeniyle sürekli artan ve tüm konulardaki bitkilerin ölümüne neden olabilecek olası bir toprak tuzluluğu yerine, sabit toprak tuzluluğunun bitkilere etkisi araştırılabilmektedir. Her ne kadar yıkama oranı tuzluluk denemesi için %25 olarak hedeflenmiş ise de deneme sonunda yıkama oranlarının %23 (T₇) ile %25 (T₆) arasında değiştiği görülmektedir. Buna karşın yıkama oranı varyans analiz sonuçlarının önemsiz çıkması ve konular itibariyle yıkama oranı ortalamaların tümünün aynı sınıfa dahil olmaları bu sapmaların istatistiksel olarak denemede konular arasında farklılıklar oluşturmadığı göstermektedir (Çizelge 4.7).

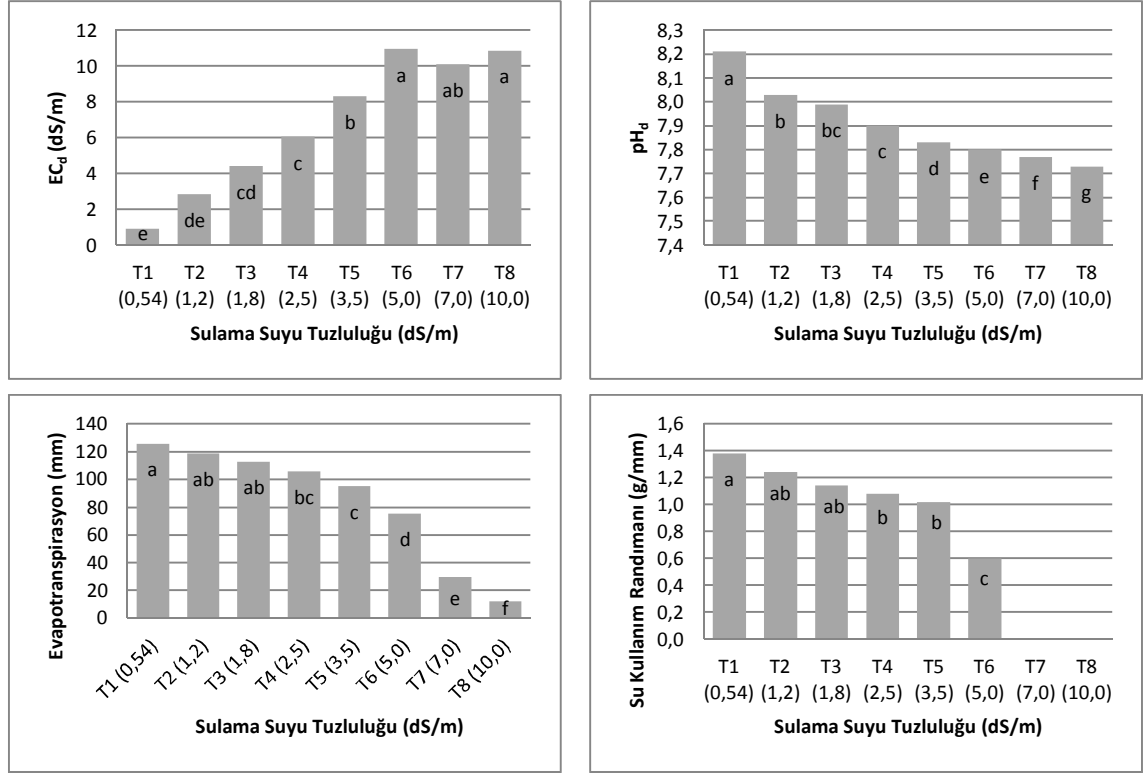
Çizelge 4.7. Sulama suyu tuzluluğunun drenaj suyuna ve kekikte bitki su tüketimi ve su kullanım randımanı üzerine etkisine ilişkin istatistiksel analizler

Konular (dS/m)	LF	EC _d (dS/m)	pH _{dw}	ET (mm)	SKR (g/mm)
T ₁ (0.54)	0.24	0.93 e [£]	8.21 a	125.8 a	1.38 a
T ₂ (1.2)	0.24	2.86 de	8.03 b	118.6 ab	1.24 ab
T ₃ (1.8)	0.24	4.41 cd	7.99 bc	112.6 ab	1.14 ab
T ₄ (2.5)	0.24	6.05 c	7.90 c	105.8 bc	1.08 b
T ₅ (3.5)	0.24	8.31 b	7.83 d	95.2 c	1.02 b
T ₆ (5.0)	0.25	10.96 a	7.80 e	75.3 d	0.60 c
T ₇ (7.0)	0.23	10.11 ab	7.77 f	29.6 e	-
T ₈ (10.0)	0.24	10.87 a	7.73 g	12.4 f	-
P Değeri	0.689	0.000	0.000	0.000	0.000
(Önemlilik)	ÖD	*	*	*	*

LF: yıkama oranı, EC_d: drenaj suyu elektriksel iletkenliği, pH_{dw}: drenaj suyu pH değeri,
ET: bitki su tüketimi, SKR: bitki su kullanım randımanı
[£]: satırlarda Duncan testine göre %5 önem düzeyinde farklı ortalamalar ayrı harflerle gösterilmiştir
*: 0.001 olasılık düzeyinde önemli, ÖD: önemli değil

İncelenen parametrelerden drenaj suyu tuzluluğu sulama suyu tuzluluğundan 0.001 olasılık düzeyinde önemli derecede etkilenmiştir. Genel olarak sulama suyu tuzluluğu arttıkça EC_{dw} değeri arttığı görülmektedir. Ancak Duncan test sonuçları dikkate alındığında T₈ konusu ile T₇ ve T₆ konuları arasında sulama suyu tuzluluğunun drenaj suyu tuzluluğuna (sırasıyla 10.87, 10.11 ve 10.96 dS/m) etkileri bakımından herhangi bir istatistiksel farkın olmadığı görülmektedir (Çizelge 4.7, Şekil 4.13).

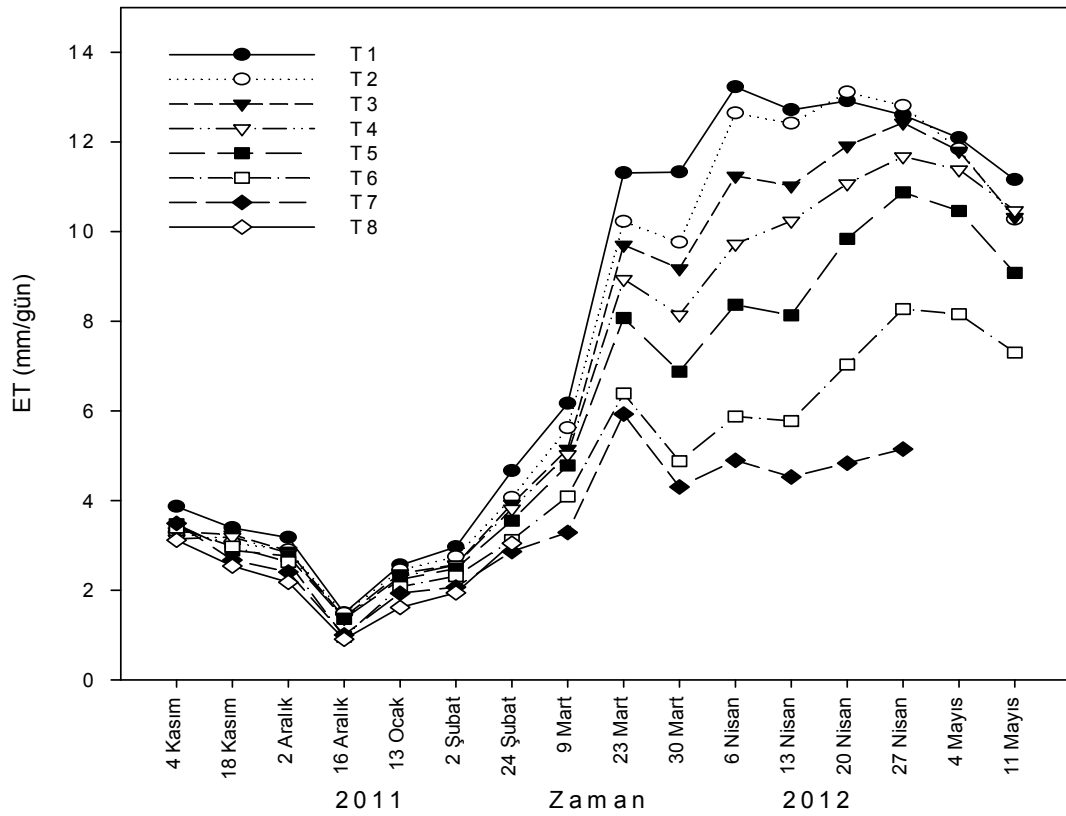
Toprak ekstraktı pH_e değerlerinde olduğu gibi sulama suyu tuzluluğunun drenaj suyu pH değeri üzerine etkisi 0.001 olasılık düzeyinde istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. EC_{dw} değerinin aksine artan sulama suyu tuzluluğu pH_{dw} değerinin azalmasına neden olmuştur. En yüksek ve en düşük pH_{dw} değerleri 8.21 ve 7.73 ile sırasıyla T₁ ve T₈ konularında ortaya çıkmıştır (Çizelge 4.7, Şekil 4.13).



Şekil 4.13. Farklı sulama suyu tuzluluklarında drenaj suyu kalitesi, kekik bitkisinin su tüketimi ve su kullanım randımanındaki değişimler

İstatistiksel analiz sonuçları 0.001 olasılık düzeyinde kekik bitkisinin su tüketiminin ve su kullanım randımanının sulama suyu tuzluluğundan etkilendiğini göstermektedir. Gerek ET ve gerekse SKR artan sulama suyu tuzluluğu ile azalmaktadır. En yüksek ET ve SKR değerleri T₁ konusunda belirlenmiştir. Ancak Duncan test sonuçları T₁ konusunun T₂ ve T₃ konularından hem bitki su tüketimi (sırasıyla 125.8, 118.6 ve 112.6 mm) ve hem de su kullanım randımanı (sırasıyla 1.38, 1.24 ve 1.14 g/mm) açısından istatistiksel olarak farklılık arzetmediğini göstermektedir (Çizelge 4.7, Şekil 4.12). Kontrol (T₁) konusuna göre ET değerleri T₄, T₅, T₆, T₇ ve T₈ konularında sırasıyla %16, %24, %40 %77 ve %90 daha azdır. Ancak belirtmek gerekir ki T₇ ve T₈ konularında yetiştirilen bitkiler yetiştirme dönemi içerisinde değişik zamanlarda yüksek tuzluluk nedeniyle ölmüştür. Bu konulara ait verim değerleri mevcut olmadığından SKR değerleri de hesaplanamamıştır. En düşük SKR değeri (0.60 g/mm) T₆ konusunda hesaplanmıştır. Su kullanım randımanındaki azalma yüksek tuzluluk değerlerinde verim azalmasının bitki su tüketimindeki azalmadan daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır.

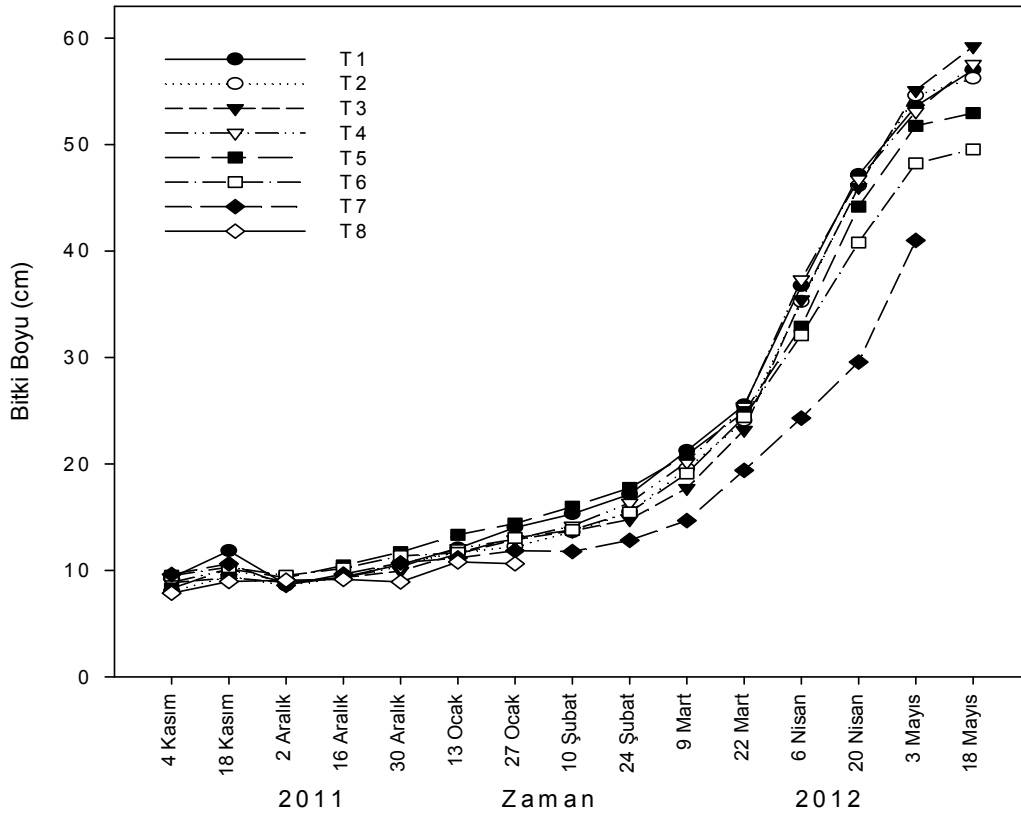
Tuzluluk denemesinde kekik bitkisinin yetiştirme dönemi boyunca günlük bitki su tüketimi (mm/gün) değişimi grafiksel olarak Şekil 4.14’de gösterilmiştir. Genel olarak beklenildiği gibi günlük su tüketimi değerleri tüm yetiştirme dönemi boyunca kontrol (T₁) konusunda en fazla iken, sırasıyla 27 Nisan ve 2 Şubat tarihine kadar yaşayan en yüksek sulama suyu tuzluluklarında (T₇ ve T₈) ise en az olmuştur. Tüm konular için günlük bitki su tüketimleri kış aylarında azalma göstererek Aralık ayında en düşük değerine ulaşmış, daha sonra hava sıcaklığının artması ve bitki gelişmesine bağlı olarak hızla artmıştır. En yüksek günlük ET değeri Nisan ayında yaklaşık 13 mm ile kontrol konusunda ortaya çıkmıştır.



Şekil 4.14. Farklı sulama suyu tuzluluklarında yetiştirme periyodu boyunca kekik bitkisi günlük su tüketimindeki değişimler

4.2.3. Büyüme ve Verim

Yetiştirme dönemi boyunca 15 günde bir yapılan bitki boyu ölçümleri Şekil 4.14'de grafiksel olarak sunulmuştur. Denemelerin başlamasından 2 hafta sonra homojenliği sağlamak ve yan sürgün gelişimini arttırmak amacıyla bitki boyları toprak üzerinden itibaren 8 cm olacak şekilde biçim yapılmıştır. Sulama düzeyi denemesinde olduğu gibi kış mevsimi boyunca bitki boylarında yavaş bir gelişme gözlenirken, havaların ısınmasıyla bitki boylarında önemli artışlar meydana gelmiş ve özellikle Şubat ayından sonra bitki boylarındaki gelişim konular itibariyle şekillenmeye başlamıştır. Yetiştirme dönemi sonuna kadar bitki boylarında genel olarak T₁, T₂, T₃ ve T₄ konuları arasında belirgin bir farklılık gözlemlenemezken bitki boyu artışı diğer konularda daha düşük bir seyir izlemektedir. Tüm tekerürlerinin ölmesi nedeniyle T₈ konusu için son 8 hafta ve T₇ konusu için ise son hafta bitki boy ölçümleri yapılamamıştır (Şekil 4.15).



Şekil 4.15. Farklı sulama suyu tuzluluklarında yetiştirme periyodu boyunca kekik bitki boylarındaki değişimler



şekil 4.16. Farklı sulama suyu tuzluluklarında yetiştirme periyodu boyunca bitki boylarında meydana gelen görsel değişimler

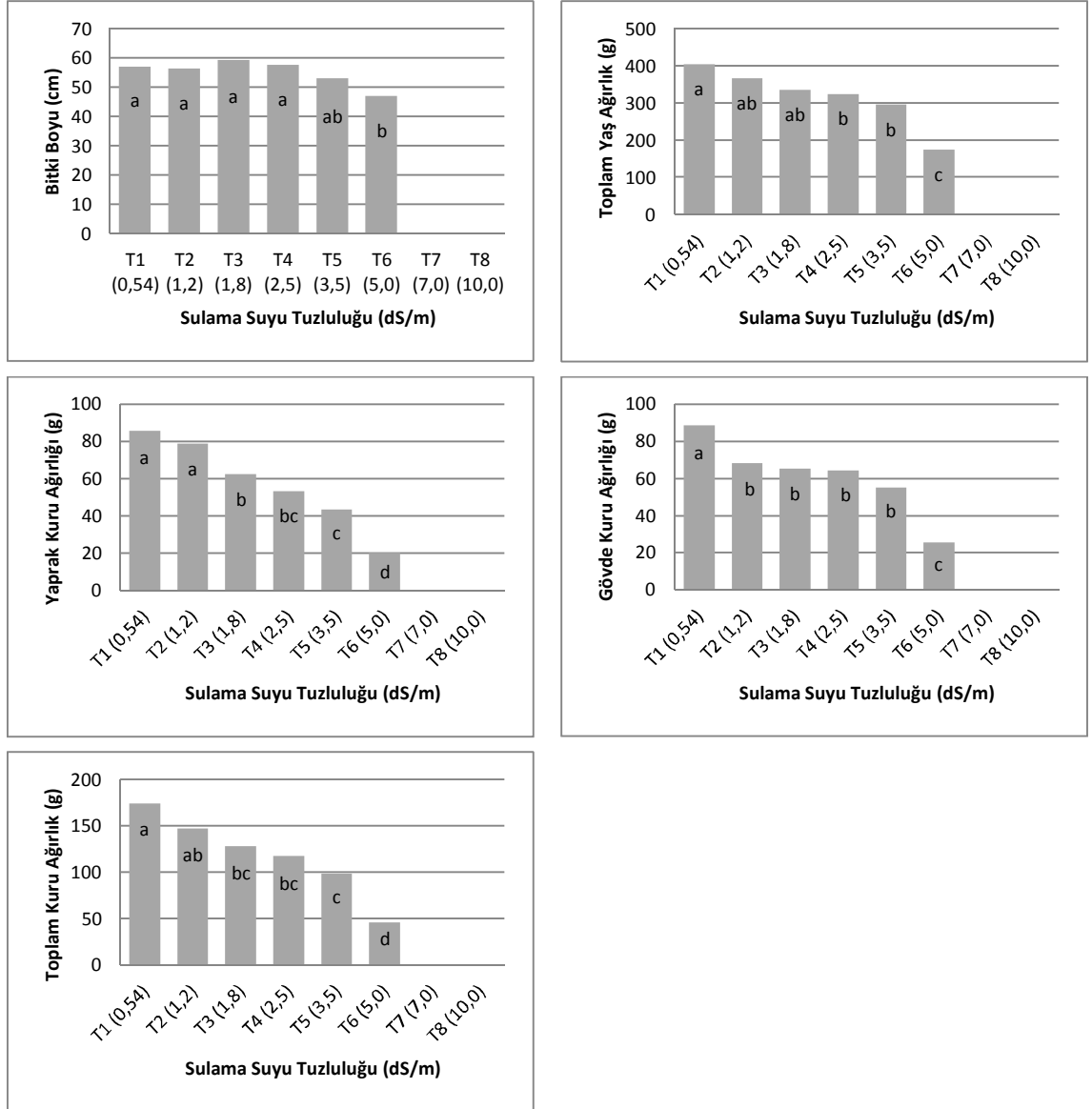
Tuzluluk denemesinde kekik bitki boyu, toplam yaş ağırlığı, yaprak kuru ağırlığı, gövde kuru ağırlığı ve toplam kuru ağırlığı değerlerine ilişkin verilerin istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.8’de sunulmuştur. Kekik bitkisine ele alınan tüm gelişme parametreleri (bitki boyu toplam yaş ve kuru ağırlık, ve yaprak ve gövde kuru ağırlıkları) 0.001 olasılık düzeyinde sulama suyu tuzluluğundan önemli düzeylerde etkilenmiştir. Yetiştirme dönemi içerisinde tüm tekerrürleri ölen T₇ ve T₈ konuları burada değerlendirme dışı tutulmuştur.

