ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

Çiğdem İNCE KAYA

AKDENİZ KOŞULLARINDA FARKLI TUZLULUK VE SULAMA DÜZEYLERİNDE QUINOA (*Chenopodium quinoa* Willd.) BİTKİSİNİN VERİM VE FİZYOLOJİK TEPKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI VE SALTMED MODELİNİN TEST EDİLMESİ

TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA ANABİLİM DALI

ADANA, 2015

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AKDENİZ KOŞULLARINDA FARKLI TUZLULUK VE SULAMA DÜZEYLERİNDE QUINOA (*Chenopodium quinoa* Willd.) BİTKİSİNİN VERİM VE FİZYOLOJİK TEPKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI VE SALTMED MODELİNİN TEST EDİLMESİ

Çiğdem İNCE KAYA

DOKTORA TEZİ

TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA ANABİLİM DALI

Bu Tez 04/06/2015 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği/~~Oyçokluğu~~ ile Kabul Edilmiştir.

…….....	…….....	…….....
Prof. Dr. Attila YAZAR	Prof. Dr. Alhan SARIYEV	Prof. Dr. Sevilay TOPÇU
DANIŞMAN	ÜYE	ÜYE

…….....	…….....
Prof. Dr. Dursun BÜYÜKTAŞ	Yard. Doç. Dr. Servet TEKİN
ÜYE	ÜYE

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

Prof. Dr. Mustafa GÖK
Enstitü Müdürü

Bu Çalışma Ç. Ü. Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: ZF2013D9

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

İÇİNDEKİLER **SAYFA**

ÖZ I
ABSTRACT II
TEŞEKKÜR III
İÇİNDEKİLER. IV
ÇİZELGELER DİZİNİ VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ XII
1. GİRİŞ 1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 7
2.1. Quinoa Bitkisi 7
2.1.1. Quinoa Danelerinin Besin Değeri ve Kullanım Alanları 8
2.1.2. Dünyada Quinoa Üretimi ve Pazarı 10
2.1.3. Quinoa Bitkisinin İklim ve Toprak İsteği 11
2.2. Tuzlu Suların Sulamada Kullanılması 12
2.3. Kısıntılı Sulama Teknikleri ve Su Verimliliği 14
2.4. Quinoa Bitkisinin Kuraklık ve Tuz Stresine Toleransı 15
2.5. Quinoa Bitkisinin Su-Verim İlişkileri 20
2.4. SALTMED Modeli 25
3. MATERYAL VE YÖNTEM 33
3.1. Materyal 33
3.1.1. Tarla Denemesi 33
3.1.1.1. Araştırma Yeri 33
3.1.1.2. Toprak Özellikleri 33
3.1.1.3. Sulama Suyunun Sağlanması 34
3.1.1.4. Sulama Sistemi 35
3.1.1.5. İklim Durumu 35
3.1.1.6. Ekilen Quinoa Çeşidi 36
3.1.2. SALTMED Modeli 36
3.1.2.1. SALTMED Modelinde Kullanılan Temel Eşitlikler 37
3.1.2.1.(1). Bitki Su Tüketimi 37

3.1.2.1.(2). Etkili Yağış 39
3.1.2.1.(3). Tuzlu Su Koşullarında Bitki Su Alımı 39
3.1.2.1.(4). Oransal ve Gerçek Bitki Verimi 41
3.1.2.1.(5). Su ve Çözelti Hareketi 42
3.1.2.1.(6). Drenaj 47
3.1.2.1.(7). Yıkama Gereksinimi 49
3.1.2.2. SALTMED Modeli İçin Gerekli Olan Veriler 49
3.1.2.3. SALTMED Modeli Veritabanı 50
3.2. Yöntem 50
3.2.1. Tarla Denemesinde İzlenen Yöntem 50
3.2.1.1. Toprak Örneklerinin Alınması ve Analiz Yöntemleri 50
3.2.1.2. Toprak Örneklerinde Tuzluluk Ölçümü 51
3.2.1.3. Toprak Hazırlığı ve Fide Dikimi 51
3.2.1.4. Gübreleme ve Bakım 52
3.2.1.5. Araştırma Konuları ve Deneme Deseni 52
3.2.1.6. Sulama Yöntemi 55
3.2.1.7. Toprak Suyu Gözlemleri 55
3.2.1.8. Bitki Boyu 56
3.2.1.9. Yaprak Alan İndeksi ve Kuru Madde Miktarı 56
3.2.1.10. Stoma Direnci 57
3.2.1.11. Yaprak Su Potansiyeli 57
3.2.1.12.Bitki Taç Sıcaklığı 58
3.2.1.13. Bitki Su Stres İndeksi (CWSI) 58
3.2.1.14. Hasat 60
3.2.1.15. Hasat İndeksi 61
3.2.1.16. Su Tüketimi 61
3.2.1.17. Su Kullanma Randımanları (WUE ve IWUE) 62
3.2.1.18. Bitki Üretim Fonksiyonu 62
3.2.2. SALTMED Modelinin Test Edilmesinde İzlenen Yöntem 63
3.2.2.1. Tarsus'ta Yürütülen Tarla Denemesi 63
3.2.2.2. SALTMED Modeli İçin Gerekli Verilen Sağlanması 66

3.2.2.3. SALTMED Modelinin Kalibrasyonu 67
3.2.2.4. SALTMED Modelinin Değerlendirilmesi 68
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 71
4.1. Arazi Bulguları 71
4.1.1. Quinoa Bitkisinin Gelişme Dönemleri 71
4.1.2. Sulamaya İlişkin Bulgular 73
4.1.3. Toprak Profilinde Su İçeriği Gözlemleri 75
4.1.4. Bitki Su Tüketimi 76
4.1.5. Dane Verimi 80
4.1.5.1. Dane Veriminin Uygulanan Sulama Suyu Miktarı ile İlişkisi 85
4.1.5.2. Dane Veriminin Bitki Su Tüketimi ile İlişkisi 86
4.1.5.3. Oransal Evapotranspirasyon Açığı ile Oransal Verim Azalışı Arasındaki İlişki ve Verim Tepki Etmeni (ky) 87
4.1.6. Quinoa Bitkisinin Su Kullanma Randımanları 88
4.1.7. Bin Dane Ağırlığı 92
4.1.8. Kuru Madde Verimi 94
4.1.9. Yaprak Alan İndeksi (LAI) 98
4.1.10. Bitki Boyu 99
4.1.11. Hasat İndeksi 100
4.1.12. Toprak Tuzluluğu 102
4.1.13. Stoma Direnci (r_s) 103
4.1.13.1. Stoma Direnci ile Kullanılabilir Su Yüzdesi (RAW) Arasındaki İlişki 112
4.1.14. Yaprak Su Potansiyeli (Ψ_l) 113
4.1.14.1. Yaprak Su Potansiyeli ile Toprakta Kullanılabilir Su Yüzdesi Arasındaki İlişki 121
4.1.14.2. Yaprak Su Potansiyeli ile Stoma Direnci Arasındaki İlişki 122
4.1.15. Bitki Taç Sıcaklığı ile Hava Sıcaklığı Farkı (Tc-Ta) 124
4.1.15.1. Tc-Ta ile Stoma Direnci Arasındaki İlişki 126

