



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KISITLI SULAMA KOŞULLARINDA, FARKLI
SEVİYELERDEKİ SULAMA SUYU
TUZLULUĞUNUN İSPANAĞIN MORFO-
FİZYOLOJİK VE BİYOKİMYASAL
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

Ersin KILIÇ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Aralık - 2021
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Ersin KILIÇ tarafından hazırlanan “Kısıtlı Sulama Koşullarında, Farklı Seviyelerdeki Sulama Suyu Tuzluluğunun Ispanağın Morfo-Fizyolojik Ve Biyokimyasal Özelliklerine Etkisi” adlı tez çalışması 03/12/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Dr. Öğr. Üyesi Sinan SÜHERİ

.....

Danışman

Doç. Dr. Duran YAVUZ

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Zahid MALASLI

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Sait GEZGİN
FBE Müdürü

Bu tez çalışması “S. Ü. Bilimsel Araştırmalar Proje Koordinatörlüğü” tarafından 21201005 no’lu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Ersin KILIÇ

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KISITLI SULAMA KOŞULLARINDA, FARKLI SEVİYELERDEKİ SULAMA SUYU TUZLULUĞUNUN İSPANAĞIN MORFO-FİZYOLOJİK VE BİYOKİMYASAL ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Ersin KILIÇ

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Duran YAVUZ

2021, 70 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Duran YAVUZ

Dr. Öğr. Üyesi Sinan SÜHERİ

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Zahid MALASLI

Kurak ve yarı-kurak alanlarda sürdürülebilir bir tarımsal üretimin sağlanması için tarımda kullanılan suyun niceliği ve niteliği önemli etkenlerdir. Bu tip alanlarda kısıtlı sulama koşullarında bitkilerin farklı sulama suyu tuzluluğuna verdikleri tepkilerin belirlenmesi oldukça önemlidir. Bu kapsamda yapılan bu çalışma ile ıspanağın farklı sulama suyu tuzluluğuna ve farklı su kısıtlarına gösterdiği tepkiler araştırılmıştır. Araştırma, sera koşullarında, 0.3 dS/m (T_1 , kontrol), 1.5 dS/m (T_2), 3.0 dS/m (T_3), 4.5 dS/m (T_4) ve 6.0 dS/m (T_5) olmak üzere 5 farklı sulama suyu tuz konsantrasyonu ve tam sulama (S_1), %25 su kısıtı (S_2) ve %50 su kısıtı (S_3) olmak üzere 3 farklı sulama seviyesini içeren toplam 15 deneme konusu tesadüf parsellerinde faktöriyel deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak yürütülmüştür.

Sulama suyu tuzluluğu ıspanakta; toprak üstü yaş (taze) ve kuru ağırlıkları, toprak altı yaş ve kuru ağırlıkları, yaprak alanı, membran zararlanması, klorofil-a, klorofil-b, toplam klorofil ve karotenoid değerlerine ilişkin sonuçlar üzerinde istatistiki olarak önemli etkiler yapmıştır. Benzer şekilde peroksidaz (POD), katalaz (CAT) ve süperoksit dismutaz (SOD) gibi enzim aktiviteleri ile malondialdehit (MDA), protein, prolin ve hidrojen peroksit (H_2O_2) muhtevaları sulama suyu tuzluluğundan istatistiki olarak etkilenmiştir. Sulama suyu tuzluluğu uygulamaları konulara göre değişmekle birlikte; yapraktaki mineral madde içeriklerinden azotta (-%12.5), borda (-%20.6), bakırda (-%30.7), potasyumda (-%21.8), magnezyumda (-%17.0), fosforda (-%9.9) ve kükürtte (-%22.2) istatistiki olarak önemli azalmaya, demir (+%447.5) ve sodyum (+%457.5) içeriğinde ise yine istatistiki olarak önemli artışa neden olmuştur. Sulama seviyesi uygulaması ıspanakta; bitki başına yaprak sayısı, toprak üstü yaş ve kuru ağırlıkları, toprak altı yaş ve kuru ağırlıkları, yaprak alanı, yaprak oransal su içeriği, klorofil-a, klorofil-b ve toplam klorofil sonuçları üzerinde önemli istatistiksel farklar oluşturmuştur. Diğer yandan, CAT ve SOD gibi enzim aktiviteleri ile MDA, protein ve prolin içeriği farklı sulama seviyelerinden istatistiki olarak etkilenmiştir. Farklı sulama suyu tuzluluğu uygulamalarında en yüksek ky değeri 1.79 ile kontrol (T_1) uygulamasında hesaplanmış ve ardından 1.32 ile T_2 (1.5 dS/m) uygulaması gelmiştir. Diğer yandan, 3.0 dS/m ve üzeri EC'ye sahip sulama suyu ile sulamalarda ıspanağın ky değerleri 1.00'den küçük bulunmuş yani su kısıtına toleranslı olduğu belirlenmiştir. Özellikle 4.5 ve 6.0 dS/m gibi tuzlu sulama suyu ile sulamalarda, kısıtlı sulama uygulanan S_2 sulama seviyesinde elde edilen verimler tam sulama yapılan S_1 sulama seviyesine sahip konuların verimlerine yakın hatta bir miktar yüksek bulunmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, su kaynakları kısıtlı olan ve tuzlu sulama suyuna sahip kurak ve yarı-kurak bölgelerde, ıspanakta yapılacak %25 su kısıtı hem su kaynaklarının korunması hem de toprak tuzluluğunun kontrolü açısından önemli bir strateji olarak önerilmiştir.

Keywords: Ispanak, Konya ovası, Verim bileşenleri, Su kullanım randımanı, Enzim aktivitesi

ABSTRACT

MS THESIS

THE EFFECT OF DIFFERENT LEVELS OF IRRIGATION WATER SALINITY ON THE MORPH-PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL PROPERTIES OF SPINACH UNDER LIMITED IRRIGATION CONDITIONS

Ersin KILIÇ

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN DEPARTMENT OF FARM STRUCTURES AND IRRIGATION**

**Advisor: Assoc. Prof. Dr. Duran YAVUZ
2021,70 Pages**

**Jury
Assoc. Prof. Dr. Duran YAVUZ
Assist. Prof. Dr. Sinan SÜHERİ
Assist. Prof. Dr. Mehmet Zahid MALASLI**

The quantity and quality of the water used in agriculture are important factors in ensuring a sustainable agricultural production in arid and semi-arid areas. It is very important to determine the responses of plants to different irrigation water salinity under deficit irrigation conditions in such areas. Therefore, in this study, the responses of spinach to different irrigation water salinity and different water stress were investigated in terms of agronomic and physiological aspects. In the research, a total of 15 experimental treatments including five different irrigation water salinity (T_1 , control; T_2 , 1.5 dS/m; T_3 , 3.0 dS/m; T_4 , 4.5 dS/m and T_5 , 6.0 dS/m) and three different irrigation levels (S_1 , full irrigation; S_2 , %25 water deficit and S_3 , %50 water deficit) were carried out according to the factorial design in randomized plots, with three replications.

Irrigation water salinity in spinach; it had statistically significant effects on the results regarding the fresh and dry weights above-ground the soil, leaf area, membrane damage, chlorophyll-a, chlorophyll-b, total chlorophyll and carotenoid values. Similarly, enzyme activities such as peroxidase (POD), catalase (CAT) and superoxide dismutase (SOD) and malondialdehyde (MDA), protein, proline and hydrogen peroxide (H_2O_2) contents were statistically affected by irrigation water salinity. While irrigation water salinity caused statistically significant decreases in leaf mineral contents such as nitrogen (-%12.5), boron (-%20.6), copper (-%30.7), potassium (-%21.8), magnesium (-%17.0), phosphorus (-%9.9) and sulfur (-%22.2), it also caused statistically significant increases in iron (+%447.5) and sodium (+%457.5) content. Irrigation different level application in spinach; there were significant statistical differences in the number of leaves per plant, above-ground fresh and dry weights, underground fresh and dry weights, leaf area, leaf l water content, chlorophyll-a, chlorophyll-b and total chlorophyll results. On the other hand, enzyme activities such as CAT and SOD, and MDA, protein and proline content were statistically affected by different irrigation levels. In different irrigation water salinity applications, the highest yield response factor (ky) was calculated with 1.79 in the control (T_1) application, followed by the T_2 (1.5 dS/m) application with 1.32. On the other hand, the ky values of spinach were found to be less than 1.00 in irrigation with irrigation water with an EC of 3.0 dS/m and above, that is, it was determined to be tolerant to water constraint. Especially in irrigations with saline irrigation water such as 4.5 and 6.0 dS/m, the yields obtained at the S_2 (%25 water stress) irrigation level were found to be close to the yields of the subjects with full irrigation, even slightly higher. Therefore, in arid and semi-arid regions with limited water resources and saline irrigation water, 25% water restriction on spinach has been proposed as an important strategy for both the protection of water resources and the control of soil salinity.

Keywords: Spinach, Konya plain, Yield components, Water productivity, Enzyme activity

ÖNSÖZ

Artan dünya nüfusunun ihtiyaçlarını karşılamakta yetersiz kalan doğal kaynaklar, iklim değişikliği ve kuraklığında etkisiyle önemini artırmıştır. Sınırlı olan su kaynakları dünya üzerinde homojen olmayan iklim özellikleri yüzünden eşit dağılım göstermemektedir. Yıllık ortalama yağış miktarına göre bazı bölgeler kurak, yarı kurak, bazı bölgeler ise nemli özellik göstermektedir. Yağış miktarı su kaynaklarını doğrudan etkilediği için kurak ve yarı kurak bölgelerde bitki su ihtiyacı mecburen sulama ile karşılanmaktadır. Tarımsal üretim için yeterli su kaynağına ulaşamayan üreticiler yeraltı suyu kullanmakta bu da su rezervlerini hızla tüketmektedir. Bu durum sınırlı su kaynakları üzerindeki baskıyı artırmakta; düşük kaliteli suların kullanımının gündeme gelmesine sebep olmaktadır. Tüm bunlar göz önüne alındığında; Konya gibi kurak ve yarı-kurak bölgelerde yetiştirilen bitkilerin önemli bir verim kaybı yaşamadan sulama suyu tuzluluğuna ve su kısıdı koşullarına verecekleri tepkilerin belirlenmesi oldukça önemlidir.

Yapılan bu çalışma ile Konya koşullarında, farklı sulama suyu kalitesi ve su kısıtı düzeylerinin sera koşullarında yetiştirilen ıspanak bitkisinin, morfo-fizyolojik ve biyokimyasal özelliklerine olan etkisi araştırılmıştır.

Tez çalışmamın yürütülmesi, sonuçlarının değerlendirilmesi ve yazım aşamasında bana destek olan, akademik anlamda beni yönlendiren, kariyerimde ve çalışma hayatımda da kendisinden edindiğim bilgilerden faydalanacağım danışman hocam Sayın Doç. Dr. Duran YAVUZ başta olmak üzere, tezin yürütülmesinde ve laboratuvar çalışmalarında yardımlarını gördüğüm Doç. Dr. Musa SEYMEN, Arş. Gör. Ünal KAL, Arş. Gör. Yeşim DAL ve doktora öğrencisi Necibe KAYAK'a, tezin yazılmasında yardımcı olan Dr. Nurcan YAVUZ'a, literatür taramasında yardımcı olan Dr. Ahmet Emrah ERDOĞDU'ya ve maddi destek sağlayan Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğü'ne en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca beni yetiştiren, bugünlere gelmemde emeği geçen anne ve babama, her zaman yanımda olan sevgili eşime verdikleri destek ve gösterdikleri hoşgöründen dolayı sonsuz teşekkür ederim.

Ersin KILIÇ
KONYA-2021

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	11
3.1. Materyal	11
3.1.1. Araştırmanın yapıldığı yer	11
3.1.2. Araştırmada kullanılan toprak özellikleri.....	11
3.1.3. Sera içi iklim özellikleri	11
3.1.4. Sulama suyunun özellikleri	13
3.1.5. Denemede bitkisel materyal olarak kullanılan ıspanak bitkisinin özellikleri.....	13
3.1.6. Denemede kullanılan yetiştirme saksılarının özellikleri	13
3.2. Yöntem.....	14
3.2.1. Araştırma konuları	14
3.2.2. Tohum ekimi, sulama uygulamaları ve hasat.....	14
3.2.3. Bitki su tüketiminin hesaplanması	18
3.2.4. Verim, verim bileşenleri, biyokimyasal özellikler ve yaprak mineral madde içeriklerinin belirlenmesi.....	18
3.2.5. Verim tepki etmeni (k_y).....	21
3.2.6. Su kullanım etkinliğinin belirlenmesi	22
3.2.7. İstatistiksel analizler	22
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	23
4.1. Sulama Suyu Miktarları ve Bitki Su Tüketimi Sonuçları	23
4.2. Verim ve Verim Unsurlarına İlişkin Sonuçlar	25
4.2.1. Toprak üstü yaş ve kuru ağırlıkları	25
4.2.2. Toprak altı yaş ve kuru ağırlıkları	28
4.2.3. Bitki başına yaprak sayısı.....	30
4.2.4. Yaprak alanı	31
4.2.5. Yaprak oransal su içeriği (YOSİ).....	33
4.2.6. Membran zararlanması.....	35
4.2.7. Klorofil-a, klorofil-b ve toplam klorofil.....	37
4.2.8. Karotenoid içerikleri	39
4.2.9. Protein içeriği	41
4.2.10. Prolin içeriği.....	42
4.2.11. Katalaz, Peroksidaz ve Süperoksit Dismutaz enzim aktiviteleri.....	43
4.2.12. Lipid peroksidasyon konsantrasyonu	46
4.2.13. Hidrojenperoksit konsantrasyonu.....	47
4.2.14. Yaprak mineral madde içeriği	49

4.2.14.1. Yaprakta azot, fosfor, kükürt, kalsiyum, potasyum, magnezyum ve sodyum içerikleri	49
4.2.14.2. Yaprakta mangan, çinko, demir, bor, bakır ve kurşun içerikleri	53
4.3. Su-Verim İlişkileri	56
4.3.1. Sulama suyu tuzluluğu, sulama seviyesi ve verim ilişkileri	56
4.3.2. Verim tepki etmeni (k_y)	58
4.4. Su Kullanım Randımanı (WUE)'na İlişkin Sonuçlar	59
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	61
KAYNAKLAR	64
ÖZGEÇMİŞ	70



SİMGELER VE KISALTMALAR

Ca	: Kalsiyum
Cl	: Klor
CO ₃	: Karbonat
HCO ₃	: Bikarbonat
K	: Potasyum
Mg	: Magnezyum
Na	: Sodyum
N	: Azot
P	: Fosfor
S	: Kükürt
Mn	: Manganez
Zn	: Çinko
Fe	: Demir
B	: Bor
Cu	: Bakır
Pb	: Kurşun
CaCO ₃	: Kalsiyum Karbonat
EC	: Elektriksel İletkenlik
dS	: Desisimens
SAR	: Sodyum Adsorbsiyon Oranı
C ₂ S ₁	: İkinci Sınıf Tuzluluk Birinci Sınıf Sodiklik
pH	: Hidrojen İyon Konsantrasyonunun Negatif Logaritması
%	: Yüzde
°C	: Santigratderece
atm	: Atmosfer basıncı
mg	: Miligram
g	: Gram
kg	: Kilogram
t	: Ton
PE	: Polietilen
l	: Litre
m ³	: Metreküp
s	: Saniye
h	: Saat
m ²	: Metrekare
ha	: Hektar
da	: Dekar
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
SOD	: Süperoksit Dismutaz
CAT	: Katalaz
POD	: Peroksidaz
ROS	: Reaktif Oksijen Türleri
H ₂ O ₂	: Hidrojenperoksit

1. GİRİŞ

Su, sahip olduğu özellikleri ve kullanım imkânlarına bağlı olarak ekonomik ve sosyal gelişmeyi etkileyen stratejik öneme sahip doğal kaynaklardan en önemlisidir. Son yıllarda mevcut su kaynaklarının azalması, suyun sulama dışında çeşitli maksatlar için kullanımı ve bunlar için mevcut talebin sürekli artışı, suyun tarımsal sulamada kullanımında tasarruf edilmesini zorunlu hale getirmektedir. Türkiye’de, kullanılmakta olan su kaynaklarının yaklaşık %77’si tarımda sulama amacıyla kullanılmaktadır. İklim değişikliğinin etkilerinin artmasıyla birlikte, ülkemizin önemli bir bölümünde çok büyük boyutlara ulaşan kuraklık, hem yeraltı hem de yerüstü su kaynaklarını olumsuz yönde etkilemiştir. Özellikle kurak ve yarı-kurak alanlarda sulu tarımın yaygınlaştırılması, içme-kullanma suyu ve endüstri suyu talebindeki artış, ülkeleri su kaynaklarının kullanılması ile ilgili ortak kaygılara yönelik politikaların geliştirilmesi ve uygulanmasına zorlamaktadır. Tüm bunlara ek olarak, sürekli artış gösteren enerji ve işçilik giderleri de su kaynaklarının, tarımda daha etkin kullanımını zorunlu kılmaktadır. Belirtilen nedenlerle tarım sektörü, su tasarrufu sağlamak açısından yüksek potansiyele sahiptir.

Türkiye’nin tarım yapılabilir arazi varlığının yaklaşık %8’ini oluşturan ve kurak bir iklime sahip olan Konya Ovası’nda su kaynakları oldukça sınırlıdır. Konya Ovası’nın uzun yıllar ortalamasına göre yıllık yağış miktarı 323 mm’dir ve bunun da sadece 100 mm kadarı bitki yetiştirme döneminde düşmektedir (Yavuz ve ark., 2020). Dolayısı ile ovada, bitkisel üretimde çeşitlilik, verim ve kalite artışı ancak sulama ile sağlanabilmektedir. Bu amaçla bir yandan sulu tarım alanlarının artırılması için çalışmalar yapılmakta, bir yandan da kısıtlı su kaynakları ile daha yüksek verim alınmasının yolları aranmaktadır (Ayana, 2011; Dirirsa ve ark., 2017). Kısıtlı sulama, kurak ve yarı kurak iklim özelliği gösteren bölgelerde, kullanılan birim su hacmi başına hasat edilen verimi en üst düzeye çıkarabilecek önemli bir tekniktir. Bu nedenle, kısıtlı sulama uygulamaları, yeni sulama stratejileri geliştirmek için önemli bir konudur.

Bitkilerde kuraklık stresi, büyüme ve gelişmeyi sınırlandırmasının yanı sıra bazı biyokimyasal ve fizyolojik içerikleri etkileyen önemli bir etkidir (Srivastava ve Srivastava, 2014). Kuraklık bitkideki su dengesinin bozulması (Silva ve ark., 2009) ve bitkilerde reaktif oksijen türlerinin (ROS) oluşmasından kaynaklanan büyük zararlara neden olmaktadır (Zgallai ve ark., 2006). Birçok araştırmacı, ıspanak gibi yaprakları

yüksek oranda su içeriğine sahip bitkilerin, yüksek miktarda sulama suyuna ihtiyaç duydukları için, kısıtlı sulama çalışmaları ile uygun sulama miktarının belirlenmesinin en iyi yaklaşım olduğunu söylemektedir (Leskovar ve ark., 2012; Ekinci ve ark., 2015; Xu ve Leskovar, 2015; Jabeen ve ark., 2019).

Ispanak (*Spinacea oleracea* L.) dünyanın birçok yerinde yetiştirilen ve insan beslenmesinde oldukça önemli olan bir sebze türüdür. Dünyada yaklaşık olarak 26.2 milyon ton ıspanak üretimi gerçekleşirken, üretimde 23.8 milyon ton ile Çin ilk sırada, 0.34 milyon ton ile Amerika (USA) ikinci sırada ve 0.23 milyon ton ile Türkiye üçüncü sırada yer almaktadır (FAO, 2020). Taze yaprakları tüketilen ıspanak, bünyesinde yüksek miktarda mineral ve vitamin içerir. İnsan sağlığı için gerekli olan C vitamini içeriği yüksek olan önemli bir sebzedir (Ekinci ve ark., 2015). Ayrıca, insan beslenmesinde önemli bir diyet ürünü olup, glukuronik asit türevleri ve güçlü antioksidan aktivite gösteren p-kumarik asit türevleri yönünden zengin bir besindir (Xu ve Leskovar, 2015). Ispanak tuza toleransı yüksek olan bir kültür bitkisidir (Deveci ve Tuğrul, 2017) ve özellikle toprakta artan değişebilir sodyum yüzdesi bakımından yarı dayanıklı bir bitki olarak bilinmektedir (Ekmekçi ve ark., 2005).

Sulama suyu tuzluluğu, toprak çözeltisi osmotik basıncını artırarak, bitkilerin kökleri ile suyu alımını zorlaştırmakta, ya da içerisinde bulunan bazı toksik iyonlar nedeniyle bitkinin zarar görmesine sebep olmaktadır (Parida ve Das, 2005). Kök rizosferinde tuz miktarının artmasıyla birlikte ilk olarak osmotik stres oluşmaktadır. Oluşan bu dışsal osmotik stres, bitkinin kullanabileceği su miktarının da azalmasına sebep olmaktadır. Bu olay “fizyolojik kuraklık” olarak adlandırılmaktadır (Tuteja, 2007). Kullanılabilir su miktarının azalması, hücre genişlemesinin azalmasına ve sürgün gelişiminin yavaşlamasına neden olmaktadır. Osmotik stresin devamında ortaya çıkan iyon stresi evresinde, ortamda artan Na ve Cl iyonlarının K^+ , Ca^{+2} ve NO^{-3} gibi gerekli besin elementleri ile rekabete girmesiyle bitkilerde, besin eksikliği veya besin dengesizliği meydana gelmektedir (Hu ve Schmidhalter, 2005). Tuzluluğun bitkiler üzerindeki doğrudan etkisi (primer etki) osmotik ve iyon stresi olarak değerlendirilmekte, dolaylı etkisi (sekonder etki) ise bitkideki yapısal bozulmalar ve toksik bileşiklerin sentezlenmesi olarak değerlendirilmektedir. NaCl’nin sebep olduğu başlıca sekonder etkiler; DNA, protein, klorofil ve zar fonksiyonuna zarar veren aktif oksijen türlerinin sentezi; fotosentezin inhibisyonu; metabolik toksisite olarak bilinmektedir (Botella ve ark., 2005; Hong ve ark., 2009).



Şekil 1.1. Bitkilerde stresle meydana gelen fazlar (Lichtenthaler, 1998)

Bitkiler stres koşullarında alarm fazı, dayanıklılık fazı, tükenme fazı ve rejenerasyon fazı olmak üzere 4 farklı fazda değişik tepkiler ortaya koymaktadırlar (Şekil 1.1). Stres oluştuğunda bitki büyümesi sınırlandığı gibi bazı morfolojik görünümünde de değişimler meydana gelmektedir. Bunun yanı sıra ozmotik dengesini sağlayarak stresten korunmaktadır. Bu durumda, stres gerçekleştiğinde bitki bünyesindeki prolini sentezleyerek hayatta kalmaya çalışmaktadır (Liu ve ark., 2011). Bir diğer savunma stratejisi ise antioksidan savunma sistemidir. Ayrıca, bitkiler strese maruz kaldıklarında hem enzimatik (katalaz (CAT), süperoksit dismutaz (SOD), peroksidaz (POD), askorbat peroksidaz (APX)) hem de enzimatik olmayan (tokoferol, askorbat, glutatyon) savunma sistemleri sayesinde strese karşı direnç göstermektedirler (Lehtimäki ve ark., 2010).

Bu çalışma, Konya Ovası gibi kısıtlı su kaynaklarına sahip bölgelerde tarımda kullanılan sulama suyundan tasarruf edilmesi amacıyla yürütülmüştür. Bu kapsamda, farklı tuz konsantrasyonlarına sahip sulama sularının, su kısıtı koşullarında, etkilerinin farklı olacağı düşünülmektedir. Tüm bunlar göz önüne alındığında; bölgede yetiştirilen bitkilerin istatistiki açıdan önemli bir verim kaybı yaşamadan sulama suyu tuzluluğuna kısıtlı sulama koşullarında verecekleri tepkilerin belirlenmesi gerekmektedir. Ispanakta sulama suyu tuzluluğu etkisinde, su-verim ilişkisi üzerine yapılmış kapsamlı bilimsel çalışmaların azlığı dikkat çekmektedir. Bu araştırmada, ıspanak bitkisinde farklı sulama seviyelerinin ve sulama suyu tuzluluğunun elde edilen ürünün biyokimyasal ve morfo-fizyolojik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Bu çalışma kapsamında laboratuvar analizleri sonucunda ıspanak bitkisinin farklı kısıtlı sulama koşullarında ve tuz stresi altında, besin bileşenlerinde meydana gelebilecek değişimler belirlenmiş ve uygun sulama stratejileri önerilmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Dünyadaki önemli tarımsal ürünlerin üretimini %50'ye varan oranlarda azaltan abiyotik stres faktörleri, tarım endüstrisinin geleceğini tehdit etmektedir (Mahajan ve Tuteja, 2005). Bu stres faktörlerinden tuz stresi, kuraklıktan sonra kullanılabilir alanları en fazla etkileyen faktördür. Verimli toprakları kuşatan tuz stresi, bitkilerin gelişimini yapısal, fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler mekanizmalarında değişimlere neden olarak etkilemektedir.

Dünya genelinde toplam ekili tarımın %20'sinin ve sulanan tarım arazilerinin %33'ünün yüksek tuzluluktan etkilendiği tahmin edilmektedir. Ekilebilir arazilerin ise, %50'sinden fazlasının 2050 yılına kadar tuzlulaşacağı tahmin edilmektedir (Shrivastava ve Kumar, 2015).

Bölgesel olarak farklılık göstermekle birlikte, yetiştiriciliği yapılan bitkilerin önemli bir verim kaybı yaşamadan su kısıtı koşullarında sulama suyu tuzluluğuna verecekleri tepkilerin belirlenmesi gerekmektedir. Aşağıda bazı bitkilerin tuza hassasiyetlerinin belirlenmesi için yapılan çalışmalar ile ıspanak bitkisinin farklı sulama stratejilerine ve tuz stresine tepkilerinin belirlendiği çalışmalar özetlenmiştir.

Çizikçi (1997), farklı sulama suyu tuzluluk düzeyleri, sodyum adsorpsiyon oranı (SAR) ve Ca/Mg oranlarının ıspanak (*Spinacia oleracea* L) verimi ve çimlenmesi üzerine etkileri belirlemek amacıyla laboratuvarında bir araştırma yapmıştır. Araştırmada, 6 farklı sulama suyu tuzluluk seviyesi (1, 2.5, 5, 7.5, 10 ve 15 dS/m), 3 farklı sodyum adsorpsiyon oranı (SAR) (5, 10, 15) ve 3 farklı Ca/Mg oranı (1:1, 3:1 ve 1:3) uygulanmıştır. Sonuç olarak, en yüksek ıspanak çimlenme yüzdesi ve en yüksek verim, en düşük sulama suyu tuzluluk seviyesi (1 ds/m) ve SAR (5) düzeyinde ve Ca:Mg oranı (1:1) olan konudan sırasıyla; %83.00 ve 67.19 g/saksı olarak elde edilmiştir. Elde edilen bulgulara göre, artan sulama suyu tuzluluk seviyeleri, sodyum adsorpsiyon oranı ve magnezyum (Mg) oranları, çimlenme yüzdeleri ile verim değerlerini azalttığı gözlenmiştir.

Suleiman ve ark. (2002), ıspanakta büyüme ve iyon ilişkilerine tuzluluğun ve ekzojen uygulanan poliaminlerin etkisini incelemek amacıyla ekzojen olarak uygulanan putrescine, spermidin ve sperminin tuzluluk stresinin azaltılmasında etkisini incelemek için çalışma yapmışlardır. Araştırmanın sonucunda, çalışmanın gerçekleştirildiği tuzluluk aralığı boyunca (2 ile 11.7 dS m⁻¹) putrescine ve sperminin bitki büyümesi

üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığını belirtmişlerdir. Spermidinin büyümeyi hafif azalttığını, test edilen poliaminlerin hiçbirinin bitki iyon içeriği üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığını belirtmişlerdir. Ayrıca, sulama suyunda tuzluluğun artmasının bitki büyümesinde önemli bir azalmaya sebep olduğunu bildirmişlerdir.

Kao ve ark. (2006), üç farklı yabancı soya fasulyesinde (*Glycine soja*, *Glycine tomentella* ve *Glycine tabacina*) ve dört farklı NaCl uygulamasının (0, 17, 51 ve 85 mM NaCl) yaprak alanı, biyokütle, fotosentetik gaz değişimi ve iyon içeriğine tepkilerini incelemişlerdir. Sonuçta üç türün tuzluluğa duyarlılıklarında farklılaştığını, *G. soja*'nın en hassas ve *G. tomentella*'nın duyarlı olduğunu bildirmişlerdir. Yaprak dokusunda Na birikimi ile tuz toleransı arasında negatif bir korelasyon bulunduğunu belirtmişlerdir.

Yousif ve ark. (2010), Yeni Zelanda ıspanağı (*Tetragonia tetragonioides* L.) ve su ıspanağı (*Ipomoea aquatica* L.) arasındaki tuz tolerans mekanizmalarındaki farkı inceledikleri çalışmalarında; her iki bitkiye de 14 gün boyunca günlük olarak 0, 50, 100 ve 200 mM NaCl uygulayarak tuz stresine maruz bırakmışlardır. Su ıspanağının büyümesi, artan tuzlulukla belirgin ve kademeli olarak azalırken, Yeni Zelanda ıspanağının gelişimi tuzlulukla birlikte artmıştır. Bu durum Yeni Zelanda ıspanağının halofit bitki olduğunu göstermiştir. Artan tuzlulukla birlikte yaprak su potansiyeli ve ozmotik potansiyelin de kademeli olarak azaldığını belirtmişlerdir. Yeni Zelanda ıspanağının yapraklarında daha fazla Na^+ iyonu biriktiğini; artan tuzluluk ile her iki türün fotosentez hızının azaldığını tespit etmişlerdir.