Çizelge 4.8. Sulama suyu tuzluluğunun kekikte büyüme ve verime etkisine ilişkin istatistiksel analizler

Konular (dS/m)	BB (cm)	TYA (g)	YKA (g)	GKA (g)	TKA (g)
T ₁ (0.54)	57.0 a [£]	405.2 a	85.8 a	88.6 a	174.4 a
T ₂ (1.2)	56.4 a	367.0 ab	79.0 a	68.2 b	147.2 ab
T ₃ (1.8)	59.4 a	335.6 ab	62.6 b	65.4 b	128.0 bc
T ₄ (2.5)	57.6 a	323.8 b	53.2 bc	64.4 b	117.6 bc
T ₅ (3.5)	53.0 ab	295.4 b	43.4 c	55.2 b	98.6 c
T ₆ (5.0)	47.0 b	175.3 c	20.3 d	25.7 c	46.0 d
T ₇ (7.0)	-	-	-	-	-
T ₈ (10.0)	-	-	-	-	-
P değeri	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
(Önemlilik)	*	*	*	*	*

BB: bitki boyu, TYA: toplam yaş ağırlık, YKA: yaprak kuru ağırlığı, GKA: gövde kuru ağırlığı, TKA: toplam kuru ağırlık
[£]: satırlarda Duncan testine göre %5 önem düzeyinde farklı ortalamalar ayrı harflerle gösterilmiştir
*: 0.001 olasılık düzeyinde önemli

Yetiştirme dönemi sonunda en yüksek ortalama bitki boyu T₃ konusunda (59.4 cm) belirlenmiş olup bu değer T₁, T₂, T₄ ve T₅ konularından (sırasıyla 57.0, 56.4, 57.7 ve 53.0 cm) 0.05 önem düzeyinde bir farklılık arz etmemektedir. Yani kekik bitkisinde boy gelişimi 3.5 dS/m sulama suyu tuzluluk düzeyine kadar değişim göstermemiştir. Buna karşın 5.0 dS/m sulama suyu tuzluluğunda ise bitki boyunda (47.0 cm) T₃ konusuna göre %21’lik bir azalma hesaplanmıştır (Çizelge 4.8, Şekil 4.17).



Şekil 4.17. Farklı sulama suyu tuzluluklarında kekik bitkisinin bazı büyüme ve verim parametrelerindeki değişimler

Bitkilerin toplam yaş ağırlıkları 1.8 dS/m sulama suyu tuzluluk düzeyine kadar farklılık göstermemiş (T₁, T₂ ve T₃ için sırasıyla 405.2, 367.0 ve 335.6 g) ancak bu düzeyden sonra istatistiksel olarak azalmaya başlamış ve T₆ konusu için en düşük değerini (175.3 g) almıştır. İstatistiksel analiz sonuçları ve ortalamaların sınıflandırılması incelendiğinde toplam kuru ağırlık için en yüksek değerler T₁ (174.4 g) ve T₂ (147.2 g) konular için belirlenirken en düşük kuru ağırlık T₆ konusundan (46.0 g) elde edilmiştir (Çizelge 4.8, Şekil 4.17). Sulama düzeyinden farklı olarak, bitkilerin

kurutulmasıyla ağırlıkta meydana gelen azalmalar dar bir aralıkta kalmamış, T₁, T₂, T₃, T₄, T₅ ve T₆ konuları için sırasıyla %57, 60, 62, 64, 67 ve 74 olarak hesaplanmıştır.

Toplam yaş ve kuru ağırlıklara benzer şekilde yaprak ve gövde kuru ağırlıkları genel olarak artan sulama suyu tuzluluğu ile azalmaktadır. En yüksek değerler yaprak kuru ağırlığı için T₁ ve T₂ konularından, gövde kuru ağırlığı için ise T₁ konusundan elde edilirken her iki parametre için de en küçük değerler T₆ konusu için ölçülmüştür (Çizelge 4.8, Şekil 4.17). Bu sonuçlar göstermektedir ki genel olarak kekik bitkisinin yaprak gelişimini 1.2 dS/m gövde ağırlığı ise 0.54 dS/m düzeyinden daha yüksek sulama suyu tuzluluklarından olumsuz etkilemektedir.

4.2.4. Kalite Parametreleri

Sulama suyu tuzluluğunun kekikte yaprak hava kuru nem içeriği, uçucu yağ içeriği, toplam fenolik ve flavonoid madde, ekstrakt verimi ve antioksidan aktiviteye karşı meydana getirdiği etkilere ilişkin verilerin istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.9'da verilmiştir. Varyans analiz sonuçlarına göre ele alınan bu kalite parametrelerinin tümü sulama suyu tuzluluğundan 0.001 olasılık düzeyinde etkilenmiştir. T₇ ve T₈ konularının artan tuzluluğa bağlı olarak deneme sonuçlanmadan ölmesi nedeniyle bunların kalite parametrelerine ilişkin istatistiksel analizlerin yapılması mümkün olmamıştır.

En yüksek nem içeriği ilk beş konuda görülürken değerler 8.10 ile 8.60 g/100g arasında değişmektedir. Nem içeriğinde 3.5 dS/m sulama suyu tuzluluk değerinden sonra büyük bir azalma meydana gelmiş ve en düşük nem içeriği T₆ konusu için (4.75 g/100g) belirlenmiştir (Çizelge 4.9, Şekil 4.18).

Sulama düzeyinin aksine sulama suyu tuzluluğu kekik bitkisinin uçucu yağ içeriği, toplam fenolik ve flavonoid madde içeriklerini 0.001 olasılık düzeyinde etkilemiştir. Ancak bunlara ait konu ortalamalarının sınıflandırılmasını içeren Duncan test sonuçları oldukça karmaşık bulunmuştur. En yüksek uçucu yağ içeriği T₆ konusu için (1.84 g/100g) elde edilmiş ancak bu konu yalnızca T₂ konusundan (1.45 g/100g)

istatistiksel olarak farklılık göstermiştir. Toplam fenolik madde içeriği değerlerine ait sonuçlarda en yüksek değerler 2.5 ve 3.5 dS/m sulama suyu tuzluluklarında (sırasıyla 3.79 ve 3.25 mg GAE/g) ortaya çıkarken en düşük değerler 2.10 ve 2.22 mg GAE/g ile T₁ ve T₂ konularında belirlenmiştir. Benzer şekilde en yüksek toplam flavanoid madde içeriği 2.5 ve 3.5 dS/m sulama suyu tuzluluklarında (sırasıyla 2.57 ve 2.47 mg GAE/g) ortaya çıkarken bu konular en düşük değerlere sahip olan T₁, T₂, T₃ ve T₆ konularından (sırasıyla 1.65, 1.50, 1.85 ve 1.65 mg GAE/g) istatistiksel olarak farklılık göstermişlerdir (Çizelge 4.9, Şekil 4.18).

Sulama suyu tuzluluğu, kekik bitkisinde uçucu yağ içeriğinin yaprak kuru ağırlığı bazında uyarlanması ile birim alanda elde edilen toplam yağ miktarını 0.001 olasılık düzeyinde etkilemiştir. Toplam yağ miktarlarında en yüksek değerlerle T₁, T₂ ve T₃ konuları (sırasıyla 1.44, 1.14, 1.14 g) arasında bir farklılık görülmezken, en düşük değer T₆ konusundan (0.32 g) elde edilmiştir.

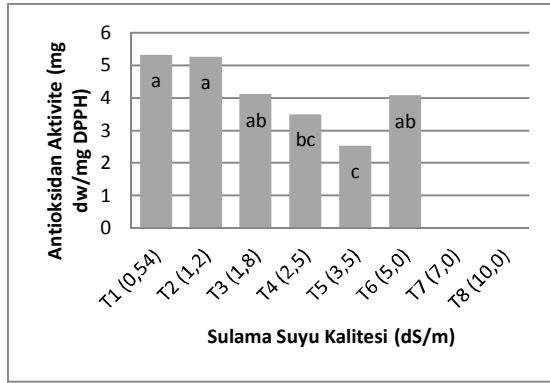
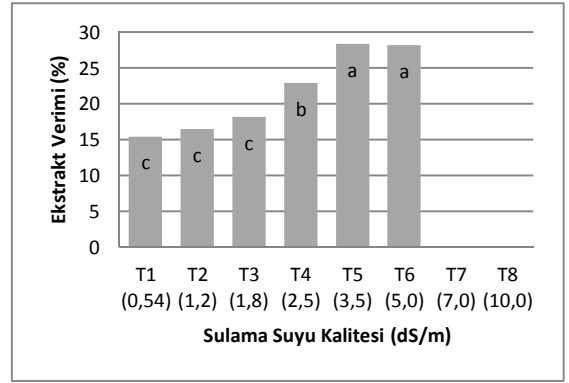
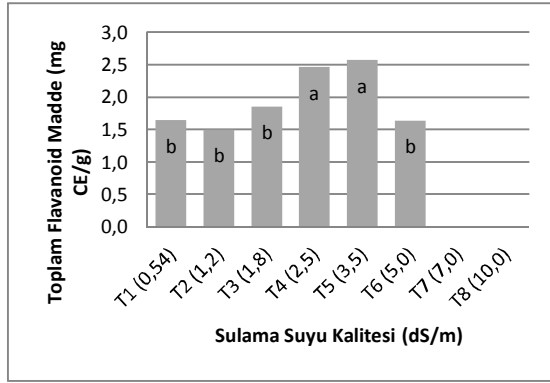
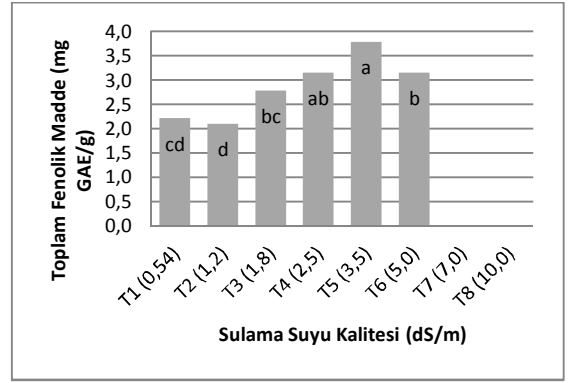
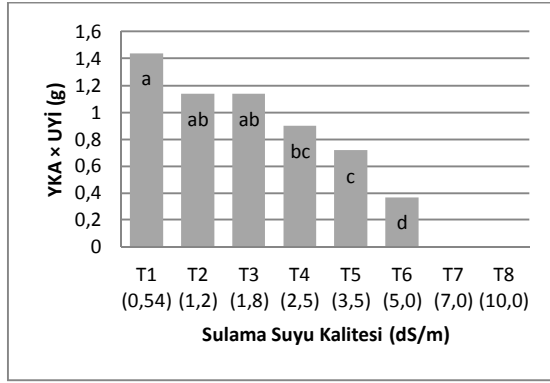
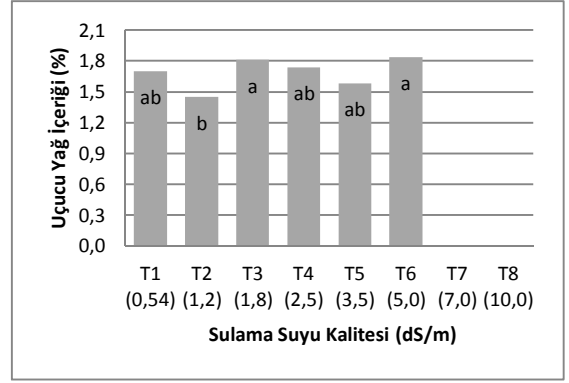
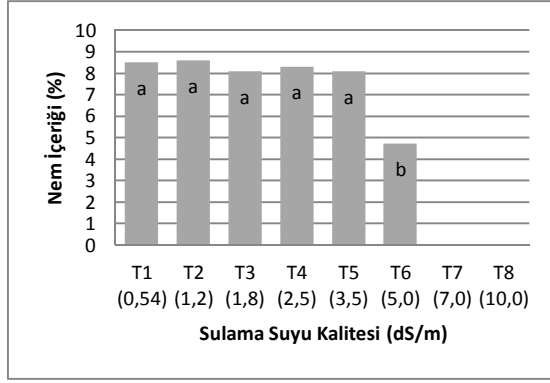
Çizelge 4.9. Sulama suyu tuzluluğunun kekik bitkisinde kalite parametrelerine etkisine ilişkin istatistiksel analizler

Konular (dS/m)	Nem (g/100g)	UYİ (g/100g)	YKA×UYİ (g)	TFeM (mg GAE/g)	TFIM (mg CE/g)	EV (g/100g)	AOA (IC ₅₀) (mg dw/mg DPPH)
T ₁ (0.54)	8.50 a [‡]	1.70 ab	1.44 a	2.22 cd	1.65 b	15.4 c	5.32 a
T ₂ (1.2)	8.60 a	1.45 b	1.14 ab	2.10 d	1.50 b	16.5 c	5.27 a
T ₃ (1.8)	8.10 a	1.82 a	1.14 ab	2.79 bc	1.85 b	18.2 c	4.12 ab
T ₄ (2.5)	8.30 a	1.74 ab	0.90 bc	3.25 ab	2.47 a	22.9 b	3.50 bc
T ₅ (3.5)	8.10 a	1.58 ab	0.72 c	3.79 a	2.57 a	28.4 a	2.53 c
T ₆ (5.0)	4.75 b	1.84 a	0.37 d	3.15 b	1.65 b	28.2 a	4.08 ab
T ₇ (7.0)	-	-	-	-	-	-	-
T ₈ (10.0)	-	-	-	-	-	-	-
P Değeri	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
(Önemlilik)	*	*	*	*	*	*	*

UYİ: Uçucu yağ içeriği, YKA×UYİ: Toplam yağ miktarı, TFeM: Toplam fenolik madde, TFIM: Toplam flavanoid madde, EV: Ekstrakt verimi, AOA: Antioksidan aktivite, GAE: Gallik asit eşdeğeri, CE: Kateşin eşdeğeri

[‡]: satırlarda Duncan testine göre %5 önem düzeyinde farklı ortalamalar ayrı harflerle gösterilmiştir

*: 0.001 olasılık düzeyinde önemli



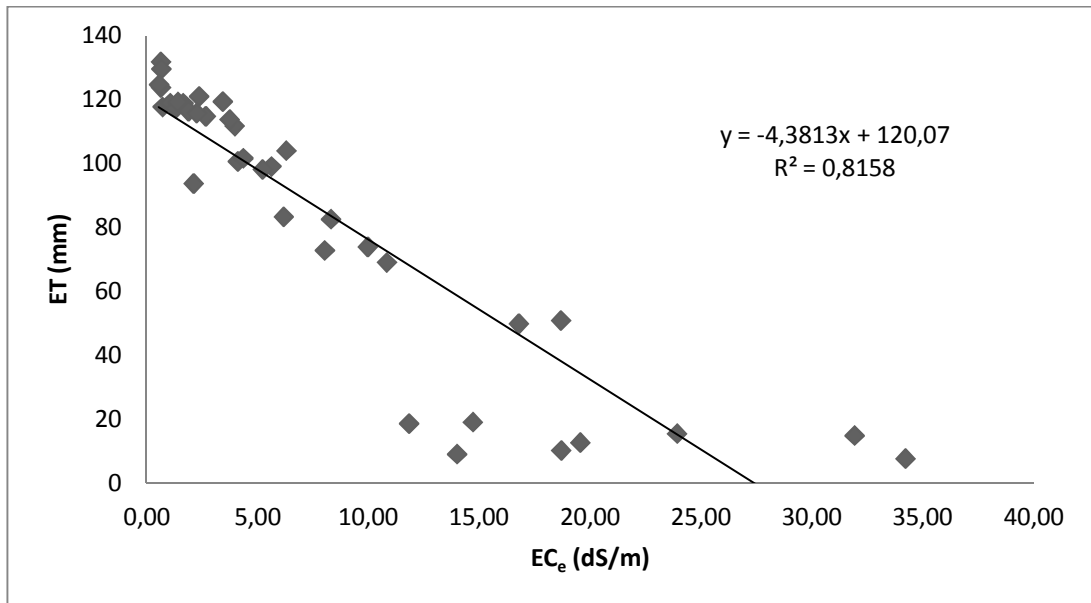
Şekil 4.18. Farklı sulama suyu tuzluluklarında kekik bitkisinin bazı kalite parametrelerindeki değişimler

Varyans analiz ve Duncan test sonuçları dikkate alındığında en yüksek ekstrakt verimlerine T₅ (28.4 g/100g) ile T₆ (28.2 g/100g), en düşük ise T₁ (15.4 g/100g), T₂ (16.5 g/100g) ve T₃ (18.2 g/100g) konularında ulaşılmıştır.

Kekik bitkisine uygulanan sulama suyu tuzluluğu arttıkça genel olarak 3.5 dS/m sulama suyu tuzluluk değerine kadar antioksidan aktivitede artış meydana geldiği T₆ konusunda ise önemli düzeylerde düştüğü belirlenmiştir. En düşük antioksidan aktiviteye 5.32, 5.27 ve 4.12 mg dw/mg DPPH değerleri ile sırasıyla T₁, T₂, T₃ ve T₆, en yüksek değerlere ise 3.50 ve 2.53 mg dw/mg DPPH ile T₄ ve T₅ konularında ulaşılmıştır (Çizelge 4.9, Şekil 4.18).