4.1.16. Bitki Su Stres İndeksi (CWSI) 127
4.1.16.1. CWSI ile Stoma Direnci Arasındaki İlişki 135
4.2. SALTMED Modeli 136
4.2.1. SALTMED Modelinin Kalibrasyonu 136
4.2.1.1. SALTMED Modelinin Adana Koşulları için Kalibrasyonu 136
4.2.1.2. SALTMED Modelinin Tarsus Koşulları için Kalibrasyonu 138
4.2.2. SALTMED Modelinin Toprak Su İçeriğini Kestirmedeki Performansı 139
4.2.2.1. Adana Koşulları 139
4.2.2.2. Tarsus Koşulları 148
4.2.3. SALTMED Modelinin Toplam Kuru Madde Verimi ve Dane Verimini Kestirmedeki Performansı 154
4.2.3.1. Adana Koşulları 154
4.2.3.2. Tarsus Koşulları 159
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 167
KAYNAKLAR 173
ÖZGEÇMİŞ 193
EKLER 194

ÇİZELGELER DİZİNİ **SAYFA**

Çizelge 3.1. Deneme Alanı Topraklarının Bazı Fiziksel Özellikleri 33
Çizelge 3.2. Deneme Alanı Topraklarının Bazı Kimyasal Özellikleri 34
Çizelge 3.3. Denemede Kullanılan Kanal Suyunun Analiz Sonuçları 35
Çizelge 3.4. Quinoa Bitkisinin Büyüme Dönemindeki Uzun Yıllık ve 2012 Yılı İklim Verileri 36
Çizelge 3.5. Tarsus Deneme Alanı Topraklarının Bazı Fiziksel Özellikleri 64
Çizelge 3.6. Tarsus Deneme Alanı Topraklarının Bazı Kimyasal Özellikleri 64
Çizelge 3.7. Deneme Konularında Sulama Tarihleri ve Uygulanan Sulama Suyu Miktarları 65
Çizelge 3.8. Deneme Konularında Uygulanan Toplam Sulama Suyu Miktarları, ET, Dane Verimi ve Su Kullanım Randımanları 66
Çizelge 4.1. Deneme Konularında Quinoa Bitkisine Uygulanan Sulama Suyu Miktarları (mm) ve Sulama Tarihleri 74
Çizelge 4.2. Damla Sistemiyle Uygulanan Farklı Sulama Stratejilerine Göre Quinoa Bitkisinin Su Dengesi Eşitliği ile Hesaplanan Mevsimlik Su Tüketimleri 77
Çizelge 4.3. Quinoa Bitkisinin Mevsimlik Bitki Su Tüketimi Değerlerine İlişkin Varyans Analizi 79
Çizelge 4.4. Quinoa Bitkisinin Su Tüketimlerine İlişkin Duncan Gruplaması 79
Çizelge 4.5. Damla Sistemiyle Uygulanan Farklı Sulama Stratejilerine Göre Quinoa Bitkisinin Dane Verimi 81
Çizelge 4.6. Quinoa Bitkisinin Dane Verimine İlişkin Varyans Analizi 82
Çizelge 4.7. Quinoa Bitkisinin Dane Verimine İlişkin Duncan Gruplaması 82
Çizelge 4.8. Damla Sulama Sistemiyle Farklı Sulama Stratejilerine Göre Sulanan Quinoa Bitkisinin Sulama Suyu Kullanma Randımanları 89
Çizelge 4.9. Quinoa Bitkisinin Sulama Suyu Kullanma Randımanı (IWUE) Değerlerine İlişkin Varyans Analiz Sonuçları 89

Çizelge 4.10. Damla Sulama Sistemiyle Farklı Sulama Stratejilerine Göre Sulanan Quinoa Bitkisinin Su Kullanma Randımanları 90
Çizelge 4.11. Quinoa Bitkisinin Su Kullanım Randımanı (WUE) Değerlerine İlişkin Varyans Analiz Sonuçları 90
Çizelge 4.12. Damla Sistemiyle Uygulanan Farklı Sulama Stratejilerine Göre Quinoa Bitkisinin Ortalama Bin Dane Ağırlıkları 93
Çizelge 4.13. Quinoa Bitkisinin Bin Dane Ağırlıklarına İlişkin Varyans Analiz Sonuçları 93
Çizelge 4.14. Damla Sistemiyle Uygulanan Farklı Sulama Stratejilerine Göre Quinoa Bitkisinin Hasattaki Kuru Madde Miktarları 95
Çizelge 4.15. Quinoa Bitkisinin Kuru Madde Verimlerine İlişkin Varyans Analiz Sonuçları 96
Çizelge 4.16. Quinoa Bitkisinin Hasattaki Kuru Madde Verimi Değerlerine İlişkin Duncan Gruplaması 96
Çizelge 4.17. Araştırma Konularına Göre Quinoa Bitkisinin Hasat İndeksleri 101
Çizelge 4.18. Quinoa Bitkisinin Hasat İndekslerine İlişkin Varyans Analiz Sonuçları 101
Çizelge 4.19. Deneme Konularında Sulama Öncesi ve İki Sulama Arasındaki Periyotta Ölçülen Stoma Direnci Değerleri 104
Çizelge 4.20. Deneme Konularında İki Sulama Arasındaki Periyotta Ölçülen Yaprak Su Potansiyelleri 114
Çizelge 4.21. Deneme Konularında Farklı Tarihlerde Ölçülen Bitki Taç Sıcaklığı ile Hava Sıcaklığı Farkları 124
Çizelge 4.22. Deneme Konularında Farklı Tarihlerde Belirlenen Bitki Su Stres İndeksi (CWSI) Değerleri 129
Çizelge 4.23. Deneme Konularında 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Derinliklerinde SALTMED Modeli ile Tahmin Edilen Hacimsel Toprak Su İçerikleri için Hesaplanan İstatistiksel İndeksler 145
Çizelge 4.24. Deneme Konularında 0-90 cm Toprak Derinliğinde SALTMED Modeli ile Tahmin Edilen Hacimsel Toprak Su İçerikleri İçin Hesaplanan İstatistiksel İndeksler 147