Selcen ve ark. (2013), Tom-8 ve Tom-33 kodlu domates genotipleri kullanılarak iklim odasında su kültürü ortamında genç bitki aşamasında bir çalışma yürütmüşlerdir. Çalışmada; 1) Kontrol, 2) Tuz stresi (200Mm NaCl), 3) Kontrol + Selenyum (10 μ M), 4) Tuz stresi + Selenyum (10 μ M), 5) Kotrol + Silikon (1mM) ve 6) Tuz + Silikon (1mM) olmak üzere 6 farklı uygulama araştırılmıştır. Çalışmada; bitki boyu, yaprak sayısı, bitki yeşil aksamının ve kökünün taze ve kuru ağırlıkları, yeşil aksamda sodyum ve klor, yaprak sıcaklığı ve yaprak stoma iletkenliği gibi özellikler incelenmiştir. Sonuçta, selenyum ve silikon uygulamalarının bitkilerdeki tuz stresini azaltmada etkili oldukları ifade edilmiştir.

Turhan ve ark. (2013), ıspanak bitkilerinde tuzluluk stresinin zararlı etkilerinin hafifletilmesinde, K^+ ve Ca^{+2} takviyesinin etkisini 5 farklı çeşit (Green Gold, Larissa, Mikado, Ohio ve Matador) üzerinde denemişlerdir. 50, 100, 150 ve 200 mM'lik dört NaCl seviyesine ek olarak, işlemler her NaCl seviyesinde 10 mM K ve 10 mM Ca ile tekrarlamışlardır. Sonuçta, büyüme ortamında artan NaCl konsantrasyonları ile Na^+ ve

Cl^- konsantrasyonlarının önemli ölçüde arttığını ve bitkilerin fizyolojisi ve biyokimyası için çok önemli olan K^+ , Ca^{+2} ve NO_3^- konsantrasyonlarının azaldığını ortaya koymuşlardır. K^+ ve Ca^{+2} ilaveleri bitki dokularındaki Na^+ ve Cl^- konsantrasyonlarını azalttığını, K^+ , Ca^{+2} ve NO_3^- konsantrasyonlarını artırdığını, bunun da ıspanak bitkilerinin pazarlanabilir veriminde iyileşme ile sonuçlandığını belirtmişlerdir.

Kıran ve ark. (2014) tuza tolerans seviyeleri belirlenmiş domates genotiplerinin (TR-68516, Rio Grande, TR-63233, H-2274) kurağa tolerans seviyelerini; morfolojik ve fizyolojik bazı özelliklerindeki değişimleri belirlemek, tuza tolerans ile kuraklığa tolerans arasında bir paralellik olup olmadığı yönünde bilgilere ulaşmak amacıyla bir araştırma yürütmüşlerdir. Bu amaçla bitkileri, bitki yaş ve kuru ağırlığı, yaprak alanı, nispi nem, stoma iletkenliği ve yaprak su potansiyeli gibi özellikleri bakımından incelemişlerdir. Çalışmada bitkilere S_0 konusunda (kontrol) toplam yarayışlı suyun % 40'ı tüketildiğinde ve S_1 konusunda ise % 90'ı tüketildiğinde su vermişlerdir. S_2 konusundaki bitkileri ise 3-4 yaprak aşamasından sonra susuz bırakmışlardır. Tuza dayanımı yüksek olan domates genotiplerinin (TR-68516, Rio Grande), kuraklık stresi altında da iyi performans sergilediğini, tuza dayanımı düşük olan domates genotiplerinin ise (TR-63233, H-2274), kuraklık stresinden yüksek düzeyde etkilendiğini belirtmişlerdir.

Abedi-Koupai ve ark. (2015), pomzanın atık su ile sulanan ıspanağın kadmiyum alımını azaltmaya etkisini araştırmışlardır. Çalışmanın sonucu olarak, Cd içeren atık su ile sulama, tatlı su ile sulamaya kıyasla verimi düşürdüğü ve bu nedenle, pomzanın, uygun maliyetli bir adsorban olarak, kirlenmiş topraklarda Cd'nin fitoyararlanımının hareketsizleştirilmesi ve azaltılması için potansiyel oluşturduğunu vurgulamışlardır.

Du ve ark. (2015) seralarda artan tuzluluğun sebep olduğu oksidatif hasarların NO gazı uygulanmasıyla hafifletilebildiğini gözlemişlerdir. Sonuç olarak, bitkilerde hem fotosentez hem de büyümenin, NaCl stresi tarafından inhibe edilmesine rağmen, NO gazı uygulaması ile restore edildiğini; yenilebilir kısımların taze ve kuru biyokütlelerinin NaCl stres uygulamasına göre sırasıyla %60 ve %27 arttığını belirtmişlerdir. Ayrıca, gaz halinde NO uygulamasının, NaCl ile muamele edilmiş bitkilerde prolin, askorbat, glutatyon, toplam fenolikler ve flavonoidler gibi çeşitli antioksidasyonla ilişkili bileşiklerin seviyelerinin ve ayrıca toplam antioksidan kapasitesinin önemli ölçüde yükseldiği sonucuna varmışlardır.

Xu ve Mou (2016) çalışmalarında, tuzluluk ve besin eksikliğinin ıspanak (*Spinacia oleracea* L.) üzerindeki etkilerini, sera koşullarında kum kültürlerinde

değerlendirmişlerdir. Bitkileri her gün 20/10 mm sodyum klorür (NaCl)/kalsiyum klorür (CaCl_2) içeren veya içermeyen besin eksikliği nedeniyle azottan (N), fosfordan (P) veya potasyumdan (K) yoksun Hoagland beslenme solüsyonu ile sulamışlardır. Tuzluluk uygulamalarının, kontrollere göre, sürgün taze ağırlığı ve kuru ağırlığını, yaprak oransal su içeriğini ve spesifik yaprak alanını önemli ölçüde azalttığını belirtmişlerdir. Sonuçta, düşük gübre seviyeleri veya hafif tuz stresi gibi kültürel uygulamalar yoluyla ıspanak besin değerinin yalnızca orta derecede veya biraz azaltılmış verimle iyileştirilebileceğini vurgulamışlardır.

Deveci ve Tuğrul (2017), sulama suyu tuzluluğunun ıspanakta yaprak fizyolojik parametreleri üzerine olan etkilerini belirlemek amacıyla yaptıkları araştırmada, 2 farklı çeşit (Meridyen F1 ve San Moreno F1) ve 4 farklı sulama suyu tuzluluk seviyesi ($\text{EC}=\text{kontrol}$, 6, 8 ve 10 dSm^{-1}) uygulamışlardır. Sonuç olarak, sulama suyu tuzluluk düzeyi arttıkça, şafak öncesi ve gün ortası yaprak su potansiyelleri, yaprak oransal su içerikleri, yapraklardaki toplam klorofil miktarı ile stoma geçirgenliklerinin azaldığını, yaprak hücrelerinde membran zararlanma oranının arttığını gözlemlemişlerdir. İnceledikleri özelliklere göre; “Meridyen F1” çeşidinin sulama suyu tuzluluğuna karşı dayanıklı ve “San Moreno F1” çeşidinin dayanıksız olduğu belirtmişlerdir.

Stenchly ve ark. (2017), Batı Afrika kentsel sebze üretim sisteminde atık su ile sulamanın ıspanak tarlalarının toprak özellikleri ve toprak faunası üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Toprak pH'sında hafiften kuvvetli toprak alkalinitesine kadar değişen bir gradyan gösteren ve atık su ($n = 12$) veya temiz su ($n = 20$) ile sulanan toplam 32 parsel oluşturmuşlardır. Çalışmalarında, toprakta yaşayan eklembacaklıların alkali topraklar için yüksek bir tolerans olduğunu belirtmişler ancak toprak elektrik iletkenliği (EC) artışı olan ıspanak tarlalarında, Hymenoptera, Diptera ve Ochenorrhyncha bolluğunun azaldığını belirlemişlerdir. Alçı uygulamasının toprak pH'sını düşürdüğünü ancak toprak EC'sini artırdığını tespit etmişlerdir. Atık su sulama ve ilgili toprak pH'sının, araştırılan ıspanak tarlalarında, polinatörler ve avcılar gibi agronomik eklem bacaklı grupları üzerinde olumsuz etkilere yol açabilecek eklem bacaklı kompozisyonunu etkilediğini söylemişlerdir.

Ors ve Suarez (2017), yaptıkları çalışmada tuzluluk ve su stresi tepkilerinin ıspanak büyümesi üzerindeki etkileşimlerini incelemişlerdir. Altı farklı tuzlu sulama suyu konsantrasyonu (EC : 0.85, 4, 7, 9, 12, 15 dS/m) kullanarak deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak, ıspanak veriminin tuz ve su stresine tepkisinin çok farklı olduğunu gözlemlemişlerdir. ıspanak veriminin başlangıçta tuzlulukla arttığını ve

ardından sadece sulama suyu $EC\ 9\ dS\ m^{-1}$ ve üzerinde olduğunda (ozmotik basınç $-310\ kPa$) azaldığını tespit etmişlerdir.

Ünlükara ve ark. (2017), ıspanağın sera içi ve dışı koşullarda sulama suyu tuzluluğuna tepkisi üzerine çalışma yapmışlardır. Farklı hava koşullarının bitkinin tuzluluk toleransı üzerine etkisini araştırmışlardır. Yapılan çalışmada, saksıda yetiştirilen ıspanağa altı farklı tuzluluk oranına sahip tuz-su karışımı uygulamışlardır. Eşik tuzluluk oranını iç mekanda $2.35\ dS\ m^{-1}$, dış mekanda $2.83\ dS\ m^{-1}$ olarak belirlemişlerdir. Verim kayıplarını eşik değerlerden sonra iç mekan için %3.51, dış mekan için ise %3.3 olarak belirtmişlerdir. Toprak tuzluluğundaki her $1\ dS\ m^{-1}$ artışın ıspanakta su tüketiminde yaklaşık %1.35 azalmaya neden olduğunu bildirmişlerdir.

Erdem ve Çelik (2018), ıspanak gelişimi ve verimi üzerine farklı sulama suyu tuzluluğu ve yıkama suyu oranlarının etkisi incelemek amacıyla bir araştırma yürütmüşlerdir. Araştırmada 5 farklı sulama suyu tuzluluğu ($T_1=0\ dS\ m^{-1}$, $T_2=1.0\ dS\ m^{-1}$, $T_3=2.5\ dS\ m^{-1}$, $T_4=5\ dS\ m^{-1}$ ve $T_5=7.5\ dS\ m^{-1}$) ve 3 yıkama suyu oranı ($Y_1=\%10$, $Y_2=\%20$, $Y_3=\%30$) uygulamışlardır. Araştırma sonucunda, sulama suyu tuzluluğu artışıyla birlikte ıspanak veriminin azaldığını; yıkama suyunun artışıyla ıspanak veriminin arttığını gözlemlemişlerdir.

Ferreira ve ark. (2018) yaptıkları çalışmalarında ıspanak bitkisinin tuzluluğa tepkisini araştırmışlardır. Ispanak mineral bileşimi, antioksidan kapasitesi, fotosentez ve gen ekspresyonu üzerindeki tuzluluk etkilerini belirlemişlerdir. Serada yetiştirdikleri ıspanağı dört farklı tuzluluk oranına (2, 20, 40 ve $80\ meq\ L^{-1}NaCl$) sahip su ile sulamışlardır. Araştırma sonucunda, artan tuzlulukla birlikte ıspanağın sürgünlerinde ve köklerinde önemli ölçüde Na ve Cl biriktiğini tespit etmişlerdir.

Caparrotta ve ark. (2019), farklı tuz konsantrasyonları koşullarında yetiştirilen ıspanağın taze, haşlanmış ve buharda pişirilmiş yapraklar üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmalarında ıspanağı, besin çözeltisinin %10 ve %20 deniz suyu ile entegre edildiği yüzen bir hidroponik sistemde yetiştirmişler ve sürgün seviyesinde morfolojik adaptasyonlarla birlikte deney sırasında bitki büyümesini izlemişlerdir. Ham, kaynatılmış ve buharda pişirilmiş yaprakları daha sonra sodyum ve potasyum konsantrasyonlarını, toplam fenolik içeriği ve nitrat konsantrasyonunu belirlemek için analiz etmişlerdir. Sonuç olarak, hidroponik ıspanak yetiştiriciliğinde deniz suyu kullanımının, kontrol ile karşılaştırıldığında her iki deniz suyu muamelesi için değerlendirilen nispi büyüme oranının artmasıyla büyüme parametreleri üzerinde olumlu etkiler belirlediğini gözlemlemişlerdir.

Ibekwe ve ark. (2020), tuzluluk ve kuraklıktan etkilenen yer üstü ve yeraltı ıspanak mikrobiyomları arasındaki fonksiyonel ilişkileri araştırmışlardır. Tuzluluğun, kök mikrobiyom beta çeşitliliğini önemli ölçüde etkilediğini ($p = 0.032$), ancak mikrobiyal taksonların nispi bolluğu üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olmadığını belirtmişlerdir ($p = 0.568$).

de Carvalho Leal ve ark. (2020), tuzlu su ile sulanan ıspanak için toprak ve hidroponik yetiştirme sistemlerinin karşılaştırılması üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında, ıspanak bitkilerinin sulanmasında tuzlu su ($EC = 0.8, 1.5, 3.0, 4.5, 6.0$ ve 7.5 dS m^{-1}) kullanarak kapalı ve açık toprakta ve hidroponik yüzer sistemde yetiştirmişlerdir. Plastik örtü kullanımında, tuzluluğun etkilerini örtüsüz toprağa göre %16 oranında azalttığını, hidroponik sistemin en yüksek su tüketimine sahip olmasına rağmen tuzluluktan en az etkilenen sistem olduğunu, örtülmemiş toprağa göre %58 daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Çalışmanın sonunda, ıspanak yetiştiriciliğinde özellikle tuzlu su kullanırken plastik örtü veya hidroponik yöntemlerin kullanılmasını önermişlerdir.

Tang ve ark. (2020), çalışmalarında kirlenmiş toprakta iki ekotip su ıspanağı tarafından kadmiyum ve nitrat alımına su rejimi etki mekanizmalarını araştırmışlardır. İki ekotip ıspanağın su stresine tepki olarak fenotipik özelliklerini, tehlikeli madde birikimini ve rizosfer özelliklerini incelemişlerdir. Sel baskınının, ıspanağın her iki ekotipinin sürgün ve kökünde bitki büyümesini önemli ölçüde artırdığını ve kadmiyum ve nitrat konsantrasyonlarını azalttığını belirtmişlerdir. Ayrıca, sel baskınının rizosferdeki bakteri topluluk çeşitliliğini artırdığını ve topluluk yapısını değiştirdiğini söylemişlerdir. Bu sonuçların, taşkın muamelelerinin toprakta, özellikle rizosferde biyokimyasal ve mikrobiyolojik değişikliklere yol açtığını ve bitkilerde Cd ve nitratın mevcudiyetini azalttığını ve böylece ıspanak tarafından su alımlarını azalttığını gözlemlemişlerdir.

Turhan (2020), farklı tuz içeren sulama sularının fasulyede tohum çimlenme, büyüme, verim ve verim bileşenleri üzerine etkilerini ortaya koymak amacıyla bir araştırma yapmıştır. Sulama uygulamalarında sekiz farklı tuz konsantrasyonuna sahip ($EC: 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5$ ve 4.0 dS m^{-1}) sulama suyu kullanmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, farklı tuz konsantrasyonlarının fasulye tohumlarının çimlenme oranını, büyüme ve verim parametrelerini istatistiksel olarak önemli düzeyde olumsuz etkilediğini gözlemlemiştir. Çalışma sonuçlarına göre, düşük tuz konsantrasyonlarının çimlenme, büyüme ve verim parametrelerini olumsuz etkilemeyeceği, sulama suyu tuz

konsantrasyonu sınırının 2.0 dS m^{-1} olması gerektiği ve bu seviyenin üzerindeki tuz miktarının fasulye yetiştiriciliğini riske sokabileceği vurgulanmıştır.

Zafar-UI-Hye ve ark. (2020) Pakistan’da yaptıkları çalışmada, 3.0 ve 5.0 dS/m toprak tuzluluğu koşullarında bitki gelişimini destekleyici rizobakterilerin (PGPR) ve potasyum uygulamasının ıspanakta etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada, PGPR uygulamasının ıspanağın kök yaş ve kuru ağırlıkları ile yaprak alanlarını önemli ölçüde artırdığı ifade edilmiştir. PGPR uygulaması ile birlikte artan potasyum konsantrasyon uygulamaları klorofil-a, klorofil-b ve toplam klorofilde %50 ile %93 arasında değişen oranlarda bir artış sağlamıştır. Araştırmacılar tuz stresi koşullarında ıspanakta PGPR uygulamasının önemli etkileri olduğunu raporlamışlardır.

Kim ve ark. (2021) sulama suyunda $0\text{--}200 \text{ mmol L}^{-1}$ arasında değişen farklı NaCl konsantrasyonları ile yetiştirilen ıspanak bitkilerinin mineral ve metabolit profillerindeki değişimleri analiz etmişlerdir. Sonuçta, artan NaCl konsantrasyonunun, mineral dengesizliği nedeniyle bitki büyümesini azalttığını bildirmişlerdir. NaCl uygulamasına bağlı olarak mineral oranlarında meydana gelen değişimin, ıspanakta boyda azalmaya ve ağırlıkta artışa neden olduğunu belirtmişlerdir.

Seymen (2021a) kısıtlı sulamanın, ıspanağın farklı gelişme periyotlarında morfo-fizyolojik ve biyokimyasal içeriği üzerine etkilerini belirlemek amacıyla, beş sulama seviyesi (I_{100} , I_{80} , I_{60} , I_{40} ve I_{20}) ve ıspanağın gelişme dönemi içinde hasada kadar yedi gün arayla toplam dört hasat uygulaması yapmıştır. Çalışma sonucunda, şiddetli su kısıtları gelişim parametrelerini olumsuz etkilediğini; kısıtlı sulama uygulaması yaprak oransal su içeriği, protein, klorofil a ve b de azalmaya sebep olurken, mebran zararlanma ve karotenoit içeriğinde artışa sebep olduğunu bildirmiştir.

Sofy ve ark. (2021) tuz stresi koşullarında Trikotoderma, biyokömür ve kombinasyonunun ıspanak üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Sonuçta, tuz stresinin (75 , 150 mM) ıspanak bitkilerinin sürgün (%26.4, %45.9) ve kök uzunluğu (%16.1, %51.2), kök ve kök yaş ve kuru ağırlıkları gibi morfolojik ve fizyolojik parametrelerini olumsuz etkilediğini belirlemişlerdir. Trikotoderma, biyokömür ve kombinasyonunun kullanılmasının stres altındaki bitkilerde EL%, MDA, ROS ve sodyum içeriğinde önemli düşüşlere yol açtığını tespit etmişlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Araştırmanın yapıldığı yer

Araştırma, Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü'ne ait olan cam serada saksı denemesi olarak yürütülmüştür. Deneme 12 Ekim 2020 tarihinde başlamış ve 18 Ocak 2021 tarihinde tamamlanmıştır. Araştırmanın yapıldığı yer Selçuk Üniversitesi Kampüs'ü içerisinde olup, 38° 02' kuzey enlemleri ile 32° 30' doğu boylamları arasında yer almaktadır ve denizden ortalama yüksekliği 1105 m' dir.

3.1.2. Araştırmada kullanılan toprak özellikleri

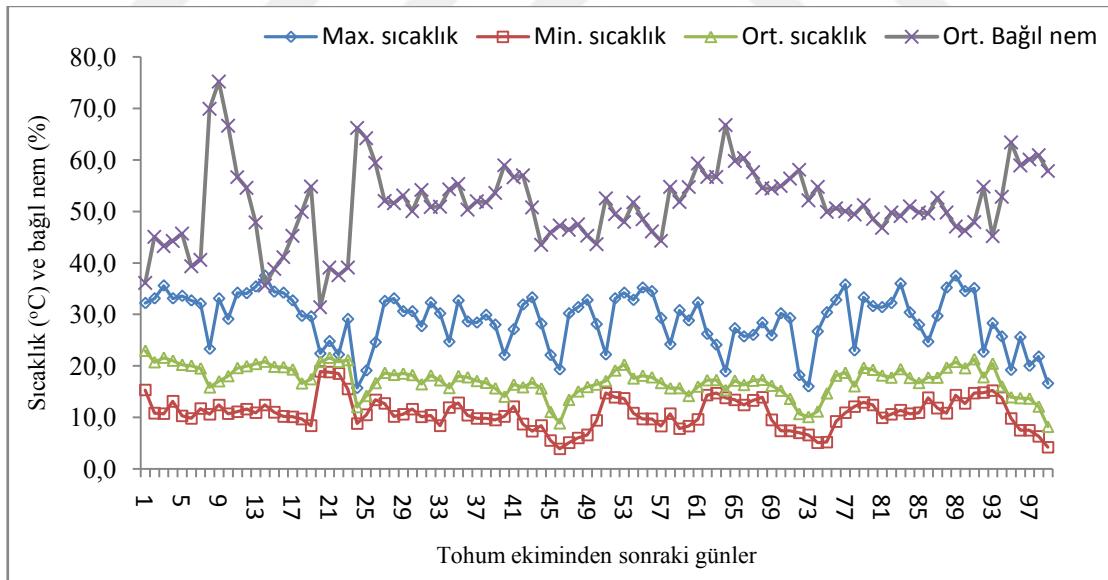
Araştırmada kullanılan toprağın bünyesi killi-tın sınıfında olup, toprağın organik madde içeriği %2.90'dır. Toprak analiz sonuçlarına göre; pH 7.61, EC 1.17 dS/m ve kireç içeriği %7.7 olarak bulunmuştur. Deneme toprağının ağırlık yüzdesi cinsinden tarla kapasitesi ve solma noktasındaki nem değerleri sırasıyla %29.6 ve %13.4 olarak bulunmuştur. Deneme toprağında hem fiziksel hem de kimyasal özellikler açısından ıspanak yetiştiriciliği için herhangi bir kısıt bulunmamaktadır.

3.1.3. Sera içi iklim özellikleri

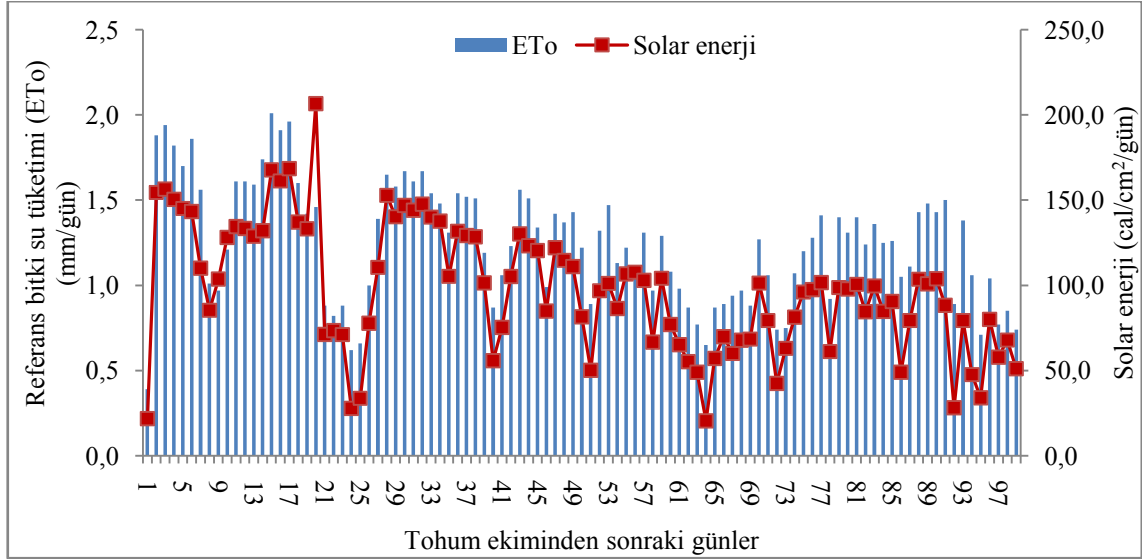
Araştırmanın yürütüldüğü 12 Ekim 2020 ve 18 Ocak 2021 tarihleri arasında ölçülen bazı iklimsel parametreler deneme alanına kurulan portatif meteoroloji istasyonundan (Davis Vantage Pro2) alınmıştır (Şekil 3.1). Deneme süresi boyunca sera içi sıcaklığı 3.9 °C ile 37.5 °C arasında değişmiş olup, ortalama sıcaklık 17.1 °C olarak hesaplanmıştır. Diğer yandan, bağıl nem değerleri %31.4 ile %75.2 arasında değişmiş olup, deneme süresi boyunca ortalama bağıl nem %51.4 olarak hesaplanmıştır (Şekil 3.2). Araştırmada, sera içerisinde FAO Penman-Monteith (Allen ve ark., 1998) yöntemine göre hesaplanan referans bitki su tüketimi (ET_o) 0.39 ile 2.01 mm/gün arasında değişmiş (ortalama 1.25 mm/gün) ve solar enerji değerleri ise 20.4 ile 206.7 cal/cm²/gün arasında ölçülmüştür (Şekil 3.3).



Şekil 3.1. Araştırmanın yapıldığı seranın görünüşü



Şekil 3.2. Deneme süresince sera içi sıcaklıkları ve bağıl nem değerleri



Şekil 3.3. Deneme süresince sera içerisinde hesaplanan ETo değerleri ve solar enerji miktarları

3.1.4. Sulama suyunun özellikleri

Sulama suyu Selçuk Üniversitesi Kampüs'ündeki su dağıtım şebekesinden alınmıştır. Araştırmada kullanılan suyun kalite sınıfını belirlemek için analizler yapılmıştır (Ayyıldız, 1990). Sulama suyunun kalite sınıfı ABD tuzluluk laboratuvarı grafik sistemine göre C_2S_1 olarak belirlenmiştir. Denemede EC'si (Elektriksel iletkenlik) 0.3 dS/m olan şebeke suyuna farklı oranlarda NaCl tuz çeşidi eklenerek farklı sulama suyu tuz konsantrasyonları oluşturulmuştur.

3.1.5. Denemede bitkisel materyal olarak kullanılan ıspanak bitkisinin özellikleri

Araştırmada, Türkiye'de yaygın olarak yetiştirilen Red Kitten F1 hibrit ıspanak çeşidi kullanılmıştır. Red Kitten F1 parlak yeşil renkli yapraklara ve koyu kırmızı renkli yaprak damarlarına sahip bir ıspanak çeşididir. Orta hızlı gelişim gösterebilen bu çeşit, örtü altı yetiştiriciliğine oldukça uygundur. Diğer yandan Red Kitten F1 ıspanak çeşidi hastalık ve zararlılara karşı yüksek direnç göstermektedir.

3.1.6. Denemede kullanılan yetiştirme saksılarının özellikleri

Araştırmada üst çapı 29 cm, alt çapı 19 cm ve yüksekliği 24 cm olan plastik saksılar kullanılmıştır. Denemede kullanılan saksıların her birine 12.5 kg ağırlığında

hava kurusu (toprak nemi: %6 - %7 arasında) toprak konulmuştur. Saksılara konulan toprakların eşit ağırlıkta olması için 1g hassasiyetli dijital tartı kullanılmıştır.

3.2. Yöntem

3.2.1. Araştırma konuları

Araştırmada, 0.3 dS/m (kontrol, şebeke suyu), 1.5 dS/m, 3.0 dS/m, 4.5 dS/m ve 6.0 dS/m olmak üzere 5 farklı sulama suyu tuz konsantrasyonu ve tam sulama (%100), %25 su kısıtı ve %50 su kısıtı olmak üzere 3 farklı sulama seviyesini içeren toplam 15 deneme konusu tesadüf parsellerinde faktöriyel deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Araştırma konuları Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Araştırma konuları

Sulama seviyeleri (S)	Sulama suyu tuz konsantrasyonları (T)
S ₁ : %100 (Tam sulama)	T ₁ : 0.3 dS/m (Kontrol, Şebeke suyu)
S ₂ : %75 (%25 su kısıtı)	T ₂ : 1.5 dS/m
S ₃ : %50 (%50 su kısıtı)	T ₃ : 3.0 dS/m
	T ₄ : 4.5 dS/m
	T ₅ : 6.0 dS/m

3.2.2. Tohum ekimi, sulama uygulamaları ve hasat

Araştırmada 12 Ekim 2020 tarihinde her saksıya 8 adet ıspanak tohumu elle ekilmiş ve çıkış sağlandıktan sonra (2 gerçek yaprak oluşunca) her saksıda 4 adet ıspanak bitkisi olacak şekilde seyreltme işlemi yapılmıştır. Tohum ekiminden hemen sonra her biri 20 litrelik hacme sahip 5 farklı su kovaşında deneme konuları gereği 0.3 dS/m (şebeke suyu, kontrol), 1.5 dS/m, 3.0 dS/m, 4.5 dS/m ve 6.0 dS/m olmak üzere 5 farklı sulama suyu tuz konsantrasyonu oluşturulmuş ve her bir saksıya 1500 ml sulama suyu uygulanmıştır. Daha sonra tohum ekiminden 4 gün sonra tüm saksılara 1600 ml sulama suyu uygulanarak tüm saksılardaki toprak nemi tarla kapasitesine çıkarılmıştır. Sonraki sulamalarda ise kontrol saksılarının kısıt uygulanmayan yani tam sulama yapılan saksıları (T₁S₁ konusu) dijital tartı ile günlük tartılarak ağırlık kayıpları takip edilmiştir. Söz konusu kontrol saksılarında (tekerrürleriyle birlikte toplam 3 adet)

topraktaki faydalı su kapasitesi yaklaşık %45-55 eksildiğinde tüm saksılara Çizelge 3.1'de ifade edilen deneme konuları dikkate alınarak hazırlanmış olan farklı tuz konsantrasyonlarına sahip sulama suyu uygulanmıştır. Konulara uygulanan suyun ölçülmesinde beherler ve mezürler kullanılmıştır. Ispanak bitkileri olgunluk aşamasına ulaştığında 18 Ocak 2021 tarihinde, başka bir deyişle tohum ekiminden 99 gün sonra elle hasat edilmiştir. Farklı sulama suyu tuzluluğu uygulanan deneme konularına ilişkin resimler Şekil 3.4, 3.5, 3.6, 3.7 ve 3.8' de verilmiştir. Her deneme konusundan hasat edilen ıspanak bitkileri şeffaf-kilitli poşetlere konularak etiketlenmiş ve daha sonra fiziksel ve biyokimyasal analizlerin yapılması için Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü laboratuvarına getirilmiştir.