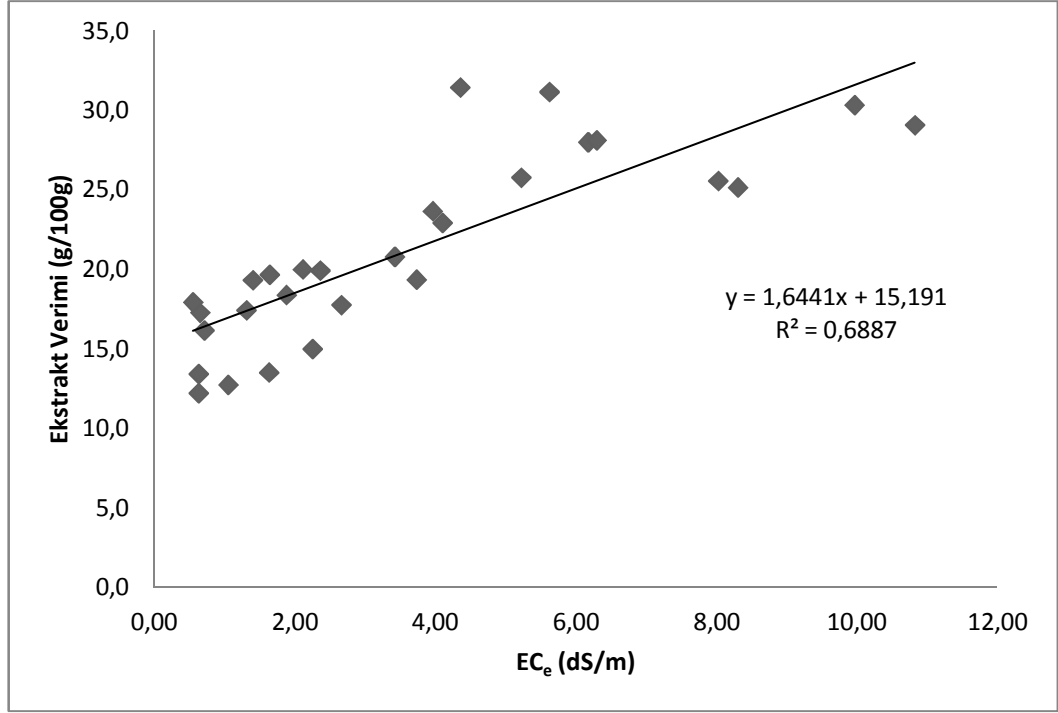
4.2.5. Parametreler Arasındaki İlişkiler

Tuzluluk denemesinden elde edilen tüm parametreler arasındaki ilişkilere ait korelasyon katsayıları (R) ve P değerleri Çizelge 4.10'da verilmiştir. Parametreler arasındaki ilişkiler %5 önem seviyesi için yorumlanmıştır. Genel olarak bakıldığında sulama düzeyi denemesinde olduğu gibi uçucu yağ içeriği ile diğer parametreler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunmamaktadır.



Şekil 4.19. Farklı sulama suyu tuzluluklarında toprak tuzluluğu–bitki su tüketimi ilişkisi

Çizelge 4.10. Tuzluluk denemesinde incelenen parametreler arasındaki ilişkiler



Şekil 4.20. Farklı sulama suyu tuzluluklarında toprak tuzluluğu – kekik ekstrakt verimi ilişkisi

Sulama suyu tuzluluğu artışına paralel olarak artan saturasyon çamurunun EC_e değeri ile pH_{dw}, bitki boyu, gövde kuru ağırlığı ve kuru yaprak nem içeriği negatif-orta düzeyde; pH_e, evapotranspirasyon (Şekil 4.19), su kullanım randımanı, toplam yaş ve kuru ağırlık, yaprak kuru ağırlığı arasında negatif-kuvvetli; K, Ca ve EC_{dw}, toplam fenolik madde arasında pozitif-orta; Mg, Na ve ekstrakt verimi (Şekil 4.20) arasında ise pozitif-kuvvetli bir ilişki bulunmaktadır.

Saturasyon çamurunun pH_e değeri ile Ca ve toplam flavonoid madde arasında zayıf-negatif; K, toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite arasında negatif-orta, Mg, Na, EC_{dw} ve ekstrakt verimi arasında negatif-kuvvetli bir ilişki; bitki boyu arasında pozitif-zayıf; su kullanım randımanı, toplam yaş ve gövde kuru ağırlığı arasında pozitif-orta; pH_{dw}, evapotranspirasyon, toplam kuru ve yaprak kuru ağırlığı arasında ise pozitif-kuvvetli bir ilişki mevcuttur.

Toprak K içeriği arttıkça pH_{dw}, kekik bitkisinin su tüketimi, su kullanım randımanı, bitki boyu toplam yaş ve kuru ağırlık, gövde kuru ağırlık değerleri düşük

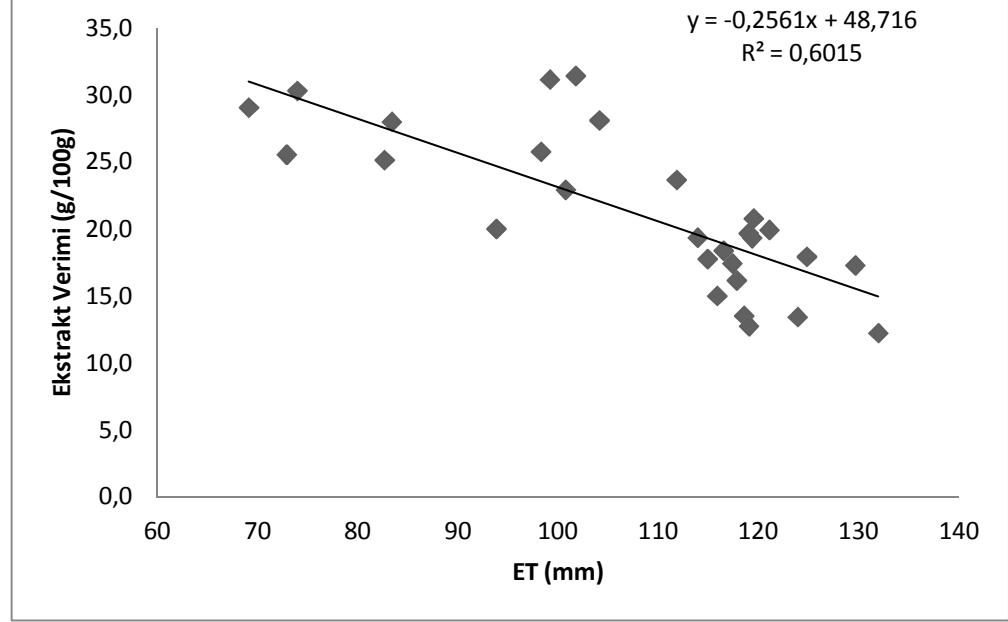
veya orta düzeyde azalırken; Ca, Mg, Na ve EC_{dw} değerleri orta düzeyde artmaktadır. Ca içeriği artarken EC_{dw} ve bitki boyunu düşük; Mg ve Na içerikleri ise orta düzeyde artmaktadır. Buna karşın Ca değerindeki artış evapotranspirasyonu orta düzeyde azaltmaktadır. Toprak Mg içeriği Na, EC_{dw} ve ekstrakt verimi ile kuvvetli; toplam fenolik madde ve antioksidan aktivite değeriyle orta-pozitif; fakat pH_{dw} , su kullanım randımanı, bitki boyu, toplam yaş ve gövde kuru ağırlığı ve uçucu yağ içeriği ile düşük veya orta; evapotranspirasyon, toplam ve yaprak kuru ağırlığıyla kuvvetli-negatif bir ilişkiye sahiptir. Sulama düzeyi denemesinde olduğu gibi, tuzluluk denemesinde de Na içeriğinin kekiğin ekstrakt verimini önemli düzeylerde arttırdığı belirlenmiştir. Buna ek olarak fenolik madde değeri orta ve toplam flavonoid değeri de Na içeriğinden zayıf bir şekilde etkilenmektedir. Toprakta Na içeriğinin artmasıyla beklenildiği şekilde drenaj suyunun tuzluluğu orta düzeyde artmakta ve pH_{dw} değeri azalmaktadır. Benzer şekilde Na artışı bitki boyu ve kuru yaprak nem içeriğini düşük; su kullanım randımanı, toplam kuru ve yaprak kuru ağırlıklarını kuvvetli; kekik bitkisinin kalite parametrelerini orta; bitki su tüketimini, toplam yaş ve gövde kuru ağırlıklarını kuvvetli düzeyde olumsuz etkilemektedir.

Drenaj suyu tuzluluğu ile pH_{dw} değerleri arasında kuvvetli-negatif bir ilişki mevcuttur. EC_{dw} değerindeki artışlarla evapotranspirasyon, su kullanım randımanı, bitki boyu, toplam yaş ve kuru ağırlık, yaprak ve gövde kuru ağırlığı, kuru yaprak nem içeriği değerleri azalırken; toplam fenolik ve flavonoid madde ve ekstrakt verimi değerleri artmaktadır.

Evapotranspirasyon ve su kullanım randımanı ile bitki boyu ve kuru yaprak nem içeriği arasında düşük veya orta; toplam yaş ve kuru ağırlık, yaprak ve gövde kuru ağırlığı arasında kuvvetli pozitif bir ilişki mevcuttur. Evapotranspirasyon artışı toplam fenolik madde ve ekstrakt verimini (Şekil 4.21) olumsuz etkilemektedir.

Genel olarak bitki boyu ve verim parametreleri arasında beklenildiği gibi kuvvetli pozitif ilişkiler mevcuttur. Bu değerler ile kuru yaprak nem içeriği arasında orta düzeyde pozitif; ekstrakt verimi değeri ile de orta veya kuvvetli bir negatif ilişki olduğu görülmektedir. Hava kuru yaprak nem içeriği arttıkça ekstrakt veriminin düşük düzeyde

de olsa azaldığı belirlenirken toplam fenolik ve flavonoid madde ile ekstrakt verimi arasındaki ise orta veya kuvvetli düzeyde pozitif bir ilişki belirlenmiştir.



Şekil 4.21. Farklı sulama suyu tuzluluklarında evapotranspirasyon – kekik ekstrakt verimi ilişkisi

5. TARTIŞMA

5.1. Sulama Düzeyi Deneme Sonuçlarının Tartışılması

Sulama düzeyi denemesinde her ne kadar tüm konulara aynı tuzluluk seviyesine sahip sulama suları uygulanmış ise de, toprak tuzlulukları arasında istatistiksel olarak önemli farklılıklar meydana gelmiştir. Bunun temel nedeni uygulanan suların özellikle tam ve kısıtlı sulama koşullarında herhangi bir yıkama olmaksızın buharlaşma ve bitki kullanımı nedeniyle saf veya safa yakın olarak toprak yüzeyinden kaybedilmesi ve sulama suyuyla toprağa eklenen tuzların büyük bir kısmının toprakta sürekli bir şekilde birikmesinden kaynaklanmaktadır. Bu birikmenin hem bitki büyümesi ve bitki alımları hem de uygulanan sulama suyu miktarına bağlı olarak konular arasında farklılıklara neden olduğu düşünülmektedir.

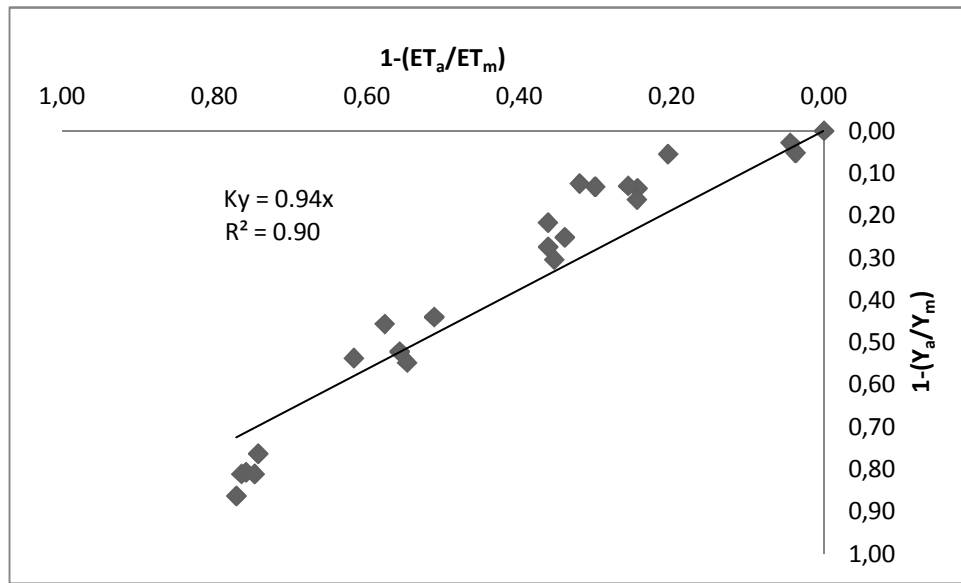
Deneme başlangıcına göre aşırı ve tam sulama konularında toprakların Na içeriği deneme sonunda önemli miktarlarda değişmezken su kısıtlı konularında bir miktar artışlar meydana gelmiştir. Buna karşın toprakların K, Ca ve Mg içeriğinin yetiştirme mevsimi sonunda başlangıçtaki değerinin oldukça altına düştüğü görülmektedir. Bu azalma söz konusu elementlerin bitki besin maddesi olarak kekik bitkisi tarafından alımına atfedilebilir.

Sulama düzeyi denemesinin doğası sonucu, günlük su tüketimi değerleri tüm yetiştirme dönemi boyunca aşırı sulamada en fazla, en yüksek kısıtlı sulamada ise en düşük olmuştur. Genel olarak en yüksek günlük bitki su tüketimi aşırı sulama için 13 mm, tam sulamada 9 mm ve az, orta ve yüksek su kısıntılarında ise sırasıyla 7, 5 ve 2 mm olduğu görülmektedir. Tüm konular için günlük bitki su tüketimleri kış aylarında azalma göstererek Aralık ayında en küçük değerine ulaşmış daha sonra hava sıcaklarının artması ve bitki gelişmesine bağlı olarak artmıştır. Allen vd (1998)'e göre tipik bir bitki su kullanım eğrisi başlangıç, bitki gelişmesi, sezon ortası ve sezon sonu şeklinde dört temel periyoda sahiptir. Bitki büyümesine bağlı olarak gelişme periyodunda bitki su kullanımı giderek artar, sezon ortası dönemde durağan hale gelir ve sonra hasat dönemine kadar azalma gösterir. Kekik bitkisinde çiçeklenme döneminin sonlarına doğru (Mayıs) bitki su tüketimleri yavaş yavaş azalmaya başlamıştır. Aşırı sulama ve en yüksek kısıtlı konularında su kullanım randımanı diğer konulardan

istatistiksel olarak daha düşük bulunmuştur. Su kullanım randımanının (g/mm) birim sulama suyu miktarı (mm) ile elde edilen üretim miktarı (g) olduğu göz önüne alındığında aşırı sulama ve çok kısıntılı sulama konularındaki düşük su kullanım randımanlarının aşırı sulama konusu için gereğinden fazla verilen suyun kontrol (tam sulama) konusuna göre az miktarda verim artışına ve çok kısıntılı sulama konusu için ise gereğinden çok daha az verilen suyun oldukça fazla miktarda verim kaybına neden olmasından kaynaklandığı söylenebilir.

Genel olarak kekik bitki boyu, toplam yaş ve kuru ağırlıkları, yaprak ve gövde kuru ağırlığı sulama düzeyinden etkilenmiş, su kısıntısının artmasıyla bitki boyu ve diğer verim parametrelerinde önemli düzeylerde azalmalar meydana gelmiştir. Konular itibarıyla bitkilerin kurutulmasıyla ağırlıklarda meydana gelen azalmalar çok düşük bir aralıkta değişim gösterdiğinden toplam yaş ve toplam kuru ağırlıklar için benzer istatistiksel sonuçlar elde edilmiştir. Bitki su tüketimi ve toplam yaş ve kuru ağırlık değerleriyle ilgili istatistik sonuçlar paralellik arz etmektedir. Bitki su tüketimi ve bitki boyu ile toplam yaş ve kuru ağırlıklar ve yaprak ve gövde kuru ağırlıkları arasındaki kuvvetli pozitif korelasyonlar da bu uyumu pekiştirmektedir. Bu sonuçlar göstermektedir ki sulama uygulamalarında yapılacak kısıntılar kekik bitkisinin hem yaprak hem de gövde gelişimini olumsuz etkilemektedir. Tam sulama (kontrol) konusuna göre çok kısıntılı sulama konusunda bitki boyundaki azalma %44.4 iken bu değer toplam yaş ve kuru, yaprak ve gövde kuru ağırlıkları için sırasıyla %78, %80, %72 ve %89 olarak hesaplanmıştır. Sater otu (*Satureja hortensis* L.) bitkisinde su kısıntısı uygulanması üzerine yapılan bir çalışmada da benzer sonuçlara ulaşılmış ve evapotranspirasyonun azalmasıyla bitki boyu, toplam yaş ve kuru ağırlık değerlerinin de azaldığı belirtilmiştir (Baher vd 2002). Meksika kekiği (*Lippia berlandieri* Schauer)'nde ise aynı şekilde daha fazla su alan bitkilerin daha fazla kuru ve yaş materyal ürettiği ve bitki boyunun da su artışına bağlı olarak arttığı vurgulanmıştır (Dunford ve Vazquez 2005). Verim parametreleri olarak ele alınan bu ağırlık değerlerindeki düşüş, su kısıtı nedeniyle biyokütle üretiminin öncelikli olarak köklerde gerçekleşmesi (Albouchi vd 2003) veya klorofil içeriğinde ve sonuç olarak fotosentez etkinliğinde bir azalmaya bağlı olabilmektedir (Viera vd 1991).

Su stresi nedeniyle meydana gelen birim bitki su tüketimi azalışına karşılık verimde meydana gelen azalmayı ifade eden bitki verim tepki faktörü (Eşitlik 2.1 ve 3.9), oransal verim azalması ve oransal evapotranspirasyon eksikliği arasındaki bağlantının bulunmasıyla hesaplanabilmektedir. Bu amaçla sulama düzeyi denemesinin her bir tekerrürü için oransal verim azalışına $(1 - Y_a / Y_m)$ karşılık gelen oransal evapotranspirasyon eksikliği $(1 - ET_a / ET_m)$ ayrı ayrı hesap edilerek grafiklenmiş (Şekil 5.1) ve K_y değeri elde edilmiştir.



Şekil 5.1. Su düzeyi denemesinde kekiğin verimi ve bitki su tüketimi arasındaki ilişki

Verim tepki faktörü bitkinin su stresine toleransının değerlendirilmesinde kullanılmaktadır (Doorenbos ve Kassam 1986). Genel olarak, $K_y \leq 1$ olması durumunda bitki su stresine toleranslı; $K_y > 1$ olduğunda ise duyarlıdır. Şekil 5.1’de gösterildiği gibi sulama düzeyi için oransal verim azalması ve oransal evapotranspirasyon eksikliği arasında kuvvetli bir korelasyon ($R^2 = \%90$) olup K_y katsayısı 0.94 olarak belirlenmiştir. Bu durumda kekik bitkisinin hafif düzeyde su stresine toleranslı olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.