Çizelge 4.25. Araştırmada 0-90 cm Toprak Derinliğinde SALTMED Modeli ile Tahmin Edilen Hacimsel Toprak Su İçerikleri İçin Hesaplanan MBE, MAE, Ort. RE, RMSE, NRMSE, ENS ve d Değerleri 151
Çizelge 4.26. Deneme Konularında 90 cm Toprak Derinliğinde SALTMED Modeli ile Tahmin Edilen Hacimsel Toprak Su İçerikleri İçin Hesaplanan MBE, MAE, Ort. RE, RMSE, NRMSE, ENS, d Değerleri 152
Çizelge 4.27. Deneme Konuları için SALTMED Modeli ile Kestirilen Quinoa Bitkisinin Toplam Kuru Madde Verimleri ile Gerçek Kuru Madde Verimleri Arasındaki Farklar 155
Çizelge 4.28. Deneme Konuları için SALTMED Modeli ile Kestirilen Quinoa Dane Verimleri ile Gerçek Dane Verimleri Arasındaki Farklar 157
Çizelge 4.29. Deneme Konularında Ölçülen Toplam Kuru Madde Verimi ile SALTMED Modeli ile Kestirilen Değerler Arasındaki Farklar..... 160
Çizelge 4.30. Deneme Konularında Ölçülen Dane Verimleri ile SALTMED Modeli ile Kestirilen Verim Değerleri Arasındaki Farklar 161

ŞEKİLLER DİZİNİ **SAYFA**

Şekil 2.1. Quinoa Danelerinin Besin İçeriği 10
Şekil 3.1. Deneme Planı 54
Şekil 4.1. Jacobsen ve Stolen, (1993)'e Göre Belirlenen Quinoa Bitkisinin Erken Vejetatif (EV), Geç Vejetatif (GV), Çiçeklenme (Ç), Erken Dane Dolum (EDD), Geç Dane Dolum (GDD) ve Olgunlaşma (O) Dönemleri ile Bitki Büyüme Mevsimi Uzunluğu 72
Şekil 4.2. Farklı Bitki Gelişim Dönemlerinde Quinoa Bitkisi 73
Şekil 4.3. Damla Sistemiyle Uygulanan Farklı Sulama Stratejilerine Göre Araştırma Konularında Sulama Öncesi Toprak Su İçeriğinin (mm/90 cm) Zamansal Değişimi 75
Şekil 4.4. Damla Sistemiyle Uygulanan Farklı Sulama Stratejilerine Göre Quinoa Bitkisinin Yığışımlı Su Tüketiminin Zamansal Değişimi 80
Şekil 4.5. Deneme Konularına Göre Quinoa Bitkisi İçin Dane Verimi ile Sulama Suyu Miktarı Arasındaki İlişki 86
Şekil 4.6. Damla Sistemiyle Uygulanan Farklı Sulama Stratejilerine Göre Quinoa Bitkisi için Dane Verimi ile Su Tüketimi (ET) İlişkisi 87
Şekil 4.7. Damla Sistemiyle Uygulanan Farklı Sulama Stratejilerine Göre Quinoa Bitkisi İçin Oransal Evapotranspirasyon Açığı ile Oransal Verim Azalışı İlişkisi 88
Şekil 4.8. Deneme Konularına Göre Quinoa Bitkisinin Dane Verimi ile Su Kullanma Randımanı (WUE) Arasındaki İlişki 92
Şekil 4.9. Damla Sistemiyle Uygulanan Farklı Sulama Stratejilerine Göre Quinoa Bitkisi Yaprak Alan İndekslerinin Zamana Göre Değişimi 98
Şekil 4.10. Damla Sistemiyle Uygulanan Farklı Sulama Konularına Göre Quinoa Bitki Boylarının Zamana Göre Değişimi 100

Şekil 4.11. Araştırma Konularına Göre Fide Dikim Tarihinde ve Hasatta Toprak Tuzluluk Profilleri 102
Şekil 4.12. Deneme Konularında Farklı Tarihlerde Ölçülen Stoma Dirençleri 105
Şekil 4.13a,b,c. Araştırmada Ele Alınan Tam Sulama Konularında (a), %67 Kısıntılı Sulama Konularında (b) ve %33 Kısıntılı Sulama Konularında (c) Stoma Direncinin Zamana Göre Değişimi 106
Şekil 4.14a,b,c,d Araştırmada Ele Alınan Kanal Suyu (a), ECw 10 dS/m (b), ECw 20 dS/m (c) ve ECw 30 dS/m (d) Tuzlu Su ile Sulama Konularında Stoma Direncinin Zamana Göre Değişimi 109
Şekil 4.15. 7 Haziran 2012 Tarihinde Deneme Konularında Ölçülen Stoma Direnci ile Toprakta Kullanılabilir Su Yüzdesi Arasındaki İlişki..... 112
Şekil 4.16. 7 Haziran 2012 Tarihinde FI-100, FI-67, FI-33, PRD ve KURU Konularında Ölçülen Stoma Direnci (r_s) ile Toprakta Kullanılabilir Su Yüzdesi (RAW) Arasındaki İlişki..... 113
Şekil 4.17. 4 Haziran, 7 Haziran ve 8 Haziran 2012 tarihlerinde ölçülen yaprak su potansiyellerinin tam sulama, %67 kısıntılı sulama ve %33 kısıntılı sulama konuları içerisinde ayrı ayrı karşılaştırılması..... 116
Şekil 4.18a,b,c. Kanal Suyu ile Sulama Konuları ve KURU Konusunda 4 Haziran (a), 7 Haziran (b) ve 8 Haziran (c) 2012 Tarihlerinde Ölçülen Yaprak Su Potansiyellerinin Karşılaştırılması 117
Şekil 4.19a,b,c. 10 (a), 20 (b) ve 30 dS/m (c) Sulama Suyu Tuzluluk Düzeylerindeki Deneme Konularında 4, 7 ve 8 Haziran 2012 Tarihlerinde Ölçülen Yaprak Su Potansiyellerinin Kendi Aralarında Karşılaştırılması..... 119
Şekil 4.20. 7 Haziran 2012 Tarihinde FI-100, FI-67, FI-33, PRD ve KURU Konularında Ölçülen Ψ_l ile RAW Arasındaki İlişki..... 122