Şekil 3.4. Kontrol konularına ilişkin görüşler (EC: 0.3 dS/m)



Şekil 3.5. EC 1.5 dS/m uygulanan konulara ilişkin görüşler



Şekil 3.6. EC 3.0 dS/m uygulanan konulara ilişkin görüşler



Şekil 3.7. EC 4.5 dS/m uygulanan konulara ilişkin görüşler



Şekil 3.8. EC 6.0 dS/m uygulanan konulara ilişkin görüşler

3.2.3. Bitki su tüketiminin hesaplanması

Deneme konuları için bitki su tüketimi aşağıda verilen eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır (Eşitlik 3.1).

$$ET = I - D_p \pm \Delta S \quad (3.1)$$

ET = Bitki su tüketimi (litre),

I = Uygulanan sulama suyu miktarı (litre),

D_p = Kök bölgesi altına derine sızma kayıpları (litre),

ΔS = Tohum ekimi ile hasat zamanındaki toprak nem içeriği değişimi (litre) dir.

Eşitlikteki I değeri, uygulanan sulama suyu miktarlarından elde edilmiştir. Denemeye başlamadan önce saksı tabanındaki drenajlar kapatıldığından sızma kayıpları oluşmamış ve bu nedenle D_p değeri bitki su tüketimi hesaplamasında kullanılmamıştır. ΔS değeri ise tohum ekimi ile ıspanak bitkilerinin hasadındaki toprak nem içeriklerinden elde edilmiştir.

3.2.4. Verim, verim bileşenleri, biyokimyasal özellikler ve yaprak mineral madde içeriklerinin belirlenmesi

Ispanakta verim, verim bileşenleri, biyokimyasal özellikler, fizyolojik parametreler ve yaprak mineral madde içeriğine ilişkin değerler hasat edilen ıspanak bitkilerinde yapılmıştır. Yapılan ölçüm, gözlem ve analizler aşağıda detaylandırılmıştır.

Bitki yaş ve kuru ağırlık ölçümleri: Kökleri ile birlikte topraktan sökülen bitkilerin kökleri topraktan temizlendikten sonra toprak üstü ve toprak altı kısımları tartılarak kayıt altına alınmıştır. Daha sonra her bir deneme konusundaki bitki sayıları dikkate alınarak bitki başına yaprak ve kök yaş ağırlıkları hesaplanmıştır. Daha sonra 72°C'lik etüvde 48 saat kurutulan örneklerin kuru ağırlığı alınarak yine bitki başına yaprak ve kök kuru ağırlıkları hesaplanmıştır.

Yaprak alanı: Bitkilerden alınan olgunlaşmış yapraklar Winfolia yaprak alan ölçer ile ölçülmüş ve yaprak alanları cm² olarak belirlenmiştir.

Yaprak sayısının belirlenmesi: Tekerrürleriyle birlikte her deneme konusuna ait bitkilerin yaprakları ayrı ayrı sayılmış ve bulunan sonuç saksıdaki bitki sayısına bölünerek bitki başına yaprak sayıları hesaplanmıştır.

Yaprak oransal su içeriği (YOSİ) (%): Sánchez ve ark. (2004) ile Demiral ve Türkan (2005)'a göre ıspanak yapraklarında belirlenmiştir. Yaprak örneklerinin oransal su içeriklerinin belirlenmesi için, taze ağırlıkları belirlenmiş, daha sonra alınan bu yapraklar 4 saat süre ile saf su içerisinde bekletilmiş ve bu süre sonunda turgor ağırlıkları saptanmıştır. Ağırlıkları belirlenen yaprak örnekleri 65°C etüvde 48 saat kurutulduktan sonra tartılmış ve kuru ağırlıkları hesaplanmıştır. Elde edilen taze ve kuru ağırlıklar aşağıdaki formül yardımıyla oranlanarak yaprak oransal su içerikleri (%) bulunmuştur.

$$YOSİ(\%) = \frac{(TA - KA)}{(TuA - KA)} \times 100 \quad (3.2)$$

YOSİ: Yaprak Oransal Su İçeriği (%); **TA:** Taze Ağırlık (g); **KA:** Kuru Ağırlık (g), **TuA:** Turgor durumundaki ağırlık (g)

Membran zararlanması: Membran geçirgenliği için her biri 1 cm² büyüklüğünde 3 yaprak diski alınmış ve cam tüpler içerisinde 3 kez saf sudan geçirilmiştir. Bu işlemin ardından 10 ml su eklenip kapalı viallerde 25°C'de 24 saat çalkalayıcıda çalkalanmıştır. Hemen ardından EC ölçülmüş (C₁), aynı örnekler 20 dk 120°C'de otoklavda bekletildikten sonra 25°C'ye kadar soğumaları beklenmiş ve sonra yine ikinci kez EC ölçümü yapılmıştır (C₂). Membran geçirgenliği aşağıdaki formülle belirlenmiştir (Lutts ve ark., 1996).

$$\text{Membran geçirgenliği} = (C_1 / C_2) \times 100 \quad (3.3)$$

Yapraklardaki pigment içeriğinin belirlenmesi: Ispanak bitkilerinin yapraklarındaki toplam klorofil (a+b) ve karotenoid (x+c) konsantrasyonları Lichtenthaler (1987)'e göre belirlenmiştir.

Yaprak dokularında Malondialdehit (MDA) miktarının belirlenmesi:

Yaprak dokularında membran hasarının son ürünü olan malondialdehit (MDA) miktarı Esterbauer ve Cheeseman (1990)'ın metoduna göre belirlenmiştir. Bitkilerden alınan 0.1 g yaprak örneği 4 ml % 0.1 trikloroasetik asit (TCA) ile 4°C'de homojenize edilmiştir. Homojenat 10000 rpm'de 15 dakika santrifüj edildikten sonra süpernatandan 0.5 ml cam tüpe aktararak üzerine 1 ml TCA-TBA-HCl ajanı ile 0,5 ml olan 0.1 M tris/HCl tamponundan (pH 7.6) eklenmiştir. Reaksiyon karışımı, 97°C'lik su banyosunda 45 dk reaksiyona sokulduktan sonra tekrar santrifüjlenip spektrofotometrede 532 ve 600 nm dalga boylarında absorbans değerleri okunmuştur. Yaprak dokularındaki MDA miktarı nmol g⁻¹ TA olarak belirlenmiştir.

Yaprak dokularında Hidrojen peroksit (H₂O₂) miktarının belirlenmesi:

Yaprak dokularında oksidatif stres sonucu oluşan ve bir aktif oksijen türü olan hidrojen peroksit (H₂O₂)'in miktarı Esterbauer ve Cheeseman (1990)'ın metoduna göre belirlenmiştir. Bitkilerden alınan 0.1 g yaprak örneği 4 ml %0.1 trikloroasetik asit (TCA) ile 4°C'de homojenize edilmiştir. Homojenat 10000 rpm'de 15 dakika santrifüj edildikten sonra süpernatandan 0.5 ml cam tüpe aktararak üzerine 0.5 ml pH'sı 7.6 olan 0.1 M tris/HCl tamponu ve 1 ml 1 M KI eklenmiştir. Reaksiyon karışımı 90 dk karanlıkta bekletildikten sonra spektrofotometrede 390 nm dalga boyunda absorbans değerleri okunmuş ve yaprak dokularındaki H₂O₂ µmol g⁻¹ TA olarak belirlenmiştir.

Yaprak dokularında prolin miktarının belirlenmesi: Yaprak dokularındaki prolin miktarı Bates ve ark. (1973)'lerinin metoduna göre belirlenmiştir. Bitkilerden alınan taze yaprak örneği (0.5 gr) 10 ml %3'lük sülfosalisilik asit ile homojenize edilmiştir. Prolin analizi, asit-ninhidrin metoduna göre hazırlanan ve örneklerin absorbansları spektrofotometrede 520 nm'de okunmuş ve yaprak dokularındaki prolin miktarı µmol g⁻¹ TA olarak belirlenmiştir.

Protein içeriğinin belirlenmesi: Bitkilerden alınan yaprak örneklerinin protein konsantrasyonları, Bradford metoduna (Bradford, 1976) göre sığır serum albümini (BSA) standardı kullanılarak belirlenmiştir.

Katalaz (CAT) aktivitesi: Katalazın aktivite tayini için (Havir ve McHale, 1987)'in Lück (1965) dayandırarak uyguladığı metot kullanılmıştır. Bu metot, katalazın

ortamdaki H_2O_2 'nin oksijen ve suya dönüşümünü sağlarken meydana gelen absorbans değişiminin 240 nm'de izlenmesi esasına dayanmaktadır. CAT aktivitesi birim ağırlık (g) yaprak başına düşen enzim ünitesi (EU/g yaprak) olarak belirlenmiştir (Gong ve ark., 2001).

Süperoksit Dismutaz (SOD) aktivitesinin belirlenmesi: Süperoksit dismutaz (SOD; EC 1.15.1.1) enzim aktivitesi, Nitrobluetetrazolyum'un (NBT) fotokimyasal indirgenmesini esas alan yöntemle göre 560 nm'de spektrofotometrik olarak belirlenmiştir (Beyer Jr ve Fridovich, 1987). Toplam SOD aktivitesi birim ünite baz alınarak mg protein⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Bir enzim ünitesinin aktivitesi, NBT redüksiyonunda %50'lik bir inhibisyon oluşturmak için gereken SOD miktarı olarak tanımlanmaktadır.

Peroksidaz (POD) aktivitesinin belirlenmesi: Peroksidaz (POD; EC 1.11.1.7) enzim aktivitesi Bergmeyer ve ark. (1983)'larına göre belirlenmiştir. Reaksiyon karışımı 3ml olup 100 mM potasyum fosfat tamponu (pH 7.0), 20.1 mM guaiakol, 12.3 mM H_2O_2 ve enzim ekstraktı içermektedir. Reaksiyon enzim ekstraktının ilavesiyle başlatılmış ve 10 dakikalık süre içinde izlenmiştir. Toplam POD enzim aktivitesi, guaiakol'ün ekstinksiyon katsayısı (26.6 mM.cm⁻¹, 470 nm) kullanılarak reaksiyon başlangıç hızından (nmol H_2O_2 dak⁻¹.mg⁻¹ protein) hesaplanmıştır.

Yaprak mineral madde içeriğinin belirlenmesi: Bitkilerin beslenme durumlarının belirlenmesinde yaprak analizlerinden faydalanılmıştır. Bu amaçla, yaprak örnekleri etüvde 72 C'de ve 48 saat süreyle kurutulmuştur. Örnekler kurutulduktan sonra 0.001 g hassasiyette yaklaşık 1 gram tartılmış ve 0.5 mm elek çapına sahip değirmende öğütülerek makro ve mikro (N, P, S, K, Ca, Na, B, Cl, Mo, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn ve B) besin elementi analizleri yapılmıştır. Hazırlanan örneklerin okuması ICP-OES (Inductively Couple Plasma Spectrophotometer) cihazı ile yapılmıştır.

3.2.5. Verim tepki etmeni (k_y)

Araştırmada farklı bitki su tüketimi miktarları ile verim (toprak üstü yaş ağırlık) arasındaki ilişkiler Doorenbos ve Kassam (1979) tarafından geliştirilen aşağıdaki eşitlik yardımı ile belirlenmiştir.

$$\left[1 - \frac{Y_a}{Y_m}\right] = k_y \cdot \left[1 - \frac{ET_a}{ET_m}\right] \quad (3.4)$$

Y_a = Gerçek verim (g/bitki),

Y_m = Maksimum verim (g/bitki),

k_y =Verim tepki etmeni

ET_a = Gerçek bitki su tüketimi (litre/bitki)

ET_m =Maksimum bitki su tüketimi (litre/bitki)

3.2.6. Su kullanım etkinliğinin belirlenmesi

Birim sudan yararlanma oranı olarak da ifade edilen ve sulama programlarının değerlendirilmesinde temel bir ölçüt olan su kullanım etkinliği (WUE) Tanner ve Sinclair (1983)' e göre Eşitlik 3.5 dikkate alınarak hesaplanmıştır.

$$WUE = \frac{E_y}{ET} \quad (3.5)$$

WUE =Su kullanım etkinliği (g/lt)

E_y =Tohum verimi (g/bitki)

ET =Mevsimlik bitki su tüketimi (lt/bitki)

3.2.7. İstatistiksel analizler

Deneme konularından elde edilen verim bileşenleri, fizyolojik ve biyokimyasal parametreler ile yaprak mineral madde sonuçları varyans analizine tabi tutulmuş, istatistiki açıdan önemli farklılık tespit edilen özelliklerde sonuçlar %5 önem düzeyine göre Duncan testi esas alınarak gruplandırılmıştır. Varyans analizi ve Duncan testleri SPSS 22.0 bilgisayar paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Sulama Suyu Miktarları ve Bitki Su Tüketimi Sonuçları

Sulama tarihleri ve konulara uygulanan sulama suyu miktarları Çizelge 4.1'de verilmiştir. Tohum ekiminden (12.10.2020) hemen sonra deneme konuları dikkate alınarak hazırlanmış olan, farklı sulama suyu tuz seviyesine sahip sular kullanılarak her bir saksıya 1500 ml sulama suyu uygulanmıştır. Tohum ekiminden 4 gün sonra tüm saksılara 1600 ml sulama suyu uygulanarak tüm saksılardaki toprak nemi tarla kapasitesine çıkarılmıştır. Programlı sulamalara 24 Ekim 2020 tarihinde başlanmış ve 12.01.2021 tarihinde sulamalar tamamlanmıştır. Programlı sulamalara başladıktan sonra tüm deneme konularına 13 kez sulama suyu uygulanmıştır. Su kısıtı yapılmayan başka bir deyişle tam sulanan S_1 konularına toplamda yaklaşık 16 litre sulama suyu uygulanmıştır. Sulama seviyesi %75 olarak (%25 su kısıtı) uygulanan S_2 deneme konularına toplamda 12.8 litre ve sulama seviyesi %50 olarak (%50 su kısıtı) uygulanan S_3 deneme konularına ise 9.6 litre sulama suyu uygulanmıştır.

Toprak nem içeriğindeki değişimler ve deneme konularında hesaplanan bitki su tüketimlerine ilişkin sonuçlar, Çizelge 4.2'de verilmiştir. Tüm deneme saksılarının tabanındaki drenajlar kapatıldığından sulamalar esnasında sızma kayıpları oluşmamıştır. Daha önceki bölümde (Bölüm 3.2.2) ifade edildiği gibi saksılara uygulanan sulama suyu miktarları belirlenirken T_1S_1 konusu (kontrol) dikkate alınmış ve T_2S_1 , T_3S_1 , T_4S_1 ve T_5S_1 deneme konuları, T_1S_1 konusu ile aynı miktarda sulama suyu almışlardır. Diğer yandan S_2 sulama seviyesine sahip deneme konularına, programlı sulamalar başladıktan sonra, T_1S_1 konusuna uygulanan suyun %75'i, S_3 sulama seviyesine sahip deneme konularına ise yine T_1S_1 konusuna uygulanan suyun %50'si kadar sulama suyu verilmiştir. Tüm deneme konularına aynı gün sulama suyu uygulanmıştır.

Denemede kullanılan toprak hava kurusu (yaklaşık %6-7 nem, ağırlık yüzdesi) bir neme sahip olduğundan tohum ekimi ile hasat arasındaki toprak nem içeriğinde önemli farklılıklar bulunmuştur. Genel olarak tüm deneme konularında hasat zamanında tohum ekimine göre daha yüksek toprak nem değerleri bulunmuş ve en yüksek toprak nem içeriği farkı 1980 ml ile T_5S_1 konusunda hesaplanmıştır. Toprak nem içeriği değişimindeki pozitif (+) fark bitki su tüketimlerinin uygulanan sulama suyu miktarlarından daha düşük gerçekleştiğini göstermektedir. Denemede her saksıda 4 adet ıspanak bitkisi olduğundan ilk önce 4 bitki için bitki su tüketimleri hesaplanmış ve

bulunan değerler 4'e bölünerek bitki başına su tüketimleri bulunmuştur. En yüksek bitki su tüketimi 3700 ml/bitki ile T₁S₁ konusunda bulunmuş ve bu konuyu 3660 ml/bitki ile 1.5 dS/m tuz konsantrasyonuna sahip sulama suyu ile sulanan T₂S₁ konusu izlemiştir. Çizelge 4.2'den görüleceği üzere, hem sulama suyu tuzluluğunun artması hem de su kısıt oranlarının artması ıspanağın su tüketimini azaltmıştır.

Çizelge 4.1. Sulama tarihleri ve uygulanan sulama suyu miktarları (ml/saksı)

Sulama tarihleri	Sulama seviyeleri		
	S ₁ (%100)	S ₂ (%75)	S ₃ (%50)
12.10.2020	1500	1500	1500
16.10.2020	1600	1600	1600
24.10.2020	700	525	350
30.10.2020	850	638	425
05.11.2020	880	660	440
11.11.2020	930	698	465
18.11.2020	1050	788	525
25.11.2020	1100	825	550
03.12.2020	1120	840	560
09.12.2020	1080	810	540
15.12.2020	1000	750	500
22.12.2020	1050	788	525
29.12.2020	1080	810	540
05.01.2021	1050	788	525
12.01.2021	1100	825	550
Toplam	16090	12843	9595

Çizelge 4.2. Konulara uygulanan toplam sulama suyu miktarları, tohum ekimi ile hasat zamanındaki toprak nem içeriği değişimleri ve bitki su tüketimleri

Deneme konuları	Sulama suyu miktarları (ml)	Toprak nem içeriği değişimi (ΔS) (ml)	Saksıda hesaplanan su tüketimi (ml/4 bitki)	Bitki başına su tüketimi (ml/bitki)
T ₁ S ₁	16090	1290	14800	3700
T ₁ S ₂	12843	930	11913	2978
T ₁ S ₃	9595	790	8805	2201
T ₂ S ₁	16090	1450	14640	3660
T ₂ S ₂	12843	1120	11723	2931
T ₂ S ₃	9595	870	8725	2181
T ₃ S ₁	16090	1560	14530	3633
T ₃ S ₂	12843	1110	11733	2933
T ₃ S ₃	9595	930	8665	2166
T ₄ S ₁	16090	1650	14440	3610
T ₄ S ₂	12843	1240	11603	2901
T ₄ S ₃	9595	1090	8505	2126
T ₅ S ₁	16090	1770	14320	3580
T ₅ S ₂	12843	1340	11503	2876
T ₅ S ₃	9595	1120	8475	2119

4.2. Verim ve Verim Unsurlarına İlişkin Sonuçlar

Bu bölümde; Konya bölgesinde, cam serada farklı sulama suyu tuzluluk seviyeleri ile farklı su kısıtı koşullarında yetiştirilen ıspanağın verim bileşenleri, fizyolojik ve biyokimyasal özellikleri ile yaprak mineral madde içeriklerine ilişkin sonuçlar verilmiştir.

4.2.1. Toprak üstü yaş ve kuru ağırlıkları

Deneme konularından elde edilen toprak üstü ıspanak yaş ağırlıklarına ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.3' te, ortalama değerler ve Duncan testi sonuçlarına göre konular arasındaki farklılıkları gösteren önemlilik grupları ise Çizelge 4.4' te verilmiştir.

Çizelge 4.3 incelendiğinde, sulama suyu tuzluluğu (T), sulama seviyesi (S) ve bunlar arasındaki interaksiyon (TXS) istatistiki olarak % 1 düzeyinde ($P<0.01$) önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.4'den izleneceği gibi, sulama suyu tuzluluğu açısından, en fazla toprak üstü yaş ağırlığı ortalama 55.9 g/bitki ile kontrol grubu bitkilerde bulunmuş ve bu uygulama diğer uygulamalardan istatistiki olarak farklı bir Duncan grubunda yer almıştır. Ispanakta toprak üstü yaş ağırlığı, kontrol grubuna (T_1) kıyasla, T_2 , T_3 , T_4 ve T_5 sulama suyu tuzluluğu uygulanan konularda sırasıyla %31.0, %29.6, %33.2 ve %35.7 oranında azalmıştır. Bu sonuç, ıspanağın 1.5 dS/m ve üzeri EC'ye (elektriksel iletkenlik) sahip sular ile sulanmasında verimde yaklaşık %30'luk bir azalma olacağını göstermektedir. Farklı sulama seviyeleri arasında, en fazla toprak üstü yaş ağırlığı ortalama 54.4 g/bitki ile tam sulanan S_1 deneme konularında elde edilmiş ve bu konular istatistiki olarak diğer sulama seviyelerinden ayrılmıştır. Sulama suyu kısıt oranı arttıkça ıspanak veriminde %21 ile %54 arasında değişen oranlarda azalışlar meydana gelmiştir. Sulama suyu tuzluluğu ve sulama seviyeleri arasındaki interaksiyonlar ($T \times S$) değerlendirildiğinde, en fazla toprak üstü yaş ağırlığı 87.8 g/bitki ile T_1S_1 konusunda elde edilmiş ve bu konu diğer deneme konularından Duncan testi sonuçlarına göre %95 güvenle istatistiki olarak ayrılmıştır.

Farklı sulama suyu tuzluluğu ve farklı sulama seviyelerinin ıspanakta toprak üstü yaş ağırlıklarına etkisini birlikte değerlendirmek amacıyla bir grafik hazırlanmıştır (Şekil 4.1). Şekilden görüleceği üzere, tam sulanan S_1 sulama seviyesinin kontrol

grubunda (T_1) en yüksek verim elde edilmiştir. Buna karşın yine tam sulanan ve 1.5, 3.0, 4.5 ve 6.0 dS/m sulama suyu tuzluluğu uygulanan konularda ıspanak veriminde önemli bir değişim olmamıştır. Diğer yandan S_2 (%25 su kısıtı) ve S_3 (%50 su kısıtı) sulama seviyesi uygulanan konularda farklı sulama suyu tuz konsantrasyonlarında verimde çok önemli dalgalanmalar görülmemiştir. Leskovar ve Piccinni (2005), üç farklı ıspanak çeşidinde % 50 su kısıtının taze ağırlıkta önemli kayıplara neden olduğunu bildirmişlerdir. Ispanakta yapılan başka bir çalışmada ise, %50 su kısıtının toprak üstü taze ve kuru ağırlığında önemli kayıplara neden olduğunu bildirmişlerdir (Xu ve Leskovar, 2015).

Çizelge 4.3. Toprak üstü yaş ağırlıklara ilişkin varyans analiz sonuçları

Varyasyon kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	P
Sulama suyu tuzluluğu (T)	2416.835	4	604.209	11.904**	.000
Sulama seviyesi (S)	5685.121	2	2842.560	56.005**	.000
$T \times S$	2489.731	8	311.216	6.132**	.000
Hata	1522.655	30	50.755		

** : %1 düzeyinde önemli, * : %5 düzeyinde önemli, ns: Önemli değil.

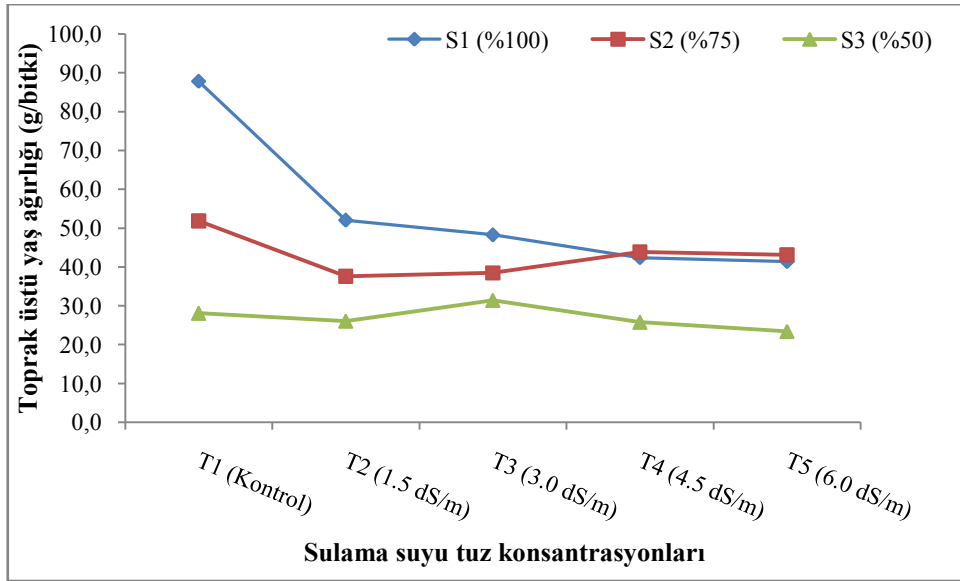
Çizelge 4.4. Toprak üstü yaş ağırlıklara ilişkin ortalama değerler (g/bitki) ve önemlilik grupları

Sulama suyu tuzluluğu (T)	Sulama seviyesi (S)			Ortalama	Oransal değişim (%)	Oransal Fark (%)
	S_1 (%100)	S_2 (%75)	S_3 (%50)			
T_1 (Kontrol)	87.8 ^a	51.8 ^b	28.1 ^{ef}	55.9 ^a	100.0	0.0
T_2 (1.5 dS/m)	52.1 ^b	37.6 ^{cde}	26.1 ^{ef}	38.6 ^b	69.0	-31.0
T_3 (3.0 dS/m)	48.3 ^{bc}	38.5 ^{bcd}	31.4 ^{def}	39.4 ^b	70.4	-29.6
T_4 (4.5 dS/m)	42.4 ^{bcd}	43.8 ^{bcd}	25.8 ^{ef}	37.3 ^b	66.8	-33.2
T_5 (6.0 dS/m)	41.4 ^{bcd}	43.1 ^{bcd}	23.5 ^f	36.0 ^b	64.3	-35.7
Ortalama	54.4 ^A	42.9 ^B	27.0 ^C			
Oransal değişim (%)	100.0	79.0	49.6			
Oransal Fark (%)	0.0	-21.0	-50.4			

Büyük harfler sulama seviyeleri arasındaki gruplandırmayı, küçük harfler sulama suyu tuzluluk seviyeleri arasındaki gruplandırmayı, italik harfler ise interaksiyon bölgesindeki ($T \times S$) gruplandırmayı göstermektedir.

Deneme konularından elde edilen toprak üstü ıspanak kuru ağırlıklarına ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.5' te, ortalama değerler ve Duncan testi sonuçlarına göre konular arasındaki farklılıkları gösteren önemlilik grupları ise Çizelge 4.6' da verilmiştir.

Çizelge 4.5 incelendiğinde, sulama suyu tuzluluğu (T), sulama seviyesi (S) ve bunlar arasındaki interaksiyon ($T \times S$) istatistiki olarak % 1 düzeyinde ($P < 0.01$) önemli bulunmuştur.



Şekil 4.1. Deneme konularına göre ıspanakta toprak üstü yaş ağırlıklarındaki değişimler

Çizelge 4.6'dan izleneceği gibi, sulama suyu tuzluluğu açısından, en fazla toprak üstü kuru ağırlığı ortalama 5.3 g/bitki ile kontrol grubu bitkilerde bulunmuş ve kontrol grubu bitkiler ile diğer uygulamalar arasında %5 önem seviyesinde istatistiki olarak farklılıklar bulunmuştur. Toprak üstü yaş ıspanak ağırlığında olduğu gibi, kontrol grubuna (T₁) kıyasla, diğer sulama suyu tuzluluk uygulamalarında toprak üstü kuru ağırlıkta yaklaşık %30'luk bir azalma olmuştur. Farklı sulama seviyeleri arasında, en fazla toprak üstü kuru ağırlığı ortalama 5.2 g/bitki ile S₁ sulama seviyelerinde elde edilmiş ve bu konular istatistiki olarak diğer sulama seviyelerinden ayrılmıştır. Sulama suyu kısıt oranına bağlı olarak, toprak üstü kuru ağırlıklarında %22.5 ile %48.6 arasında bir azalma meydana gelmiştir. Sulama suyu tuzluluğu ve sulama seviyeleri arasındaki etkileşimler (T x S) değerlendirildiğinde, en fazla toprak üstü kuru ağırlığı 8.8 g/bitki ile T₁S₁ konusunda elde edilmiş olup, bu konu diğer deneme konularından farklı bir Duncan grubunda yer almıştır.