Sulama düzeylerinin kekik bitkisinde hava kuru yaprak nem içeriği ve antioksidan aktivite değerlerine etki ettiği ancak uçucu yağ içeriği, toplam fenolik ve flavonoid madde miktarları gibi kalite parametreleri ve ekstrakt veriminde istatistiksel

olarak herhangi bir değişikliğe neden olmadığı belirlenmiştir. Bu durum kültüre alınan bu bitkinin doğal şartlar altında kurak yaz aylarında su kısıtına karşı her ne kadar verim parametreleri etkilense de kalite parametreleri ve ekstrakt verimi için bir direnç mekanizması geliştirmiş olabileceğini ortaya koymaktadır. Bitki ihtiyacından fazla verilen suyun kekik bitkisinde antioksidan aktivitesini azaltabileceği sonucu bu savı daha da kuvvetlendirmektedir. Ek olarak her ne kadar sulama düzeyinin kalite parametrelerine istatistiksel anlamda önemli bir etkisinin bulunmadığı belirlenmiş olsa da evapotranspirasyon ile toplam fenolik ve flavonoid madde ve ekstrakt verimi arasındaki negatif ilişki kekikte düşük bitki su tüketiminin kalite parametrelerini ve ekstrakt verimini arttırabileceğini ortaya koymaktadır. Ayçiçeği tohumlarının su stresine maruz bırakılması ile uçucu yağ içerikleri ve bazı fiziksel özelliklerdeki değişimlerin izlendiği bir çalışmada, su stresi uygulamalarının tüm ayçiçeği melezlerinde nem içeriğini düşürdüğü sonucuna varılmıştır (Oraki vd 2011). Baher vd. (2002) Sater otu (*Satureja hortensis* L.) bitkisinde çiçeklenme dönemi boyunca uçucu yağ miktarında ciddi stres uygulamaları ve kontrol konuları arasında büyük farklılar ortaya çıktığını ve uçucu yağ miktarının su stresi altında arttığını ifade etmektedir. Buna ek olarak, benzer koşullarda yetiştirilen Meksika kekiği (*Lippia berlandieri* Schauer) (Dunford ve Vazquez 2005) ve maydanozda (*Petroselinum crispum*) (Petropoulos vd 2008) da yağ veriminin su stresi ile birlikte arttığı görülmüştür. Stres koşulları altında yaprak alanındaki azalmaya bağlı olarak yağ keselerinin yüksek bir yoğunluğa ulaşması sonucu yağ birikimi miktarının hızla arttığı bildirilmiştir (Simon vd 1992). Bununla birlikte, su stresi altında uçucu yağ üretiminin uyarılması, çevresel stres koşulları altında büyüme sırasında karbonun düşük bir oranda dağıtılması ve büyüme ile savunma arasında bir alışveriş olması sebebiyle bitkinin yüksek konsantrasyonlarda terpen ürettiği gerçeğine bağlı olabilmektedir (Turtola vd 2003).

Değişik bitkilerde yapılan çalışmalarda fenolik madde değeri için farklı sonuçlara ulaşılmıştır. Kimyon (*Cuminum cyminum* L.) bitkisinde Tunus ve Hindistan çeşitlerinden elde edilen tohumların ekstrakte edilmesiyle fenolik madde içerikleri araştırılmıştır. Tunus çeşidinden elde edilen toplam fenolik madde içeriğinin Hindistan çeşidinden daha fazla olmasının yanısıra, su kısıntısı arttıkça her iki çeşitte de fenolik madde içeriğinin önemli miktarlarda artış gösterdiği belirlenmiştir. Orta derecedeki su kısıntısında fenolik madde içeriğinde Tunus ve Hindistan çeşidi için sırasıyla %5000 ve

%4000 civarında artış görülürken, ciddi su stresi çeken bitkilerde bu artış 121 ve 113 kat fazla olarak elde edilmiştir (Anonim 2012).

Sulama düzeyi denemesinde en yüksek antioksidan aktivitesi çok kısıntılı sulama konusunda, en düşük ise aşırı ve tam sulama uygulamasında ortaya çıkmıştır. DPPH radikalinin inhibisyonu yöntemi ile elde edilen antioksidanların etkisinin, hidrojen bırakma kapasitelerine bağlı olduğu düşünülmektedir. DPPH, stabil bir serbest radikal olmakla birlikte, stabil bir manyetik molekül haline gelebilmek için elektron veya hidrojen radikali alması gerekmektedir (Soares vd 1997). Bitkilerden metanol çözültisi şeklinde elde edilen ekstraktların stabil bir radikal olan DPPH ile etkileşime girmesi sağlandığında, DPPH radikallerinin indirgenme kapasitesinin absorbansı belirlenebilmektedir. Başlangıç DPPH konsantrasyonunun %50 (IC₅₀)'ye indirilmesi için gerekli antioksidan konsantrasyonu, antioksidan aktivitenin ölçülmesi için yaygın olarak kullanılan bir parametredir (Sanchez-Moreno vd 1998). IC₅₀ değeri ne kadar düşükse antioksidan aktivitesi o kadar yüksek olmaktadır.

5.2. Sulama Suyu Tuzluluğu Denemesi Sonuçlarının Tartışılması

Sulama suyu kaynağının SAR değeri dikkate alınarak, tüm konuların SAR değerini birbirine yakın tutmak dolayısıyla belirli bir iyonun baskın etkisi önleyerek SAR değerinin sonuçlar üzerine etkisini elimine etmek ve sadece toplam tuzluluğun oluşturacağı etkileri incelemek amacıyla tuzlu suların hazırlanmasında hazırlanmasında CaCl₂, MgSO₄ ve NaCl tuzları kullanılmıştır. Bu nedenle deneme sonunda toprakların Ca, Mg ve Na içeriklerinde istatistiksel olarak farklılıkların oluşması doğaldır. Tuzlu suların hazırlanmasında veya yetiştirme periyodu boyunca gübre olarak K kullanılmamasına rağmen deneme sonunda toprakların K içeriğindeki istatistiksel farklılığın nedeninin bitkinin önemli miktarlarda K kullanımından ve/veya yıkanarak drenaj suyuyla kök bölgesinden uzaklaştırılmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Nitekim deneme başlangıcında topraklarının K içeriği 79.0 ppm (Çizelge 3.1) iken deneme sonunda bu değer 35.2 – 47.8 ppm değerleri arasındadır. Benzer bir durum Ca için de geçerli olup deneme başlangıcında Ca içeriği 4818 ppm iken deneme sonunda konulara göre bu değer 3762 – 4706 ppm arasında değişim

göstermiştir. Deneme sonunda T_1 konusunun Na içeriğinin deneme başlangıcındaki değere yakın olması (67.5 ppm) bitkinin muhtemelen Na alımı yapmadığını göstermektedir.

Uygulanan sulama suyu tuzluluğu artışına bağlı olarak ortalama toprak (saturasyon çamuru ekstraktı) tuzlulukları artmasına rağmen ilginç bir şekilde ilk dört konu arasında istatistiksel olarak bir fark bulunmamaktadır. Bu durum, ilk dört konunun tuzluluk değerlerinin birbirine oldukça yakın fakat diğer konuların toprak tuzluluk değerlerinin nispeten fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Ayers ve Westcot (1989) yıkama oranı değerinin 0.25 olması durumunda konsantrasyon faktörünün yaklaşık olarak 1.2 olduğunu yani toprak tuzluluğu değerinin sulama suyu tuzluluğunun 1.2 katı kadar olacağını bildirmektedir. Tuzluluk denemesinde EC_e/EC_{iw} oranları $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6, T_7$ ve T_8 konuları için sırasıyla 1.17, 1.18, 1.25, 1.71, 1.79, 1.94, 2.17 ve 2.56 olarak hesaplanmıştır. Her ne kadar T_1, T_2 ve T_3 konuları için hesaplanan bu oranlar belirtilen değere yakın olsa da diğer konulara ait EC_e/EC_{iw} oranları oldukça yüksek olması yukarıda belirtilen ilginçliğin nedenini ortaya koymaktadır. Benzer şekilde Ayers ve Westcot (1989) EC_{dw} değerlerinin EC_{iw}/LF ilişkisinden (Eşitlik 2.4) hesaplanabileceğini belirtmektedir. Tuzluluk denemesinde ortaya çıkan gerçek LF değerleri (Çizelge 4.6) kullanılarak EC_{dw} değerleri $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6, T_7$ ve T_8 konuları için sırasıyla 2.3, 5.0, 7.5, 10.4, 14.6, 20.0, 29.2 ve 41.7 dS/m olarak hesaplanmıştır. Ancak belirtilen konular için gerçek EC_{dw} değerleri sırasıyla 2.47, 1.78, 1.70, 1.72, 1.76, 1.82, 2.88 ve 3.84 kat daha az çıkmıştır. Bütün bunların nedenleri, kekik bitkisinin topraktan tuz alımı, yüksek toprak tuzluluk değerlerinde yıkama etkinliğini etkileyen infiltrasyon hızı gibi toprağın fiziksel karakteristiklerinde önemli değişikliklerin ortaya çıkması ve/veya en önemlisi de tuzlu suyun bileşimindeki bazı tuzların toprakta $CaCO_3, MgCO_3$ veya $CaSO_4$ şeklinde eriyebilirlikleri düşük tuzlar şeklinde çökmesi olabilir.

Şekil 4.11 dikkatlice incelendiğinde EC_{dw} değerlerinin düşük tuzluluk (T_1 ve T_2) konularında kısa süre içerisinde dengeye gelerek yatay bir seyir izlediği, yüksek tuzluluk (T_6 ve T_7) konularında ise daha geç dengelenme ortaya çıktığı görülmektedir. Şekil 4.12’de yaklaşık 5 dS/m değerine kadar EC_e ve EC_{dw} arasındaki ilişkinin oldukça doğrusal olduğu ancak bu değerden sonra EC_e değerindeki artışa karşılık EC_{dw}

değerindeki artışın azalmaya başladığı hatta 10 dS/m EC_e değerinden sonra nispeten yatay bir seyir izlediği görülmektedir. EC_e ile EC_{dw} arasındaki logaritmik ilişki özellikle tuzluluğu yüksek sulama suyu uygulamalarıyla sulardaki tuzların topraklarda çözünürlükleri kısmen düşük $CaCO_3$, $MgCO_3$ ve/veya $CaSO_4$ tuzları şeklinde çökeldiği tezini daha da kuvvetlendirmektedir. Doneen (1959) tarafından ortaya atılan efektif tuzluluk görüşüne göre sulama suyunun toplam tuzluluk değerinin belirlenmesinde bu çökelen tuzların göz önüne alınmaması gerekmektedir. Yani çökelen bu tuzlar bitki gelişimini etkilememekte, ancak toprak saturasyon çamuru ekstraktlarının çıkarılması sırasında bu tuzlar çözünerek EC_e değerlerinin oldukça yüksek çıkmasına neden olmakta, bu da tuzluluğun bitki gelişimine etkisinin incelenmesinde hatalı yorumlar yapılabilmesine neden olmaktadır.

Sulama suyu tuzluluğunun drenaj suyu tuzluluğuna etkileri incelendiğinde yine en yüksek tuzluluğa sahip son üç konunun (T_6 , T_7 ve T_8) drenaj suyu tuzluluk değerleri (sırasıyla 10.87, 10.11 ve 10.96 dS/m) arasında istatistiksel bir farkın olmaması da yine yüksek tuzluluk konularında tuzların çökeldiğini göstermektedir. Ek olarak gerek toprak ve gerekse drenaj sularının pH değerlerinin 8.5'den daha düşük olması, denemelerde sodyumluluk problemlerinin meydana gelmediğini ortaya koymaktadır.

Sulama suyu ve oluşturulan toprak tuzluluklarına bağlı olarak konular arasındaki istatistiksel farklılıklar Şubat ayında şekillenmeye başlamış ve Mart ayında bu farklılıklar daha net ortaya çıkmıştır. Genel olarak T_7 ve T_8 konuları hariç diğer tüm konular geleneksel bitki su tüketim eğrisi paternine sahiptir. En yüksek günlük bitki su tüketiminin T_1 ve T_2 konuları için 13 mm T_3 , T_4 , T_5 , T_6 , ve T_7 konuları için ise sırasıyla 12, 11, 10, 7 ve 5 mm olduğu görülmektedir (Şekil 4.13). Sulama suyu tuzluluğunun toprak tuzluluğuna etkisine kısmen benzer şekilde bitki su tüketim değerleri ilk üç konuda farklılık göstermemiş ancak 2.5 dS/m ve daha yüksek tuzluluğa sahip sulama suyu uygulamalarında önemli miktarlarda azalmalar göstermiştir. Son iki konunun ET değerlerinin oldukça düşük olmasının nedeni bu iki konuta ait tekerrürlerin tamamının yetiştirme dönemi sona ermeden değişik tarihlerde yüksek tuzluluk nedeniyle ölmelerinden kaynaklanmaktadır. Su kullanım randımanı istatistik analiz sonuçları ET ile benzerlik göstermektedir. Bu nedenle artan tuzluluğa bağlı olarak su kullanım

randımanındaki düşüşler aynı zamanda verimdeki azalmanın da ET deki azalmalara benzer şekilde azaldığını göstermektedir.

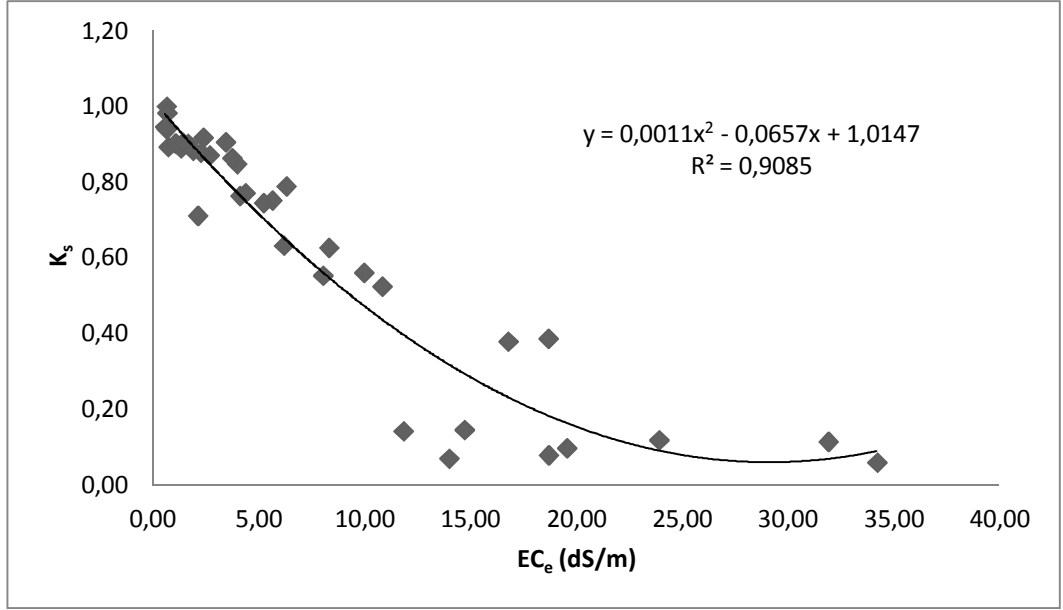
Toprak tuzluluğu ve dönem sonu toplam bitki su tüketimi değerleri arasında çok kuvvetli bir negatif ilişki ($R^2 = \%90$) belirlenmiştir (Şekil 4.18). Rhodes vd. (1992) kök bölgesindeki aşırı tuzluluğun bitki gelişmesine zararlı etkilerinin evapotranspirasyondaki ve büyüme hızındaki azalmalara bağlı olduğunu vurgulamıştır. Bu etki temel olarak toplam elektrolit konsantrasyonuna bağlı olup çoğunlukla özel bir iyonla bağlı değildir. Her birim toprak tuzluluk artışına karşılık bitki su tüketimindeki azalmanın %4.38 olduğu söylenebilir. Burada ET değeri için bir eşik değer mevcut olmadığından birim azalma miktarı çok fazla bir şey ifade etmemektedir.

Tuzluluğun evapotranspirasyondaki azalmaya etkisi sulama planlamasında özellikle dikkate alınarak ilgili veriler K_s katsayısı yardımıyla düzeltilmedir. Bu düzeltmeler sayesinde drenaj sistem kapasitelerinin daha sağlıklı belirlenebilmesi olanaklı hale gelir. Bitki besin maddelerince zengin tuzlu drenaj suyu miktarlarının azaltılmasıyla aynı zamanda çevreye olan olumsuz etkilerde azaltılmış olur. Allen vd. (1998) tuzluluk stresi nedeniyle bitki su stresi katsayısının Eşitlik 3.12’de verilen formülden bulunabileceğini ifade etmektedir. Tuzluluk stresinin bitki transpirasyonu üzerine etkilerini belirleyebilmek için her bir tekerrür için Eşitlik 3.12 yardımıyla hesaplanan K_s değerleri ile bunların karşılık geldiği EC_e değerleri arasındaki ilişki Şekil 5.2’de verilmiştir.

Şekilden de görüldüğü gibi tuzluluk stresi nedeniyle evapotranspirasyonda meydana gelen azalma arasındaki ilişki ($R^2 = 0.91$) en iyi polinom şeklinde ifade edilebilmiştir. Bu durumda kekik bitkisi için tuzluluk stresi nedeniyle evapotranspirasyonda ortaya çıkabilecek azalmayı veren K_s katsayısı için elde edilen eşitlik:

$$K_s = 0,001 \times EC_e - 0,065 \times EC_e + 1,014 \quad (5.1)$$

Eşitlik yardımıyla herhangi bir toprak tuzluluğu değeri için tuzluluk stresi nedeniyle ortaya çıkacak bitki su tüketimindeki azalmayı hesaplayabilmek için gerekli olan düzeltme katsayısı belirlenebilmektedir.



Şekil 5.2. Kekik bitkisinde toprak tuzluluğu ve tuzluluk stres katsayı arasındaki ilişki

Kekik bitki boyu ve toplam yaş, toplam kuru yaprak kuru ve gövde kuru ağırlıkları gibi verim parametreleri sulama suyu tuzluluğundan önemli düzeylerde istatistiksel olarak etkilenmiş, sulama suyu tuzluluğunun artmasıyla bitki boyu ve diğer verim parametrelerinde azalmalar meydana gelmiştir. Özellikle 7.0 dS/m değerinin üzerindeki tuzluluğa sahip sulama suları yetiştirme dönemi içerisinde değişik zamanlarda bitkilerin ölümlerine neden olmuştur.