Şekil 4.21. Damla Sistemiyle Farklı Tuz Düzeyleri ve Sulama Stratejileri Uygulanarak Sulanan Quinoa Bitkisinde Ψ_l ile r_s Arasındaki İlişki 123
Şekil 4.22. Deneme Konularında 4 ve 8 Haziran 2012 Tarihlerindeki Tc-Ta Değerlerinin Karşılaştırması 125
Şekil 4.23. Damla Sistemiyle Farklı Tuz Düzeyleri ve Sulama Stratejileri Uygulanarak Sulanan Quinoa Bitkisinde Tc-Ta ile r_s Arasındaki İlişki 127
Şekil 4.24. Adana'da Yetiştirilen Quinoa Bitkisi İçin Su Stresinin Olmadığı Varsayılan Alt Sınır (LL) ve Bitkinin Tamamen Stres Altında Olduğu Varsayılan Üst Sınır (UL) Koşullarında Taç-Hava Sıcaklığı Farkı İle Buhar Basıncı Açığı (VPD) İlişkisi 128
Şekil 4.25a,b,c. Araştırmada Ele Alınan Tam Sulama (a), %67 Kısıntılı Sulama (b) ve %33 Kısıntılı Sulama (c) Konularında Bitki Su Stres İndeksinin Zamansal Değişimi 131
Şekil 4.26a,b,c,d Araştırmada Ele Alınan Kanal Suyu (a), 10 dS/m (b), 20 dS/m (c) ve 30 dS/m (d) Tuzlu Su Konularında Quinoa Bitkisinin Bitki Su Stres İndeksinin Zamansal Değişimi 133
Şekil 4.27. Adana Koşullarında Yetiştirilen Quinoa Bitkisi İçin CWSI ile Stoma Direnci Arasındaki İlişki 135
Şekil 4.28a,b,c. Model Kalibrasyonu Sırasında FI-100 Konusu İçin 0-30 cm (a), 30-60 cm (b) ve 60-90 cm (c) Toprak Derinliğinde Ölçülen ve Tahmin Edilen Hacimsel Toprak Su İçeriklerinin Karşılaştırılması 137
Şekil 4.29. Model Kalibrasyonu Sırasında T1 Konusu için 0-90 cm Toprak Derinliğinde Ölçülen ve Tahmin Edilen Hacimsel Toprak Su İçeriklerinin Karşılaştırılması 139
Şekil 4.30. Deneme Konularında 0-30 cm Toprak Derinliğinde Ölçülen Hacimsel Toprak Su İçeriklerinin (Pv) SALTMED Modeli ile Kestirilen Toprak Su İçerikleri ile Grafiksel Karşılaştırılması 140

Şekil 4.31. Deneme Konularında 30-60 cm Toprak Derinliğinde Ölçülen Hacimsel Toprak Su İçeriklerinin (Pv) SALTMED Modeli ile Kestirilen Toprak Su İçerikleri ile Grafiksel Karşılaştırılması 141
Şekil 4.32. Deneme Konularında 60-90 cm Toprak Derinliğinde Ölçülen Hacimsel Toprak Su İçeriklerinin (Pv) SALTMED Modeli ile Kestirilen Toprak Su İçerikleri ile Grafiksel Karşılaştırılması 142
Şekil 4.33a,b,c. Deneme Konularında 0-30 cm (a), 30-60 cm (b) ve 60-90 cm (c) Toprak Derinliklerinde Ölçülen ve SALTMED Modeli ile Kestirilen Hacimsel Toprak Su İçerikleri Arasındaki İlişkiler 144
Şekil 4.34a,b,c. T2 (a), T3 (b) ve T4 (c) Konularında 0-90 cm Toprak Derinliğinde Ölçülen ve SALTMED Modeli ile Kestirilen Hacimsel Toprak Su İçeriklerinin (Pv), Grafiksel Karşılaştırılması 149
Şekil 4.35. Deneme Konularında 90 cm Toprak Derinliğinde Ölçülen ve SALTMED Modeli ile Kestirilen Hacimsel Toprak Su İçerikleri Arasındaki İlişki 150
Şekil 4.36. Deneme Konuları için Ölçülen ve SALTMED Modeli ile Kestirilen Toplam Kuru Madde Verimleri Arasındaki İlişki 156
Şekil 4.37. Deneme Konuları için Ölçülen ve SALTMED Modeli ile Kestirilen Dane Verimleri Arasındaki İlişki 159
Şekil 4.38. Deneme Konuları için Ölçülen ve SALTMED Modeli ile Kestirilen Toplam Kuru Madde Verimleri Arasındaki İlişki 160
Şekil 4.39. Deneme Konuları için Ölçülen ve SALTMED Modeli ile Kestirilen Dane Verimleri Arasındaki İlişki 162

1. GİRİŞ

Kuraklık ve tuzluluk tarımda bitkilerin küresel ölçekte coğrafi dağılımını ve verimini etkileyen iki temel çevresel faktördür. Dünya arazilerinin yaklaşık üçte biri kurak ve yarı kurak bölgelerde bulunmaktadır (Williams, 1999). Bu bölgelerdeki yağış yetersizliği, yüksek evapotranspirasyon hızı ve su kaynaklarının etkin yönetilememesi kuraklık ve tuzluluk problemlerini de beraberinde getirmektedir. Dünyada tuzdan etkilenmiş alanların 800 milyon hektarın üzerinde olduğu tahmin edilmektedir (Rengasamy, 2010). Dahası sürdürülebilirlikten uzak, hatalı sulama uygulamaları sonucunda her yıl tuzluluk nedeniyle üretim dışı kalan tarım arazileri genişlemektedir.