Çizelge 4.5. Toprak üstü kuru ağırlıklara ilişkin varyans analiz sonuçları

Varyasyon kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	P
Sulama suyu tuzluluğu (T)	20.921	4	5.230	9.525**	.000
Sulama seviyesi (S)	47.967	2	23.984	43.677**	.000
T X S	33.184	8	4.148	7.554**	.000
Hata	16.473	30	.549		

** : %1 düzeyinde önemli, * : %5 düzeyinde önemli, ns: Önemsiz.

Çizelge 4.6. Toprak üstü kuru ağırlıklara ilişkin ortalama değerler (g/bitki) ve önemlilik grupları

Sulama suyu tuzluluğu (T)	Sulama seviyesi (S)			Ortalama	Oransal değişim (%)	Oransal Fark (%)
	S ₁ (%100)	S ₂ (%75)	S ₃ (%50)			
T ₁ (Kontrol)	8.8 ^a	4.8 ^b	2.4 ^f	5.3 ^a	100.0	0.0
T ₂ (1.5 dS/m)	4.6 ^{bc}	3.3 ^{cdef}	2.4 ^f	3.4 ^b	64.7	-35.3
T ₃ (3.0 dS/m)	4.4 ^{bcd}	3.4 ^{bcdef}	3.1 ^{def}	3.7 ^b	69.0	-31.0
T ₄ (4.5 dS/m)	4.1 ^{bcd}	4.2 ^{bcde}	2.8 ^{ef}	3.7 ^b	69.7	-30.3
T ₅ (6.0 dS/m)	4.1 ^{bcd}	4.4 ^{bcd}	2.7 ^f	3.7 ^b	69.8	-30.2
Ortalama	5.2 ^A	4.0 ^B	2.7 ^C			
Oransal değişim (%)	100.0	77.5	51.4			
Oransal Fark (%)	0.0	-22.5	-48.6			

Büyük harfler sulama seviyeleri arasındaki gruplandırmayı, küçük harfler sulama suyu tuzluluk seviyeleri arasındaki gruplandırmayı, italik harfler ise interaksiyon bölgesindeki (T_xS) gruplandırmayı göstermektedir.

4.2.2. Toprak altı yaş ve kuru ağırlıkları

Deneme konularından elde edilen toprak altı ıspanak yaş ağırlıklarına ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.7' de, ortalama değerler ve Duncan testi sonuçlarına göre konular arasındaki farklılıkları gösteren önemlilik grupları ise Çizelge 4.8' de verilmiştir.

Çizelge 4.7 incelendiğinde, sulama suyu tuzluluğu (T) % 5 düzeyinde ve sulama seviyesi (S) %1 düzeyinde önemli bulunurken, T_xS interaksiyonu istatistiki olarak önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 4.8'den izleneceği gibi, sulama suyu tuzluluğu açısından, en fazla toprak altı yaş ağırlığı ortalama 4.1 g/bitki ile kontrol grubu bitkilerde bulunmuştur. Toprak altı yaş ağırlıkları, kontrol grubuna (T₁) kıyasla, T₂, T₃, T₄ ve T₅ sulama suyu tuzluluğu uygulanan konularda sırasıyla %33.6, %23.0, %29.2 ve %27.6 oranında azalmıştır. Farklı sulama seviyeleri arasında, en fazla toprak altı yaş ağırlığı ortalama 3.7 g/bitki ile tam sulanan S₁ deneme konularında elde edilmiş ve ardından S₂ sulama seviyesi uygulanan konular gelmiştir. Ispanak toprak altı yaş ağırlığında, S₁ sulama seviyesine kıyasla, S₃ sulama seviyesinde %38 oranında bir azalma hesaplanmıştır.

Çizelge 4.7. Toprak altı yaş ağırlıklarına ilişkin varyans analiz sonuçları

Varyasyon kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	P
Sulama suyu tuzluluğu (T)	10.433	4	2.608	2.858*	.041
Sulama seviyesi (S)	16.768	2	8.384	9.187**	.001
T X S	8.713	8	1.089	1.193 ^{ns}	.336
Hata	27.377	30	.913		

** : %1 düzeyinde önemli, * : %5 düzeyinde önemli, ^{ns} : Önemsiz.

Çizelge 4.8. Toprak altı yaş ağırlıklarına ilişkin ortalama değerler (g/bitki) ve önemlilik grupları

Sulama suyu tuzluluğu (T)	Sulama seviyesi (S)			Ortalama	Oransal değişim (%)	Oransal Fark (%)
	S ₁ (%100)	S ₂ (%75)	S ₃ (%50)			
T ₁ (Kontrol)	5.6	3.8	2.8	4.1 ^a	100.0	0.0
T ₂ (1.5 dS/m)	3.7	2.7	1.7	2.7 ^b	66.4	-33.6
T ₃ (3.0 dS/m)	3.3	3.5	2.6	3.1 ^b	77.0	-23.0
T ₄ (4.5 dS/m)	3.3	3.1	2.2	2.9 ^b	70.8	-29.2
T ₅ (6.0 dS/m)	2.8	3.9	2.2	2.9 ^b	72.4	-27.6
Ortalama	3.7 ^A	3.4 ^A	2.3 ^B			
Oransal değişim (%)	100.0	91.0	61.7			
Oransal Fark (%)	0.0	-9.0	-38.3			

Büyük harfler sulama seviyeleri arasındaki gruplandırmayı, küçük harfler sulama suyu tuzluluk seviyeleri arasındaki gruplandırmayı, italik harfler ise interaksiyon bölgesindeki (T_iS_j) gruplandırmayı göstermektedir.

Deneme konularından elde edilen toprak altı kuru ağırlıklara ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.9' da, ortalama değerler ve Duncan testi sonuçlarına göre konular arasındaki farklılıkları gösteren önemlilik grupları ise Çizelge 4.10'da verilmiştir. Çizelge 4.9 incelendiğinde, sulama suyu tuzluluğu (T) ve sulama seviyesi (S) %1 düzeyinde (P<0.01) önemli bulunurken, T₁S₁ interaksiyonu %5 seviyesinde (P<0.05) istatistiki olarak önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.10'dan izleneceği gibi, sulama suyu tuzluluğu açısından, en fazla toprak altı kuru ağırlığı ortalama 0.5 g/bitki ile kontrol grubu bitkilerde bulunmuş ve sulama suyu tuzluluğuna bağlı olarak toprak altı kuru ağırlıklarında %28.4 ile %45.4 arasında bir azalma hesaplanmıştır. Farklı sulama seviyeleri arasında, en fazla toprak altı kuru ağırlığı ortalama 0.5 g/bitki ile S₁ sulama seviyelerinde elde edilmiş ve bu konular istatistiki olarak diğer sulama seviyelerinden ayrılmıştır. Sulama suyu kısıt oranına bağlı olarak, toprak altı kuru ağırlıklarında %20.6 ile %45.5 arasında bir azalma hesaplanmıştır. Sulama suyu tuzluluğu ve sulama seviyeleri arasındaki interaksiyonlar (T x S) değerlendirildiğinde, en fazla toprak altı kuru ağırlığı 0.7 g/bitki ile T₁S₁ konusunda elde edilmiş ve bu konu diğer deneme konularından istatistiki olarak ayrılmıştır. Ispanağın şiddetli su stresi (kuraklık) ve sel baskını koşullarında toprak altı taze ve kuru ağırlıklarda önemli azalmalar olduğu bildirilmiştir (Seymen, 2021a; 2021b). Mozafari ve ark. (2019), çileğe uyguladıkları kuraklığın kök ve yeşil aksamalarında önemli ağırlık kayıplarına neden olduğunu bildirmişlerdir. Diğer yandan, Cao ve ark. (2017), Japon söğütünde (*Salix integra*) yapmış oldukları çalışmada, sel baskınının kök kuru ağırlığını olumsuz etkilediğini, buna karşın toprak üstü kuru ağırlık ve toplam biomas üzerinde olumlu etkilerinin olduğunu bildirmiştir.

Çizelge 4.9. Toprak altı kuru ağırlıklarına ilişkin varyans analiz sonuçları

Varyasyon kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	P
Sulama suyu tuzluluğu (<i>T</i>)	.269	4	.067	11.437**	.000
Sulama seviyesi (<i>S</i>)	.345	2	.172	29.311**	.000
<i>T X S</i>	.132	8	.017	2.812*	.019
Hata	.176	30	.006		

** : %1 düzeyinde önemli, * : %5 düzeyinde önemli, ^{ns} : Önemsiz.

Çizelge 4.10. Toprak altı kuru ağırlıklarına ilişkin ortalama değerler (g/bitki) ve önemlilik grupları

Sulama suyu tuzluluğu (<i>T</i>)	Sulama seviyesi (<i>S</i>)			Ortalama	Oransal değişim (%)	Oransal Fark (%)
	<i>S</i> ₁ (%100)	<i>S</i> ₂ (%75)	<i>S</i> ₃ (%50)			
<i>T</i> ₁ (Kontrol)	0.7 ^a	0.5 ^b	0.3 ^{defg}	0.5 ^a	100.0	0.0
<i>T</i> ₂ (1.5 dS/m)	0.5 ^{bc}	0.3 ^{cdefg}	0.2 ^g	0.3 ^{bc}	65.9	-34.1
<i>T</i> ₃ (3.0 dS/m)	0.4 ^{bcd}	0.4 ^{bcde}	0.3 ^{efg}	0.4 ^b	71.6	-28.4
<i>T</i> ₄ (4.5 dS/m)	0.4 ^{bcd}	0.4 ^{bcdef}	0.2 ^{fg}	0.4 ^{bc}	69.2	-30.8
<i>T</i> ₅ (6.0 dS/m)	0.3 ^{defg}	0.3 ^{fg}	0.3 ^{efg}	0.3 ^c	54.6	-45.4
Ortalama	0.5 ^A	0.4 ^B	0.3 ^C			
Oransal değişim (%)	100.0	79.4	54.5			
Oransal Fark (%)	0.0	-20.6	-45.5			

Büyük harfler sulama seviyeleri arasındaki gruplandırmayı, küçük harfler sulama suyu tuzluluk seviyeleri arasındaki gruplandırmayı, italik harfler ise interaksiyon bölgesindeki (*TxS*) gruplandırmayı göstermektedir.

4.2.3. Bitki başına yaprak sayısı

Deneme konularından elde edilen bitki başına yaprak sayılarına ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.11'de, ortalama değerler ve Duncan testi sonuçlarına göre konular arasındaki farklılıkları gösteren önemlilik grupları ise Çizelge 4.12'de verilmiştir.

Çizelge 4.11 incelendiğinde, sulama suyu tuzluluğu istatistiki olarak önemsiz bulunurken, sulama seviyesi (*S*) ve bunlar arasındaki interaksiyon (*TXS*) istatistiki olarak önemli ($P < 0.01$) bulunmuştur.

Çizelge 4.12'den izleneceği gibi, sulama suyu tuzluluğu açısından, en fazla bitki başına yaprak sayısı ortalama 21.1 adet/bitki ile kontrol grubu bitkilerde bulunmuş olup, diğer sulama suyu tuzluluk uygulamalarında yaprak sayılarında, istatistiki olarak önemli bulunmayan ve %1.1 ile %12.9 arasında değişen oranlarda azalışlar olmuştur. Farklı sulama seviyeleri arasında, en fazla yaprak sayısı ortalama 21.3 adet/bitki ile *S*₂ sulama seviyesinde elde edilmiş ve *S*₂ sulama seviyesi ile tam sulanan *S*₁ deneme konuları arasında istatistiki olarak fark bulunmamıştır. Sulama suyu tuzluluğu ve sulama seviyeleri arasındaki interaksiyonlar (*T x S*) değerlendirildiğinde, en fazla yaprak sayısı

25.0 adet/bitki ile T_1S_1 konusunda elde edilmiş olup, bu konu ile T_1S_2 , T_3S_2 , T_4S_2 ve T_2S_3 konuları arasında %95 güvenle istatistiki olarak bir fark bulunmamıştır.

Çizelge 4.11. Yaprak sayılarına ilişkin varyans analiz sonuçları

Varyasyon kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	P
Sulama suyu tuzluluğu (T)	42.200	4	10.550	2.556 ^{ns}	.059
Sulama seviyesi (S)	45.211	2	22.606	5.476 ^{**}	.009
$T \times S$	258.733	8	32.342	7.835 ^{**}	.000
Hata	123.833	30	4.128		

^{**}: %1 düzeyinde önemli, ^{*}: %5 düzeyinde önemli, ^{ns}: Önemsiz.

Çizelge 4.12. Yaprak sayılarına ilişkin ortalama değerler (adet/bitki) ve önemlilik grupları

Sulama suyu tuzluluğu (T)	Sulama seviyesi (S)			Ortalama	Oransal değişim (%)	Oransal Fark (%)
	S_1 (%100)	S_2 (%75)	S_3 (%50)			
T_1 (Kontrol)	25.0 ^a	21.5 ^{ab}	16.7 ^{cde}	21.1	100.0	0.0
T_2 (1.5 dS/m)	19.0 ^{bcd}	19.0 ^{bcd}	22.5 ^{ab}	20.2	95.8	-4.2
T_3 (3.0 dS/m)	19.8 ^{bc}	22.8 ^{ab}	19.8 ^{bc}	20.8	98.9	-1.1
T_4 (4.5 dS/m)	15.5 ^{de}	22.5 ^{ab}	21.2 ^b	19.7	93.7	-6.3
T_5 (6.0 dS/m)	19.8 ^{bc}	20.8 ^b	14.3 ^e	18.3	87.1	-12.9
Ortalama	19.8 ^{AB}	21.3 ^A	18.9 ^B			
Oransal değişim (%)	100.0	107.6	95.3			
Oransal Fark (%)	0.0	7.6	-4.7			

Büyük harfler sulama seviyeleri arasındaki gruplandırmayı, küçük harfler sulama suyu tuzluluk seviyeleri arasındaki gruplandırmayı, italik harfler ise interaksyon bölgesindeki ($T \times S$) gruplandırmayı göstermektedir.

4.2.4. Yaprak alanı

Deneme konularından elde edilen ıspanak yaprak alanlarına ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.13'te, ortalama değerler ve Duncan testi sonuçlarına göre konular arasındaki farklılıkları gösteren önemlilik grupları ise Çizelge 4.14'te verilmiştir. Çizelge 4.13 incelendiğinde, sulama suyu tuzluluğu (T), sulama seviyesi (S) ve bunlar arasındaki interaksyon (TXS) istatistiki olarak % 1 düzeyinde ($P < 0.01$) önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.14'ten izleneceği gibi, sulama suyu tuzluluğu açısından, en büyük yaprak alanı ortalama 35.6 cm² ile kontrol grubu bitkilerde bulunmuş ve bu bitkiler diğer uygulamalardan istatistiki olarak ayrılmıştır. Ispanağın 1.5 dS/m, 3.0 dS/m, 4.5 dS/m ve 6.0 dS/m tuz muhtevasına sahip sulama suları ile sulanmasında, kontrol grubuna kıyasla, yaprak alanlarında sırasıyla %16.8, %29.3, %34.4 ve %32.1 oranında azalmalar meydana gelmiştir. Farklı sulama seviyeleri arasında, en büyük yaprak alanı

ortalama 32.9 cm² ile tam sulanan S₁ deneme konularında elde edilmiş ve bu konular istatistiki olarak diğer sulama seviyelerinden ayrılmıştır. Sulama suyu kısıt oranı arttıkça ıspanak yaprak alanında azalma meydana gelmiştir. Yaprak alanında, S₁ sulama seviyesine kıyasla, S₂ ve S₃ sulama seviyelerinde sırasıyla %8.6 ve %39.7' lik bir azalma hesaplanmıştır. Sulama suyu tuzluluğu ve sulama seviyeleri arasındaki interaksiyonlar (T x S) değerlendirildiğinde, en büyük yaprak alanı 42.2 cm² ile T₂S₁ konusunda elde edilmiş ve bu konu ile T₁S₁ ve T₁S₂ konuları aynı Duncan grubunda yer almışlardır. Tam sulanan S₁ deneme konuları ve %50 su kısıtı uygulanan S₃ deneme konularında 1.5 dS/m sulama suyu tuzluluğundan sonra yaprak alanları önemli oranda azalmıştır (Şekil 4.2). Buna karşın %25 su kısıtı uygulanan S₂ deneme konularında ise yaprak alanları kontrol gurubunda (T₁) en yüksek bulunmuş ve tuzlu sulama suyu uygulaması yaprak alanlarını azaltmıştır. Ispanakta yapılan bir çalışmada, %50 su stresinin yaprak alanı ve yaprak sayısını önemli oranda azalttığı bildirilmiştir (Xu ve Leskovar, 2015). Ors ve Suarez (2017), ıspanakta yapmış oldukları kuraklık ve tuzluluk stresi çalışmasında, hem tuzluluk hem de kuraklık stresinin toprak üstü taze ve kuru ağırlığa, toprak altı taze ve kuru ağırlığa, bunun yanı sıra yaprak sayısı ve yaprak alanı üzerine olumsuz etkisinin olduğunu bildirmişlerdir.

Çizelge 4.13. Yaprak alanlarına ilişkin varyans analiz sonuçları

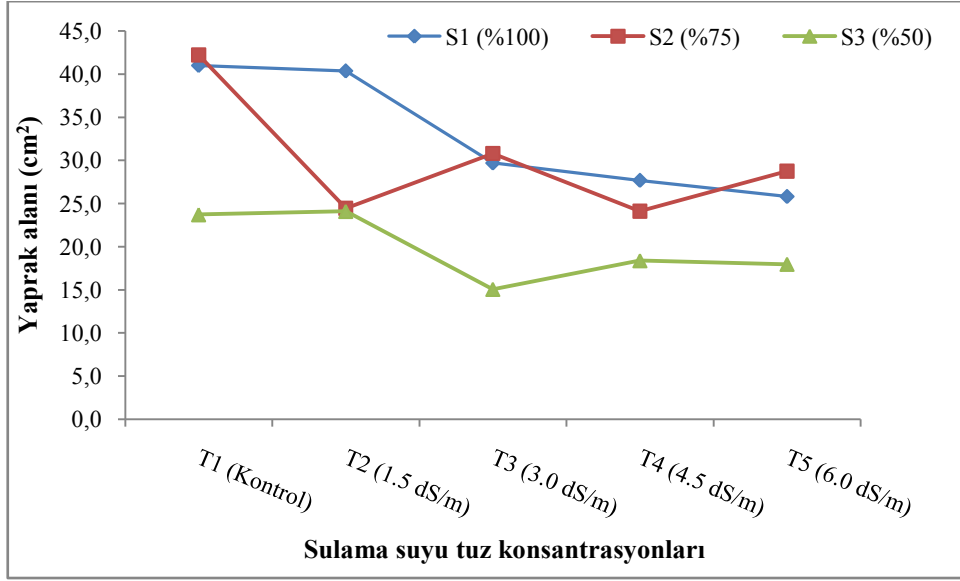
Varyasyon kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	P
Sulama suyu tuzluluğu (T)	935.422	4	233.856	19.728**	.000
Sulama seviyesi (S)	1415.449	2	707.725	59.702**	.000
T X S	525.237	8	65.655	5.538**	.000
Hata	355.628	30	11.854		

** : %1 düzeyinde önemli, * : %5 düzeyinde önemli, ^{ns}: Önemli değil.

Çizelge 4.14. Yaprak alanlarına ilişkin ortalama değerler (cm²) ve önemlilik grupları

Sulama suyu tuzluluğu (T)	Sulama seviyesi (S)			Ortalama	Oransal değişim (%)	Oransal Fark (%)
	S ₁ (%100)	S ₂ (%75)	S ₃ (%50)			
T ₁ (Kontrol)	41.0 ^a	42.2 ^a	23.7 ^{cde}	35.6 ^a	100.0	0.0
T ₂ (1.5 dS/m)	40.3 ^a	24.5 ^{bcd}	24.1 ^{cde}	29.6 ^b	83.2	-16.8
T ₃ (3.0 dS/m)	29.7 ^{bc}	30.8 ^b	15.1 ^c	25.2 ^c	70.7	-29.3
T ₄ (4.5 dS/m)	27.7 ^{bc}	24.1 ^{cde}	18.4 ^{def}	23.4 ^c	65.6	-34.4
T ₅ (6.0 dS/m)	25.8 ^{bc}	28.8 ^{bc}	18.0 ^{ef}	24.2 ^c	67.9	-32.1
Ortalama	32.9 ^A	30.1 ^B	19.8 ^C			
Oransal değişim (%)	100.0	91.4	60.3			
Oransal Fark (%)	0.0	-8.6	-39.7			

Büyük harfler sulama seviyeleri arasındaki gruplandırmayı, küçük harfler sulama suyu tuzluluk seviyeleri arasındaki gruplandırmayı, italik harfler ise interaksiyon bölgesindeki (TxS) gruplandırmayı göstermektedir.



Şekil 4.2. Deneme konularına göre ıspanakta yaprak alanlarındaki değişimler

4.2.5. Yaprak oransal su içeriği (YOSİ)

Deneme konularından elde edilen yaprak oransal su içeriklerine (YOSİ) ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.15'te, ortalama değerler ve Duncan testi sonuçlarına göre konular arasındaki farklılıkları gösteren önemlilik grupları ise Çizelge 4.16'da verilmiştir.

Çizelge 4.15 incelendiğinde, YOSİ açısından yalnızca sulama seviyeleri istatistiki olarak önemli bulunurken ($P < 0.01$), sulama suyu tuzluluğu ve $T \times S$ interaksyonu önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 4.16'dan izleneceği gibi, sulama suyu tuzluluğu açısından, en yüksek YOSİ değeri ortalama %64.9 ile 4.5 dS/m (T_4) sulama suyu tuz konsantrasyonu ile sulanan konularda bulunmuştur. Genel olarak farklı EC (elektriksel iletkenlik)'ye sahip su ile sulama yapılması ıspanağın YOSİ değerlerinde dikkate değer bir fark oluşturmamıştır. Farklı sulama seviyeleri arasında, en yüksek YOSİ ortalama %66.4 ile tam sulanan S_1 deneme konularında elde edilmiş ve bu konular ile S_2 sulama seviyesine sahip konular arasında istatistiksel farklılıklar bulunmamıştır. Buna karşın %50 su stresi uygulanan konularda YOSİ yaklaşık %10 oranında azalmış ve bu azalış S_3 sulama seviyesini diğer sulama seviyelerinden istatistiki olarak ayırmıştır. Farklı sulama suyu tuzluluğu ve farklı sulama seviyelerinin ıspanakta YOSİ sonuçlarına etkilerini birlikte değerlendirmek amacıyla bir grafik hazırlanmıştır (Şekil 4.3). Şekilden görüleceği üzere, tam sulanan (S_1) deneme konularında, kontrol grubu (T_1), T_2 ve T_3 sulama suyu

tuzluluğu uygulamalarında YOSİ fazla değişmezken, T_4 ve T_5 uygulamalarında YOSİ'de bir artış görülmüştür. Diğer yandan S_2 (%25 su kısıtı) sulama seviyesi uygulamasında 1.5 dS/m sulama suyu tuzluluğu uygulamasında YOSİ daha yüksek bulunmuştur. Orta derecede su stresi uygulanan S_3 sulama seviyesinde ise, kontrolden (T_1) başlayarak 4.5 dS/m sulama suyu tuzluluk uygulamasına kadar YOSİ'de bir artış olmuş, daha sonra YOSİ tekrar azalmıştır (Şekil 4.3).

Çizelge 4.15. YOSİ değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları

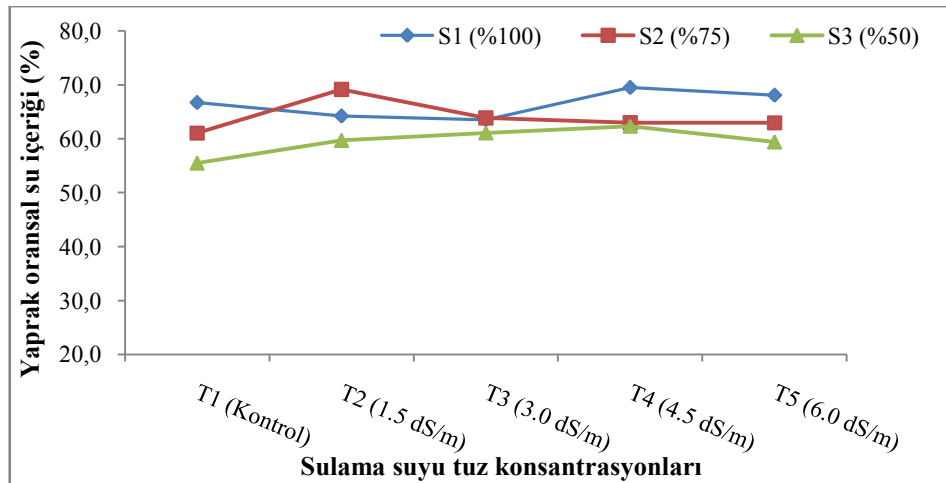
Varyasyon kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	P
Sulama suyu tuzluluğu (T)	80.192	4	20.048	.655 ^{ns}	.628
Sulama seviyesi (S)	356.287	2	178.144	5.818 ^{**}	.007
$T \times S$	188.131	8	23.516	.768 ^{ns}	.633
Hata	918.608	30	30.620		

** : %1 düzeyinde önemli, * : %5 düzeyinde önemli, ^{ns} : Önemli değil.

Çizelge 4.16. YOSİ değerlerine ilişkin ortalama değerler (%) ve önemlilik grupları

Sulama suyu tuzluluğu (T)	Sulama seviyesi (S)			Ortalama	Oransal değişim (%)	Oransal Fark (%)
	S_1 (%100)	S_2 (%75)	S_3 (%50)			
T_1 (Kontrol)	66.7	61.1	55.5	61.1	100.0	0.0
T_2 (1.5 dS/m)	64.2	69.1	59.7	64.3	105.3	5.3
T_3 (3.0 dS/m)	63.5	63.9	61.1	62.8	102.8	2.8
T_4 (4.5 dS/m)	69.5	63.0	62.3	64.9	106.3	6.3
T_5 (6.0 dS/m)	68.1	63.0	59.4	63.5	103.9	3.9
Ortalama	66.4 ^A	64.0 ^A	59.6 ^B			
Oransal değişim (%)	100.0	96.4	89.8			
Oransal Fark (%)	0.0	-3.6	-10.2			

Büyük harfler sulama seviyeleri arasındaki gruplandırmayı, küçük harfler sulama suyu tuzluluk seviyeleri arasındaki gruplandırmayı, italik harfler ise interaksiyon bölgesindeki ($T \times S$) gruplandırmayı göstermektedir.



Şekil 4.3. Deneme konularına göre ıspanakta YOSİ değerlerindeki değişimler

4.2.6. Membran zararlanması

Ispanakta deneme konularında belirlenen membran zararlanmalarına ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.17'de, ortalama değerler ve Duncan testi sonuçlarına göre konular arasındaki farklılıkları gösteren önemlilik grupları ise Çizelge 4.18'de verilmiştir. Çizelge 4.17 incelendiğinde, sulama suyu tuzluluğu (*T*) %99 güvenle önemli bulunurken, sulama seviyesi (*S*) uygulaması ve *TXS* interaksyonu istatistiki olarak önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 4.18'den izleneceği gibi, sulama suyu tuzluluğu açısından, en fazla membran zararlanması ortalama %38.6 ile 4.5 dS/m sulama suyu tuzluluğu ile sulanan bitkilerde bulunmuş ve bu uygulama ile 6.0 dS/m (*T*₅) sulama suyu tuzluluğu uygulaması arasında istatistiki olarak bir fark bulunmamıştır. Kontrol grubu bitkilere göre membran zararlanması *T*₂, *T*₃, *T*₄ ve *T*₅ sulama suyu tuzluluk uygulamalarında sırasıyla %46.4, %34.2, %73.8 ve %72.4 oranında artmıştır.

Farklı sulama seviyeleri arasında, en fazla membran zararlanması ortalama %34.1 ile %25 su kısıtı uygulanan *S*₂ sulama seviyesinde elde edilmiş, ancak sulama seviyeleri arasında istatistiki olarak bir fark bulunmamıştır. Farklı sulama suyu tuzluluğu ve farklı sulama seviyelerinin ıspanakta membran zararlanmalarına etkilerini birlikte değerlendirmek amacıyla bir grafik hazırlanmıştır (Şekil 4.4). Şekilden görüleceği üzere, tüm sulama seviyelerinde en düşük membran zararlanması kontrol grubunda (*T*₁) görülmüş, tuzlu sulama suyu uygulaması membran zararlanmasını artırmıştır. Tam sulama yapılan *S*₁ sulama seviyesi ile %25 su kısıtı uygulanan *S*₂ sulama seviyesine sahip deneme konuları arasında *T*₃ tuzluluk uygulamasına kadar membran zararlanmasında bir paralellik bulunmuş, ancak *T*₄ tuzlu sulama suyu uygulamasında *S*₁ ve *S*₂ sulama seviyeleri arasındaki paralellik bozulmuştur. Diğer yandan %50 su kısıtı uygulanan *S*₃ sulama seviyesinde ise sulama suyu tuzluluğu arttıkça membran zararlanması da doğrusal bir şekilde artmıştır (Şekil 4.4). Ispanakta farklı hasat zamanları ve su stresinin etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, ilk iki hasat zamanında membran zararlanmasının olmadığı, ancak son hasat zamanında şiddetli su stresi (%80 su kısıtı) uygulanan konularda membran zararlanmasının arttığı bildirilmiştir (Seymen, 2021a). Benzer şekilde, farklı hasat zamanları ve su stresinin marulun fizyolojik ve biyokimyasal özelliklerine etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada, su stresinin son hasat döneminde membran zararlanmasını arttırdığı rapor edilmiştir (Yavuz ve ark., 2021).