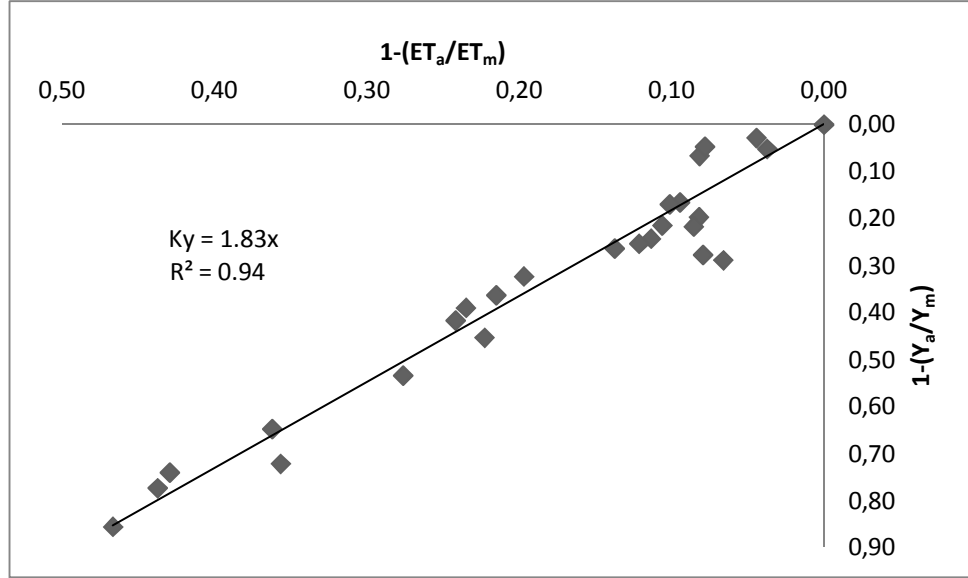
Genel olarak toprak tuzluluk değerleriyle bitki boyları ve evapotranspirasyon değerleriyle de toplam yaş ağırlıkları önemli bir uyum göstermektedir. İlk dört konu için yetiştirme dönemi boyunca bitki boylarındaki değişimler net bir şekilde ayırt edilememekte ve ilk üç konu için toplam yaş verimi arasında önemli bir fark bulunmamaktadır. Bitki boyundaki değişimler ancak 3.5 dS/m sulama suyu tuzluluk konusundan sonra başlarken toplam yaş verim değeri 1.8 dS/m, toplam kuru verim ile kuru yaprak verimleri 1.2 dS/m ve kuru gövde verimleri 0.54 dS/m lik sulama suyu tuzluluk değerlerinden sonra tuzluluk stresinden etkilenmeye başlamışlardır. Papatya (*Matricaria chamomila*) bitkisinde tuz stresi üzerine yapılan bir çalışmada da bitki boyunun tuzluluk nedeniyle büyük ölçüde azaldığı görülmüştür (Dadkhah 2010). Sulama düzeyi denemesinde bitkilerin kurutulmasıyla ağırlıkta meydana gelen azalmalar dar bir aralıkta (%55-57) iken, sulama suyu tuzluluk denemesinde tuzluk

artışına bu azalmalara %57-74 arasında değişim göstermiştir. Bu sonuçlar kekik bitkisinin su stresine nazaran tuzluluk stresinden daha çabuk etkilendiğini ortaya koymaktadır. Kontrol konusuna göre T₃, T₄, T₅ ve T₆ konularının toplam kuru verimlerindeki azalmalar sırasıyla %27, %33, %43 ve %74, kuru yaprak verimlerindeki azalmalar ise yine sırasıyla %27, %38, %49 ve %76 olarak hesaplanmıştır. Tuz stresinin büyüme karakteristiklerini olumsuz yönde etkilemesi birçok bitkide de daha önce gözlemlenmiştir. Bu azalma, yavaş hücre üretimi ve sap gelişiminin gerilemesi ile yakından alakalı olmaktadır. Bu yaklaşım, yüksek düzeydeki tuzluluğun hücre sayısı ve hücre boyutlarındaki azalmaya bağlı olarak bitki gelişimini gerilettiğini gösteren daha önceki araştırmaların sonuçlarından ileri gelmektedir (De Herralde vd 1998).

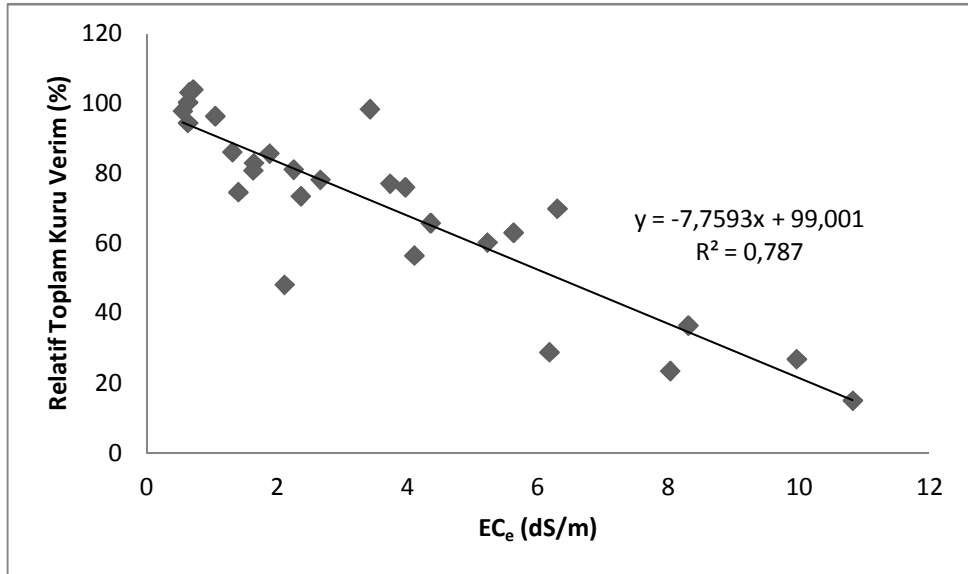
Tuz stresine bağlı olarak büyümenin gerilemesi, sitokinin gibi büyümeyi teşvik eden maddelerin sentezinin kısıtlanması ve ABA gibi inhibitörlerin üretiminin artması ile ilişkilendirilmektedir (Ungar 1991). Razmjoo vd (2008), tuz stresi koşullarında kuru ağılıkta meydana gelen azalmanın, depolanan besinlerin hidrolizinin engellenmesinden ve bunların gelişmekte olan sürgünlere gönderilememesinden kaynaklandığını bildirmişlerdir. Diğer araştırmacılar, büyüme parametrelerindeki azalmanın öncelikle su absorpsiyonunun azalması ve besin eksikliklerine bağlı olabileceğini savunmaktadır (Bajji vd 2002). Pessarakli ve Tucker (1988), tuz stresi altında bitki tarafından alınan besin maddelerinin kullanımının büyük ölçüde azalmasından dolayı büyümenin büyük ölçüde gerilediğini rapor etmişlerdir.

Tuzluluk stresi nedeniyle meydana gelen birim bitki su tüketimi azalışına karşılık verimde meydana gelen azalmayı belirlemek için sulama düzeyi denemesinde olduğu gibi sulama suyu tuzluluk denemesinin her bir tekerrürü için oransal verim azalışına $(1 - Y_a / Y_m)$ karşılık gelen oransal evapotranspirasyon eksikliği $(1 - ET_a / ET_m)$ ayrı ayrı hesap edilerek grafiklenmiş (Şekil 5.3) ve K_y değeri elde edilmiştir.

Şekil 5.1’de gösterildiği gibi sulama suyu tuzluluğu için oransal verim azalması ve oransal evapotranspirasyon eksikliği arasında kuvvetli bir korelasyon ($R^2 = \%94$) mevcut olup kekik bitkisi için K_y katsayısı 1.83 olarak belirlenmiştir. Doorenbos ve Kassam (1986)’ın önerileri dikkate alınarak kekiğin tuzluluğa bağlı olarak ortaya çıkan tuzluluk stresine oldukça duyarlı olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.



Şekil 5.3. Sulama suyu tuzluluk denemesinde kekiğin verimi ve bitki su tüketimi arasındaki ilişki



Şekil 5.4. Kekik bitkisi toplam kuru verimi için tuz tolerans modeli

Bitki kuru ağırlığı için Maas ve Hoffman (1977)'in önerdiği tuzluluk-tepki modeli, Van Genuchten (1983)'in geliştirdiği yöntemle çizilerek eşik tuzluluk değeri ve eşik sonrası eğim değeri belirlenmeye çalışılmıştır. Tuzluluk stresi nedeniyle meydana gelen verim azalmalarını belirlemek amacıyla Eşitlik 3.13'de verilen tuz tolerans modeli kullanılmıştır. Elde edilen tuz tolerans modelinin grafiği Şekil 5.4'de verilmiştir.

Şekil 5.4'te verilen tuz tolerans modeli Şekil 2.4'de gösterilen genel model grafiğe benzemektedir. Şekil 5.4'te kekik bitkisi için çizilen nispi verim düşüş doğrusu Y eksenini %100 değerinin altında bir değerde (%99) kesmesi nedeniyle eşik tuzluluk değerinin bulunması mümkün olmamış ancak eğim (birim tuzluluk artışı için verimdeki azalma) belirlenebilmiştir.

Yukarıda da açıklandığı gibi sulama suyu tuzluluğu arttıkça, yıkama her ne kadar sabit tutulsa da, toprakta yıkama etkinliği azalmış ve bu nedenle toprak tuzluluğu yüksek sulama suyu tuzlulukları için aşırı yüksek değerler almıştır. Yıkama etkinliğinin azalmasının nedeni yüksek tuzlulukta Ca ve Mg'un CaCO_3 , MgCO_3 ve CaSO_4 tuzları şeklinde çökerek çözünürlükleri düşük olmasından dolayı drenaj suyuna geçmeden toprakta kalması olabilir. Yetiştirme dönemi sonrasında alınan toprak örneklerinin EC_e değerlerini belirlemek için saf su ile saturasyon çamurunun hazırlanması sırasında saf suda önemli oranda bu çökelen tuzların çözülmeleriyle toprak tuzluluğu çok yüksek ölçülmüştür. Tuzların bir kısmının çökmesi nedeniyle toprakta hedeflenen efektif tuzluluk değerleri oluşmadığından bitkiler daha az tuzluluk etkisine maruz kalmışlardır. Bu nedenle yüksek tuzlulukta verimin olması gerekenden yüksek çıktığı ve bu durumun verim düşüş doğrusunun eğimini düşürerek, bu eğrinin Y eksenini %100 değerinin altında kesmesine neden olduğu söylenebilir. Eğer $\text{EC}_{iw}/\text{EC}_e$ eğrisine göre doğrusallığın bozulduğu değerler dikkate alınmadan eşik değeri yeniden elde edilmek istenirse nispi verim düşüş doğrusunun Y eksenini %100.6 değerinde kestiği ve eşik tuzluğun 0.07 dS/m gibi çok düşük bir değer aldığı belirlenmiştir. Elde edilen bu sonuçlara göre uzun yıllar boyunca doğada saf yağmur suyuna bağlı olarak yetiştikleri için tuzluluğa karşı bir direnç geliştirmedikleri söylenebilir.

Sulama suyu tuzluluğunun kekik bitkisinde hava kuru yaprak nem içeriği ve antioksidan aktivite değerlerinin yanında, sulama düzeyin aksine uçucu yağ içeriği, toplam fenolik ve flavonoid madde miktarları gibi kalite parametreleri ve ekstrakt verimini de 0.001 olasılık düzeyinde istatistiksel olarak etkilediği belirlenmiştir. Bazı tıbbi bitkilerin (*Lepidium sativum* L., *Linum usitatissimum* L., *Plantago ovata* Forssk. ve *Trigonella foenum-graecum* L.) tohumlarının çeşitli tuzluluk düzeylerine maruz bırakıldığı bir çalışmada, nem içeriğinde türler arasında büyük farklılıklar olduğu gözlemlenmiştir. Nem içeriğinin *Lepidium*, *Plantago* ve *Trigonella*'da en yüksek

tuzluluk konusu hariç diğer tüm konularda kontrol konularına yakın olduğu tespit edilirken, *Linum*'da az tuzlu konular hariç tuzluluk arttıkça bir azalma meydana gelmiştir (Muhammad ve Hussain 2010).

Duncan test sonuçları sulama suyunun kekik bitkisinin uçucu yağ içeriği toplam fenolik ve flavonoid madde ve antioksidan aktivitesine etkisinin oldukça karmaşık olduğunu göstermektedir. Genel olarak sulama suyu tuzluluğu arttıkça ekstrakt veriminin arttığı ancak uçucu yağ içeriği toplam fenolik ve flavonoid madde ve antioksidan aktivitesinin önce azaldığı sonra tekrar arttığı söylenebilir. Benzer sonuçlar Gemlik zeytininde (*Olea europaea*) kısa vadeli olarak tuzlu su uygulanmasının esas alındığı bir çalışmada da ortaya konulmuştur (Demiral vd 2011). Bu çalışmada toplam fenolik madde miktarının belli bir tuzluluğa kadar azaldığı, fakat bu eşikten sonra arttığı sonucuna ulaşılmıştır. Buna ek olarak, bu çeşidin diğer bitkilerle karşılaştırıldığında nispeten yüksek fenolik madde içeriğine sahip olduğu bulunmuştur. Holtzer vd (1988), bunun sebebinin bitki türü ve bitki genotipine bağlı olarak stresin ara ürün düzeylerini artırabildiğinden, azaltabildiğinden ya da hiç etkisi olmamasından kaynaklandığını ileri sürmektedir. Bir başka çalışmada çeltik çeşitlerinde tuz stresine maruz bırakılan fidelerde toplam flavonoid madde miktarında artış olduğu kanıtlanmıştır (Chutipaijit vd 2009). Birçok araştırmacı, bitkilerde fenolik bileşiklerin sentezi ve birikiminin genellikle biyotik ve abiyotik stresler tarafından uyarıldığı konusunda hemfikirdir (Dixon ve Paiva 1995, Naczk ve Shahidi 2004). Bununla birlikte, tuzluluk ve yapraklardaki toplam fenolik madde içeriği arasındaki ilişkinin, muhtemelen bitkinin tuzluluğa toleransı ile ilişkili olduğu da savunulmaktadır. Buna karşın, Agastian vd (2000)'nin bildirdiği üzere, farklı dut çeşitlerinde, düşük tuzluluk düzeylerinde yüksek fenolik madde içeriğine rastlanılmıştır.

Halofit bir bitki olan deniz teresinde (*Cakile maritima* Scop.), Jarka ve Tabarka çeşitlerinden elde edilen yaprakların fenolik madde içeriğine ve antioksidan aktivitesine bakılmıştır. Bu çalışmaya göre tuzluluğun antioksidan aktiviteye etkisinin oldukça yüksek olduğu bulunmuştur. Kontrol konuları ele alındığında her iki çeşitte de antioksidan aktivitenin benzer olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Jerba çeşidinde tuzlu su uygulamalarının antioksidan aktiviteye etkisinin zayıf olduğu, buna karşın Tabarka çeşidinde büyük miktarda azaldığı görülmüştür. Normal sulama suyu kullanıldığında,

her iki çeşidin yapraklarında eşit miktarda fenolik madde birikmektedir. Tuzlu sular ile sulama yapıldığında ise Jerba çeşidinde fenolik madde birikimi büyük miktarda artarken, Tabarka çeşidinde bu parametrede azalma olduğu görülmüştür (Ksouri vd 2007).

Tuzluluk stresinin artmasıyla, çörek otunda (*Nigella sativa*) hemen hemen bütün gelişme parametrelerinin, papatya bitkisinde bazı büyüme parametreleri ve uçucu yağ miktarlarının (Razmjoo vd 2008) ve oğul otunda ise uçucu yağ veriminin azaldığı daha önce yapılan çalışmalarda kanıtlanmıştır (Öztürk vd 2004). Fatima vd (1999), kısıtlı çevre koşullarında uçucu yağlar gibi ikincil ürünlerin uyarılabileceğini rapor etmiştir. Uçucu yağ miktarının azalması, stres koşullarında fotosentez ve karbonhidrat üretiminin kısıtlanması ve bitki gelişiminin bastırılmasına bağlı olarak meydana gelebilmektedir (Flexas ve Medrano 2002).

6. SONUÇ

Bu çalışmada sulama düzeyi ve sulama suyu tuzluluğunun kekik bitkisinde büyüme (bitki boyu), verim parametreleri (toplam yaş ve kuru ağırlıklar, yaprak ve gövde kuru ağırlıkları), bitki su tüketimi ve su kullanım randımanı, kalite parametreleri (uçucu yağ içeriği, toplam fenolik ve flavonoid madde) ve ekstrakt verimine etkisi araştırılmıştır.

Sulama düzeyi denemesinde tüm konulara aynı tuzluluk seviyesine sahip sulama sularının uygulanmış olmasına rağmen sulama suyu miktarı, toprak özellikleri ve bitki besin maddesi kullanımına bağlı olarak, su kısıtının artmasıyla toprağın EC_e değeri ile K, Ca, Mg ve Na içerikleri artmış ve pH_e değeri ise azalmıştır.

Kekiğin günlük en yüksek su tüketimi tam sulama koşullunda 9 mm 'dir. Aşırı sulama şartlarında verim artışının az olması ve çok kısıntılı sulamalarda ise yüksek verim kayıpları nedeniyle kekiğin su kullanım randımanı azalmaktadır. Genel olarak kekik bitkisinin büyüme ve verim parametreleri çok kısıntılı su uygulamalarında önemli miktarlarda düşüşler göstermektedir. Sulama uygulamalarındaki kısıntılar kekik bitkisinin hem yaprak hem de gövde gelişimini olumsuz etkilemektedir. Su stresi nedeniyle birim bitki su tüketimindeki azalışına karşılık verimde meydana gelebilecek azalma 0.94 olup, bu değer kekik bitkisinin hafif düzeyde su stresine toleranslı olduğunu ifade etmektedir.

Son yıllarda kültüre alınarak yetiştirilmeye başlanan kekiğin uzun yıllar boyunca doğal şartlar altında çok kurak koşullar altında her ne kadar verim parametreleri etkilense de kalite parametreleri ve ekstrakt verimi için bir direnç mekanizması geliştirmiş olabileceğini sonucuna varılmıştır. Ancak evapotranspirasyon ile toplam fenolik ve flavonoid madde ve ekstrakt verimi arasındaki negatif ilişki kekikte düşük bitki su tüketiminin kalite parametrelerini ve ekstrakt verimini arttırabileceğini gösterdiğinden konu ile ilgili daha detaylı çalışmaların yapılması zorunlu kılmaktadır.

Sulama suyu tuzluğu denemesinde herhangi bir K girdisi olmamasına rağmen deneme topraklarında K içeriğinin azalması, kekik bitkisinin önemli miktarlarda K alımına işaret etmiş olabileceğinde yine bu konuda kapsamlı çalışmaların yürütülmesi önerilebilir.

%25'lik yıkama oranında konsantrasyon faktörünün yaklaşık olarak 1.2 olması gerekirken bu değerin özellikle 2.5 dS/m ve daha yüksek sulama suyu tuzluluğuna sahip konularda daha yüksek katsayılara ulaşması ve aynı zamanda özellikle yüksek tuzluluk konularında gerçek EC_{dw} değerlerinin olması gerekenden daha düşük konsantrasyonlara sahip olması kekik bitkisinin topraktan tuz alımı, yüksek toprak tuzluluklarında toprak fiziksel karakteristiklerine bağlı olarak infiltrasyon hızı ve dolayısıyla yıkama etkinliğini azalmasına bağlı olabilir. Ancak, EC_{dw} değerlerindeki dönemsel değişimler, EC_e ve EC_{dw} arasındaki logaritmik ilişki, 5.0 dS/m ve daha yüksek sulama suyu tuzluluklarında drenaj suyu tuzluluklarında istatistiksel bir farkın bulunamaması gibi sonuçlar göz önüne alındığında, bu durumun büyük bir olasılıkla toprak özelliklerine bağlı olarak tuzlu suyun bileşimindeki bazı tuzların toprakta eriyebilirlikleri düşük $CaCO_3$, $MgCO_3$ veya $CaSO_4$ tuzları şeklinde çökmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu nedenle tuzluluk denemelerinde her ne kadar sodyumun ve diğer özel iyonların etkilerini elimine etmek için farklı tuz bileşiklerinin kullanılması önerilse de tuzlu suların hazırlanmasında özellikle CO_3 'ın Ca ve Mg ile ve SO_4 'ın ise Ca ile çökelebileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Aksi takdirde, çökelen bu tuzların bitki gelişimini etkilememesi, ancak toprak saturasyon çamuru ekstraktlarının çıkarılması sırasında saf suyla bu tuzlar çözünerek EC_e değerlerinin yüksek çıkmasına neden olması, tuzluluğun bitki gelişimine etkisinin incelenmesinde hatalı yorumlar yapılabilmesine neden olacaktır.