Diğer taraftan çeşitli iklim projeksiyonlarına göre Türkiye'nin de içinde bulunduğu Akdeniz Havzasında özellikle kış yağışlarının azalacağı ve yıl boyunca kuraklık periyodunun uzayacağı öngörülmektedir (IPCC, 2014). İklim değişikliğinin çevresel ve sosyo-ekonomik açıdan oldukça geniş etkilerinin olacağı bilim çevrelerince kabul edilmektedir. Yağış rejimindeki değişiklikler, sıcaklık dalgalanmaları, toprak bozulmaları ve su kaynaklarında azalma gibi nedenlerle iklim değişikliğinden en çok etkilenecek sektörlerin başında tarım gelmektedir. Tarımsal üretimdeki olumsuz etkileri şimdiden gözlenmeye başlayan iklim değişikliği, kuraklık ve tuzluluk problemlerinin de katlanarak artmasına neden olacaktır.

Önümüzdeki yirmi yıl içinde dünya nüfusunun yaklaşık 1 milyar kişi artacağı ve 2050 yılında 9.6 milyara ulaşacağı tahmin edilmektedir (UN, 2013). Bu istatistiksel veri, gıda güvenliğinin acil önlem alınması gereken bir sorun olduğunu ifade etmektedir. Çünkü bugün dünyada 805 milyondan fazla insan kronik olarak yetersiz beslenmekte, diğer bir deyişle dünyadaki her dokuz kişiden biri sağlıklı bir yaşam için yeterli besine ulaşamamaktadır (FAO, IFAD ve WFP, 2014). Tarım alanları ve su kaynaklarının sınırlı olmasına ve iklim değişikliğinin yarattığı olumsuzluklara rağmen nüfus artış hızı ile orantılı olarak gıda üretiminin de arttırılması gerekmektedir.

Sulama tarımsal üretimde verim artışı sağlanmasında önemli bir rol oynamaktadır. Dünyadaki gıda üretiminin önemli bölümü sulu tarım alanlarından

sağlanmaktadır. Küresel ölçekte toplam ekili alanların %20'sinden daha azı sulanabilen tarım alanları olmasına karşılık toplam gıda üretiminin %40'ı sulu tarım alanlarından karşılanmaktadır (WWAP, 2012). Öte yandan gelecekte tarım ve tarım dışı kullanıcıların artan ihtiyaçlarını karşılamaya yetecek kadar tatlı su olup olmayacağı yakın geçmişte önemli bir tartışma konusu olmuş ve uzmanlar 21. yüzyılda yoğun bir su sıkıntısı yaşanacağını öngörmüşlerdir (Tanwar, 2003). Bugün tarım sektörü %70'lik payla sınırlı olan tatlı su kaynaklarının en önemli kullanıcısı pozisyonundadır ve genellikle gün geçtikçe artan küresel su kıtlığının arkasındaki temel faktörlerden biri olarak görülmektedir (Faures ve ark., 2000). Tarımda su verimliliğinin artırılması konusunda daha fazla ilerleme sağlanamazsa 2050 yılında bitki su tüketiminin karşılanması için gerekli olan su miktarında %70 ile %90 oranında bir artış olması beklenmektedir (Molden, 2007).

Artan nüfusun gıda gereksiniminin karşılanması ve tarımsal sürdürülebilirlik için; a) mevcut su kaynaklarının etkin yönetimi ve su kullanım randımanının artırılması, b) sulama için ek su kaynaklarının geliştirilmesi, c) stres koşullarına toleranslı ve daha az su ile daha fazla verim sağlayabilen yeni ürünlerin geliştirilmesi alınabilecek önlemler arasındadır (Oweis ve ark., 2003).

Mevcut su kaynaklarının etkin yönetimi ve su kullanım randımanının yükseltilmesi suyun sektörel dağılımı, fiyatlandırılması, su depolama ve iletim yapılarının iyileştirilmesi, su kirliliğinin önlenmesi gibi politik, ekonomik ve çevresel bir dizi tedbirleri kapsamaktadır. Bunların yanı sıra sulama sistemlerinin modernizasyonuna yönelik çalışmalar ve kısıntılı sulama gibi su artırımına olanak sağlayan sulama stratejilerinin geliştirilmesi de mevcut kaynakların etkin kullanımına katkı sağlamaktadır.

Su kayıplarını azaltan basınçlı sulama sistemleri suyun etkin kullanılmasında ve su kayıplarının en düşük düzeyde tutulmasında önemlidir (Yazar ve ark., 2002). Damla sulama su tasarrufu sağlayan modern sulama tekniklerinden biridir. Damla sulama sistemlerinde su uygulama randımanlarının %90-95'e varması, bitkilerin su kullanım etkinliğini arttırması sürdürülebilir tarım için temel koşullardan biri olarak ele alınması gerekliliğini ortaya koymaktadır (Yazar ve ark., 2002).

Kısıntılı sulama ve kısmi kök kuruluğu (Partial Root-Zone Drying, PRD) uygulamaları, tarımsal sulamada su tasarrufu sağlamak için geliştirilen sulama stratejileridir. Kısıntılı sulama; sulamalarda genel bir uygulama olan bitki su gereksiniminin tümünün karşılanması yerine belli bir kısmının karşılandığı işletme biçimidir. Kısıntılı sulamada olağandan daha az su uygulayarak, aynı su miktarı ile daha fazla alanın sulamaya, bir başka deyişle üretime açılması sağlanmaktadır (Doorenbos ve Kassam, 1979).