Çizelge 4.17. Membran zararlanmasına ilişkin varyans analiz sonuçları

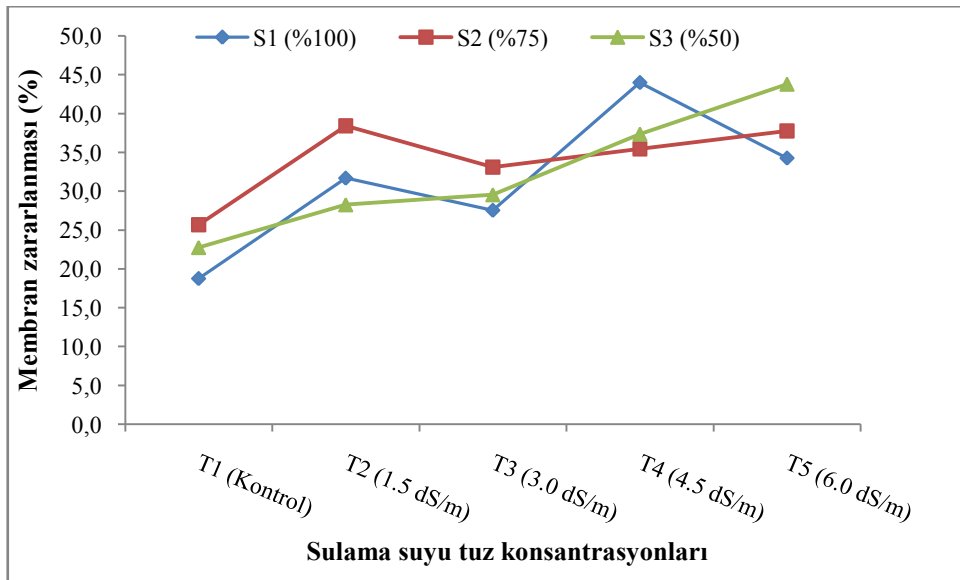
Varyasyon kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	P
Sulama suyu tuzluluğu (<i>T</i>)	1679.893	4	419.973	6.211 ^{**}	.001
Sulama seviyesi (<i>S</i>)	61.058	2	30.529	.451 ^{ns}	.641
<i>T X S</i>	477.976	8	59.747	.884 ^{ns}	.542
Hata	2028.627	30	67.621		

^{**}: %1 düzeyinde önemli, ^{*}: %5 düzeyinde önemli, ^{ns}: Önemli değil.

Çizelge 4.18. Membran zararlanmasına ilişkin ortalama değerler (%) ve önemlilik grupları

Sulama suyu tuzluluğu (<i>T</i>)	Sulama seviyesi (<i>S</i>)			Ortalama	Oransal değişim (%)	Oransal Fark (%)
	<i>S</i> ₁ (%100)	<i>S</i> ₂ (%75)	<i>S</i> ₃ (%50)			
<i>T</i> ₁ (Kontrol)	18.8	25.7	22.8	22.4 ^c	100.0	0.0
<i>T</i> ₂ (1.5 dS/m)	31.7	38.4	28.3	32.8 ^{ab}	146.4	46.4
<i>T</i> ₃ (3.0 dS/m)	27.5	33.1	29.5	30.1 ^{bc}	134.2	34.2
<i>T</i> ₄ (4.5 dS/m)	44.0	35.4	37.4	38.9 ^a	173.8	73.8
<i>T</i> ₅ (6.0 dS/m)	34.3	37.8	43.8	38.6 ^a	172.4	72.4
Ortalama	31.2	34.1	32.3			
Oransal değişim (%)	100.0	109.1	103.5			
Oransal Fark (%)	0.0	9.1	3.5			

Büyük harfler sulama seviyeleri arasındaki gruplandırmayı, küçük harfler sulama suyu tuzluluk seviyeleri arasındaki gruplandırmayı, italik harfler ise interaksiyon bölgesindeki (*TxS*) gruplandırmayı göstermektedir.

**Şekil 4.4.** Deneme konularına göre ıspanakta membran zararlanmasındaki değişimler

4.2.7. Klorofil-a, klorofil-b ve toplam klorofil

Deneme konularından elde edilen klorofil değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.19'da verilmiştir. Çizelgeden görüleceği üzere, sulama suyu tuzluluğu (T), sulama seviyesi (S) ve $T \times S$ interaksyonu klorofil-a, klorofil-b ve toplam klorofil değerleri üzerinde %99 güvenle istatistiki olarak önemli bulunmuştur.

Klorofil-a sonuçlarının verildiği Çizelge 4.20 incelendiğinde, sulama suyu tuzluluğu açısından, en yüksek klorofil-a değeri ortalama 18.1 mg/g TA ile EC'si (elektriksel iletkenlik) 1.5 dS/m olan konularda bulunmuş ve bu uygulama diğer uygulamalardan istatistiki olarak ayrılmıştır. Genel olarak, T_4 uygulaması hariç, sulama suyu tuzluluğu klorofil-a değerlerinin artmasına neden olmuştur. Farklı sulama seviyeleri arasında, en yüksek klorofil-a içeriği ortalama 15.8 mg/g TA ile S_1 sulama seviyesine sahip konularda elde edilmiş ve S_1 ile S_2 sulama seviyeleri arasında istatistiki olarak bir farklılık bulunmamıştır. Ancak S_3 sulama seviyesi uygulamasında klorofil-a değeri yaklaşık %15 azalış göstermiş ve bu fark S_3 sulama seviyesinin farklı bir Duncan grubunda yer almasına neden olmuştur. Sulama suyu tuzluluğu ve sulama seviyeleri arasındaki interaksyonlar ($T \times S$) değerlendirildiğinde, en yüksek klorofil-a değeri 22.4 mg/g TA ile T_5S_1 konusunda elde edilmiş ve bu konu diğer deneme konularından istatistiki olarak ayrılmıştır.

Klorofil-b sonuçlarının verildiği Çizelge 4.21 incelendiğinde, sulama suyu tuzluluğu açısından, en yüksek klorofil-b değeri ortalama 5.6 mg/g TA ile EC'si (elektriksel iletkenlik) 1.5 dS/m olan konularda bulunmuş ve bu uygulama diğer uygulamalardan istatistiki olarak ayrılmıştır. Farklı sulama seviyeleri arasında, en yüksek klorofil-b içeriği ortalama 5.0 mg/g TA ile S_1 sulama seviyesinde elde edilmiş ve su kısıtı arttıkça klorofil-b değerlerinde bir azalış görülmüştür. Sulama suyu tuzluluğu ve sulama seviyeleri arasındaki interaksyonlar ($T \times S$) değerlendirildiğinde, en yüksek klorofil-b değeri 6.7 mg/g TA ile T_5S_1 konusunda elde edilmiş ve bu konu ile T_1S_1 konusu arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır.

Bazı araştırmacılar, klorofil a ve b içeriği değişiminin klorofil biyosentezi ve enzimlerin inhibisyonu, kloroplast zar bütünlüğünün bozulmasından kaynaklanan pigmentlerin degradasyonu ve diğer metabolik faaliyetlerin bozulmasından meydana geldiğini bildirmektedirler (Foyer ve Shigeoka, 2011). Ispanakta yapılan su kısıtı çalışmasında, kuraklığın şiddeti arttıkça klorofil-a veya klorofil-b içeriğinde azalmaların olduğu bildirilmiştir (Bandian ve ark., 2016; Zhang ve ark., 2018; Jabeen ve ark., 2019;

Seymen, 2021a). Benzer şekilde, su stresi şartlarında turpta (Akram ve ark., 2016), buğdayda (Yasmeen ve ark., 2013) ve marulda (Yavuz ve ark., 2021) klorofil-a veya klorofil-b miktarının azaldığı raporlanmıştır.

Çizelge 4.19. Klorofil-a, klorofil-b ve toplam klorofil değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları

Parametre	Varyasyon kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	P
Klorofil-a	Sulama suyu tuzluluğu (<i>T</i>)	235.347	4	58.837	36.719**	.000
	Sulama seviyesi (<i>S</i>)	40.688	2	20.344	12.696**	.000
	<i>T</i> X <i>S</i>	397.440	8	49.680	31.004**	.000
	Hata	48.071	30	1.602		
Klorofil-b	Sulama suyu tuzluluğu (<i>T</i>)	16.713	4	4.178	26.864**	.000
	Sulama seviyesi (<i>S</i>)	4.144	2	2.072	13.322**	.000
	<i>T</i> X <i>S</i>	40.666	8	5.083	32.683**	.000
	Hata	4.666	30	.156		
Toplam klorofil	Sulama suyu tuzluluğu (<i>T</i>)	503.280	4	125.820	33.743**	.000
	Sulama seviyesi (<i>S</i>)	97.867	2	48.933	13.123**	.000
	<i>T</i> X <i>S</i>	924.834	8	115.604	31.003**	.000
	Hata	111.864	30	3.729		

** : %1 düzeyinde önemli, * : %5 düzeyinde önemli, ^{ns} : Önemsiz.

Çizelge 4.20. Klorofil-a değerlerine ilişkin ortalama değerler (mg/g TA) ve önemlilik grupları

Sulama suyu tuzluluğu (<i>T</i>)	Sulama seviyesi (<i>S</i>)			Ortalama	Oransal değişim (%)	Oransal Fark (%)
	<i>S</i> ₁ (%100)	<i>S</i> ₂ (%75)	<i>S</i> ₃ (%50)			
<i>T</i> ₁ (Kontrol)	15.4 ^{cd}	12.7 ^{ef}	11.1 ^f	13.1 ^c	100.0	0.0
<i>T</i> ₂ (1.5 dS/m)	18.5 ^b	18.4 ^b	17.3 ^{bc}	18.1 ^a	138.4	38.4
<i>T</i> ₃ (3.0 dS/m)	15.7 ^{cd}	16.8 ^{bc}	14.3 ^{de}	15.6 ^b	119.4	19.4
<i>T</i> ₄ (4.5 dS/m)	7.1 ^g	11.2 ^f	16.1 ^{cd}	11.5 ^d	87.8	-12.2
<i>T</i> ₅ (6.0 dS/m)	22.4 ^a	15.5 ^{cd}	8.8 ^g	15.6 ^b	119.1	19.1
Ortalama	15.8 ^A	14.9 ^A	13.5 ^B			
Oransal değişim (%)	100.0	94.1	85.4			
Oransal Fark (%)	0.0	-5.9	-14.6			

Büyük harfler sulama seviyeleri arasındaki gruplandırmayı, küçük harfler sulama suyu tuzluluk seviyeleri arasındaki gruplandırmayı, italik harfler ise interaksiyon bölgesindeki (*T* x *S*) gruplandırmayı göstermektedir.

Çizelge 4.21. Klorofil-b değerlerine ilişkin ortalama değerler (mg/g TA) ve önemlilik grupları

Sulama suyu tuzluluğu (<i>T</i>)	Sulama seviyesi (<i>S</i>)			Ortalama	Oransal değişim (%)	Oransal Fark (%)
	<i>S</i> ₁ (%100)	<i>S</i> ₂ (%75)	<i>S</i> ₃ (%50)			
<i>T</i> ₁ (Kontrol)	6.1 ^{ab}	4.0 ^{fg}	3.7 ^g	4.6 ^b	100.0	0.0
<i>T</i> ₂ (1.5 dS/m)	5.9 ^{bc}	5.5 ^{bcd}	5.4 ^{cd}	5.6 ^a	121.2	21.2
<i>T</i> ₃ (3.0 dS/m)	4.3 ^{fg}	5.0 ^{de}	4.5 ^{ef}	4.6 ^b	99.9	-0.1
<i>T</i> ₄ (4.5 dS/m)	2.3 ^h	3.6 ^g	5.1 ^{de}	3.7 ^c	79.9	-20.1
<i>T</i> ₅ (6.0 dS/m)	6.7 ^a	5.0 ^{de}	2.9 ^h	4.8 ^b	105.0	5.0
Ortalama	5.0 ^A	4.6 ^B	4.3 ^C			
Oransal değişim (%)	100.0	91.9	85.3			
Oransal Fark (%)	0.0	-8.1	-14.7			

Büyük harfler sulama seviyeleri arasındaki gruplandırmayı, küçük harfler sulama suyu tuzluluk seviyeleri arasındaki gruplandırmayı, italik harfler ise interaksiyon bölgesindeki (*T* x *S*) gruplandırmayı göstermektedir.

Çizelge 4.22. Toplam klorofil değerlerine ilişkin ortalama değerler (mg/g TA) ve önemlilik grupları

Sulama suyu tuzluluğu (T)	Sulama seviyesi (S)			Ortalama	Oransal değişim (%)	Oransal Fark (%)
	S ₁ (%100)	S ₂ (%75)	S ₃ (%50)			
T ₁ (Kontrol)	25.0 ^{bcd^e}	19.4 ^{fg}	17.1 ^g	20.5 ^c	100.0	0.0
T ₂ (1.5 dS/m)	28.3 ^b	27.8 ^{bc}	26.3 ^{bcd}	27.5 ^a	134.1	34.1
T ₃ (3.0 dS/m)	23.0 ^{de}	25.1 ^{bcd^e}	21.8 ^{ef}	23.3 ^b	113.7	13.7
T ₄ (4.5 dS/m)	10.9 ^h	17.1 ^g	24.4 ^{cde}	17.5 ^d	85.4	-14.6
T ₅ (6.0 dS/m)	33.9 ^a	23.6 ^{de}	13.4 ^h	23.7 ^b	115.4	15.4
Ortalama	24.2 ^A	22.6 ^B	20.6 ^C			
Oransal değişim (%)	100.0	93.4	85.1			
Oransal Fark (%)	0.0	-6.6	-14.9			

Büyük harfler sulama seviyeleri arasındaki gruplandırmayı, küçük harfler sulama suyu tuzluluk seviyeleri arasındaki gruplandırmayı, italik harfler ise interaksiyon bölgesindeki (T x S) gruplandırmayı göstermektedir.

Toplam klorofil sonuçlarının verildiği Çizelge 4.22 incelendiğinde, sulama suyu tuzluluğu açısından, en yüksek toplam klorofil ortalama 27.5 mg/g TA ile EC'si (elektriksel iletkenlik) 1.5 dS/m olan konularda bulunmuş ve bu uygulama diğer uygulamalardan istatistiki olarak ayrılmıştır. Genel olarak, T₄ uygulaması hariç, sulama suyu tuzluluğu toplam klorofil değerlerinin artmasına neden olmuştur. Farklı sulama seviyeleri arasında, en yüksek toplam klorofil içeriği ortalama 24.2 mg/g TA ile S₁ sulama seviyesine sahip konularda elde edilmiş ve bu uygulama diğer sulama seviyelerinden istatistiki olarak ayrılmıştır. Sulama suyu tuzluluğu ve sulama seviyeleri arasındaki interaksiyonlar (T x S) değerlendirildiğinde, en yüksek toplam klorofil değeri 33.9 mg/g TA ile T₅S₁ konusunda elde edilmiş ve bu konu diğer deneme konularından farklı bir Duncan grubunda yer almıştır.

4.2.8. Karotenoid içerikleri

İspanağın karotenoid içeriklerine ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.23'te, ortalama değerler ve Duncan testi sonuçlarına göre konular arasındaki farklılıkları gösteren önemlilik grupları ise Çizelge 4.24'te verilmiştir. Çizelge 4.23 incelendiğinde, istatistiki olarak sulama suyu tuzluluğu (T) önemli (P<0.01), sulama seviyesi (S) önemsiz ve bunlar arasındaki interaksiyon (T x S) önemli (P<0.01) bulunmuştur.

Çizelge 4.24'ten izleneceği gibi, sulama suyu tuzluluğu açısından, en yüksek karotenoid içeriği ortalama 4.5 mg/g ile EC'si 1.5 dS/m olan konularda bulunmuş ve bu uygulama ile EC'si 3.0 dS/m olan uygulama arasında istatistiki olarak bir fark bulunmamıştır. Genel olarak, T₄ uygulaması hariç, sulama suyu tuzluluğu ıspanağın karotenoid içeriğinin artmasına neden olmuştur. Karotenoidler yapraklarda klorofille

birlikte bulunan, fotosentezde dolaylı olarak iş gören ve antioksidant özelliğe sahip olan moleküllerdir (Smirnoff, 2005; Keyvan, 2010). Ispanakta (Xu ve Leskovar, 2015; Seymen, 2021a) ve marulda (Basahi ve ark., 2014; Yavuz ve ark., 2021) uygulanan abiyotik stres sonucunda karotenoid içeriğinde artış olduğu bildirilmiştir.

Farklı sulama seviyeleri arasında, en yüksek karotenoid içeriği ortalama 3.9 mg/g ile S₁ sulama seviyesine sahip konularda elde edilmiş, ancak sulama seviyeleri arasında ıspanağın karotenoid içeriği fazla bir değişim göstermemiştir. Başka bir deyişle, farklı sulama seviyesi uygulaması ıspanağın karotenoid içeriklerini istatistiki olarak önemli etkilememiştir. Benzer şekilde ıspanakta sel baskınının (aşırı su) etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada fazla suyun karotenoid içeriğini etkilemediği bildirilmiştir (Seymen, 2021b). Sulama suyu tuzluluğu ve sulama seviyeleri arasındaki interaksiyonlar (T x S) değerlendirildiğinde, en yüksek karotenoid içeriği 4.6 mg/g ile T₄S₃ konusunda elde edilmiş ve bu konu ile T₁S₁, T₂S₁, T₃S₁, T₅S₁, T₂S₂, T₃S₂, T₂S₃ konuları arasında Duncan testi sonuçlarına göre %95 güvenle istatistiki olarak bir fark bulunmamıştır (Çizelge 4.24).

Çizelge 4.23. Karotenoid içeriklerine ilişkin varyans analiz sonuçları

Varyasyon kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	P
Sulama suyu tuzluluğu (T)	10.403	4	2.601	7.517**	.000
Sulama seviyesi (S)	1.262	2	.631	1.824 ^{ns}	.179
T X S	23.684	8	2.961	8.556**	.000
Hata	10.380	30	.346		

** : %1 düzeyinde önemli, * : %5 düzeyinde önemli, ^{ns} : Önemsiz.

Çizelge 4.24. Karotenoid içeriklerine ilişkin ortalama değerler (mg/g) ve önemlilik grupları

Sulama suyu tuzluluğu (T)	Sulama seviyesi (S)			Ortalama	Oransal değişim (%)	Oransal Fark (%)
	S ₁ (%100)	S ₂ (%75)	S ₃ (%50)			
T ₁ (Kontrol)	4.2 ^{abcd}	3.1 ^{de}	2.7 ^{ef}	3.3 ^{bc}	100.0	0.0
T ₂ (1.5 dS/m)	4.5 ^{ab}	4.5 ^{ab}	4.3 ^{abc}	4.5 ^a	134.2	34.2
T ₃ (3.0 dS/m)	4.1 ^{abcd}	4.1 ^{abcd}	3.4 ^{bcde}	3.9 ^{ab}	117.1	17.1
T ₄ (4.5 dS/m)	1.8 ^f	2.8 ^{ef}	4.6 ^a	3.1 ^c	92.1	-7.9
T ₅ (6.0 dS/m)	5.0 ^a	3.3 ^{cde}	2.8 ^{ef}	3.7 ^b	111.3	11.3
Ortalama	3.9	3.5	3.6			
Oransal değişim (%)	100.0	90.6	91.4			
Oransal Fark (%)	0.0	-9.4	-8.6			

Büyük harfler sulama seviyeleri arasındaki gruplandırmayı, küçük harfler sulama suyu tuzluluk seviyeleri arasındaki gruplandırmayı, italik harfler ise interaksiyon bölgesindeki (TxS) gruplandırmayı göstermektedir.

4.2.9. Protein içeriği

İspanağın protein içeriklerine ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.25'te, ortalama değerler ve Duncan testi sonuçlarına göre konular arasındaki farklılıkları gösteren önemlilik grupları ise Çizelge 4.26'da verilmiştir. Çizelge 4.25 incelendiğinde, sulama suyu tuzluluğu (*T*), sulama seviyesi (*S*) ve bunlar arasındaki interaksiyon (*TXS*) istatistiki olarak önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.26'dan izleneceği gibi, sulama suyu tuzluluğu açısından yapılan değerlendirmede, en yüksek protein içeriği ortalama 52.6 µg/g ile EC'si 3.0 dS/m olan uygulamalarda bulunmuş ve bu uygulama diğer tuzluluk uygulamalarından istatistiki olarak ayrılmıştır. En düşük protein içeriği kontrol grubu bitkilerde bulunmuş ve sulama suyu tuzluluğuna bağlı olarak protein içeriklerinde %1.7 ile %34.4 arasında değişen oranlarda artışlar hesaplanmıştır. Farklı sulama seviyeleri arasında, en yüksek protein içeriği ortalama 47.3 µg/g ile %50 su kısıtı uygulanan *S*₃ deneme konularında elde edilmiş ve bu uygulama ile *S*₂ sulama seviyesi arasında istatistiki olarak bir fark bulunmamıştır. Protein içeriği tam sulanan *S*₁ konularına kıyasla *S*₂ ve *S*₃ sulama seviyelerinde sırasıyla %12.9 ve %20.9 oranında artmıştır. Stres şartlarında antioksidant enzimlerin uyarılması sonucu stres proteinleri sentezlenerek bitkilerde protein içeriği artmaktadır. Bu artan proteinler, hücrelerin sitoplazmik akışkanlığı ve ozmotik düzenlemesini koruyarak bitkilerin stresten kaçınmasını sağlamaktadır (Yıldız ve Terzi, 2008). Benzer şekilde, Yavuz ve ark. (2021) su kısıtlarının marulda protein içeriğini arttırdığını ifade etmişlerdir. Sulama suyu tuzluluğu ve sulama seviyeleri arasındaki interaksiyonlar (*T* x *S*) değerlendirildiğinde, en yüksek protein içeriği 62.9 µg/g ile *T*₁*S*₃ konusunda hesaplanmış ve bu konu ile *T*₃*S*₂ konusu arasında istatistiki olarak bir fark bulunmamıştır.

Çizelge 4.25. Protein içeriklerine ilişkin varyans analiz sonuçları

Varyasyon kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	P
Sulama suyu tuzluluğu (<i>T</i>)	1089.731	4	272.433	5.367**	.002
Sulama seviyesi (<i>S</i>)	511.548	2	255.774	5.039*	.013
<i>T</i> X <i>S</i>	2884.257	8	360.532	7.102**	.000
Hata	1522.887	30	50.763		

** : %1 düzeyinde önemli, * : %5 düzeyinde önemli, ^{ns} : Önemsiz.

Çizelge 4.26. Protein içeriklerine ilişkin ortalama değerler ($\mu\text{g/g TA}$) ve önemlilik grupları

Sulama suyu tuzluluğu (T)	Sulama seviyesi (S)			Ortalama	Oransal değişim (%)	Oransal Fark (%)
	S ₁ (%100)	S ₂ (%75)	S ₃ (%50)			
T ₁ (Kontrol)	25.1 ^g	29.5 ^{fg}	62.9 ^a	39.1 ^b	100.0	0.0
T ₂ (1.5 dS/m)	48.4 ^{bcd}	45.3 ^{cde}	39.8 ^{def}	44.5 ^b	113.8	13.8
T ₃ (3.0 dS/m)	43.7 ^{cde}	54.6 ^{abc}	59.5 ^{ab}	52.6 ^a	134.4	34.4
T ₄ (4.5 dS/m)	37.7 ^{defg}	45.7 ^{cde}	40.9 ^{def}	41.4 ^b	105.8	5.8
T ₅ (6.0 dS/m)	40.6 ^{def}	45.5 ^{cde}	33.3 ^{efg}	39.8 ^b	101.7	1.7
Ortalama	39.1 ^B	44.1 ^{AB}	47.3 ^A			
Oransal değişim (%)	100.0	112.9	120.9			
Oransal Fark (%)	0.0	12.9	20.9			

Büyük harfler sulama seviyeleri arasındaki gruplandırmayı, küçük harfler sulama suyu tuzluluk seviyeleri arasındaki gruplandırmayı, italik harfler ise interaksiyon bölgesindeki ($T \times S$) gruplandırmayı göstermektedir.

4.2.10. Prolin içeriği

Deneme konularından elde edilen prolin içeriklerine ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.27'de, ortalama değerler ve Duncan testi sonuçlarına göre konular arasındaki farklılıkları gösteren önemlilik grupları ise Çizelge 4.28'de verilmiştir. Çizelge 4.27 incelendiğinde, sulama suyu tuzluluğu (T), sulama seviyesi (S) ve bunlar arasındaki interaksiyon (TXS) %1 düzeyinde önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.28'den izleneceği gibi, sulama suyu tuzluluğu açısından, en yüksek prolin içeriği ortalama 26.2 $\mu\text{g/g}$ ile EC 3.0 dS/m olan uygulamalarda bulunmuş ve bu uygulama ile T₄ tuzluluk uygulamaları arasında %5 önem düzeyinde istatistiki olarak bir fark bulunmamıştır. Farklı sulama seviyeleri arasında, en yüksek prolin içeriği ortalama 25.0 $\mu\text{g/g}$ ile %50 su kısıtı uygulanan S₃ deneme konularında elde edilmiş ve bu uygulama istatistiki olarak diğer sulama seviyelerinden ayrılmıştır. Prolin içeriği tam sulanan S₁ konularına kıyasla S₂ ve S₃ sulama seviyelerinde sırasıyla %6.9 ve %36.7 oranında artmıştır. Genellikle, bitkiler abiyotik stres koşullarında prolin sentezlemekte ve stresin şiddeti arttıkça prolin miktarının da arttığı bilinmektedir. Prolinin ozmotik dengenin sağlanması, radikallerin temizlenmesi, membran bütünlüğü, protein ve DNA yapısının korunması, kullanılabilir azot birikimi gibi biyolojik olaylarda önemli rol oynadığı bildirilmektedir (Keyvan, 2010). Ispanakta yapılan bir çalışmada kuraklık stresinin artması prolin içeriğini artırmıştır (Jabeen ve ark., 2019). Rajabbeigi ve ark. (2013) marulda yapmış oldukları kuraklık stresi çalışmasında, stresin prolin miktarında önemli bir artışa sebep olduğunu bildirmişlerdir.

Çizelge 4.27. Prolin içeriklerine ilişkin varyans analiz sonuçları

Varyasyon kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	P
Sulama suyu tuzluluğu (<i>T</i>)	634.123	4	158.531	6.209**	.001
Sulama seviyesi (<i>S</i>)	381.006	2	190.503	7.461**	.002
<i>T X S</i>	905.940	8	113.242	4.435**	.001
Hata	765.963	30	25.532		

** : %1 düzeyinde önemli, * : %5 düzeyinde önemli, ^{ns} : Önemsiz.

Çizelge 4.28. Prolin içeriklerine ilişkin ortalama değerler (µg/g TA) ve önemlilik grupları

Sulama suyu tuzluluğu (<i>T</i>)	Sulama seviyesi (<i>S</i>)			Ortalama	Oransal değişim (%)	Oransal Fark (%)
	<i>S</i> ₁ (%100)	<i>S</i> ₂ (%75)	<i>S</i> ₃ (%50)			
<i>T</i> ₁ (Kontrol)	21.6 ^{bcd}	15.5 ^{def}	23.3 ^{bcd}	20.1 ^{bc}	100.0	0.0
<i>T</i> ₂ (1.5 dS/m)	12.1 ^{ef}	20.9 ^{bcd}	18.7 ^{cdef}	17.2 ^c	85.5	-14.5
<i>T</i> ₃ (3.0 dS/m)	30.2 ^{ab}	15.0 ^{def}	33.6 ^a	26.2 ^a	130.4	30.4
<i>T</i> ₄ (4.5 dS/m)	18.0 ^{cdef}	28.5 ^{ab}	26.2 ^{abc}	24.2 ^{ab}	120.4	20.4
<i>T</i> ₅ (6.0 dS/m)	9.4 ^f	17.8 ^{cdef}	23.2 ^{bcd}	16.8 ^c	83.6	-16.4
Ortalama	18.3 ^B	19.5 ^B	25.0 ^A			
Oransal değişim (%)	100.0	106.9	136.7			
Oransal Fark (%)	0.0	6.9	36.7			

Büyük harfler sulama seviyeleri arasındaki gruplandırmayı, küçük harfler sulama suyu tuzluluk seviyeleri arasındaki gruplandırmayı, italik harfler ise interaksyon bölgesindeki (*TxS*) gruplandırmayı göstermektedir.

4.2.11. Katalaz, Peroksidaz ve Süperoksit Dismutaz enzim aktiviteleri

Bitkilerde özellikle abiyotik stres şartlarında reaktif oksijen türleri (ROS) meydana gelmekte ve bunlar büyük hasarlara yol açmaktadırlar. Buna bağlı olarak bitkiler bu zararlardan korunmak için bazı enzimleri önemli ölçüde üretmektedir. Bunlardan bazıları katalaz (CAT), peroksidaz (POD) ve süperoksit dismutaz (SOD)' dır. Enzim aktivitelerine ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.29'da verilmiştir. Çizelgeden görüleceği üzere, sulama suyu tuzluluğu (*T*), sulama seviyesi (*S*) ve *TxS* interaksyonu CAT ve SOD enzim aktiviteleri üzerinde istatistiki olarak önemli bulunurken, POD aktivitesi ise sulama suyu tuzluluğundan ve *TxS* interaksyonundan istatistiki olarak etkilenmiştir.

CAT aktivitesine ilişkin sonuçların verildiği Çizelge 4.30 incelendiğinde, sulama suyu tuzluluğu açısından, en yüksek CAT aktivitesi ortalama 8291.1 EU/g TA ile EC 4.5 dS/m olan konularda bulunmuş ve bu uygulama ile EC 6.0 dS/m olan uygulama arasında istatistiki olarak bir fark bulunmamıştır. Genel olarak, sulama suyu tuzluluğu ıspanakta CAT enzim aktivitesinin artmasına neden olmuştur. Farklı sulama seviyeleri arasında, en yüksek CAT aktivitesi ortalama 7893.3 EU/g TA ile *S*₃ sulama seviyesine sahip konularda elde edilmiş ve *S*₃ sulama seviyesi diğer sulama seviyelerinden

istatistiki olarak farklı bir Duncan grubunda yer almıştır. Su stresinin artması ıspanakta CAT enzim aktivitesinin artmasına neden olmuştur. Sulama suyu tuzluluğu ve sulama seviyeleri arasındaki interaksiyonlar ($T \times S$) değerlendirildiğinde, en yüksek CAT aktivitesi 9600 EU/g ile hem tuzluluk hem de sulama seviyesi açısından ciddi bir strese maruz bırakılan T_4S_3 konusunda bulunmuş ve bu konu ile T_3S_3 deneme konusu arasında istatistikî olarak bir fark bulunmamıştır.