%25'lik yıkama oranlarıyla uygulanan sulama suyundaki tuzluluk artışına bağlı olarak kekik bitkisinin en yüksek günlük su tüketimleri 1.2 dS/m değerine kadar 13 mm, 3.5 dS/m için 10 mm ve 7.0 dS/m için 5 mm olarak belirlenmiştir. Toprak tuzluluğu ile bitki boyu ve evapotranspirasyon ile yaş ve kuru verim değerleri önemli bir uyum göstermektedir. Değerlerdeki azalmalar; bitki boyunda ancak 3.5 dS/m, toplam yaş verimde 1.8 dS/m, toplam kuru verim ve kuru yaprak verimlerinde 1.2 dS/m ve kuru gövde veriminde 0.54 dS/m sulama suyu tuzluluk değerlerinden sonra başlamıştır. Elde edilen sonuçlar genel olarak kekik bitkisinin su stresine nazaran tuzluluk stresinden daha çabuk etkilendiğini ortaya koymuştur.

Yüksek tuzlulukta Ca ve Mg'un $CaCO_3$, $MgCO_3$ ve $CaSO_4$ tuzları şeklinde çökmesi nedeniyle hedeflenen efektif tuzluluk değerleri oluşmamış ve bitkiler analiz

sonucu belirlenen tuzluluk deęerlerinden daha dūşük tuzluluk streslerine maruz kalmıřlardır. Buna baęlı olarak yüksek tuzlulukta verimin olması gerekenden yüksek çıkması verim dūřuř doęrusunun eęimini dūřürmüř, her birim tuzluluk artıřı için %7.76'lık bir verim azalması olabileceęi öngörölmesine karřın, kekik bitkisinde tuzluluk nedeniyle verim azalmasının hangi eřik deęerden sonra bařlayacaęı belirlenememiřtir. Bu sonuçlara göre uzun yıllar boyunca doęada saf yaęmur suyuyla yetiřen kekik bitkisinin tuzluluęa karřı henüz bir direnç geliřtirmedięi dūřünölmektedir.

Sulama suyu tuzluluğuna bağlı olarak artan toprak tuzluluğu nedeniyle bitki gelişmesi ve su tüketimi azalmaktadır. Bitki su tüketimi ve verimdeki oransal azalma arasındaki ilişkiyi gösteren K_y katsayısının yüksek bir değere sahip olması (1.83) kekik'in sulama suyu tuzluluğu nedeniyle ortaya çıkan su stresine oldukça duyarlı olduğunu göstermektedir.

Son iki tuzluluk konusu bitki ölümleri nedeniyle dikkate alınmayıp, 5.0 dS/m sulama suyu tuzluluğunda kontrol konusuna göre bitki su tüketiminde %40'lık bir azalma olduğu hesaplanmıştır. Bu nedenle aşırı tuzlu su kullanımı ve verim kayıplarının önlenmesi için bitki su tüketimi hesaplamaları ve sulama sistemlerinin planlanmasında bitkinin yanında sulama suyu kalitesinin de dikkate alınması önerilir. Kekik bitkisi için tuzluluk stresi nedeniyle evapotranspirasyonda ortaya çıkabilecek azalmayı veren K_s katsayısı $K_s = 0.001 \times EC_e - 0.065 \times EC_e + 1.014$ eşitliği yardımıyla hesaplanabilir.

Sulama düzeylerinin kekik bitkisinde uçucu yağ içeriği, toplam fenolik ve flavonoid madde miktarları gibi kalite parametreleri ve ekstrakt verimine herhangi bir etkide bulunmadığı belirtilmişti. Buna karşın sulama suyu tuzluluğu bu parametrelerle birlikte hava kuru yaprak nem içeriği ve antioksidan aktivite değerlerini de 0.001 olasılık düzeyinde istatistiksel olarak etkilediği belirlenmiştir. Genel olarak sulama suyu tuzluluğu arttıkça ekstrakt veriminin arttığı ancak uçucu yağ içeriği toplam fenolik ve flavonoid madde ve antioksidan aktivitesinin önce azaldığı sonra tekrar arttığı görölmüştür.

Parametreler arasındaki ilişkiler incelendiğinde; evapotranspirasyonun toplam fenolik madde, ekstrakt verimi ve antioksidan aktivitesine her iki denemede de benzer etkiler yaptığı ancak toplam flavonoid madde değerine etkilerinin farklı çıktığı

görülmektedir. Benzer çelişkiler toplam flavonoid madde ile kekik bitkisinin tüm büyüme ve verim parametreler arasında, ve toplam fenolik madde değerleri toplam yaş ve gövde kuru ağırlık değerleri arasında da mevcuttur.

Sulama düzeyi ve sulama suyu tuzluluğunun kekik bitkisi ve kalite parametrelerine etkileri ilk defa bu çalışmayla ortaya konulmaya çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar için çelişkili olarak gösterilen ve yukarıda önerilen konular için daha detaylı çalışmaların yapılması gerektiğini ortaya koymaktadır.

7. KAYNAKLAR

- ABBASZADEH, B., SHARIFI ASHOORABADI, E., ARDAKANI, M.R. and ALIABADI, F.H., 2008. Effect of Drought Stress on Quantitative and Qualitative of Mint. Abstracts Book of 5th International Crop Science Congress & Exhibition, Korea p. 23.
- AGASTIAN, P., KINGSLEY, R. and VIVEKANANDAN, M., 2000. Effect of Salinity on Photosynthesis and Biochemical Characteristics in Mulberry Genotypes. *Photosynthetica*, 38: 287-290.
- AHMADI, A., EMAM, Y. and PESSARAKLI, M., 2009. Response of Various Cultivars of Wheat and Maize to Salinity Stress. *Journal of Food, Agriculture Environment*, 7(1): 123-128.
- ALBOUCHI, A., BEJAOU, Z. and EL AOUNI, M.H., 2003. Influence of Moderate or Severe Water Stress on the Growth of Seedlings of *Casuarina glauca* Sieb. *Sécheresse*, 14: 137-142.
- ALIABADI, F.H., LEBASCHI, M.H., SHIRANIRAD, A.H., VALADABADI, A.R. and DANESHIAN, J., 2008. Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi, Different Levels of Phosphorus and Drought Stress on Water Use Efficiency, Relative Water Content and Proline Accumulation Rate of Coriander (*Coriandrum sativum* L.). *J. Med. Plant. Res.* 2(6): 125-131.
- ALIABADI, F.H., VALADABADI, S.A.R., DANESHIAN, J. and KHALVATI, M.A., 2009a. Evaluation Changing of Essential Oil of Balm (*Melissa officinalis* L.) under Water Deficit Stress Conditions. *J. Med. Plant. Res.*, 3(5): 329–33.
- ALIABADI, F.H., VALADABADI, S.A., DANESHIAN, J., SHIRANIRAD, A.H. and KHALVATI, M.A., 2009b. Medicinal and Aromatic Plants Farming Under Drought Conditions, *Journal of Horticulture and Forestry*, Vol. 1(6), pp.086-092, August, 2009.
- ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S., RAES, D. and SMITH, M., 1998. Crop Evapotranspiration, Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper: 56.

- ANONİM, 1987. TS 2134. Baharat-Rutubet miktar tayini.
- ANONİM, 1990. TS 1563. Çay-su ekstraktı tayini.
- ANONİM, 1991. TS 882. Baharat, çeşni veren ve tıbbi bitkiler-Uçucu yağ tayini.
- ANONİM, 2000. Dryland Saline Seeps. Types and Causes. Alberta Agriculture Agdex, 518-12. 4 pp.
- ANONİM 2004. Devlet İstatistik Enstitüsü (DİE). Dış ticaret istatistikleri, Ankara.
- ANONİM, 2009. Kekik Yetiştiriciliği ve Kekiğin Faydaları. <http://www.ziraatciyiz.net/>
- ANONİM, 2012. Polyphenol Composition and Antioxidant Activity of Cumin (*Cuminum cyminum* L.). Food Chemistry, Vol.77, Issue: 6, June 2012. <http://www.ift.org>
- ASRAF, M., ARFAN, M., SHAHBAZ, M., AHMAD, A. and JAMIL, A., 2002. Gas Exchange Characteristics and Water Relations in Some Elite Okra Cultivars Under Water Deficit. Photosynthetica, 40(4): 615-620.
- AYERS, R.S. and WESTCOT, D.W., 1985. Water Quality for Agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper: 29 Rev. 1.
- AYERS, R.S. and WESTCOT, D.W. 1989. Water Quality for Agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper No: 29 (rev.). Rome. 174 p.
- AYMAN, A.F., 2003. The Use of Saline Water in Agriculture in the Near East and North Africa Region: Present and Future. J. Crop Prod., 7(1-2): 299-323.
- AYYILDIZ, M., 1976. Sulama Suyu Kalitesi ve Sulamada Tuzluluk Problemleri. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 636. Ders Kitabı: 199.
- AZIZ, E.A., HENDAWI, S.T., AZZA, E.E.D. and OMER, E.A., 2008. Effect of Soil Type and Irrigation Intervals on Plant Growth, Essential Oil and Constituents of *Thymus vulgaris* Plant. American-Eurasian J. Agric. Environ. Sci., 4(4): 443-450.
- BAGHALIAN, K., HAGHIRY, A., NAGHAVI, M.R. and MOHAMMADI, A., 2008. Effect of Saline Irrigation Water on Agronomical and Phytochemical

- Characteristics of Chamomile (*Matricaria recutita* L.). Sci. Hortic., 116(4): 437-441.
- BAHER, Z.F., MIRZA, M., GHORBANLI, M. and REZAIL, M.B. 2002. The Influence of Water Stress on Plant Height, Herbal and Essential Oil Yield and Composition on *Satureja hortensis* L. Flavour and Fragrance Journal., 17: 275-277.
- BAJJI, M., KINET, J.M. and LUTT, S., 2002. Osmotic and Ionic Effects of NaCl on Germination, Early Seedling Growth and Ions Content of *Atriplex halimus* (Chenopodiaceae). Can. J. Bot., 80: 297-304.
- BARNABAS, B., JAGER, K. and FEHER, A., 2007. The Effect of Drought and Heat Stress on Reproductive Processes in Cereals. Plant Cell Environ., 31(1): 11-38.
- BAŞER, K.H.C. 1993. Essential oils of Anotolian Labiatae: A profile, *J. Acta Hortic.*, 333, 217-238.
- BAŞER, K.H.C. 1998. Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin Endüstriyel Kullanımı. TAB Bülteni, 13-14, S. 19-43.
- BAYDAR, H., 2005. Tıbbi, Aromatik ve Keyf Bitkileri Teknolojisi, Süleyman Demirel Üniversitesi, 51, 975-7929-79-4.
- BAYRAM, E., 2003. Kekik Yetiştiriciliği, E. U. Tarımsal Araştırma ve Uygulama Merkezi Bülteni, Yayın Bülteni: 42, ISSN 1300-3518, İzmir.
- BAYRAM, E., KIRICI, S., TANSI, S., YILMAZ, G., ARABACI, O., KIZIL, S. ve TELCİ, İ., 2010. “Tıbbi Ve Aromatik Bitkiler Üretiminin Arttırılması Olanakları”. Türkiye Ziraat Mühendisliği VII. Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı-I, 437-456, 11-15 Ocak 2010, Ankara.
- BEN-ASHER, J., 1987. Irrigation with Saline Water. Geo. J., 15(3): 267-272.
- BENNET, O.L. and DOSS, B.D., 1960. Agron.J., 52, 204.
- BEN-TAARIT, M., MSAADA, K., HOSNI, K., HAMMAMI, M., KCHOUK, M.E. and MARZOUK, B., 2009. Plant Growth, Essential Oil Yield and Composition of Sage (*Salvia officinalis* L.) Fruits Cultivated under Salt Stress Conditions. Ind. Crops Prod., 30(3): 333-337.

- BETTAIEB, I., ZAKHAMA, W., AIDI WANNES, W., KCHOUK, M.E. and MARZOUK, B., 2009. Water Deficit Effects on *Salvia officinalis* Fatty Acids and Essential Oil Composition. *Scientia Horticulturae*, 120 (271-275).
- BILUŠIĆ VUNDAĆ, V. BRANTNER, A.H. and PLAZIBAT, M., 2007. Content of Polyphenolic Constituents and Antioxidant Activity of Some *Stachys* taxa. *Food Chemistry*, 104 (3): 1277-1281.
- BLUM, A., 1986. Breeding Crop Varieties for Stress Environments. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 2: 199-237.
- BONILLA, I., EL-HAMDAOUI, A. and BOLANOS, L., 2004. Boron and calcium increase *Pisum sativum* seed germination and seedling development under salt stress. *Plant Soil*, 267(1-2):97-107.
- BOUCHBERG, G.M. and ALLEGRI, J., 1976. Parfumi Aromi, Saponi, Cosmet. Aerosol, Essenze, 58, 10, 527.
- BOYER, J.S., 1970. *Plant Physiol.*, 46,233.
- BROUCKE, C.V.D., 1983. The Therapeutic of Thymus Species. *Phytoterapie*, 4, 171-174.
- BROUCKE, C.V.D., LEMLI, J. and LAMY, J., 1983. Spasmolytic Activity of the Flavonoids from *Thymus vulgaris*, *Pharmaceutisch Weekblad Scientific Edition*, *Plantae Medicinalis et Phytotherapie*, 16, 4, 310-317.
- BUNCE, J.A., 1977. *J. Exp. Bot.*, 28,156.
- CARTER, M.R. 2000. *Soil Sampling and Methods of Analysis*. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida. 823 p.
- CHANG, Q., ZUO, Z., CHOW, M.S.S. and HO, W.K.K., 2006. Effect of Storage Temperature on Phenolics Stability in Hawthorn (*Crataegus pinnatifida* var. *major*) Fruits and a Hawthorn Drink. *Food Chemistry*, 98: 426-430.
- CHARLES, O., JOLY, R. and SIMON, J.E., 1994. Effect of Osmotic Stress on the Essential Oil Content and Composition of Peppermint. *Phytochemistry*, 29: 2837-2840.

- CHHABRA, R. 1996. Soil Salinity and Water Quality. A.A. Balkema Publishers, Brookfield, VT. 284 p.
- CHUTIPAIJIT, S., CHA-UM, S. and SOMPORNPAILIN, K., 2009. Differential Accumulations of Proline and Flavonoids in Indica Rice Varieties against Salinity. Pak. J. Bot., 41(5): 2497-2506.
- CLARK, R.J. and MENARY, R.C., 2008. Environmental Effects on Peppermint (*Mentha piperita* L.). II. Effects of Temperature on Photosynthesis, Photorespiration and Dark Respiration in Peppermint with Reference to Oil Composition. Australian J. Plant Physiol., 7(6): 693-697.
- CLOUGH, B.F. and MILTHORPE, F.L., 1975. Aust. J. Plant Physiol., 2, 291.
- ÇIRAK, C. ve ESENDAL, E., 2006, Soyada Kuraklık Stresi. Omü Zir. Fak. Dergisi, 21(2): 231-237.
- DADKHAH, A.R., 2010. Effect of Salt Stress on Growth and Essential Oil of *Matricaria chamomila*. Research Journal of Biological Sciences, 5 (10): 643-646.
- DAVIDSON, R.L., 1969. Ann. Bot., London, 33, 571.
- DAVIS, P.H., 1982. Flora of Turkey and the East Aegean Islands. Vol. 7. p. 308-309. Edinburgh Univ. Press. U. K.
- DE HERRALDE, F., BIEL, C., SAVE, R., MORALES, M.A., TORRECILLAS, A., ALARCON, J.J. and SANCHEZ-BLANCO, M.J., 1998. Effect of Water and Salt Stress on the Growth, Gas Exchange and Water Relations in *Argyranthemum coronopifolium* Plants. Plant Sci., 139: 9-17.
- DEMIRAL, M.A., AKTAS UYGUN, D., UYGUN, M., KASIRGA, E. and KARAGOZLER, A.A., 2011. Biochemical Response of *Olea europaea* cv. Gemlik to Short-Term Salt Stress. Türk J. Biol., 35: 433-442.
- DEVORE, J.L. and PECK, R.P., 1993. Statistics: the exploration and analysis of data. 2nd ed. California, Duxbury Press. 881 p.
- DINAR, M., 2009. Cost Effective Use of Saline Water for Irrigation. Netafim™ Greenhouse. Greenhouse Articles. Saline Water for Irrigation, p.308.

- DIXON, R.A. and PAIVA, N., 1995. Stress-Induced Phenylpropanoid Metabolism. *Plant Cell*, 7: 1085-1097.
- DONEEN, L.D., 1959. Appendix C. Feasibility of Reclamation of Water from Wastes in the Los Angeles Metropolitan Area, California State Department of Water Resources Staff, 155 p. and appendixes.
- DOORENBOS, J. and KASSAM, A.H., 1986. Yield Response to Water. FAO Irrigation and Drainage Paper 33, Rome.
- DUNFORD, N.T. and VAZQUEZ, R.S., 2005. Effect of Water Stress on Plant Growth and Thymol and Carvacrol Concentrations in Mexican Oregano Grown under Controlled Conditions. *Journal of Applied Horticulture*, 7 (1): 20-22, January-June, 2005.
- EARL, H. and DAVIS, R.F., 2003. Effect Of Drought Stress on Leaf and Whole Canopy Radiation Use Efficiency and Yield of Maize. *Agron. J.*, 95: 688-696.
- EL NADI, A.H., BRAUWER, R. and LACHER, J.T., 1969. *Neth. J. Agric. Sci.*, 17, 133.
- EMEKÇİ, E., APAN, M. ve KARA, T., 2005. Tuzluluğun Bitki Gelişimine Etkisi. *OMÜ Zir. Fak. Dergisi*, 20(3): 118-125.
- ERGENE, A., 1982. Toprak Bilgisi. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları. Erzurum.
- ERİŞ, A., 1990. Bahçe Bitkileri Fizyolojisi, U.Ü.Z.F. Yay. Ders Notları No: 11, Bursa.
- ESETLİLİ, B.Ç. ve ÇAKICI, H., 2010. Ed. D. ANAÇ, Önemli Kültür Bitkilerinin Gübrelenmesi. Kekik Yetiştiriciliğinde Gübreleme. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, s. 95-102. Bornova, İzmir.
- FATIMA, S., FAROOQI, A.H.A., ANSARI, S.R. and SHARMA, S., 1999. Effect of Water Stress on Growth and Essential Oil Metabolism in *Cymbopogon martini* (Palmarosa) Cultivars. *J. Essent. Oil Res.*, 11: 491-496.
- FEIZI, M., 2006. Impact of Using Saline Water Irrigation Strategies on Soil Salinity. ISDEHS Abstracts, International Symposium on Drylands Ecology and Human Security.