Kısmi kök kuruluğu (PRD) tekniğinde; sulamalarda dönüşümlü olarak bitki kök bölgesinin yarısının ıslatılmasına izin verilirken diğer yarısı kuru bırakılır. Böylece suyun kıt ve pahalı olduğu bölgelerde geleneksel kısıntılı sulamaya benzer şekilde, daha az su uygulayarak, mevcut su kaynaklarından daha etkin şekilde yararlanılması amaçlanır (Kang ve ark., 1998). PRD tekniğinin başarısı kök bölgesinde eş zamanlı ıslak ve kuru bölgeler yaratarak kök bölgesinin yalnızca bir bölümünün sulanması ve bir sonraki sulamaya dek toprak suyunun korunmasıdır (White, 2003). Bu strateji (PRD) bitkide stoma davranışlarını ayarlayan biyokimyasal sinyalleri kullanarak bitki su potansiyelinde değişiklik olmaksızın su kullanım randımanını artırmayı amaçlar (Davies ve ark., 2002). Geleneksel tekniklerle karşılaştırıldığında, PRD uygulamaları bitki verimindeki düşüşlerinin en aza indirilmesi bakımından avantaj sağlayabilir (Topçu ve ark., 2007). Damla sulama yöntemi ile bu işletme biçiminin uygulanabilmesi için lateraller bitki sıra aralarına yerleştirilir başka bir ifadeyle bir bitki sırasının her iki yanına lateral konumlandırılır. İlk sulamada bitki sırasının sadece bir tarafındaki lateral çalıştırılırken, sonraki sulamada diğer taraftaki lateral çalıştırılır. Bu şekilde laterallerin dönüşümlü olarak çalıştırılması ile her defasında bitki kök bölgesinin sadece yarısının ıslatılmasına izin verilir.

Dünyada suyun en önemli tüketicisi konumunda olan tarım sektöründe, atık sular, drenaj suları, tuzlu sular gibi marjinal suların özellikle tarımsal sulamada kullanım olanaklarının geliştirilmesi yoluyla öteden beri kullanılan tatlı su kaynaklarına ek su kaynakları yaratılabilir. Sınırlı tatlı su kaynakları tüm kullanıcıların artan talepleri ile karşı karşıyadır ve bu durum tarımda marjinal kalitedeki suların kullanımını kaçınılmaz bir zorunluluk haline getirmektedir

(Hamdy, 1995). Düşük kaliteli suların özellikle tuzlu suların kullanımı; çevrenin korunması ve tuzluluk nedeniyle toprağın bozulmaması için uygun bir sulama yönetimi gerektirir (Hamdy ve ark., 2003). Temiz su kaynaklarının büyük bölümünü tarımsal ürünlerin sulanmasında kullanan ülkelerde, tuzlu suların tarımda kullanılması gibi seçeneksel su kaynaklarının değerlendirilmesi, gelecek için çok önemli bir konudur (Mizrahi ve Pasternak, 1985).

Sulamada düşük kaliteli tuzlu suların sürdürülebilir bir şekilde kullanılabilmesi için hem toprak, hem bitki, hem de su yönetimi için entegre yaklaşımlar gerekmektedir. Simülasyon modelleri tarımda su yönetimi için kullanışlı araçlar olabilirler. Bu modeller sadece bitki su gereksiniminin tahmin edilmesinde ve sulama programlamasında değil aynı zamanda verim ve toprak tuzluluğunun kestirilmesinde de kullanılabilirler (Ragab, 2010). Son yıllarda bitki gelişim modelleri yaygın olarak kullanılmakta fakat bu modellerde kullanılan yaklaşımlar birbirinden farklı olabilmektedir (Sarıyev ve ark., 2007). SALTMED Modeli bitki büyümesini; su, toprak, bitki ve yetiştiricilik uygulamalarını dikkate alarak entegre bir yaklaşımla simüle eden kapsamlı modellerden biridir. Model sulama sistemi, toprak tipi ve sulama suyunun tuzluluk düzeyinin; toprak nemi ve topraktaki tuz dağılımı üzerine etkilerini, yıkama gereksinimini ve ürün verimini başarıyla kestirebilmektedir (Ragab, 2002). Modelde iyi bilinen fiziksel esaslı su ve çözelti taşınımı, evapotranspirasyon ve topraktan su alımı eşitlikleri kullanılmaktadır (Ragab, 2010).

Kuraklık, tuzluluk gibi sorunların yanı sıra iklim değişikliği nedeniyle değişen çevresel koşullarda tarımsal üretimin sürdürülebilmesi için ortaya konan yaklaşımlardan birisi de bu koşullara uyum sağlayabilen, abiyotik stres faktörlerine toleranslı quinoa gibi bitkilerin üretim planına alınmasıdır.

Anavatanı Güney Amerika'nın And bölgesi olan quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) bu bölgedeki yerel halkın temel besin kaynağını oluşturmaktadır (Pearsall, 1992; Garcia, 2003; Bhargava ve ark., 2006). Bu bitki yüksek besin değerinin yanı sıra tuzluluk, kuraklık ve don gibi çeşitli abiyotik stres koşullarına dayanıklılığı ile tanınmaktadır. Quinoa yıllık yağışın 100 mm'ye kadar düştüğü ve buharlaşma açığının yüksek olduğu bu dağlık bölgede, kuraklık, don, güçlü rüzgar,

aşırı güneş gibi ekstrem iklim koşullarında, zayıf topraklarda ve tuz göllerinin çevresinde yetiştirilebilmektedir. Quinoa kuru madde verimi bakımından tuza yüksek tolerans gösteren bir türdür ve %100 deniz suyu ile sulanması durumunda bile canlılığını sürdürebilmektedir (Eisa ve ark., 2012). Quinoa bitkisinin sahip olduğu su stresine karşı direnç mekanizmaları bu bitkinin kurak ve yarı kurak bölgelere adaptasyonunu kolaylaştırmaktadır (Jensen ve ark. 2000, Jacobsen ve ark., 2003). Quinoa diğer birçok bitki türüne göre genel olarak dondan daha az etkilenen bir bitkidir (Jacobsen ve ark., 2005). Bitkinin sahip olduğu geniş genetik çeşitlilik, deniz kıyısından dağlık kesimlere kadar farklı çevresel koşullara adaptasyonunu ve ıslah çalışmalarını kolaylaştırmaktadır. Bu özellikleri ile quinoa bitkisi tarım dışı kalma tehlikesi ile karşı karşıya olan kurak ve tuzlu tarım alanları ile fakir topraklar için alternatif bir ürün olabilme potansiyeline sahiptir. Danelerinin dengeli aminoasit içeriği ve glütensiz oluşu; bu bitkiyi önemli kılan bir başka özelliktir. Bitki yüksek besin değeri, genetik çeşitliliği ve çevresel stres koşullarına sıra dışı toleransı sayesinde son yıllarda tüm dünyada ilgi görmeye ve yetiştirilmeye başlanmıştır. Quinoa bitkisini gelecek yüzyılda gıda güvenliğinin sağlanmasına yönelik bitkilerden bir olarak seçen FAO, bu bitkinin gıda güvenliği ve yoksulluğun ortadan kaldırılması açısından önemini vurgulamak, dünya ölçeğinde tanınırlığını artırmak, quinoa biyoçeşitliliğinin korunmasını ve dünya çapında sürdürülebilir kullanımını sağlamak amacıyla 2013 yılını “Uluslararası Quinoa Yılı” olarak ilan etmiştir (FAO, 2012).