Çizelge 4.29. CAT, POD ve SOD aktivitelerine ilişkin varyans analiz sonuçları

Parametre	Varyasyon kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	P
CAT	Sulama suyu tuzluluğu (T)	26077939.6	4	6519484.911	14.314**	.000
	Sulama seviyesi (S)	4265708.9	2	2132854.467	4.683*	.017
	$T \times S$	22404751.2	8	2800593.911	6.149**	.000
	Hata	13663871.3	30	455462.378		
POD	Sulama suyu tuzluluğu (T)	19941523.9	4	4985380.978	6.942**	.000
	Sulama seviyesi (S)	479857.7	2	239928.889	.334 ^{ns}	.719
	$T \times S$	13151971.5	8	1643996.444	2.289*	.048
	Hata	21544960.0	30	718165.333		
SOD	Sulama suyu tuzluluğu (T)	3891497.6	4	972874.424	73.493**	.000
	Sulama seviyesi (S)	109066.9	2	54533.486	4.120*	.026
	$T \times S$	742232.5	8	92779.065	7.009**	.000
	Hata	397129.9	30	13237.665		

** : %1 düzeyinde önemli, * : %5 düzeyinde önemli, ^{ns}: Önemli değil.

Çizelge 4.30. CAT aktivitesine ilişkin ortalama değerler (EU/g TA) ve önemlilik grupları

Sulama suyu tuzluluğu (T)	Sulama seviyesi (S)			Ortalama	Oransal değişim (%)	Oransal Fark (%)
	S_1 (%100)	S_2 (%75)	S_3 (%50)			
T_1 (Kontrol)	5443.3 ^e	6180.3 ^{de}	6460.0 ^{de}	6027.9 ^c	100.0	0.0
T_2 (1.5 dS/m)	7773.3 ^{bc}	8100.0 ^{bc}	6880.0 ^{cd}	7584.4 ^b	125.8	25.8
T_3 (3.0 dS/m)	7960.0 ^{bc}	6086.7 ^{de}	8760.0 ^{ab}	7602.2 ^b	126.1	26.1
T_4 (4.5 dS/m)	6866.7 ^{cd}	8406.7 ^b	9600.0 ^a	8291.1 ^a	137.5	37.5
T_5 (6.0 dS/m)	7920.0 ^{bc}	7733.3 ^{bc}	7766.7 ^{bc}	7806.7 ^{ab}	129.5	29.5
Ortalama	7192.7 ^B	7301.4 ^B	7893.3 ^A			
Oransal değişim (%)	100.0	101.5	109.7			
Oransal Fark (%)	0.0	1.5	9.7			

Büyük harfler sulama seviyeleri arasındaki gruplandırmayı, küçük harfler sulama suyu tuzluluk seviyeleri arasındaki gruplandırmayı, italik harfler ise interaksiyon bölgesindeki ($T \times S$) gruplandırmayı göstermektedir.

POD aktivitesine ilişkin sonuçlarının verildiği Çizelge 4.31 incelendiğinde, sulama suyu tuzluluğu açısından, en yüksek POD aktivitesi ortalama 3450.7 EU/g TA ile EC 3.0 dS/m olan konularda bulunmuş ve bu uygulama ile T_2 (1.5 dS/m) uygulaması arasında istatistiki olarak önemli bir fark bulunmamıştır. POD enzim aktivitesi kontrole göre T_2 ve T_3 tuzluluk uygulamalarında yüksek bulunmuş, buna karşın T_4 ve T_5 sulama

suyu tuzluluk uygulamalarında ise kontrolden daha düşük POD aktivitesi elde edilmiştir. Bu sonuçlar ıspanakta 3.0 dS/m sulama suyu tuzluluğuna kadar bitkiyi stresten korumak için ROS sinyallesinin sağlandığını ancak bu noktadan sonra POD açısından antioksidan enzim aktivitelerinde bir azalışın olduğunu göstermektedir. Farklı sulama seviyeleri arasında, en yüksek POD aktivitesi ortalama 2918.4 EU/g TA ile kontrol grubu bitkilerde elde edilmiş olup, farklı sulama seviyeleri arasında POD aktivitesi açısından istatistiki olarak bir fark bulunmamıştır.

SOD aktivitesine ilişkin sonuçların verildiği Çizelge 4.32 incelendiğinde, sulama suyu tuzluluğu açısından, en yüksek SOD aktivitesi ortalama 1925.2 EU/g TA ile EC 1.5 dS/m olan konularda bulunmuş ve bu uygulama ile T₃ (3.0 dS/m) uygulaması arasında istatistiki olarak önemli bir fark bulunmamıştır. POD enzim aktivitesinde olduğu gibi, SOD enzim aktivitesi de kontrole göre T₂ ve T₃ tuzluluk uygulamalarında yüksek bulunmuş, buna karşın T₄ ve T₅ sulama suyu tuzluluk uygulamalarında ise kontrolden daha düşük SOD aktivitesi elde edilmiştir. Bu sonuçlar ıspanakta 3.0 dS/m sulama suyu tuzluluğuna kadar bitkiyi stresten korumak için süperoksitin H₂O₂ ve O₂ 'ye dönüşümünü katalizleyerek savunma sisteminde önemli rol oynadığını ancak bu noktadan sonra SOD açısından antioksidan enzim aktivitelerinde bir azalışın olduğunu göstermektedir. Farklı sulama seviyeleri arasında, en yüksek SOD aktivitesi ortalama 1620 EU/g TA ile S₂ sulama seviyesine sahip konularda elde edilmiş olup, S₁ ve S₂ sulama seviyeleri arasında istatistiki olarak bir fark bulunmamıştır. Sulama suyu tuzluluğu ve sulama seviyeleri arasındaki etkileşimler (T x S) değerlendirildiğinde, en yüksek SOD aktivitesi T₃S₂ deneme konusundan elde edilmiştir.

Çizelge 4.31. POD aktivitesine ilişkin ortalama değerler (EU/g TA) ve önemlilik grupları

Sulama suyu tuzluluğu (T)	Sulama seviyesi (S)			Ortalama	Oransal değişim (%)	Oransal Fark (%)
	S ₁ (%100)	S ₂ (%75)	S ₃ (%50)			
T ₁ (Kontrol)	3168.0 ^{abc}	2752.0 ^{abcd}	3232.0 ^{abc}	3050.7 ^{ab}	100.0	0.0
T ₂ (1.5 dS/m)	3221.3 ^{abc}	3269.3 ^{abc}	3850.7 ^a	3447.1 ^a	113.0	13.0
T ₃ (3.0 dS/m)	3626.7 ^{ab}	4090.7 ^a	2634.7 ^{abcd}	3450.7 ^a	113.1	13.1
T ₄ (4.5 dS/m)	2773.3 ^{abcd}	869.3 ^e	1552.0 ^{de}	1731.6 ^c	56.8	-43.2
T ₅ (6.0 dS/m)	1802.7 ^{cde}	3264.0 ^{abc}	2096.0 ^{bcde}	2387.6 ^{bc}	78.3	-21.7
Ortalama	2918.4	2849.1	2673.1			
Oransal değişim (%)	100.0	97.6	91.6			
Oransal Fark (%)	0.0	-2.4	-8.4			

Büyük harfler sulama seviyeleri arasındaki gruplandırmayı, küçük harfler sulama suyu tuzluluk seviyeleri arasındaki gruplandırmayı, italik harfler ise etkileşim bölgesindeki (T x S) gruplandırmayı göstermektedir.

Çizelge 4.32. SOD aktivitesine ilişkin ortalama değerler (EU/g TA) ve önemlilik grupları

Sulama suyu tuzluluğu (T)	Sulama seviyesi (S)			Ortalama	Oransal değişim (%)	Oransal Fark (%)
	S ₁ (%100)	S ₂ (%75)	S ₃ (%50)			
T ₁ (Kontrol)	1445.4 ^{def}	1515.7 ^{de}	1755.3 ^c	1572.1 ^b	100.0	0.0
T ₂ (1.5 dS/m)	2009.5 ^{ab}	1852.9 ^{bc}	1913.1 ^{bc}	1925.2 ^a	122.5	22.5
T ₃ (3.0 dS/m)	1947.5 ^{bc}	2154.0 ^a	1541.5 ^d	1881.0 ^a	119.6	19.6
T ₄ (4.5 dS/m)	1275.5 ^{fg}	1262.8 ^{fg}	1174.8 ^g	1237.7 ^c	78.7	-21.3
T ₅ (6.0 dS/m)	1305.8 ^{fg}	1314.6 ^{efg}	1144.7 ^g	1255.1 ^c	79.8	-20.2
Ortalama	1596.7 ^A	1620.0 ^A	1505.9 ^B			
Oransal değişim (%)	100.0	101.5	94.3			
Oransal Fark (%)	0.0	1.5	-5.7			

Büyük harfler sulama seviyeleri arasındaki gruplandırmayı, küçük harfler sulama suyu tuzluluk seviyeleri arasındaki gruplandırmayı, italik harfler ise interaksiyon bölgesindeki (TxS) gruplandırmayı göstermektedir.

Antioksidan enzimler bitkilerin strese karşı tepkilerinin belirlenmesinde önemli bir görev üstlenmektedirler (Chen ve ark., 2017). Bitkiler oksidatif stres altında yaşamlarını devam ettirebilmek ve stresle başa çıkabilmek için ROS'un kontrolünü sağlayan ve zararlı etkisinin üstesinden gelmek için hem enzimatik hem de enzimatik olmayan bileşenlerden oluşan antioksidan savunma sistemlerine sahiptir (Reddy ve ark., 2004). Bitkilerin en önemli ROS süpürücü mekanizmaları süperoksitdismutaz (SOD), peroksidaz (POD) ve katalaz'ı (CAT) içerir. Hücrelerde SOD, POD ve CAT arasındaki düzenleme stres koşullarında bitki hücrelerinde zararlanmalara yol açan süperoksit radikali ve H₂O₂'in denge düzeyini belirlemede önemlidir. SOD, süperoksitin H₂O₂ ve O₂ 'ye dönüşümünü katalizleyerek savunma sisteminde, POD, ROS sinyallemede anahtar bir rol oynarken; CAT stres süresince ROS'ların temizlenmesinden sorumludur (Mittler, 2002; Demiral, 2003; Kalefetoğlu ve Ekmekci, 2005). Mevcut çalışmadan elde edilen sonuçlar, ıspanakta abiyotik stres koşullarında CAT, POD ve SOD enzimlerinin önemli bir rol oynadığını göstermektedir.

4.2.12. Lipid peroksidasyon konsantrasyonu

Yaprak dokularında lipid peroksidasyonu malondialdehide (MDA)'ye ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.33'te, ortalama değerler ve Duncan testi sonuçlarına göre konular arasındaki farklılıkları gösteren önemlilik grupları ise Çizelge 4.34'te verilmiştir. Çizelge 4.33 incelendiğinde, sulama suyu tuzluluğu (T), sulama seviyesi (S) ve bunlar arasındaki interaksiyon (TXS) istatistiki olarak önemli (P<0.01) bulunmuştur.

Çizelge 4.34'den izleneceği gibi, sulama suyu tuzluluğu açısından, en yüksek MDA içeriği ortalama 3.59 nmol/ml ile T₅ (6.0 dS/m) konularında bulunmuş ve bu uygulama ile T₄ uygulaması arasında istatistiki olarak bir fark bulunmamıştır. Genel olarak, sulama suyu tuzluluğu arttıkça ıspanakta MDA değerleri de artmıştır. Farklı sulama seviyeleri arasında, en yüksek MDA içeriği ortalama 3.54 nmol/ml ile %50 su stresi uygulanan S₃ sulama seviyesine sahip konularda elde edilmiş olup, su stresi uygulanan S₃ ve S₂ sulama seviyeleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır. Sulama suyu tuzluluğu ve sulama seviyeleri arasındaki etkileşimler (T x S) değerlendirildiğinde, en yüksek MDA içeriği 3.65 nmol/ml ile hem tuzluluk hem de su stresi açısından en fazla abiyotik strese maruz bırakılan T₅S₃ deneme konusunda elde edilmiştir (Çizelge 4.34).

Çizelge 4.33. MDA konsantrasyonlarına ilişkin varyans analiz sonuçları

Varyasyon kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	P
Sulama suyu tuzluluğu (T)	.178	4	.044	12.179**	.000
Sulama seviyesi (S)	.048	2	.024	6.624**	.004
T X S	.106	8	.013	3.634**	.005
Hata	.109	30	.004		

** : %1 düzeyinde önemli, * : %5 düzeyinde önemli, ns: Önemsiz.

Çizelge 4.34. MDA konsantrasyonlarına ilişkin ortalama değerler (nmol/ml) ve önemlilik grupları

Sulama suyu tuzluluğu (T)	Sulama seviyesi (S)			Ortalama	Oransal değişim (%)	Oransal Fark (%)
	S ₁ (%100)	S ₂ (%75)	S ₃ (%50)			
T ₁ (Kontrol)	3.30 ^f	3.48 ^{bcd}	3.52 ^{bcd}	3.43 ^b	100.0	0.0
T ₂ (1.5 dS/m)	3.48 ^{bcd}	3.45 ^{cde}	3.44 ^{de}	3.46 ^b	100.7	0.7
T ₃ (3.0 dS/m)	3.40 ^{ef}	3.48 ^{bcd}	3.57 ^{ab}	3.48 ^b	101.6	1.6
T ₄ (4.5 dS/m)	3.59 ^{ab}	3.56 ^{abc}	3.54 ^{bcd}	3.56 ^a	103.9	3.9
T ₅ (6.0 dS/m)	3.56 ^{abc}	3.57 ^{ab}	3.65 ^a	3.59 ^a	104.8	4.8
Ortalama	3.46 ^B	3.51 ^A	3.54 ^A			
Oransal değişim (%)	100.0	101.3	102.3			
Oransal Fark (%)	0.0	1.3	2.3			

Büyük harfler sulama seviyeleri arasındaki gruplandırmayı, küçük harfler sulama suyu tuzluluk seviyeleri arasındaki gruplandırmayı, italik harfler ise etkileşim bölgesindeki (T x S) gruplandırmayı göstermektedir.

4.2.13. Hidrojenperoksit konsantrasyonu

Hidrojenperoksit (H₂O₂) konsantrasyonlarına ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.35' te, ortalama değerler ve Duncan testi sonuçlarına göre konular arasındaki

farklılıkları gösteren önemlilik grupları ise Çizelge 4.36'da verilmiştir. Çizelge 4.35 incelendiğinde, sulama suyu tuzluluğu (T) %1 düzeyinde önemli bulunurken, sulama seviyesi (S) ve $T \times S$ interaksyonu istatistiki olarak önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 4.36'dan izleneceği gibi, sulama suyu tuzluluğu açısından yapılan değerlendirmede, en yüksek H_2O_2 konsantrasyonu ortalama $0.72 \mu\text{mol/g}$ TA ile EC 1.5 dS/m olan uygulamada bulunmuş ve diğer uygulamalardan istatistiki olarak ayrılmıştır. Farklı sulama seviyeleri arasında, en yüksek H_2O_2 konsantrasyonu ortalama $0.67 \mu\text{mol/g}$ TA ile S_2 sulama seviyelerinde elde edilmiş, ancak sulama seviyeleri arasında H_2O_2 konsantrasyonu açısından önemli bir fark bulunmamıştır. Yüksek miktarda H_2O_2 içeriği oksidatif stresin ve dolayısıyla da ROS oluşumuna neden olan bir bileşiktir (Cruz ve ark., 2013). Bulgularımızın aksine bazı araştırmacılar marulda (Basahi ve ark., 2014) ve ıspanakta (Jabeen ve ark., 2019) kuraklık stresinin H_2O_2 konsantrasyonunu artırdığını bildirmişlerdir.

Çizelge 4.35. H_2O_2 konsantrasyonlarına ilişkin varyans analiz sonuçları

Varyasyon kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	P
Sulama suyu tuzluluğu (T)	.077	4	.019	4.223**	.008
Sulama seviyesi (S)	.021	2	.011	2.348 ^{ns}	.113
$T \times S$	.065	8	.008	1.803 ^{ns}	.116
Hata	.136	30	.005		

** : %1 düzeyinde önemli, * : %5 düzeyinde önemli, ^{ns}: Önemsiz.

Çizelge 4.36. H_2O_2 konsantrasyonlarına ilişkin ortalama değerler ($\mu\text{mol/g}$ TA) ve önemlilik grupları

Sulama suyu tuzluluğu (T)	Sulama seviyesi (S)			Ortalama	Oransal değişim (%)	Oransal Fark (%)
	S_1 (%100)	S_2 (%75)	S_3 (%50)			
T_1 (Kontrol)	0.63	0.67	0.56	0.62 ^b	100.0	0.0
T_2 (1.5 dS/m)	0.64	0.73	0.78	0.72 ^a	115.2	15.2
T_3 (3.0 dS/m)	0.65	0.59	0.56	0.60 ^b	96.6	-3.4
T_4 (4.5 dS/m)	0.59	0.68	0.59	0.62 ^b	99.8	-0.2
T_5 (6.0 dS/m)	0.58	0.66	0.63	0.62 ^b	100.1	0.1
Ortalama	0.62	0.67	0.62			
Oransal değişim (%)	100.0	107.8	100.7			
Oransal Fark (%)	0.0	7.8	0.7			

Büyük harfler sulama seviyeleri arasındaki gruplandırmayı, küçük harfler sulama suyu tuzluluk seviyeleri arasındaki gruplandırmayı, italik harfler ise interaksyon bölgesindeki ($T \times S$) gruplandırmayı göstermektedir.

4.2.14. Yaprak mineral madde içeriği

4.2.14.1. Yaprakta azot, fosfor, kükürt, kalsiyum, potasyum, magnezyum ve sodyum içerikleri

Kuru yaprak örneklerinden analizler sonucu elde edilen azot (N), fosfor (P), kükürt (S), kalsiyum (Ca), potasyum (K), magnezyum (Mg) ve sodyum (Na) değerlerine ilişkin ortalama değerler ve Duncan testi sonuçlarına göre konular arasındaki farklılıkları gösteren önemlilik grupları Çizelge 4.37'de verilmiştir.

İspanak yapraklarında incelenen ve çoğunluğunu makro besin elementlerinin oluşturduğu sonuçlar incelendiğinde (Çizelge 4.37), sulama suyu tuzluluğu azot, fosfor, kükürt, potasyum, magnezyum ve sodyum değerleri üzerinde, sulama seviyesi ise azot, fosfor, kalsiyum, potasyum ve sodyum sonuçları üzerinde istatistiki olarak önemli bir etki yapmıştır. Buna karşın $T \times S$ interaksyonu ise kükürt ve potasyum değerlerini istatistiki olarak etkilemiştir.

Sulama suyu tuzluluğunun yapraktaki azot (N) içeriğine etkisi değerlendirildiğinde, en yüksek azot içeriği ortalama %4.68 ile kontrol bitkilerinde bulunmuş ve sulama suyu tuzluluğuna bağlı olarak yaprakta bulunan azot içeriği %3.6 ile %12.5 arasında azalmıştır. Farklı sulama seviyeleri arasında, en yüksek azot miktarı ortalama %4.68 ile kısıtlı sulama yapılan S_3 sulama seviyesinde bulunmuş ve S_3 sulama seviyesi istatistiki olarak farklı bir Duncan grubunda yer almıştır. Genel olarak, sulama suyu kısıt oranı arttıkça ıspanak yapraklarında bulunan azot muhtevası da artmıştır (Çizelge 4.37).

Sulama suyu tuzluluğunun yapraktaki fosfor (P) içeriğine etkisi değerlendirildiğinde, en yüksek fosfor içeriği ortalama 4470 mg/kg ile T_5 uygulamasında bulunmuş ve T_1 , T_4 ve T_5 sulama suyu tuzluluk uygulamaları arasında yaprakta bulunan fosfor miktarı açısından istatistiki olarak bir fark bulunmamıştır. Farklı sulama seviyeleri arasında, en yüksek fosfor miktarı ortalama 4588 mg/kg ile S_3 sulama seviyesinde bulunmuş ve bu uygulama diğer sulama seviyelerinden istatistiki olarak ayrılmıştır. Diğer yandan tam sulamanın yapıldığı S_1 sulama seviyesi ile %25 su kısıtı uygulanan S_2 sulama seviyesi arasında fosfor açısından önemli bir fark bulunmamıştır (Çizelge 4.37). Buna karşın, orta derecede su stresi uygulanan S_3 sulama seviyesinde yapraktaki fosfor içeriği S_1 sulama seviyesine göre %16.9 oranında artmıştır.

Sulama suyu tuzluluğunun yapraktaki kükürt (S) içeriğine etkisi değerlendirildiğinde, en yüksek kükürt içeriği ortalama 4615 mg/kg ile kontrol bitkilerinde bulunmuş ve bu uygulama diğer konulardan istatistiki olarak ayrılmıştır. Sulama suyu tuzluluğuna bağlı olarak yaprakta bulunan kükürt içeriği kontrole göre %17.3 ile %22.2 arasında azalmış, en düşük kükürt içeriği ise T_4 uygulamasında bulunmuştur. Farklı sulama seviyeleri arasında, en yüksek kükürt miktarı ortalama 3997 mg/kg ile tam sulama yapılan S_1 sulama seviyesine sahip konularda bulunmuş, ancak sulama seviyeleri arasında yapraktaki kükürt miktarları fazla bir değişim göstermemiştir (Çizelge 4.37). Sulama suyu tuzluluğu ile sulama seviyesi arasındaki interaksiyon değerlendirildiğinde, en yüksek kükürt içeriği 5092 mg/kg ile T_1S_1 konusunda bulunmuş ve bu konu ile T_1S_1 konusu arasında istatistiki olarak bir fark bulunmamıştır.

Sulama suyu tuzluluğunun yapraktaki kalsiyum (Ca) içeriğine etkisi değerlendirildiğinde, en yüksek kalsiyum içeriği ortalama 6925 mg/kg ile kontrol grubunda bulunmuştur. Kontrol uygulamasına (T_1) göre sulama suyu tuzluluğuna bağlı olarak yaprakta bulunan kalsiyum içeriği %5.2 ile %13.1 arasında değişen oranlarda bir azalış olmuş, ancak bu farklılıklar istatistiki olarak önemli bulunmamıştır. Başka bir deyişle, farklı sulama suyu tuz konsantrasyonları ıspanak yapraklarındaki kalsiyum içeriğine önemli bir etki yapmamıştır. Farklı sulama seviyeleri arasında, en yüksek kalsiyum miktarı ortalama 7402 mg/kg ile S_1 sulama seviyesinde bulunmuş ve bu sonuç S_1 sulama seviyesini kısıtlı sulama yapılan S_2 ve S_3 sulama seviyelerinden istatistiki olarak ayırmıştır (Çizelge 4.37). Kısıtlı sulama koşullarında ıspanak yapraklarındaki kalsiyum miktarı yaklaşık %20'lik bir azalış göstermiştir.

Sulama suyu tuzluluğunun yapraktaki potasyum (K) içeriğine etkisi değerlendirildiğinde, en yüksek potasyum içeriği ortalama 80746 mg/kg ile kontrol uygulamasında (T_1) bulunmuş ve bu sonuç kontrol grubu bitkilerinin ıspanak yapraklarında bulunan potasyum içeriği açısından farklı bir Duncan grubunda yer almasını sağlamıştır. Farklı sulama seviyeleri arasında, en yüksek potasyum miktarı ortalama 75421 mg/kg ile S_3 sulama seviyesinde bulunmuş ve bu uygulama ile S_2 sulama seviyesi uygulaması istatistiksel olarak aynı grupta yer almıştır. Başka bir deyişle, kısıtlı sulama uygulaması ıspanaktaki potasyum miktarını tam sulamaya göre yaklaşık %10 oranında arttırmıştır. Sulama suyu tuzluluğu ile sulama seviyesi arasındaki interaksiyon değerlendirildiğinde, en yüksek potasyum içeriği 83416 mg/kg ile T_1S_1 konusunda bulunmuş ve bu konu ile T_1S_2 , T_1S_3 , T_2S_2 , T_3S_2 ve T_4S_3 deneme konuları arasında istatistiki olarak bir fark bulunmamıştır. (Çizelge 4.37).

Çizelge 4.37. Azot (N), fosfor (P), kükürt (S), kalsiyum (Ca), potasyum (K), magnezyum (Mg) ve sodyum (Na) değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları

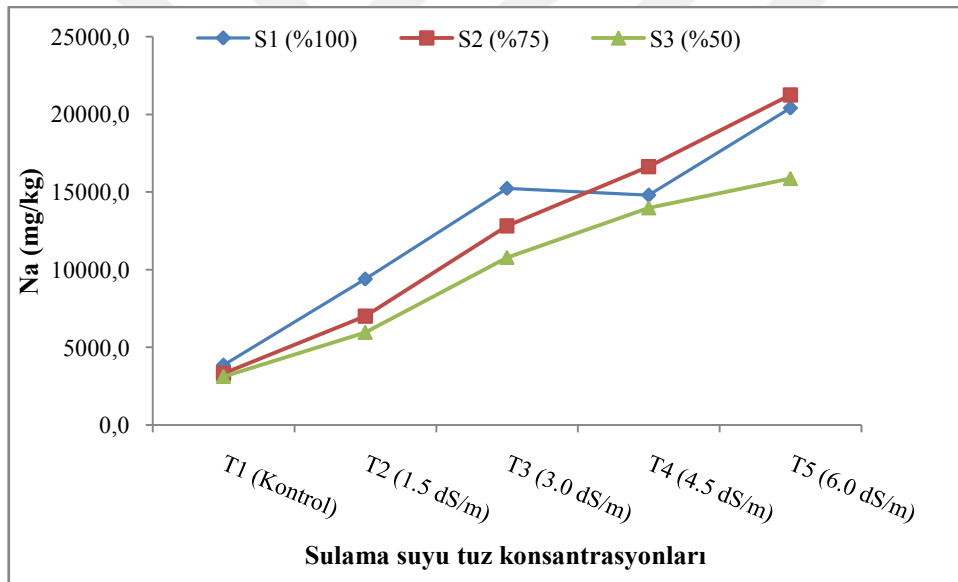
Konular	N (%)	P (mg/kg)	S (mg/kg)	Ca (mg/kg)	K (mg/kg)	Mg (mg/kg)	Na (mg/kg)
<u>Sulama suyu tuz. (T)</u>							
T ₁	4.68 ^a	4324 ^{ab}	4615 ^a	6925	80746 ^a	9303 ^a	3440 ^e
T ₂	4.51 ^{ab}	3894 ^b	3819 ^b	6512	76290 ^b	8065 ^b	7464 ^d
T ₃	4.28 ^{bc}	3896 ^b	3698 ^b	6196	75035 ^b	7724 ^b	12949 ^c
T ₄	4.10 ^c	4093 ^{ab}	3590 ^b	6015	67121 ^c	7743 ^b	15139 ^b
T ₅	4.42 ^{abc}	4470 ^a	3785 ^b	6568	63108 ^d	8296 ^b	19176 ^a
<u>Sulama seviyesi (S)</u>							
S ₁	4.06 ^B	3925 ^B	3997	7402 ^A	68560 ^B	8186	12742 ^A
S ₂	4.45 ^A	3893 ^B	3935	5959 ^B	73399 ^A	8001	12211 ^A
S ₃	4.68 ^A	4588 ^A	3773	5968 ^B	75421 ^A	8492	9947 ^B
<u>İnteraksiyon (TxS)</u>							
T ₁ S ₁	4.14	3805	4627 ^{ab}	7491	83416 ^a	8447	3864
T ₁ S ₂	4.89	4469	5092 ^a	6988	81966 ^{ab}	9824	3329
T ₁ S ₃	5.01	4698	4128 ^{bc}	6296	76856 ^{abc}	9639	3127
T ₂ S ₁	4.52	3913	4213 ^{bc}	8485	72001 ^c	8621	9405
T ₂ S ₂	4.26	3457	3874 ^{cd}	5539	81336 ^{ab}	7656	7020
T ₂ S ₃	4.75	4312	3370 ^d	5513	75534 ^{bc}	7919	5968
T ₃ S ₁	4.02	3797	3829 ^{cd}	7059	74057 ^c	7757	15232
T ₃ S ₂	4.38	3571	3674 ^{cd}	5605	77893 ^{abc}	7494	12824
T ₃ S ₃	4.45	4319	3592 ^{cd}	5924	73154 ^c	7921	10791
T ₄ S ₁	3.61	4128	3549 ^{cd}	6373	59618 ^{de}	7063	14804
T ₄ S ₂	4.25	3414	3393 ^d	5659	62991 ^d	7540	16631
T ₄ S ₃	4.42	4736	3829 ^{cd}	6014	78754 ^{abc}	8627	13981
T ₅ S ₁	4.02	3980	3766 ^{cd}	7604	53707 ^e	9041	20406
T ₅ S ₂	4.46	4554	3643 ^{cd}	6005	62810 ^d	7490	21251
T ₅ S ₃	4.77	4876	3946 ^{cd}	6095	72807 ^c	8355	15871
<u>Önem düzeyi</u>							
Sulama suyu tuz (T)	*	*	**	ns	**	*	**
Sulama seviyesi (S)	**	**	ns	**	**	ns	**
TxS interaksiyonu	ns	ns	*	ns	**	ns	ns

Büyük harfler sulama seviyeleri arasındaki gruplandırmayı, küçük harfler sulama suyu tuzluluk seviyeleri arasındaki gruplandırmayı, italik harfler ise interaksiyon bölgesindeki (TxS) gruplandırmayı göstermektedir.

Sulama suyu tuzluluğunun yapraktaki magnezyum (Mg) içeriğine etkisi değerlendirildiğinde, en yüksek magnezyum içeriği ortalama 9303 mg/kg ile kontrol uygulamasında bulunmuş ve bu sonuç kontrol grubu bitkilerini diğer uygulamalardan istatistiki olarak ayırmıştır. Kontrol uygulamasına (T₁) göre, sulama suyu tuzluluğuna bağlı olarak, yaprakta bulunan magnezyum içeriğinde %10.8 ile %17.0 arasında değişen oranlarda azalışlar olmuştur. Farklı sulama seviyeleri arasında, en yüksek magnezyum miktarı ortalama 8492 mg/kg ile S₃ sulama seviyesinde bulunmuş, ancak sulama

seviyeleri arasında yapraktaki magnezyum miktarları fazla bir değişim göstermemiştir (Çizelge 4.37).