- FISCHER, R.A. and HAGAN, R.M., 1965. Exp. Agric. 1, 161.
- FISCHER, R.A. and KOHN, G.D., 1966a. Aust. J. Agric. Res., 17, 255.
- FISCHER, R.A. and KOHN, G.D., 1966b. Aust. J. Agric. Res., 17, 281.
- FISCHER, R.A., 1973. in R.O. SLATYER, Ed., Plant Response to Climatic Factors. Proceedings of the Uppsala Symposium, 1970, Unesco, Paris, p. 233.
- FLEXAS, J., and MEDRANO, H., 2002. Drought-Inhibition of Photosynthesis in C3 Plants: Stomatal and Non-Stomatal Limitations Revisited. Ann. Bot., 89: 183-189.
- GHASSEMI, F. JAKEMAN, A.J. and NIX, H.A. 1995. Salinization of Land and Water Resources: Human Causes, Extent, Management and Case Studies, CAB International, 526 p.
- GONG, H., ZHU, X., CHEN, K., WANG, S. and CHENGLIE, Z., 2005. Silicon Alleviates Oxidative Damage of Wheat Plants in Pots under Drought. Plant Science, 169 (2): 313-321.
- GÜNGÖR, N., 2007. Dut Pekmezinin Bazı Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri ile Antioksidan Aktivitesi Üzerine Depolamanın Etkisi. AÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum.
- HALL, A.E., FOSTER, K.W. and WAINES, J.G., 1979. in A.E. Hall, G.H. Cannel, and H.W. Lawton, Eds., Agriculture in Semi-Arid Environment, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg New York, p. 148.
- HASSANPOUR, H.D. and ALIABADI, F.H., 2009. The Use of Saline Water for Irrigation in Medicinal and Aromatic Plants Farming. International Journal of Water Resources and Environmental Engineering, Vol. 2(1), pp. 009-015. January, 2010.
- HEIDARI, F., ZEHTAB SALMASI, S., JAVANSHIR, A., ALIARI, H. and DADPOOR, M.R., 2008. The Effects of Application Microelements and Plant Density on Yield and Essential oil of Peppermint (*Mentha piperita* L.). Iranian J. Med. Aromatic Plants, 24: 1-9.

- HENRY, L., HARRON, B., and FLATEN, D., 1987. The Nature and Management of Salt Affect Land in Saskatchewan. Saskatchewan Agriculture. Agdex 518. 23 pp.
- HILLEL, D., 2000. Salinity Management for Sustainable Irrigation. Irrigating Science, Environment and Economics, The World Bank, Washington, D.C.
- HOFFMAN, G.J., HOWELL, T.A. and SOLOMON, K.H. 1992. Management of Farm Irrigation Systems. ASAE, MI. 1040 p.
- HOFFMAN, G.J., RAWLINS, S.L., GARBER, M.J. and CULLEN, E.M., 1971. Agron. J., 63, 822.
- HOLTZER, T.O., ARCHER, T.L. and NORMAN, J.M., 1988. Host Plants Suitability in Relation to Water Stress. In Plant Stress-Interactions, HEINRICHS, E.A. (Ed.). Willey-Interscience, New Jersey, USA. pp: 111-137.
- HSIAO, T.C., 1973. Annual Rev. Plant Physiol., 24. 519.
- HSIAO, T.C. and ACEVEDO, E., 1974. Agric. Meteorol., 14, 59.
- HSIAO, T.C., ACEVEDO, E., FERERES, E. and HENDERSON, D.W., 1976. Philos. Trans. R. Soc. London, Ser. B., 273, 479.
- JACOBY, B., 1994. Mechanisms Involved in Salt Tolerance By Plants: In: Pessarakli, M.(Eds.), Handbook Of Plant And Crop Stres. Marcel Dekker, Newyork, 97-123.
- JALEEL, C.A., MANIVANNAN, P., SANKAR, B., KISHOREKUMAR, A., GOPI, R., SOMASUNDARAM, R. and PANNEERSELVAM, R., 2007. Water Deficit Stress Mitigation by Calcium Chloride in Catharanthus Roseus. Effects on Oxidative Stress, Proline Metabolism and Indole Alkaloid Accumulation. Biointerfaces, 60: 110-116.
- JONES, H.G., 1992. Plants and Microclimate, Cambridge University Press, Cambridge.
- KALEFETOĞLU, T. ve EMEKÇİ, Y., 2005. Bitkilerde Kuraklık Stresinin Etkileri ve Dayanıklılık Mekanizmaları. G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi, 18 (4): 723-740.
- KANBER, R., 1977. Çukurova Koşullarında Bazı Toprak Serilerinin Değişik Kullanılabilir Nem Düzeylerinde Yapılan Sulamaların Pamuğun Verim ve Su

Tüketimine Etkisi Üzerinde Bir Lizimetre Araştırması, (Doktora Tezi), Köyişleri ve Kooperatifler Bakanlığı, Toprak Su Genel Md. Yayın No: 78, Rapor Yayın No: 33, Tarsus.

KANBER, R., KIRDA, C. ve TEKİNEL, O., 1992. Sulama Suyu Niteliği ve Sulamada Tuzluluk Sorunları. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Genel Yayın No:21, Ders Kitapları Yayın No:6, Adana.

KANBER, R., ÇULLU, M.A., KENDİRLİ, B., ANTEPLİ, S. ve YILMAZ, N., 2005. Sulama, Drenaj ve Tuzluluk. www.zmo.org.tr/etkinlikler/6tk05/013rizakanber.pdf

KARA, T., 2002. Irrigation Scheduling to Present Soil Salinization from a Shallow Water Table, *Acta Horticulture*, Number 573, pp. 139-151.

KATALINIC, V., MILOS, M., KULISIC, T. and JUKIC, M. 2006. Screening of 70 Medicinal Plant Extracts for Antioxidant Capacity and Total Phenols. *Food Chemistry*, 94 (4): 550-557.

KHORASANINEJAD, S., MOUSAVI, A., SOLTANLOO, H., HEMMATI, K. and KHALIGHI, A., 2010. Effect of Salinity Stress on Growth Parameters, Essential Oil Yield and Constituent of Peppermint (*Mentha piperita* L.). *World Applied Sciences Journal*, 11(11): 1403-1407.

KOCAÇALIŞKAN, İ., 2003. Bitki Fizyolojisi. DPÜ Fen-Edebiyat Fakültesi Yayını, 420.

KOOCHEKI, A., NASSIRI-MAHALLATI, M. and AZIZI, G., 2008. Effect of Drought, Salinity, And Defoliation on Growth Characteristics of Some Medicinal Plants of Iran. *Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants*, 14: 1, 37-53.

KOZLOWSKI, T.T. and PALLARDY, S.G., 1997. *Physiology of Woody Plants*, Academic Press, San Diego.

KSOURI, R., MEGDICHE, W., DEBEZ, A., FALLEH, H., GRIGNON, C. and ABDELLY, C., 2007. Salinity Effects on Polyphenol Content and Antioxidant Activities in Leaves of the Halophyte *Cakile maritima*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 45: 244-249.

- KUŞVURAN, Ş. 2010. Kavunlarda Kuraklık ve Tuzluluğa Toleransın Fizyolojik Mekanizmaları Arasındaki Bağlantılar (Doktora Tezi). Ç. Ü. Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü.
- KWIATOWSKY, J., 1998. Salinity Classification, Mapping and Management in Alberta. Food and Rual Development and Agriculture and Agrifood. Canada.
- LUDLOW, M.M., 1975. in R. MARCELLE, Ed., Environmental and Biological Control of Phytosynthesis, Junk, The Hauge, p. 123.
- MAAS, E.V. and HOFFMAN, G.J. 1977. Crop Salt Tolerance-Current Assessment. J. Irrig. Drain. Div. ASCE, 103: 115-134.
- MAISUTHISAKUL, P., SUTTAJIT, M. and PONGSAWATMANIT, R. 2007. Assesment of Phenolic Content and Free Radical-Scavenging Capacitiy of some Thai Indigenous plants. *Food Chemistry*, 100 (4): 1409-1418
- MARTINEZ, J.P., SILVA, H., LEDENT, J.F. and PINTO, M., 2007. Effects of Drought Stress on the Osmotic Adjustment, Cell Wall Elasticity and Cell Volume of Six Cultivars of Common Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) Eur J Argon, 26: 30-38.
- MCCREE, K.J. and DAVIS, S.D., 1974. Crop Sci., 14, 751.
- MOHAMED, M.A.H., HARRIS, P.J.C., HENDERSON, J. and SENATORE, F., 2002. Effect of Drought Stress on the Yield and Composition of Volatile Oils of Drought-Tolerant and Non-Drought-Tolerant Clones of *Tagetes minuta*. *Planta Medica*, 68(5): 472-474.
- MOLYNEUX, P. 2004. The Use of the Stable Free Radical Diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for Estimating Antioxidant Activity. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 26 (2): 211-219.
- MOONEY, H.A. and DUNN, E.L., 1970. Am. Nat., 104, 447.
- MUHAMMAD, Z. and HUSSAIN, F., 2010. Effect of NaCl Salinity on the Germination and Seedling Growth of Some Medicinal Plants. *Pak. J. Bot.*, 42(2): 889-897.
- MUNNS, R., 2002. Comparative Physiology of Salt and Water Stres. *Plant Cell Environ.*, 25: 239-250.

- NACZK, M. and SHAHIDI, F., 2004. Extraction and Analysis of Phenolics in Food. J. Chromatogr. A., 1054: 95-111.
- NİZAMLIOĞLU, N.M. ve NAS, S., 2010. Meyve ve Sebzelerde Bulunan Fenolik Bileşikler, Yapıları ve Önemleri, Gıda Tekn. Elektronik Dergisi, Cilt:5, No:1, 20-35.
- OFLAZ, S., KÜRKÇÜOĞLU, M. ve BAŞER, K.H.C., 2002. *Origanum onites* ve *Origanum vulgare* subsp. *hirtum* Uzerinde Farmakognozik Araştırmalar. 14. Bitkisel İlaç Hammaddeleri Toplantısı, Bildiriler, 29-31 Mayıs 2002, Eskişehir, ISBN 975-94077-2-8.
- OLFA BAATOUR, R., KADDOUR, W., AIDI WANNES, M. and LACHAAL MARZOUK, B., 2009. Salt Effects on the Growth, Mineral Nutrition, Essential Oil Yield and Composition of Marjoram (*Origanum majorana*). Acta Physiol Plant, 10: 0374-4.
- ORAKI, H., ALAHDADI, I., and PARHIZKAR KHAJANI, F., 2011. Influence of Water Deficit and Genotype on Protein, Oil Contents and Some Physical Characteristics of Sunflower Seeds. African Journal of Agricultural Research, Vol. 6(5), pp. 1246-1250, 4 March 2011.
- OSİB-OGM, 2009. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü. <http://web.ogm.gov.tr>
- OZGUVEN, M. and AKSU, F., H.S.Z., 1987. Antibacterial Activities of Essential Oils from *Majorana hortensis* Moench, *Satureja montana* L. and *Thymus vulgaris* L., Journal of ANKEM 1, No: 3, 270-275.
- OZGUVEN, M. and TANSI, S., 1998. Drug Yield and Essential Oil of *Thymus vulgaris* L. as in Influenced by Ecological and Ontogenetical Variation. Tr. J. Of Agriculture and Forestry, 22, 537-542.
- OZTURK, A., UNLUKARA, A., IPEK, A. and GURBUZ, B., 2004. Effects of Salt Stress and Water Deficit on Plant Growth and Essential oil Content of Lemon Balm (*Melissa officinalis* L.). Pak. J. Bot., 36(4): 787-792.
- ÖZCAN S., BABAOĞLU, M. ve GÜREL, E., 2004. Bitki Biyoteknolojisi Genetik Mühendisliği ve Uygulamaları, S.Ü. Vakfı Yayınları, Konya.

- ÖZHATAY, N., KOYUNCU, M., ATAY, S. ve BYFIELD, A., 1997. Türkiye'nin Doğal Tıbbi Bitkilerinin Ticareti Hakkında Bir Çalışma, Doğal Hayatı Koruma Derneği, İstanbul, s .9-11.
- ÖZTÜRK K., 2002. G.Ü. "Küresel İklim Değişikliği ve Türkiye'ye Olası Etkileri" G.Ü. Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, 22 (1): 47-65.
- PARKER, M.B., GASCHO, G.J. and GAINES, T.P., 1983. Chloride Toxicity of Soybeans Grown on Atlantic Coast Flatwoods Soils. *Agronomy Journal*, 75: 439-442.
- PEARSON, R.W., 1966. in W.H. PIERRE, D. KIRKHAM, J. PESEL, and R. SHAW, Eds. *Plant Environment and Efficient Water Use*, Am. Soc. Agron. And Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin, p. 95.
- PESSARAKLI, M., HUBER, J.T., and TUCKER, T.C., 1987. Dry Matter Yield, Nitrogen Absorbtion, and Water Uptake by Sweet Corn under Salt Stress. *J. Plant Nutr.*, 12: 279-290.
- PESSARAKLI, M., and TUCKER, T.C., 1988. Dry Matter Yield and Nitrogen-15 Uptake by Tomatoes under Sodium Chloride Stress. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52: 698-700.
- PETROPOULOS, S.A., DIMITRA, D., POLISSIOU, M.G. and PASSAM, H.C., 2008. The Effect of Water Deficit Stress on the Growth, Yield and Composition of Essential Oils of Parsley. *Sci. Hortic.*, 115: 393–397.
- POPP, M.P., KEISLING, T.C., MCNEW, R.W., OLIVER, L.R., DILLON, C.R. and WALLACE, D.M., 2002. Planting Date, Cultivar, and Tillage System Effects on Dryland Soybean Production. *Agric. J.*, 94: 81-88.
- POSTEL, S. 1992. *Last Oasis (Facing Water Scarcity)*. The Worldwatch Environmental Alert Series. W.W. Norton & Company, New York.
- PRASAD, A., KUMAR, D., ANWAR, M., SINGH, D.V. and JAIN, D.C., 1998. Response of *Artemisia annua* L. to Soil Salinity, *Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants*, 5: 2, 49-55.

- RAHMANI, N., ALIABADI FARAHANI, H. and VALADABADI, S.A.R., 2008. Effects of Nitrogen on Oil Yield and its Component of Calendula (*Calendula officinalis* L.) in Drought Stress Conditions. Abstracts Book of The World Congress on Medicinal and Aromatic Plants, South Africa p.364.
- RAZMJOO, K., HEYDARIZADEH, P. and SABZALIAN, M.R., 2008. Effect of Salinity and Drought Stresses on Growth Parameters and Essential oil Content of *Matricaria chamomila*. Int. J. Agri. Biol., 10: 451-4.
- REDDY, A.R., CHAITANYA, K.V., JUTUR, P.P. and SUMITHRA, K., 2004. Differential Antioxidative Responses to Water Stress Among Five Mulberry (*Morus alba* L.) Cultivars. Environmental and Experimental Botany, 52: 33–42.
- RHOADES, J.D., KANDIAH, A. and MASHALI, A.M. 1992. The Use of Saline Waters for Crop Production. FAO Irrigation and Drainage Paper No: 48. Rome.
- RHOADES, J.D., LESCH, S.M., LEMERT, R.D. and ALVES, W.J. 1997. Assessing Irrigation/Drainage/Salinity Management Using Spatially Referenced Salinity Measurements. Agr. Water Manage., 35: 147-165.
- RICHARDS, L.A. 1954. Diagnoses and Improvement of Saline and Alkali Soils. USDA Handbook No: 60. Washington D.C., 160 p.
- RITCHIE, J.T. and BURNETT, E., 1971. Agron. J., 63, 56.
- SANCHEZ-MORENO, C., LARRAURI, J.A. and SAURA-CALIXTO, F., 1998. A Procedure to Measure the Antiradical Efficiency of Polyphenols. J. Agric. Food Chem., 47: 425-413.
- SANKAR, B., ABDUL JALEEL, C., MANIVANNAN, P., KISHOREKUMAR, A., SOMASUNDARAM, R. and PANNEERSELVAN, R., 2008. Relative Efficacy of Water Use in Five Varieties of *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench. under Water Limited Conditions. Biointerfaces, 62: 125-129.
- SCALABRELLI, G., SARACINI, E., REMORINI, D., MASSAI, R. and TATTINI, M., 2007. Changes in Leaf Phenolic Compounds in Two Grapevine Varieties (*Vitis vinifera* L.) Grown in Different Water Conditions. Acta Hort., 754: 295-300.

- SHARIFI ASHOORABADI, E., MATIN, M., LEBASCHI, H., ABBASZADEH, B. and NADERI, B., 2005. Effects of Water Stress on Quantity Yield in *Achillea millefolium*. Abstracts Book of The First International Conference on the Theory and Practices in Biological Water Saving, p. 211.
- SIMON, J.E., REISS-BUHENHEINRA, D., JOLY, R.J. and CHARLES, D.J., 1992. Water Stress Induced Alterations in Essential Oil Content and Composition of Sweet Basil. J. Essent. Oil Res., 4 (1992), pp. 71-75.
- SINCLAIR, T.R. and LUDLOW, M.M., 1985. Who Taught Plants Thermodynamics? The Unfilled Potential of Plant Water Potential. Aust. J. Plant Physiol., 12:213–217.
- SINGH, M. and RAMESH, S., 2000. Effect of Irrigation and Nitrogen on Herbage, Oil Yield and Water-Use Efficiency in Rosemary Grown under Semi-Arid Tropical Conditions. J. Med. Aromat. Plant Sci., 22 (1B), 659-662.
- SINGH-SANGWAN, N., FAROOQI, A.H.A. and SINGH-SANGWAN, R., 2006. Effect of Drought Stress on Growth and Essential Oil Metabolism in Lemon Grasses. New Phytol., 128 (1): 173-179.
- SKERGET, M., KOTNIK, P., HADOLIN, M., RIZNER HRAS, A., SIMONIC, M. and ZELJKO, K. 2005. Phenols, Proanthocyanidins, Flavones and Flavonols in some Plant Materials and their Antioxidant Activities. *Food Chemistry*, 89 (2): 191-198.
- SLATYER, R.O., 1973. In R.O. SLATYER, Ed., Plant Response to Climatic Factors. Proceedings of the Uppsala Symposium, 1970, Unesco, Paris, p. 177.
- SMIRNOFF, N., 1993. The Role of Active Oxygen in the Response of Plants to Water Deficit and Desiccation. New Phytol., 125: 27-58 (1993).
- SOARES, J.R., DINS, T.C.P., CUNHA, A.P. and ALMEIDA, L.M., 1997. Antioxidant Activity of Some Extracts of *Thymus zygis*. Free Radic. Res., 26: 469-478.
- SPSS, 2002. SPSS for Windows. Release 11.5.0. SPSS Inc.
- STEWART, J.I. and HAGAN, R.M. 1993. Functions to predict effects of crop water deficits. ASCE Journal of Irrigation and Drainage Division, 99: 421-439.