Bu çalışmanın amacı Akdeniz iklim koşullarında quinoa bitkisinin farklı tuzluluk düzeyleri ve farklı sulama stratejileri uygulanarak damla yöntemiyle sulanmasının, bitkinin vejetatif gelişimi, verim ve verim bileşenleri, su-verim ilişkileri ve topraktaki tuz birikimine etkilerinin belirlenmesi; SALTMED modelinin farklı sulama suyu kalitesi ve sulama stratejileri altında yetiştirilen quinoa bitkisi için verim, kuru madde ve toprak su içeriğini tahmin etmede kullanım olanaklarının araştırılmasıdır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Quinoa Bitkisi

Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) C3 (karbon–3) bitkiler grubunda yer alan çift çenekli tek yıllık otsu bir bitkidir. (Jacobsen, 2003). And bölgesi olarak adlandırılan Peru, Bolivya ve Ekvador'un dağlık kesimlerinde 5000 yıldan daha uzun süredir yetiştirilmektedir (Jacobsen ve ark. 1994; Bhargava ve ark., 2006).

Quinoa bir dane bitkisi olmakla beraber gerçek bir tahıl değil Amaranthaceae (Ispanakgiller) familyasına ait bir bitkidir. Tahıllarla hem benzerlik hem de farklılıklar gösterdiğinden pseudo-cereal (tahıl benzeri) olarak adlandırılmaktadır. Quinoa bitkisini tahıllardan ayıran en önemli özellikler tahıllar gibi tek çenekli olmaması ve çimensi bir yapıya sahip olmamasıdır.

Quinoa bitkisinin boyu 0.5-2 m arasında değişir (Oelke ve ark., 1992), bazen 3 m yüksekliğe kadar ulaşabilir. (FAO, 1994; Vega-Galvez, 2010). Kazık köklü bir bitki olan quinoa bitkisinin kök sistemi bir ana kökten oldukça dallı bir sisteme doğru gelişir. Bu kök sistemi bitkinin kuraklığa karşı dayanıklılığını arttırır. Kalın, dik ve odunsu bir gövdeye sahiptir. Gövde dallanmış veya dallanmamış olabilir. Silindirik bir yapıya sahip olan bitki gövdesinin kalınlığı 1-8 cm arasında değişir. Kazayağına benzeyen geniş sıralı yaprakları vardır. Genç bitkilerde yaprak rengi genellikle yeşildir fakat bitki olgunlaştıkça yaprak rengi sarı, kırmızı veya mora dönüşebilir (Oelke ve ark., 1992). Bitki tepe bölgesinde küçük çiçekler içeren ve her bir çiçeğin bir tohum taşıdığı bir panikül (birleşik salkım) ile sonlanır (Geerts ve ark., 2008a). Panikül uzunluğu 30-80 cm çapı ise 5-30 cm arasında değişir. Quinoa daneleri 1.5- 4 mm çapında, daire şeklinde bir aspirin tabletini andırır şekilde her iki yüzeyinden basıktır. Daneler çeşit özelliğine bağlı olarak beyaz, sarı, kırmızı veya siyah renklerde olabilir. Tohumları küçük olduğu için genellikle 1000 dane ağırlığı (3-6 gr) düşüktür (Geerts ve ark., 2008b).

Quinoa bitkisi genellikle kendi kendine tozlaşmaktadır (Bhargava ve ark., 2006) bunla birlikte bitkide %17.36 oranında çapraz tozlaşma olduğu bildirilmiştir (Silvestri ve Gil., 2000).

Quinoa deniz seviyesinden başlayarak 4000 m yüksekliğe kadar farklı agro-ekolojik bölgelere uyum sağlamış geniş bir genetik çeşitliliğe sahiptir (Garcia ve ark., 2003; Jacobsen, 2003). And bölgesinde yetiştiği ekolojik çevreler dikkate alınarak quinoa bitkisinin 5 ana ekotipi olduğu bildirilmiştir. Bunlar Peru ve Bolivya'nın yüksek kesimlerde yetişen dağlık (highland) ekotipi, Kolombiya Ekvador ve Peru'da And bölgesi vadilerinde yetişen vadi (valley) ekotipi, Bolivya Şili ve Arjantin'de tuz gölleri çevresindeki tuzlu alanlar ve tuz düzlüklerinde yetişen tuzcul (salares) ekotipi, düşük rakımlarda ve Şili'de kıyı kesiminde yetişen kıyı (coastal/lowlands) ekotipi ve Bolivya'da Yungas ekotipi şeklinde sıralanmaktadır (Bhargava ve ark., 2013; Ruiz ve ark., 2014). Bugün quinoa ve ona akraba olan yabani türlerden oluşan 16000'in üzerindeki gen kaynağı Türkiye'nin de aralarında bulunduğu 30 ülkedeki gen bankalarında korunmaktadır (Rojas ve ark., 2014). Fuentes ve Bhargava (2011), Şili'nin kuzeyindeki yüksek kesimlerinden topladıkları yirmisekiz quinoa gen kaynağının morfolojik özelliklerini belirleyerek yeni quinoa ıslah programlarının geliştirilmesine yardımcı olmak üzere bir rapor hazırlamışlardır. Çok sayıda quinoa çeşidinin agronomik özellikleri ise Bhargava ve ark. (2007), tarafından listelenmiştir.