Sulama suyu tuzluluğunun yapraktaki sodyum (Na) içeriğine etkisi değerlendirildiğinde, en yüksek sodyum içeriği ortalama 19176 mg/kg ile en fazla tuz konsantrasyonuna sahip T₅ uygulamasında bulunmuş ve bu uygulama diğer uygulamalardan istatistiki olarak ayrılmıştır. Sulama suyu tuzluluk oranı arttıkça yaprakta biriken sodyum miktarlarında önemli oranlarda artışlar olmuş ve kontrol uygulamasına göre en fazla artış %457 ile en fazla tuz stresine (T₅ uygulaması) maruz bırakılan bitkilerde hesaplanmıştır. Farklı sulama seviyeleri arasında, en yüksek sodyum miktarı ortalama 12742 mg/kg ile S₁ sulama seviyesinde bulunmuş ve bu uygulama ile S₂ sulama seviyesi arasında istatistiksel bir fark bulunmamış, ancak S₃ sulama seviyesi uygulamasında sodyum içeriği yaklaşık %22 oranında azalmıştır.



Şekil 4.5. Deneme konularına göre ıspanak yapraklarındaki sodyum miktarları

Denemede farklı sulama suyu tuz konsantrasyonları oluşturmak için kullanılan tuz çeşidinin sodyum içeren (NaCl) bir tuz olması nedeniyle, yapraklarda önemli oranda sodyum birikimi olmuştur. Bu nedenle, farklı sulama suyu tuzluluğu ve farklı sulama seviyelerinin ıspanak yapraklarındaki sodyum içeriğine etkisini birlikte değerlendirmek amacıyla bir grafik hazırlanmıştır (Şekil 4.5). Şekilden görüleceği üzere, tam sulanan (S₁) deneme konularında, yapraktaki sodyum miktarı, kontrolden başlayarak T₃ (3.0 dS/m) uygulamasına kadar doğrusal bir şekilde artmış, bu noktadan sonra kısmen bir miktar azalmış (T₄) ve daha sonra tekrar yapraktaki sodyum içeriği artmıştır (T₅). Diğer

yandan S_2 (%25 su kısıtı) sulama seviyesi dikkate alındığında, yapraktaki sodyum miktarı kontrolden itibaren T_5 uygulamasına kadar düzenli bir şekilde (doğrusal) artırmıştır. Benzer şekilde orta derecede su stresi uygulanan S_3 sulama seviyesinde de, S_2 sulama seviyesinde olduğu gibi, artan sulama suyu tuzluluğu yaprakta biriken sodyum muhtevasını artırmış, ancak bu artış eğrisi doğrusaldan ziyade parabole yakın bir eğilim izlemiştir.

4.2.14.2. Yaprakta mangan, çinko, demir, bor, bakır ve kurşun içerikleri

Kuru yaprak örneklerinden elde edilen mangan (Mn), çinko (Zn), demir (Fe), bor (B), bakır (Cu) ve kurşun (Pb) değerlerine ilişkin ortalama değerler ve Duncan testi sonuçlarına göre konular arasındaki farklılıkları gösteren önemlilik grupları Çizelge 4.38' de verilmiştir.

Çizelge 4.38 incelendiğinde, sulama suyu tuzluluğu demir, bor ve bakır değerleri üzerinde istatistiki olarak önemli bir etki yaparken, sulama seviyesi çinko demir ve bor değerlerini istatistiki olarak etkilemiştir. $T \times S$ interaksyonu ise mangan, çinko, demir, bor ve bakır değerleri üzerinde istatistiksel olarak önemli bir etki yapmıştır.

Sulama suyu tuzluluğunun yapraktaki mangan (Mn) içeriğine etkisi değerlendirildiğinde, en yüksek mangan içeriği ortalama 59.8 mg/kg ile kontrol uygulamasında (T_1) bulunmuştur. Kontrol uygulamasına göre, sulama suyu tuzluluğuna bağlı olarak, yaprakta bulunan mangan içeriğinde %4.6 ile %13.1 arasında değişen oranlarda azalışlar olmuş, ancak bu farklılıklar istatistiki olarak önemli bulunmamıştır. Farklı sulama seviyeleri arasında, en yüksek mangan miktarı ortalama 58.9 mg/kg ile S_1 sulama seviyesinde bulunmuş, ancak sulama suyu tuzluluğunda olduğu gibi, sulama seviyeleri arasında da yapraktaki mangan miktarları fazla bir değişim göstermemiştir (Çizelge 4.38). Sulama suyu tuzluluğu ile sulama seviyesi arasındaki interaksyon değerlendirildiğinde, en yüksek mangan içeriği 69.1 mg/kg ile T_4S_1 konusunda bulunmuştur.

Sulama suyu tuzluluğunun yapraktaki çinko (Zn) içeriğine etkisi değerlendirildiğinde, en yüksek çinko içeriği ortalama 61.1 mg/kg ile kontrol uygulamasında bulunmuştur. Kontrol uygulamasına (T_1) göre, sulama suyu tuzluluğuna bağlı olarak, yaprakta bulunan çinko içeriğinde %3.8 ile %14.1 arasında değişen oranlarda azalışlar olmuş, ancak bu farklılıklar istatistiki olarak önemli bulunmamıştır. Farklı sulama seviyeleri arasında, en yüksek çinko miktarı ortalama 66.5 mg/kg ile S_3

sulama seviyesinde bulunmuş ve bu uygulama diğer sulama seviyelerinden istatistiki olarak ayrılmıştır. Tam sulama yapılan S_1 sulama seviyesine göre %50 su kısıtı uygulanan S_3 sulama seviyesinde yaprakta bulunan çinko içeriğinde yaklaşık %30'luk bir artış hesaplanmıştır (Çizelge 4.38). Sulama suyu tuzluluğu ile sulama seviyesi arasındaki interaksiyon değerlendirildiğinde, en yüksek çinko içeriği 77.1 mg/kg ile hem tuzluluk hem de sulama seviyesi açısından en fazla strese maruz bırakılan T_5S_3 deneme konusunda bulunmuş ve bu konu ile T_1S_2 , T_1S_3 , T_2S_3 ve T_4S_3 konuları arasında istatistiki olarak bir fark bulunmamıştır.

Sulama suyu tuzluluğunun yapraktaki demir (Fe) içeriğine etkisi değerlendirildiğinde, en yüksek demir içeriği ortalama 305.8 ile EC 6.0 dS/m olan T_5 uygulamasında bulunmuş ve bu uygulama diğerlerinden istatistiki olarak ayrılmıştır. Diğer yandan, kontrol uygulamasına göre T_5 (6.0 dS/m) uygulamasında yaprakta bulunan demir miktarı önemli oranda artmıştır (+%448). Bu sonuç, ıspanağın 6.0 dS/m tuz içeriğine sahip sulama suyu ile sulanmasında yapraktaki demir içeriğinde önemli artışların olacağını göstermektedir. Farklı sulama seviyeleri arasında, en yüksek demir miktarı ortalama 143.3 mg/kg ile S_3 sulama seviyesinde bulunmuş ve bu uygulama diğer sulama seviyelerinde istatistiki olarak ayrılmıştır. Ispanakta %50 su kısıtı uygulaması yapraktaki demir içeriğini yaklaşık %35 artırmıştır. Sulama suyu tuzluluğu ve sulama seviyeleri arasındaki interaksiyonlar ($T \times S$) değerlendirildiğinde, en yüksek demir içeriği 327.9 mg/kg ile T_5S_1 konusunda elde edilmiş ve bu konu ile T_5S_3 konusu arasında %5 önem seviyesinde istatistiki olarak bir fark bulunmamıştır (Çizelge 4.38).

Sulama suyu tuzluluğunun yapraktaki bor (B) içeriğine etkisi değerlendirildiğinde, en yüksek bor içeriği ortalama 44.8 mg/kg ile kontrol bitkilerinde bulunmuş ve sulama suyu tuzluluğuna bağlı olarak yaprakta bulunan bor içeriği %11.6 ile %20.6 arasında azalmış ve bu sonuç kontrol grubunun istatistiki olarak farklı bir Duncan grubunda yer almasını sağlamıştır. Farklı sulama seviyeleri arasında, en yüksek bor miktarı ortalama 41.3 mg/kg ile S_1 sulama seviyesinde bulunmuş ve bu uygulama kısıtlı sulama yapılan S_2 ve S_3 sulama seviyelerinden istatistiki olarak ayrılmıştır. Sulama suyu tuzluluğu ile sulama seviyesi arasındaki interaksiyon değerlendirildiğinde, en yüksek bor içeriği 45.3 mg/kg ile T_2S_1 konusunda bulunmuştur (Çizelge 4.38).

Sulama suyu tuzluluğunun yapraktaki bakır (Cu) içeriğine etkisi değerlendirildiğinde, en yüksek bakır içeriği ortalama 14.6 mg/kg ile kontrol (T_1) uygulamasında bulunmuştur. Kontrol uygulamasına (T_1) göre, sulama suyu tuzluluğuna bağlı olarak, yaprakta bulunan bakır içeriğinde %27.6 ile %31.0 arasında değişen

oranlarda azalışlar olmuştur. Farklı sulama seviyeleri arasında, en yüksek bakır miktarı ortalama 11.3 mg/kg ile S₁ sulama seviyesinde bulunmuş, ancak sulama seviyeleri arasında yapraktaki bakır miktarları fazla bir değişim göstermemiştir (Çizelge 4.38). Sulama suyu tuzluluğu ile sulama seviyesi arasındaki interaksyon değerlendirildiğinde, en yüksek bakır içeriği 18.1 mg/kg ile T₁S₁ konusunda bulunmuş ve bu konu diğer deneme konularından istatistiki olarak ayrılmıştır.

Çizelge 4.38. Mangan (Mn), çinko (Zn), demir (Fe), bor (B), bakır (Cu) ve kurşun (Pb) değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları

Konular	Mn (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	B (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Pb (mg/kg)
<u>Sulama suyu tuz. (T)</u>						
T ₁	59.8	61.1	55.9 ^c	44.8 ^a	14.6 ^a	3.5
T ₂	56.1	55.3	52.6 ^c	39.6 ^b	10.0 ^b	7.1
T ₃	52.0	52.5	47.9 ^c	35.5 ^d	10.1 ^b	8.0
T ₄	57.0	55.1	113.3 ^b	36.1 ^{cd}	10.5 ^b	5.9
T ₅	59.5	58.7	305.8 ^a	38.7 ^{bc}	10.5 ^b	7.5
<u>Sulama seviyesi (S)</u>						
S ₁	58.9	51.5 ^B	105.5 ^B	41.3 ^A	11.3	7.4
S ₂	55.7	51.5 ^B	96.4 ^B	36.9 ^B	10.8	4.7
S ₃	56.0	66.5 ^A	143.3 ^A	38.6 ^B	11.3	7.1
<u>İnteraksiyon (TxS)</u>						
T ₁ S ₁	50.4 ^{bc}	54.0 ^{cdef}	51.4 ^d	45.2 ^a	18.1 ^a	0.0
T ₁ S ₂	67.0 ^{ab}	65.9 ^{abc}	57.8 ^d	45.0 ^a	14.0 ^b	1.9
T ₁ S ₃	61.9 ^{ab}	63.2 ^{abcd}	58.3 ^d	44.1 ^{ab}	11.5 ^{cd}	8.6
T ₂ S ₁	54.5 ^{abc}	50.6 ^{def}	59.9 ^d	45.3 ^a	9.9 ^d	3.3
T ₂ S ₂	54.7 ^{abc}	51.8 ^{cdef}	44.9 ^d	35.8 ^{de}	9.5 ^d	10.8
T ₂ S ₃	59.2 ^{abc}	63.5 ^{abcd}	53.0 ^d	37.6 ^{cde}	10.8 ^{cd}	7.2
T ₃ S ₁	61.4 ^{ab}	46.6 ^{ef}	45.0 ^d	38.4 ^{cde}	9.5 ^d	8.6
T ₃ S ₂	49.0 ^{bc}	51.0 ^{def}	45.1 ^d	33.3 ^e	10.5 ^{cd}	8.6
T ₃ S ₃	45.5 ^c	59.8 ^{bcde}	53.5 ^d	34.9 ^{de}	10.3 ^{cd}	7.0
T ₄ S ₁	69.1 ^a	53.1 ^{cdef}	43.1 ^d	35.7 ^{de}	9.5 ^d	7.3
T ₄ S ₂	44.7 ^c	43.1 ^f	45.5 ^d	33.3 ^e	9.8 ^d	0.6
T ₄ S ₃	57.3 ^{abc}	69.1 ^{ab}	251.2 ^c	39.4 ^{bcd}	12.4 ^{bc}	9.7
T ₅ S ₁	59.0 ^{abc}	53.3 ^{cdef}	327.9 ^a	42.1 ^{abc}	9.6 ^d	17.7
T ₅ S ₂	63.3 ^{ab}	45.8 ^{ef}	288.6 ^b	37.3 ^{cde}	10.4 ^{cd}	1.6
T ₅ S ₃	56.3 ^{abc}	61.1 ^a	300.8 ^{ab}	36.8 ^{de}	11.5 ^{cd}	3.2
<u>Önem düzeyi</u>						
Sulama suyu tuz (T)	ns	ns	**	**	**	ns
Sulama seviyesi (S)	ns	**	**	**	ns	ns
TxS interaksyonu	**	*	**	*	**	ns

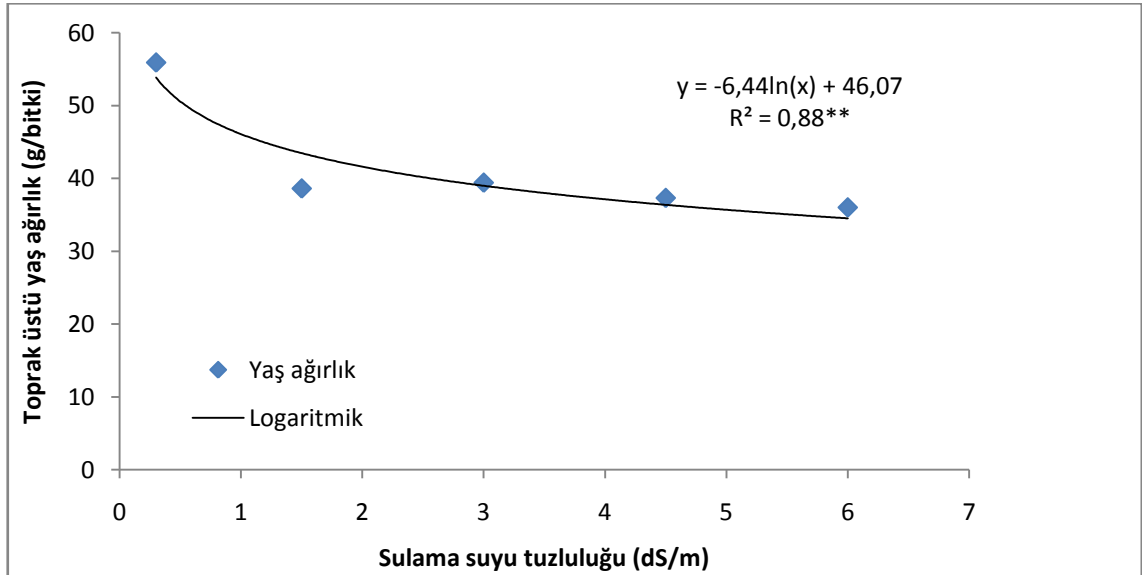
Büyük harfler sulama seviyeleri arasındaki gruplandırmayı, küçük harfler sulama suyu tuzluluk seviyeleri arasındaki gruplandırmayı, italik harfler ise interaksyon bölgesindeki (TxS) gruplandırmayı göstermektedir.

Sulama suyu tuzluluğunun yapraktaki kurşun (Pb) içeriğine etkisi değerlendirildiğinde, en yüksek kurşun içeriği ortalama 8.0 mg/kg ile T₃ uygulamasında bulunmuş ve uygulamalar arasında istatistiki olarak bir fark bulunmamıştır. Farklı sulama seviyeleri arasında, en yüksek kurşun miktarı ortalama 7.4 mg/kg ile S₁ sulama seviyesinde bulunmuş ve sulama suyu tuzluluğunda olduğu gibi farklı sulama seviyeleri arasında da yaprakta bulunan kurşun muhtevası açısından istatistiki olarak önemli bir fark bulunmamıştır (Çizelge 4.38).

4.3. Su-Verim İlişkileri

4.3.1. Sulama suyu tuzluluğu, sulama seviyesi ve verim ilişkileri

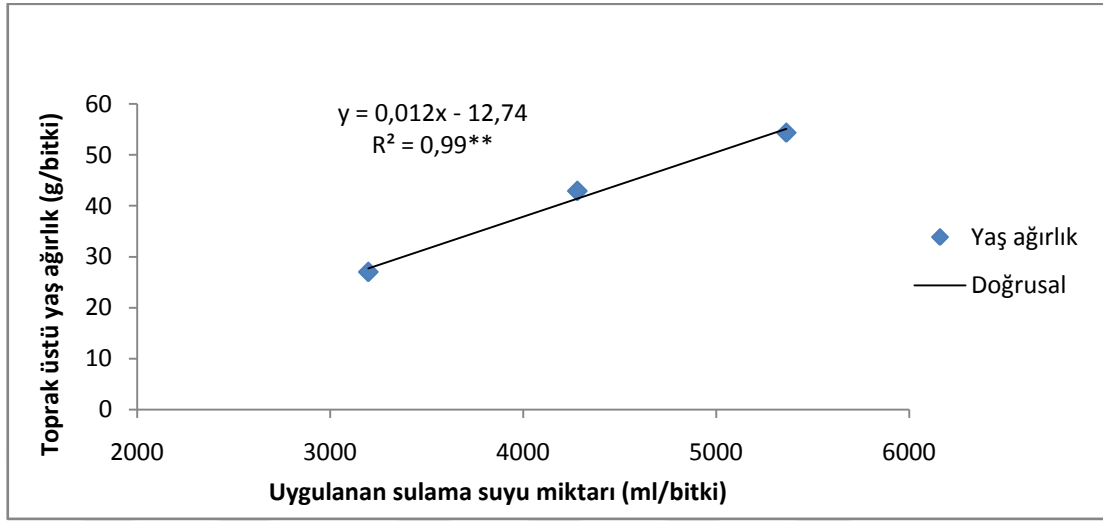
Deneme konularına uygulanan farklı sulama suyu tuz konsantrasyonları ile ıspanağın toprak üstü yaş ağırlıkları (verim) arasındaki ilişkiler Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Sulama suyu tuzluluğu ile verim arasında istatistiki olarak %1 seviyesinde önemli logaritmik ilişkiler bulunmuştur ($R^2=0.88$). Bu ilişkiyi veren denklem ve determinasyon katsayıları şekil üzerinde verilmiştir (Şekil 4.6).



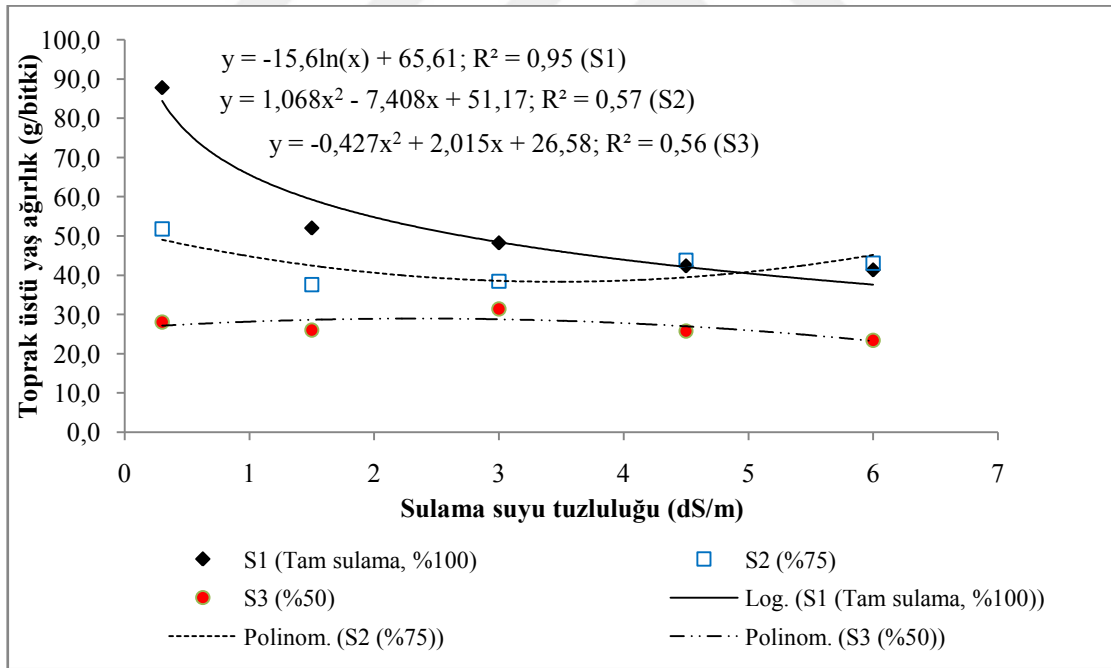
Şekil 4.6. Sulama suyu tuzluluğu- verim arasındaki ilişki

Deneme konularına uygulanan sulama suyu miktarları ile ıspanağın toprak üstü yaş ağırlıkları (verim) arasındaki ilişkiler ise Şekil 4.7'de verilmiştir. Sulama suyu

miktarı ile verim arasında kuvvetli lineer ilişkiler bulunmuştur ($R^2=0.99$). Bu ilişkiyi veren denklem ve determinasyon katsayıları şekil üzerinde verilmiştir (Şekil 4.6).



Şekil 4.7. Sulama suyu miktarı-verim arasındaki korelasyon



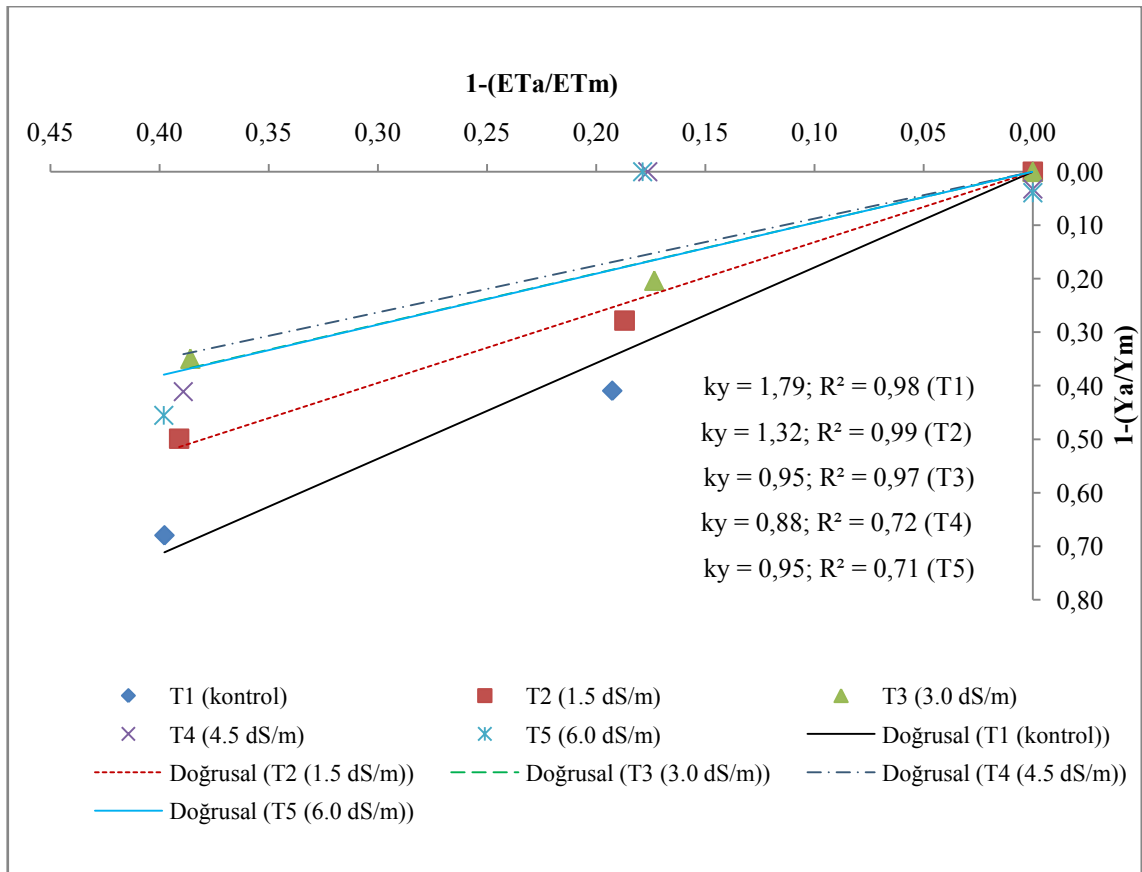
Şekil 4.8. Sulama suyu tuzluluğu-sulama seviyesi- verim arasındaki ilişkiler

Farklı sulama suyu tuzluluğu ve farklı sulama seviyelerinin ıspanakta toprak üstü yaş ağırlıklara etkisini birlikte değerlendirmek amacıyla veriler regresyon analizine tabi tutulmuş ve yapılan analizler sonucunda elde edilen grafikler Şekil 4.8'de verilmiştir. Söz konusu şekilden görüleceği üzere, tam sulanan (S_1) deneme konularında logaritmik bir ilişki bulunurken, %25 su kısıtı uygulanan (S_2) ve %50 su kısıtı

uygulanan S_3 sulama seviyelerinde, sulama suyu tuzluluğu ile verim arasında ikinci dereceden polinomial ilişkiler bulunmuştur. Farklı sulama sevipleri için elde edilen denklemler ve determinasyon katsayıları şekil üzerinde gösterilmiştir (Şekil 4.8).

4.3.2. Verim tepki etmeni (k_y)

Çalışmada, oransal bitki su tüketimindeki azalışın, oransal yaprak verimindeki azalışa etkisini belirlemek amacıyla, farklı sulama suyu tuzlukları için verim tepki etmenleri (k_y) belirlenmiştir (Şekil 4.9). Hesaplanan k_y değerleri ve determinasyon katsayıları şekil üzerinde verilmiştir.



Şekil 4.9. Farklı sulama suyu tuzluluğunda ıspanağın verim tepki etmenleri

Farklı sulama suyu tuzluluğu uygulamalarında en yüksek k_y değeri 1.79 ile kontrol (T_1) uygulamasında hesaplanmış ve ardından 1.32 ile T_2 (1.5 dS/m) uygulaması gelmiştir. Doorenbos ve Kassam (1979), $k_y > 1$ olması durumunda, bitkinin su kısıtına duyarlı olduğunu ifade etmişlerdir. Bu sonuçlar, Konya'da sera koşullarında yetiştirilen ıspanağın T_1 (kontrol, 0.3 dS/m) ve T_2 (1.5 dS/m) uygulamalarında yapılan kısıtlı

sulama stratejilerinde önemli verim kayıpları olacağını göstermektedir. Başka bir deyişle, ıspanak 1.5 dS/m ve daha düşük EC'ye sahip sulama suyu ile sulandığında su kısıtına ciddi tepkiler göstermektedir. Diğer yandan, 3.0 dS/m ve üzeri EC'ye sahip sulama suyu ile sulamalarda ıspanağın ky değerleri 1.00'den küçük bulunmuş yani su kısıtına toleranslı olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.9). Özellikle 4.5 ve 6.0 dS/m gibi tuzlu sulama suyu ile sulamalarda, kısıtlı sulama uygulanan S_2 sulama seviyesinde elde edilen verimler tam sulama yapılan S_1 sulama seviyesine sahip konuların verimlerinden daha yüksek bulunmuştur (Şekil 4.8). Bu sonuçlar, su kaynakları kısıtlı olan ve tuzlu sulama suyuna sahip kurak ve yarı-kurak bölgelerde hem sulama suyundan tasarruf sağlanması hem de toprak tuzluluğunu fazla artırmamak için ıspanakta %25 su kısıtı uygulanabileceğini göstermektedir.

4.4. Su Kullanım Randımanı (WUE)'na İlişkin Sonuçlar

Deneme konularından elde edilen su kullanım randımanları (WUE)'na ilişkin varyans analiz sonuçları Çizelge 4.39'da, ortalama değerler ve Duncan testi sonuçlarına göre konular arasındaki farklılıkları gösteren önemlilik grupları ise Çizelge 4.40'da verilmiştir.

Çizelge 4.39 incelendiğinde, sulama suyu tuzluluğu (T), sulama seviyesi (S) ve bunlar arasındaki interaksiyon (TXS) WUE sonuçları üzerinde istatistiki olarak önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.40'tan izleneceği gibi, sulama suyu tuzluluğu açısından, en yüksek WUE ortalama 18.0 g/l ile kontrol grubunda bulunmuş ve bu uygulama diğerlerinden istatistiki olarak ayrılmıştır. Buna karşın, 1.5, 3.0, 4.5 ve 6.0 dS/m sulama suyu tuzlulukları arasında WUE fazla bir değişim göstermemiştir. Su kullanım randımanı, kontrol grubuna (T_1) kıyasla, T_2 , T_3 , T_4 ve T_5 sulama suyu tuzluluğu uygulanan konularda sırasıyla %27.6, %24.1, %27.7 ve %30.2 oranında azalmıştır. Farklı sulama seviyeleri arasında, en yüksek WUE ortalama 14.9 g/l ile tam sulanan S_1 deneme konularında elde edilmiş ve S_1 ve S_2 sulama seviyeleri arasında WUE açısından önemli bir fark bulunmamıştır. Diğer yandan %50 su kısıtı uygulanan S_3 sulama seviyesinde WUE tam sulamaya göre %16.2 oranında azalmıştır. Sulama suyu tuzluluğu ve sulama seviyeleri arasındaki interaksiyonlar ($T \times S$) değerlendirildiğinde, en yüksek WUE 23.7 g/l ile T_1S_1 konusunda elde edilmiş ve bu konu diğer deneme konularından Duncan testi sonuçlarına göre %95 güvenle istatistiki olarak ayrılmıştır.