- SZABOLCS, I., 1994. Prospects of Soil Salinity for the 21st Century. 15th International Congress of Soil Science, Acapulco, Mexico p.514.
- TAHERI, A.M., DANESHIAN, J., VALADABADI, S.A.R. and ALIABADI, F.H., 2008. Effects of Water Deficit and Plant Density on Morphological Characteristics of Chicory (*Cichorium intybus* L.). Abstracts Book of 5th International Crop Science Congress & Exhibition p.26.
- TANKER, M., 1965. Hakiki Kekik Yerine Kullanılan İki Bitki *Origanum heracleoticum* L. ve *Majorana onites* (L.) Benth. Ist. Ecz. Fak. Mec. 1-32.
- TERRY, R., 1997. Soil Salinity. Brigham Young University, Collage of Biology and Agriculture Publishing. No: 282.
- TUĞRUL AY, S. 2008. Adaçayı ve Kekik Tarımı. Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Lifleti.
- TUNALIER, Z., ÖZTÜREK, N., KOŞAR. M., BAŞER, K.H.C., DUMAN, H. ve KIRIMER, N. 2002. Bazı *Sideritis* Türlerinin Antioksidan Etki ve Fenolik Bileşikler Yönünden İncelenmesi. Bitkisel İlaç Hammaddeleri Toplantısı, Bildiriler, 29-31 Mayıs, Eskişehir.
- TUNCAY, H., 1983. Türkiye Toprakları. E. Ü. Ziraat Fak. Teksir Yayınları No: 69, Bornova, İzmir.
- TURNER, N.C. and KRAMER, P.C., 1980. Adaptation of Plants to Water and High Temperature Stress, Wiley-Interscience Publication, USA.
- TURNER, N.C., 1986. Crop water deficits: a decade of progress. Adva.Agro., 39: 1-51.
- TURSUN, T., 2008. Bitkilerde Stres. <http://biyoloji.ataturkfenlisesi.com/>
- TURTOLA, S., MANNINEN, A.M., RIKALA, R. And KAINULAINEN, P., 2003. Drought Stress Alters the Concentration of Wood Terpenoids in Scots Pine and Norway Spruce Seedlings. J. Chem. Ecol., 29: 1981-1985.
- TÜİK, 2009. Türkiye İstatistik Kurumu Tarla Bitkileri İstatistikleri, www.tuik.gov.tr
- TÜİK, 2010. Türkiye İstatistik Kurumu Tarla Bitkileri İstatistikleri, www.tuik.gov.tr
- TÜİK, 2011. Türkiye İstatistik Kurumu Tarla Bitkileri İstatistikleri, www.tuik.gov.tr

- TÜRKES, M. 1994. 'Artan Sera Etkisinin Türkiye Üzerindeki Etkileri', Tübitak Bilim ve Teknik Dergisi, 321: 71.
- TÜRKES, M., 1997. Hava ve İklim Kavramları Üzerine, Tübitak Bilim ve Teknik Dergisi, 355: 36-37.
- UNEP, 1991. Status of Desertification and Implementation of the United Nations Plan of Action to Combat Desertification. UNEP, Nairobi.
- UNGAR, I.A., 1991. Ecophysiology of Vascular Halophytes. 1st Edition, CRC Press, Boca Raton, ISBN-10: 0849362172.
- VAN GENUCHTEN, M.T., 1983. A General Optimization Method for Analyzing Crop Salt Tolerance Data: Model Description and User's Manual. U.S. Dept. Agr., Agr. Res. Serv., U.S. Salinity Laboratory. Res. Rpt. 120. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.
- VIERA, H.J., BERGAMASCHI, H., ANGELOCCI, L.R. and LIBARDI, P.L., 1991. Performance of Two Bean Cultivars under Two Water Availability Regimes. II. Stomatal Resistance to Vapour Diffusion, Transpiration Flux Density and Water Potential in the Plant (in Portugal). Pesquisa Agropecu. Bras, 9: 1035-1045.
- VON GADOW, A., JOUBERT, E. and HANSMANN, C.F. 1997. Comparison of the Antioxidant Activity Of Rooibos Tea (*Aspalathus linearis*) with Green, Oolong And Black Tea. *Food Chemistry*, 60 (1): 73-77.
- WANG, W., VINOCUR, B. and ALTMAN, A., 2003. Plant Responses to Drought, Salinity and Extreme Temperatures: Towards Genetic Engineering for Stress Tolerance. *Planta*, 218: 1-14.
- WOODS, S.A., 1996. Salinity Tolerance of Ornamental Trees and Shrubs. Food and Rual Development and Agriculture and Agrifood. Canada.
- YAZDANI, D., JAMSHIDI, H. and MOJAB, F., 2002. Compare of Essential oil Yield and Menthol Existent in Peppermint (*Mentha piperita L.*) Planted in Different Origin of Iran. *Journal of Medicinal Plants of Medicinal Plant Institute of Jahad Daneshgahi*, 3: 73-78.

- YEN, G.C. and DUH, P.D. 1994. Scavenging Effect of Methanolic Extracts of Peanut Hulls on Free-Radical and Active-Oxygen Species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42 (3): 629-632.
- YURTSEVEN, E., 1999. Sürdürülebilir Tarım ve Tuzluluk Etkileşimi. VII. Kültürteknik Kongresi Bildirileri, 11-14 Kasım 1999, Kapadokya, 237-245.
- ZAHTAB-SALMASI, S., JAVANSHIR, A., OMIDBAIGI, R., ALY-ARI, H. and GHASSEMI-GOLEZANI, K., 2001. Effects of Water Supply and Sowing Date on Performance and Essential Oil Production of Anise (*Pimpinella anisum* L.) *Acta Agron. Hung.*, 49 (1), 75-81.
- ZOR, M., 2007. Depolamanın Ayva Reçelinin Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri ile Antioksidan Aktivitesi Üzerine Etkisi. AÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum.
- ZUO, Y.G., CHEN, H. and DENG, Y.W. 2002. Simultaneous Determination of Catechins, Caffeine and Gallic Acids in Green, Oolong, Black And Pu-Erh Teas using HPLC with a Photodiode Array Detector. *Talanta*, 57 (2): 307-316.

ÖZGEÇMİŞ

Nurten Esen HANCIOĞLU 1986 yılında Ankara’da doğdu. İlkokul, orta okul ve lise öğrenimini Ankara’da tamamladı. 2004 yılında Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ziraat Mühendisliği bölümüne girerek, 2009 yılında Ziraat Mühendisliği-Bitki Koruma Bölümü’nden mezun oldu. 2010 yılında Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı’na Araştırma Görevlisi olarak atandı. Halen bu Anabilim Dalı’nda görevini sürdürmektedir.

Çizelge 4.5. Sulama rejimi denemesinde araştırılan parametreler arasındaki ilişkiler

	EC _e	pH _e	K	Ca	Mg	Na	ET	SKR	BB	TYA	YKA	GKA	TKA	Nem	UYİ	TFeM	TFİM	EV
pH _e	-0.864 (0.000)*																	
K	0.391 (0.053)	-0.490 (0.013)																
Ca	0.288 (0.162)	-0.309 (0.133)	0.631 (0.001)															
Mg	0.412 (0.041)	-0.151 (0.472)	0.269 (0.194)	0.448 (0.025)														
Na	0.591 (0.002)	-0.579 (0.002)	0.587 (0.002)	0.658 (0.000)	0.616 (0.001)													
ET	-0.486 (0.014)	0.609 (0.001)	-0.722 (0.000)	-0.437 (0.029)	-0.321 (0.118)	-0.679 (0.000)												
SKE	-0.481 (0.015)	0.367 (0.071)	-0.452 (0.023)	-0.362 0.075	-0.619 (0.001)	-0.357 (0.080)	0.379 (0.071)											
BB	-0.403 (0.046)	0.488 (0.013)	-0.731 (0.000)	-0.412 (0.041)	-0.394 (0.051)	-0.578 (0.002)	0.824 (0.000)	0.623 (0.001)										
TYA	-0.503 (0.010)	0.583 (0.002)	-0.760 (0.000)	-0.485 (0.014)	-0.444 (0.026)	-0.677 (0.000)	0.966 (0.000)	0.570 (0.003)	0.883 (0.000)									
YKA	-0.573 (0.003)	0.562 (0.003)	-0.683 (0.000)	-0.451 (0.024)	-0.664 (0.000)	-0.723 (0.000)	0.879 (0.000)	0.643 (0.001)	0.808 (0.000)	0.923 (0.000)								
GKA	-0.428 (0.033)	0.563 (0.003)	-0.747 (0.000)	-0.486 (0.014)	-0.271 (0.189)	-0.598 (0.002)	0.945 (0.000)	0.491 (0.013)	0.866 (0.000)	0.967 (0.000)	0.800 (0.000)							
TKA	-0.525 (0.007)	0.593 (0.002)	-0.754 (0.000)	-0.492 (0.012)	-0.486 (0.014)	-0.693 (0.000)	0.962 (0.000)	0.595 (0.002)	0.883 (0.000)	0.996 (0.000)	0.945 (0.000)	0.952 (0.000)						
Nem	-0.581 (0.002)	0.461 (0.020)	-0.379 (0.061)	-0.507 (0.010)	-0.394 (0.052)	-0.499 (0.011)	0.500 (0.011)	0.407 (0.043)	0.367 (0.071)	0.513 (0.009)	0.516 (0.008)	0.455 (0.022)	0.510 (0.009)					
UYİ	0.078 (0.710)	-0.085 (0.687)	0.267 (0.197)	-0.046 (0.827)	-0.032 (0.878)	0.126 (0.549)	-0.379 (0.062)	-0.129 (0.540)	-0.313 (0.128)	-0.368 (0.070)	-0.315 (0.125)	-0.346 (0.090)	-0.350 (0.087)	-0.294 (0.154)				
TFeM	0.135 (0.521)	-0.200 (0.339)	0.455 (0.022)	0.299 (0.146)	0.106 (0.614)	0.227 (0.274)	-0.469 (0.018)	-0.072 (0.731)	-0.337 (0.100)	-0.453 (0.023)	-0.423 (0.035)	-0.414 (0.040)	-0.440 (0.028)	-0.456 (0.022)	0.310 (0.131)			
TFİM	0.237 (0.253)	-0.231 (0.266)	0.401 (0.047)	0.329 (0.109)	0.218 (0.296)	0.251 (0.227)	-0.396 (0.050)	-0.159 (0.447)	-0.309 (0.133)	-0.407 (0.043)	-0.410 (0.042)	-0.350 (0.087)	-0.399 (0.048)	-0.504 (0.010)	0.181 (0.386)	0.960 (0.000)		
EV	0.208 (0.318)	-0.323 (0.115)	0.563 (0.003)	0.515 (0.008)	0.207 (0.320)	0.407 (0.044)	-0.584 (0.002)	-0.168 (0.423)	-0.476 (0.016)	-0.569 (0.003)	-0.522 (0.007)	-0.540 (0.005)	-0.560 (0.004)	-0.542 (0.005)	0.246 (0.236)	0.917 (0.000)	0.906 (0.000)	
AOA	-0.317 (0.123)	0.404 (0.045)	-0.604 (0.001)	-0.456 (0.022)	-0.123 (0.558)	-0.412 (0.041)	0.657 (0.000)	0.171 (0.414)	0.469 (0.018)	0.622 (0.001)	0.545 (0.005)	0.602 (0.001)	0.605 (0.001)	0.655 (0.000)	-0.279 (0.177)	-0.910 (0.000)	-0.891 (0.000)	-0.919 (0.000)

EC_e:Saturasyon çamuru elektriksel iletkenliği, pH_e: Saturasyon çamuru pH' sı, ET: Bitki su tüketimi, SKE: Su kullanım etkinliği, BB: Bitki boyu, TYA: Toplam yaş ağırlık, YKA: Yaprak kuru ağırlığı, GKA: Gövde kuru ağırlığı, TKA: Toplam kuru ağırlık, Nem: Yaprak hava kuru nem içeriği, UYİ: Uçucu yağ içeriği, TFeM: toplam fenolik madde, TFİM: Toplam flavanoid madde, EV: Ekstrakt verimi, AOA: Antioksidan aktivite

*: Parantez () içerisindeki değerler P değerleridir. İstatistiksel anlamda önemli olan ilişkilerin korelasyon katsayıları ve P değerleri koyu yazılmıştır.

Çizelge 4.10. Sulama suyu kalitesi denemesinde araştırılan parametreler arasındaki ilişkiler

	EC _e	pH _e	K	Ca	Mg	Na	EC _{dw}	pH _{dw}	ET	SKE	BB	TYA	YKA	GKA	TKA	Nem	UYİ	TFeM	TFIM	EV
pH _e	-0.817 (0.000)																			
K	0.634 (0.000)	-0.608 (0.000)																		
Ca	0.556 (0.000)	-0.373 (0.021)	0.668 (0.000)																	
Mg	0.827 (0.000)	-0.821 (0.000)	0.705 (0.000)	0.704 (0.000)																
Na	0.836 (0.000)	-0.801 (0.000)	0.749 (0.000)	0.773 (0.000)	0.957 (0.000)															
EC _{dw}	0.749 (0.000)	-0.911 (0.000)	0.514 (0.001)	0.341 (0.036)	0.878 (0.000)	0.792 (0.000)														
pH _{dw}	-0.767 (0.000)	0.934 (0.000)	-0.588 (0.000)	-0.315 (0.054)	-0.759 (0.000)	-0.763 (0.000)	-0.888 (0.000)													
ET	-0.903 (0.000)	0.847 (0.000)	-0.787 (0.000)	-0.621 (0.000)	-0.839 (0.000)	-0.896 (0.000)	-0.728 (0.000)	0.794 (0.000)												
SKE	-0.847 (0.000)	0.754 (0.000)	-0.466 (0.012)	0.204 (0.297)	-0.740 (0.000)	-0.792 (0.000)	-0.692 (0.000)	0.659 (0.000)	0.913 (0.000)											
BB	-0.540 (0.003)	0.425 (0.000)	0.139 (0.479)	0.475 (0.011)	-0.481 (0.010)	-0.411 (0.030)	-0.449 (0.017)	0.336 (0.081)	0.381 (0.046)	0.409 (0.031)										
TYA	-0.841 (0.000)	0.739 (0.000)	-0.434 (0.021)	0.256 (0.189)	-0.711 (0.000)	-0.773 (0.000)	-0.671 (0.000)	0.637 (0.000)	0.918 (0.000)	0.985 (0.000)	0.388 (0.041)									
YKA	-0.898 (0.000)	0.860 (0.000)	-0.334 (0.083)	0.318 (0.099)	-0.834 (0.000)	-0.870 (0.000)	-0.825 (0.000)	0.793 (0.000)	0.943 (0.000)	0.906 (0.000)	0.386 (0.043)	0.907 (0.000)								
GKA	-0.787 (0.000)	0.696 (0.000)	-0.591 (0.001)	0.164 (0.404)	-0.688 (0.000)	-0.766 (0.000)	-0.652 (0.000)	0.650 (0.000)	0.885 (0.000)	0.955 (0.000)	0.351 (0.067)	0.948 (0.000)	0.811 (0.000)							
TKA	-0.886 (0.000)	0.819 (0.000)	-0.484 (0.009)	0.254 (0.191)	-0.801 (0.000)	-0.860 (0.000)	-0.777 (0.000)	0.760 (0.000)	0.961 (0.000)	0.978 (0.000)	0.387 (0.042)	0.974 (0.000)	0.953 (0.000)	0.950 (0.000)						
Nem	-0.553 (0.002)	0.362 (0.058)	-0.092 (0.643)	0.061 (0.760)	-0.564 (0.002)	-0.462 (0.013)	-0.501 (0.007)	0.358 (0.061)	0.527 (0.004)	0.495 (0.007)	0.313 (0.105)	0.511 (0.005)	0.506 (0.006)	0.434 (0.021)	0.494 (0.008)					
UYİ	0.187 (0.342)	-0.081 (0.680)	-0.110 (0.578)	-0.060 (0.762)	0.102 (0.606)	0.189 (0.336)	0.115 (0.562)	-0.087 (0.661)	-0.210 (0.285)	-0.189 (0.336)	-0.293 (0.131)	-0.161 (0.413)	-0.226 (0.248)	-0.108 (0.586)	-0.176 (0.370)	-0.191 (0.329)				
TFeM	0.568 (0.002)	-0.702 (0.000)	-0.061 (0.757)	-0.318 (0.099)	0.584 (0.001)	0.648 (0.000)	0.683 (0.000)	-0.643 (0.000)	-0.485 (0.009)	-0.350 (0.068)	-0.285 (0.142)	-0.336 (0.081)	-0.573 (0.001)	-0.279 (0.151)	-0.450 (0.016)	-0.150 (0.446)	0.251 (0.197)			
TFIM	0.281 (0.147)	-0.445 (0.018)	-0.122 (0.535)	-0.221 (0.258)	0.272 (0.162)	0.396 (0.038)	0.382 (0.045)	-0.398 (0.036)	-0.222 (0.256)	-0.103 (0.602)	-0.062 (0.754)	-0.094 (0.633)	-0.319 (0.098)	-0.038 (0.849)	-0.190 (0.333)	0.125 (0.527)	0.160 (0.417)	0.909 (0.000)		
EV	0.830 (0.000)	-0.876 (0.000)	0.274 (0.159)	-0.282 (0.146)	0.849 (0.000)	0.835 (0.000)	0.855 (0.000)	-0.796 (0.000)	-0.778 (0.000)	-0.660 (0.000)	-0.407 (0.031)	-0.635 (0.000)	-0.813 (0.000)	-0.594 (0.001)	-0.741 (0.000)	-0.376 (0.049)	0.191 (0.331)	0.851 (0.000)	0.650 (0.000)	
AOA	-0.482 (0.009)	0.622 (0.000)	0.117 (0.552)	0.334 (0.073)	-0.439 (0.019)	-0.579 (0.001)	-0.566 (0.002)	0.554 (0.002)	0.435 (0.021)	0.290 (0.135)	0.155 (0.431)	0.310 (0.108)	0.498 (0.007)	0.239 (0.221)	0.389 (0.041)	0.103 (0.603)	-0.242 (0.215)	-0.937 (0.000)	-0.913 (0.000)	-0.754 (0.000)

EC_e:Saturasyon çamuru elektriksel iletkenliği, pH_e: Saturasyon çamuru pH' sı, EC_{dw}: Drenaj suyu elektriksel iletkenliği, pH_{dw}: Drenaj suyu pH' sı, ET: Bitki su tüketimi, SKE: Su kullanım etkinliği, BB: Bitki boyu, TYA: Toplam yaş ağırlık, YKA: Yaprak kuru ağırlığı, GKA: Gövde kuru ağırlığı, TKA: Toplam kuru ağırlık, Nem: Yaprak hava kuru nem içeriği, UYİ: Uçucu yağ içeriği, TFeM: toplam fenolik madde, TFIM: Toplam flavanoid madde, EV: Ekstrakt verimi, AOA: Antioksidan aktivite

*: Parantez () içerisindeki değerler P değerleridir. İstatistiksel anlamda önemli olan ilişkilerin korelasyon katsayıları ve P değerleri koyu yazılmıştır.