Çizelge 4.39. Su kullanım randımanlarına (WUE) ilişkin varyans analiz sonuçları

Varyasyon kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	P
Sulama suyu tuzluluğu (<i>T</i>)	329.284	4	45.048	7.150**	.000
Sulama seviyesi (<i>S</i>)	254.858	2	26.864	4.264*	.023
<i>T</i> X <i>S</i>	100.259	8	23.327	3.702**	.004
Hata	83.939	30	6.301		

** : %1 düzeyinde önemli, * : %5 düzeyinde önemli, ^{ns} : Önemli değil.

Çizelge 4.40. Su kullanım randımanlarına ilişkin ortalama değerler (g/l) ve önemlilik grupları

Sulama suyu tuzluluğu (<i>T</i>)	Sulama seviyesi (<i>S</i>)			Ortalama	Oransal değişim (%)	Oransal Fark (%)
	<i>S</i> ₁ (%100)	<i>S</i> ₂ (%75)	<i>S</i> ₃ (%50)			
<i>T</i> ₁ (Kontrol)	23.7 ^a	17.4 ^b	12.8 ^{bc}	18.0 ^a	100.0	0.0
<i>T</i> ₂ (1.5 dS/m)	14.2 ^{bc}	12.8 ^{bc}	12.0 ^c	13.0 ^b	72.4	-27.6
<i>T</i> ₃ (3.0 dS/m)	13.3 ^{bc}	13.1 ^{bc}	14.5 ^{bc}	13.6 ^b	75.9	-24.1
<i>T</i> ₄ (4.5 dS/m)	11.7 ^c	15.1 ^{bc}	12.1 ^c	13.0 ^b	72.3	-27.7
<i>T</i> ₅ (6.0 dS/m)	11.6 ^c	15.0 ^{bc}	11.1 ^c	12.5 ^b	69.8	-30.2
Ortalama	14.9 ^A	14.7 ^A	12.5 ^B			
Oransal değişim (%)	100.0	98.5	83.8			
Oransal Fark (%)	0.0	-1.5	-16.2			

Büyük harfler sulama seviyeleri arasındaki gruplandırmayı, küçük harfler sulama suyu tuzluluk seviyeleri arasındaki gruplandırmayı, italik harfler ise interaksiyon bölgesindeki (*T*x*S*) gruplandırmayı göstermektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma, Konya'da ve cam serada sonbahar-kış döneminde yetiştirilen ıspanağın farklı sulama suyu tuz konsantrasyonlarına ve kısıtlı sulama uygulamalarına gösterdiği tepkilerin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar özetlenerek aşağıda verilmiştir.

Programlı sulamalara başladıktan sonra tüm deneme konularına 13 kez sulama suyu uygulanmıştır. Stres uygulanmayan S_1 (tam sulama) sulama seviyelerine sahip deneme konularına toplamda yaklaşık 16 litre sulama suyu uygulanmıştır. Hafif derecede su stresi (%25 su kısıtı) uygulanan S_2 deneme konularına toplamda 12.8 litre ve orta derecede su stresi (%50 su kısıtı) uygulanan S_3 deneme konularına ise 9.6 litre sulama suyu uygulanmıştır. Bitki başına en yüksek su tüketimi 3700 ml/bitki ile T_1S_1 konusunda bulunmuş ve bu konuyu 3660 ml/bitki ile 1.5 dS/m tuz konsantrasyonuna sahip sulama suyu ile sulanan T_2S_1 konusu izlemiş ve su stresinin artmasıyla birlikte bitki su tüketimleri azalmıştır.

Sulama suyu tuzluluğu açısından, en fazla toprak üstü yaş (taze) ıspanak ağırlığı ortalama 55.9 g/bitki ile kontrol grubu bitkilerde bulunmuş ve bu uygulama diğer uygulamalardan istatistiki olarak ayrılmıştır. Ispanağın 1.5 dS/m ve üzeri EC'ye (elektriksel iletkenlik) sahip sular ile sulanmasında verimde kontrole göre yaklaşık %30'luk bir azalma hesaplanmıştır. Farklı sulama seviyeleri arasında, en fazla toprak üstü yaş ağırlığı ortalama 54.4 g/bitki ile tam sulanan S_1 deneme konularında elde edilmiş ve sulama suyu kısıt oranı arttıkça ıspanak veriminde %21 (S_2) ile %54 (S_3) arasında değişen oranlarda azalışlar meydana gelmiştir.

Sulama suyu tuzluluğu ıspanakta; toprak üstü yaş ve kuru ağırlıkları, toprak altı yaş ve kuru ağırlıkları, yaprak alanı, membran zararlanması, klorofil-a, klorofil-b, toplam klorofil ve karotenoid değerlerine ilişkin sonuçlar üzerinde istatistiki olarak önemli etkiler yapmıştır. Benzer şekilde peroksidaz (POD), katalaz (CAT) ve süperoksit dismutaz (SOD) gibi enzim aktiviteleri ile malondialdehit (MDA), protein, prolin ve hidrojen peroksit (H_2O_2) muhtevaları sulama suyu tuzluluğundan istatistiki olarak etkilenmiştir. Konulara göre değişmekle birlikte sulama suyu tuzluluğu uygulaması; yapraktaki mineral içeriklerinden azot'ta (-%12.5), bor'da (-%20.6), bakır'da (-%30.7), potasyum'da (-%21.8), magnezyum'da (-%17.0), fosfor'da (-%9.9) ve kükürt'te (-%22.2)

istatistiki olarak önemli azalışa, demir (+%447.5) ve sodyum (+%457.5) içeriğinde ise yine istatistiki olarak önemli artışa neden olmuştur.

Sulama seviyesi uygulaması ıspanakta; bitki başına yaprak sayısı, toprak üstü yaş ve kuru ağırlıkları, toprak altı yaş ve kuru ağırlıkları, yaprak alanı, yaprak oransal su içeriği, klorofil-a, klorofil-b ve toplam klorofil sonuçları üzerinde önemli istatistiksel farklar oluşturmuştur. Diğer yandan, CAT ve SOD gibi enzim aktiviteleri ile MDA, protein ve prolin içeriği farklı sulama seviyelerinden istatistiki olarak etkilenmiştir. Tam sulamaya göre %50 su stresi uygulanan S₃ deneme konularında; bor (-%6.7), kalsiyum (-%19.4) ve sodyum (-%21.9) içeriklerinde istatistiki olarak önemli azalış, buna karşın azot (+%15.2), potasyum (+%10.0), fosfor (+%16.9), çinko (+%29.1) ve demir (+%35.9) içeriklerinde ise istatistiksel olarak önemli artışlar olmuştur.

Sulama suyu tuzluluğu açısından, en yüksek WUE ortalama 18.0 g/l ile kontrol grubunda bulunmuş ve bu uygulama diğerlerinden istatistiki olarak ayrılmıştır. Buna karşın, 1.5, 3.0, 4.5 ve 6.0 dS/m sulama suyu tuzlulukları arasında WUE fazla bir değişim göstermemiştir. Farklı sulama seviyeleri arasında, en yüksek WUE ortalama 14.9 g/l ile tam sulanan S₁ deneme konularında elde edilmiş ve S₁ ve S₂ sulama seviyeleri arasında WUE açısından önemli bir fark bulunmamıştır. Diğer yandan %50 su kısıtı uygulanan S₃ sulama seviyesinde WUE tam sulamaya göre %16.2 oranında azalmıştır. Farklı sulama suyu tuzluluğu uygulamalarında en yüksek ky değeri 1.79 ile kontrol (T₁) uygulamasında hesaplanmış ve ardından 1.32 ile T₂ (1.5 dS/m) uygulaması gelmiştir. Ispanak bitkisi 1.5 dS/m ve daha düşük EC'ye sahip sulama suyu ile sulandığında su kısıtına ciddi tepkiler göstermektedir. Diğer yandan, 3.0 dS/m ve üzeri EC'ye sahip sulama suyu ile sulamalarda ıspanağın ky değerleri 1.00'den küçük bulunmuş yani su kısıtına toleranslı olduğu belirlenmiştir. Özellikle 4.5 ve 6.0 dS/m gibi tuzlu sulama suyu ile sulamalarda, kısıtlı sulama uygulanan S₂ sulama seviyesinde elde edilen verimler tam sulama yapılan S₁ sulama seviyesine sahip konuların verimlerinden daha yüksek bulunmuştur.

Sonuç olarak; ıspanağın sulanmasında 1.5 dS/m ve üzeri elektriksel iletkenliğe sahip suların kullanılması önemli verim azalışları olacağını göstermektedir. Diğer yandan, düşük EC'ye yani iyi kalitede su kaynağına sahip bölgelerde yüksek verim elde edebilmek için ıspanakta su kısıtı yapılmaması başka bir deyişle su ihtiyacının tam karşılanması gerekir. Ancak, su kaynakları kısıtlı olan ve tuzlu sulama suyuna sahip kurak ve yarı-kurak bölgelerde, ıspanakta yapılacak %25 su kısıtı hem su kaynaklarının

korunması hem de toprak tuzluluğunun kontrolü açısından önemli bir strateji olarak önerilmektedir.

Çalışmadan elde edilen verilerin başta Konya’da ıspanak tarımı yapan çiftçiler olmak üzere, Konya koşullarına benzer iklim özellikleri gösteren alanlarda ıspanak üretimi yapan çiftçilere, sulama organizasyonlarına ve ileride bu konu ile ilgili çalışacak araştırmacılara faydalı olacağı düşünülmektedir.



KAYNAKLAR

- Abedi-Koupai, J., Mollaei, R. ve Eslamian, S. S., 2015, The effect of pumice on reduction of cadmium uptake by spinach irrigated with wastewater, *Ecohydrology & Hydrobiology*, 15 (4), 208-214.
- Akram, N. A., Waseem, M., Ameen, R. ve Ashraf, M., 2016, Trehalose pretreatment induces drought tolerance in radish (*Raphanus sativus* L.) plants: some key physio-biochemical traits, *Acta physiologiae plantarum*, 38 (1), 3.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. ve Smith, M., 1998, Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56, *Fao, Rome*, 300 (9), D05109.
- Ayana, M., 2011, Deficit irrigation practices as alternative means of improving water use efficiencies in irrigated agriculture: Case study of maize crop at Arba Minch, Ethiopia, *African Journal of Agricultural Research*, 6 (2), 226-235.
- Ayyıldız, M., 1990, Sulama suyu kalitesi ve tuzluluk problemleri, *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları*, 1196, 56-63.
- Bandian, L., Saeb, H. ve Abedy, B., 2016, Effect of bentonite on growth indices and physiological traits of spinach (*Spinacia oleracea* L) under drought stress, *Journal of productivity and development*, 2 (4), 1-6.
- Basahi, J. M., Ismail, I. M. ve Hassan, I. A., 2014, Effects of enhanced UV-B radiation and drought stress on photosynthetic performance of lettuce (*Lactuca sativa* L. Romaine) plants, *Annual Research & Review in Biology*, 1739-1756.
- Bates, L. S., Waldren, R. P. ve Teare, I., 1973, Rapid determination of free proline for water-stress studies, *Plant and soil*, 39 (1), 205-207.
- Bergmeyer, H., GraBl, M. ve Walter, H., 1983, Samples, reagents, assessment of results, *Methods of enzymatic analysis*, 2, 211-213.
- Beyer Jr, W. F. ve Fridovich, I., 1987, Assaying for superoxide dismutase activity: some large consequences of minor changes in conditions, *Analytical biochemistry*, 161 (2), 559-566.
- Botella, C., De Ory, I., Webb, C., Cantero, D. ve Blandino, A., 2005, Hydrolytic enzyme production by *Aspergillus awamori* on grape pomace, *Biochemical Engineering Journal*, 26 (2-3), 100-106.
- Bradford, M. M., 1976, A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding, *Analytical biochemistry*, 72 (1-2), 248-254.
- Cao, Y., Ma, C., Chen, G., Zhang, J. ve Xing, B., 2017, Physiological and biochemical responses of *Salix integra* Thunb. under copper stress as affected by soil flooding, *Environmental pollution*, 225, 644-653.
- Caparrotta, S., Masi, E., Atzori, G., Diamanti, I., Azzarello, E., Mancuso, S. ve Pandolfi, C., 2019, Growing spinach (*Spinacia oleracea*) with different seawater concentrations: Effects on fresh, boiled and steamed leaves, *Scientia Horticulturae*, 256, 108540.
- Chen, Y.-E., Cui, J.-M., Su, Y.-Q., Zhang, C.-M., Ma, J., Zhang, Z.-W., Yuan, M., Liu, W.-J., Zhang, H.-Y. ve Yuan, S., 2017, Comparison of phosphorylation and assembly of photosystem complexes and redox homeostasis in two wheat cultivars with different drought resistance, *Scientific reports*, 7 (1), 1-16.
- Cruz, F., Castro, G., Júnior, D. S., Festucci-Buselli, R. ve Pinheiro, H., 2013, Exogenous glycine betaine modulates ascorbate peroxidase and catalase

- activities and prevent lipid peroxidation in mild water-stressed Carapa guianensis plants, *Photosynthetica*, 51 (1), 102-108.
- Çizikçi, S., 1997, Sulama Suyu Kalitesinin Ispanak Bitkisinin Çimlenme ve Verimine Etkisi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara*.
- de Carvalho Leal, L. Y., de Souza, E. R., Júnior, J. A. S. ve Dos Santos, M. A., 2020, Comparison of soil and hydroponic cultivation systems for spinach irrigated with brackish water, *Scientia Horticulturae*, 274, 109616.
- Demiral, M. A., 2003, Determination of salt tolerance of stock (*Matthiola tricuspidata*) as a potential oil crop, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 27 (4), 229-235.
- Demiral, T. ve Türkan, I., 2005, Comparative lipid peroxidation, antioxidant defense systems and proline content in roots of two rice cultivars differing in salt tolerance, *Environmental and Experimental Botany*, 53 (3), 247-257.
- Deveci, M. ve Tuğrul, B., 2017, Ispanakta tuz stresinin yaprak fizyolojik özelliklerine etkisi, *Akademik Ziraat Dergisi*, 6, 89-98.
- Dirirsa, G., Woldemichael, A. ve Hordofa, T., 2017, Effect of deficit irrigation at different growth stages on Onion (*Allium cepa* L.) production and water productivity at Melkassa, Central Rift valley of Ethiopia, *Resource Journal Agriculture Science. Resource*, 5 (5), 358-365.
- Doorenbos, J. ve Kassam, A., 1979, Yield response to water, *Irrigation and drainage paper*, 33, 257.
- Du, S.-T., Liu, Y., Zhang, P., Liu, H.-J., Zhang, X.-Q. ve Zhang, R.-R., 2015, Atmospheric application of trace amounts of nitric oxide enhances tolerance to salt stress and improves nutritional quality in spinach (*Spinacia oleracea* L.), *Food Chemistry*, 173, 905-911.
- Ekinci, M., Ors, S., Sahin, U., Yildirim, E. ve Dursun, A., 2015, Responses to the irrigation water amount of spinach supplemented with organic amendment in greenhouse conditions, *Communications in soil science and plant analysis*, 46 (3), 327-342.
- Ekmekçi, E., Mehmet, A. ve Tekin, K., 2005, Tuzluluğun bitki gelişimine etkisi, *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 20 (3), 118-125.
- Erdem, F. ve Çelik, S. K., 2018, Farklı Tuzluluk ve Yıkama Suyu Oranlarına Sahip Sulama Sularının Ispanak (*Spinacia oleracea* L.) Gelişimi, Verimi ve Drenaj Suyu Kalitesine Etkisi, *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 73-82.
- Esterbauer, H. ve Cheeseman, K. H., 1990, Determination of aldehydic lipid peroxidation products: malonaldehyde and 4-hydroxynonenal, *Methods in enzymology*, 186, 407-421.
- FAO, 2020, FAOSTAT. Data.Crops.<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> (accessed 20 November 2020).
- Ferreira, J. F., Sandhu, D., Liu, X. ve Halvorson, J. J., 2018, Spinach (*Spinacea oleracea* L.) response to salinity: Nutritional value, physiological parameters, antioxidant capacity, and gene expression, *Agriculture*, 8 (10), 163.
- Foyer, C. H. ve Shigeoka, S., 2011, Understanding oxidative stress and antioxidant functions to enhance photosynthesis, *Plant physiology*, 155 (1), 93-100.
- Gong, M., Chen, B., Li, Z.-G. ve Guo, L.-H., 2001, Heat-shock-induced cross adaptation to heat, chilling, drought and salt stress in maize seedlings and involvement of H₂O₂, *Journal of Plant Physiology*, 158 (9), 1125-1130.
- Havir, E. A. ve McHale, N. A., 1987, Biochemical and developmental characterization of multiple forms of catalase in tobacco leaves, *Plant physiology*, 84 (2), 450-455.

- Hong, C.-Y., Chao, Y.-Y., Yang, M.-Y., Cho, S.-C. ve Kao, C. H., 2009, Na⁺ but not Cl⁻ or osmotic stress is involved in NaCl-induced expression of glutathione reductase in roots of rice seedlings, *Journal of Plant Physiology*, 166 (15), 1598-1606.
- Hu, Y. ve Schmidhalter, U., 2005, Drought and salinity: a comparison of their effects on mineral nutrition of plants, *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 168 (4), 541-549.
- Ibekwe, A. M., Ors, S., Ferreira, J. F., Liu, X., Suarez, D. L., Ma, J., Ghasemimianaei, A. ve Yang, C.-H., 2020, Functional relationships between aboveground and belowground spinach (*Spinacia oleracea* L., cv. Racoon) microbiomes impacted by salinity and drought, *Science of The Total Environment*, 717, 137207.
- Jabeen, M., Akram, N. A., Ashraf, M. ve Aziz, A., 2019, Assessment of biochemical changes in spinach (*Spinacea oleracea* L.) subjected to varying water regimes, *Sains Malaysiana*, 48 (3), 533-541.
- Kalefetoğlu, T. ve Ekmekci, Y., 2005, The effects of drought on plants and tolerance mechanisms, *Gazi University Journal of Science*, 18 (4), 723-740.
- Kao, W.-Y., Tsai, T.-T., Tsai, H.-C. ve Shih, C.-N., 2006, Response of three Glycine species to salt stress, *Environmental and Experimental Botany*, 56 (1), 120-125.
- Keyvan, S., 2010, The effects of drought stress on yield, relative water content, proline, soluble carbohydrates and chlorophyll of bread wheat cultivars, *J. Anim. Plant Sci*, 8 (3), 1051-1060.
- Kim, B. M., Lee, H. J., Song, Y. H. ve Kim, H. J., 2021, Effect of salt stress on the growth, mineral contents, and metabolite profiles of spinach, *Journal of the Science of Food and Agriculture*.
- Kıran, S., Özkay, F., Kuşvuran, Ş. ve Ellialtıoğlu, Ş. Ş., 2014, Tuz stresine tolerans seviyesi farklı domates genotiplerinin kuraklık stresi koşullarında bazı özelliklerinde meydana gelen değişimler, *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 31 (3), 41-48.
- Lehtimäki, N., Lintala, M., Allahverdiyeva, Y., Aro, E.-M. ve Mulo, P., 2010, Drought stress-induced upregulation of components involved in ferredoxin-dependent cyclic electron transfer, *Journal of Plant Physiology*, 167 (12), 1018-1022.
- Leskovar, D. I. ve Piccinni, G., 2005, Yield and leaf quality of processing spinach under deficit irrigation, *HortScience*, 40 (6), 1868-1870.
- Leskovar, D. I., Agehara, S., Yoo, K. ve Pascual-Seva, N., 2012, Crop coefficient-based deficit irrigation and planting density for onion: growth, yield, and bulb quality, *HortScience*, 47 (1), 31-37.
- Lichtenthaler, H. K., 1987, [34] Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes, *Methods in enzymology*, 148, 350-382.
- Lichtenthaler, H. K., 1998, The stress concept in plants: an introduction, *Annals of the new York Academy of sciences*, 851 (1), 187-198.
- Liu, C., Liu, Y., Guo, K., Fan, D., Li, G., Zheng, Y., Yu, L. ve Yang, R., 2011, Effect of drought on pigments, osmotic adjustment and antioxidant enzymes in six woody plant species in karst habitats of southwestern China, *Environmental and Experimental Botany*, 71 (2), 174-183.
- Lutts, S., Kinet, J. ve Bouharmont, J., 1996, NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance, *Annals of botany*, 78 (3), 389-398.
- Lück, H., 1965, Catalase, In: *Methods of enzymatic analysis*, Eds: Elsevier, p. 885-894.
- Mahajan, S. ve Tuteja, N., 2005, Cold, salinity and drought stresses: an overview, *Archives of biochemistry and biophysics*, 444 (2), 139-158.

- Mittler, R., 2002, Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance, *Trends in plant science*, 7 (9), 405-410.
- Mozafari, A.-a., Ghaderi, N., Havas, F. ve Dedejani, S., 2019, Comparative investigation of structural relationships among morpho-physiological and biochemical properties of strawberry (*Fragaria× ananassa* Duch.) under drought and salinity stresses: A study based on in vitro culture, *Scientia Horticulturae*, 256, 108601.
- Ors, S. ve Suarez, D. L., 2017, Spinach biomass yield and physiological response to interactive salinity and water stress, *Agricultural Water Management*, 190, 31-41.
- Parida, A. K. ve Das, A. B., 2005, Salt tolerance and salinity effects on plants: a review, *Ecotoxicology and environmental safety*, 60 (3), 324-349.
- Rajabbeigi, E., Eichholz, I., Beesk, N., Ulrichs, C., Kroh, L. W., Rohn, S. ve Huyskens-Keil, S., 2013, Interaction of drought stress and UV-B radiation-impact on biomass production and flavonoid metabolism in lettuce (*Lactuca sativa* L.), *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 86 (1).
- Reddy, A. R., Chaitanya, K., Jutur, P. ve Sumithra, K., 2004, Differential antioxidative responses to water stress among five mulberry (*Morus alba* L.) cultivars, *Environmental and Experimental Botany*, 52 (1), 33-42.
- Sánchez, F., De Andres, E., Tenorio, J. ve Ayerbe, L., 2004, Growth of epicotyls, turgor maintenance and osmotic adjustment in pea plants (*Pisum sativum* L.) subjected to water stress, *Field Crops Research*, 86 (1), 81-90.
- Selcen, A., Akhoundnejad, Y. ve Daşgan, H. Y., 2013, Domateste tuz stresi üzerine selenyum ve silikon uygulamalarının etkileri, *International Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 6 (1), 183-188.
- Seymen, M., 2021a, Comparative analysis of the relationship between morphological, physiological, and biochemical properties in spinach (*Spinacea oleracea* L.) under deficit irrigation conditions, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 45 (1), 55-67.
- Seymen, M., 2021b, How does the flooding stress occurring in different harvest times affect the morpho-physiological and biochemical characteristics of spinach?, *Scientia Horticulturae*, 275, 109713.
- Shrivastava, P. ve Kumar, R., 2015, Soil salinity: A serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation, *Saudi journal of biological sciences*, 22 (2), 123-131.
- Silva, E. C., Nogueira, R. J., Vale, F. H., Melo, N. F. d. ve Araújo, F. P. d., 2009, Water relations and organic solutes production in four umbu tree (*Spondias tuberosa*) genotypes under intermittent drought, *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 21 (1), 43-53.
- Smirnoff, N., 2005, Ascorbate, tocopherol and carotenoids: metabolism, pathway engineering and functions, *Antioxidants and reactive oxygen species in plants*, 2005, 53-86.
- Sofy, M., Mohamed, H., Dawood, M., Abu-Elsaoud, A. ve Soliman, M., 2021, Integrated usage of arbuscular mycorrhizal and biochar to ameliorate salt stress on spinach plants, *Archives of Agronomy and Soil Science*.
- Srivastava, S. ve Srivastava, M., 2014, Morphological changes and antioxidant activity of *Stevia rebaudiana* under water stress, *American Journal of Plant Sciences*, 5 (22), 3417.

- Stenchly, K., Dao, J., Lompo, D. J.-P. ve Buerkert, A., 2017, Effects of waste water irrigation on soil properties and soil fauna of spinach fields in a West African urban vegetable production system, *Environmental pollution*, 222, 58-63.
- Suleiman, S., Wilson, C. ve Grieve, C. M., 2002, Effect of salinity and exogenously applied polyamines on growth and ion relations in spinach, *Journal of plant nutrition*, 25 (12), 2705-2717.
- Tang, L., Hamid, Y., Zehra, A., Sahito, Z. A., He, Z., Khan, M. B., Feng, Y. ve Yang, X., 2020, Mechanisms of water regime effects on uptake of cadmium and nitrate by two ecotypes of water spinach (*Ipomoea aquatica* Forsk.) in contaminated soil, *Chemosphere*, 246, 125798.
- Tanner, C. ve Sinclair, T., 1983, Efficient water use in crop production: Research or re-research?, *Limitations to efficient water use in crop production*, 1-27.
- Turhan, A., Kusu, H., Ozmen, N., Asik, B. B., Serbeci, M. S. ve Seniz, V., 2013, Alleviation of deleterious effects of salt stress by applications of supplementary potassium–calcium on spinach, *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B–Soil & Plant Science*, 63 (2), 184-192.
- Turhan, A., 2020, Fasulyede (*Phaseolus vulgaris* L.) Farklı Tuz Dozlarının Çimlenme, Tane Verimi ve Verim Özellikleri Üzerine Etkileri, *Erciyes Tarım ve Hayvan Bilimleri Dergisi*, 3 (2), 12-17.
- Tuteja, N., 2007, Mechanisms of high salinity tolerance in plants, *Methods in enzymology*, 428, 419-438.
- Ünlükara, A., Yurtyeri, T. ve Cemek, B., 2017, Effects of Irrigation water salinity on evapotranspiration and spinach (*Spinacia oleracea* L. Matador) plant parameters in Greenhouse Indoor and Outdoor Conditions.
- Xu, C. ve Leskovar, D. I., 2015, Effects of *A. nodosum* seaweed extracts on spinach growth, physiology and nutrition value under drought stress, *Scientia Horticulturae*, 183, 39-47.
- Xu, C. ve Mou, B., 2016, Responses of spinach to salinity and nutrient deficiency in growth, physiology, and nutritional value, *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 141 (1), 12-21.
- Yasmeen, A., Basra, S. M., Wahid, A., Farooq, M., Nouman, W. ve Hussain, N., 2013, Improving drought resistance in wheat (*Triticum aestivum*) by exogenous application of growth enhancers, *International Journal of Agriculture and Biology*, 15 (6).
- Yavuz, D., Seymen, M., Süheri, S., Yavuz, N., Türkmen, Ö. ve Kurtar, E. S., 2020, How do rootstocks of citron watermelon (*Citrullus lanatus* var. *citroides*) affect the yield and quality of watermelon under deficit irrigation?, *Agricultural Water Management*, 241, 106351.
- Yavuz, N., Seymen, M. ve Kal, Ü., 2021, Impacts Of Water Stress And Harvest Time On Physio-Biochemical Characteristics Of Lettuce, *International Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 14 (2), 61-77.
- Yıldız, M. ve Terzi, H., 2008, Effects of NaCl on protein profiles of tetraploid and hexaploid wheat species and their diploid wild progenitors, *Plant Soil Environ*, 54 (6), 227-233.
- Yousif, B. S., Nguyen, N. T., Fukuda, Y., Hakata, H., Okamoto, Y., Masaoka, Y. ve Saneoka, H., 2010, Effect of salinity on growth, mineral composition, photosynthesis and water relations of two vegetable crops; New Zealand spinach (*Tetragonia tetragonioides*) and water spinach (*Ipomoea aquatica*), *Int J Agric Biol*, 12 (2), 211-216.

- Zafar-Ul-Hye, M., Mahmood, F., SUBHAN DANISH, S. H., GUL, M., YASEEN, R. ve SHAABAN, M., 2020, Evaluating efficacy of plant growth promoting rhizobacteria and potassium fertilizer on spinach growth under salt stress, *Pak. J. Bot*, 52 (4), 1441-1447.
- Zgallaï, H., Steppe, K. ve Lemeur, R., 2006, Effects of different levels of water stress on leaf water potential, stomatal resistance, protein and chlorophyll content and certain anti-oxidative enzymes in tomato plants, *Journal of Integrative Plant Biology*, 48 (6), 679-685.
- Zhang, J., Liang, Z., Jiao, D., Tian, X. ve Wang, C., 2018, Different water and nitrogen fertilizer rates effects on growth and development of spinach, *Communications in soil science and plant analysis*, 49 (15), 1922-1933.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ersin Kılıç
Uyruğu : Türkiye Cumhuriyeti

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Naciye Mumcuoğlu Anadolu Lisesi, Meram, Konya	2002
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi – Ziraat Mühendisliği	2009
Yüksek Lisans	: S.Ü. Fen Bilimleri Ens. Tarımsal Yapılar ve Sulama	Devam Ediyor
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2009	İsomar A.V.M.	Müdür
2012	Berra Tem. Tarım Ürünleri Ltd. Şti.	Vekil
2015	Çınarardı Peyzaj Ltd. Şti.	Vekil
2021	Kılıç Mimari Peyzaj İnşaat Ltd. Şti	İşveren

UZMANLIK ALANI

Tarımsal Yapılar ve Sulama

YABANCI DİLLER

İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR

Kılıç, E., Rashid, B.A., Altın, E., Yavuz, D. 2021. Irrigation Applications in Landscape Areas: An Example of Konya/Selçuklu Municipality. 4th International Congress on Agriculture, Environment and Health 20-22 May 2021.