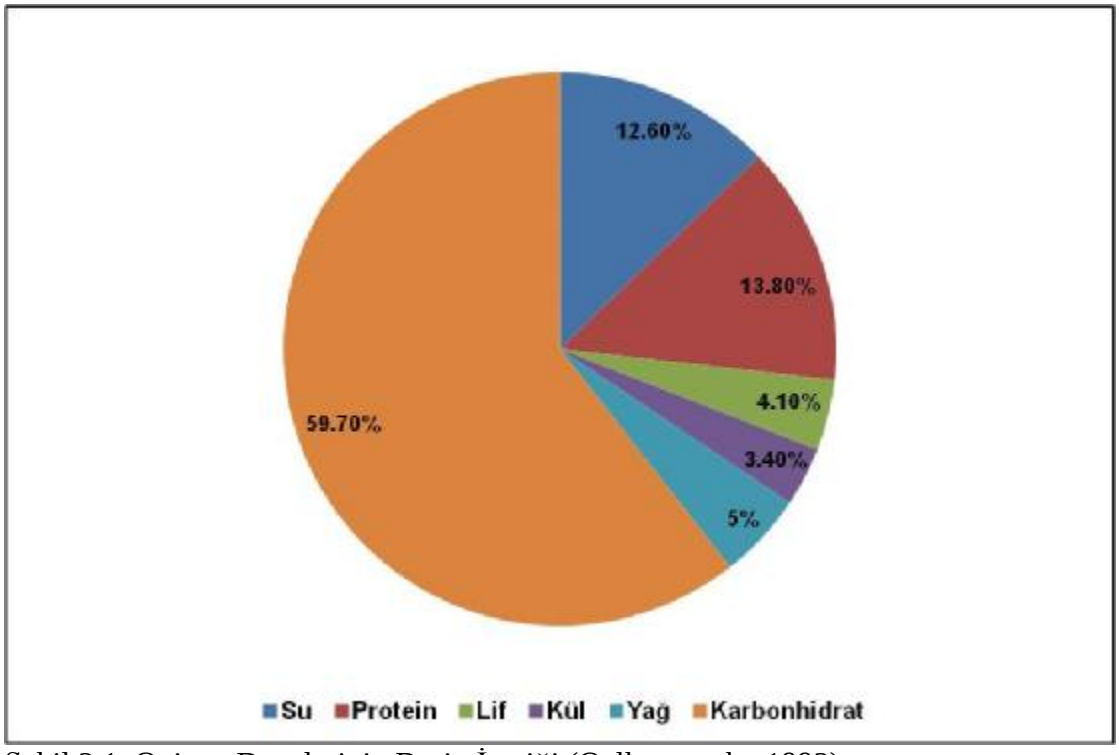
2.1.1. Quinoa Danelerinin Besin Değeri ve Kullanım Alanları

Quinoa daneleri oldukça besleyici bir gıdadır. Quinoa tohumlarının besin değerinin Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından önerilen değerleri fazlasıyla karşıladığı rapor edilmiştir (Hirose ve ark., 2010). Ticari değeri olmamakla birlikte quinoa yaprakları ve yeşil aksamı da insan beslenmesi açısından zengin bir besin kaynağıdır. Quinoa tohumları buğday ve pirince benzer şekilde dane olarak veya un şeklinde işlenerek kullanılabilir. Quinoa unu ekmek, makarna, pasta, kek ve diğer tüm unlu mamullerin yapımında sade veya diğer tahılların unları ile karıştırılarak kullanılmaktadır. Dane olarak yemeklerde veya pilavlarda; çimlendirilen tohumlar quinoa filizi olarak salata ve soğuk yemeklerde kullanılmaktadır. Gluten içermediğinden özellikle çölyak hastalarının diyetlerinde yer alan önemli bir besin

kaynağıdır. Antioksidan özelliğinden dolayı özel diyetlerin hazırlanmasında kullanılmaktadır.

Quinoa insan beslenmesinde gerekli olan tüm temel aminoasitleri, iz elementleri, vitaminleri içeren ve aynı zamanda glütensiz olan tek besin maddesidir (FAO, 2013). Oelke ve ark. (1992), tarafından belirlenen quinoa danelerinin besin içeriği Şekil 2.1'de verilmiştir. Koziol (1992), Dini ve ark. (1992), Ruales ve Nair (1993), Wright ve ark. (2002), Repo-Carrasco ve ark. (2003) da farklı quinoa çeşitlerinin besin içeriğinin belirlenmesine ve benzer besin maddeleri ile karşılaştırılmasına yönelik çalışmalar yapmışlardır. Farklı quinoa çeşitleri kullanılarak yapılan bu araştırmalarda quinoa danelerinin protein içeriğinin %12.5-16.5 arasında değiştiği belirtilirken, FAO (2011) quinoa danelerinin protein içeriğinin %13.8 ile %21.9 arasında değiştiğini belirtmiştir. FAO tarafından yapılan karşılaştırmalarda quinoa danelerinin protein içeriğinin ve kalitesinin yaygın olarak kullanılan tahıllara göre çok daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır (Oelke ve ark., 1992). Repo-Carrasco ve ark. (2003), quinoa danelerinin diğer tahıllara göre genellikle daha yüksek miktarda protein içermesine karşılık bitkinin daha çok protein kalitesi ile tanındığını belirtmiştir. Quinoa temel aminoasitleri insan beslenmesi açısından oldukça dengeli bir oranda içerir; protein kalitesi örnek proteine yakındır (Johnson ve Auguilera, 1980). Wright ve ark., (2002), quinoa danelerinin WHO referans değerlerine uygun, oldukça dengeli bir aminoasit kompozisyonuna sahip olduğunu belirtmiştir. Genel olarak tahıllarda düşük miktarlarda bulunan lizin bakımından zengindir (Koziol, 1992).

Ruales ve Nair (1993), quinoa danelerinin iyi bir tiamin, folik asit ve C vitamini kaynağı olduğunu belirtmiştir. Lifli bir gıda olan quinoa daneleri aynı zamanda E vitamini gibi doğal antioksidanlar bakımından da zengindir (Alvarez-Jubete ve ark., 2010, Vega-Galvez ve ark., 2010). Quinoa daneleri düşük sodyum içeriğine sahiptir ve kalsiyum, magnezyum, fosfor, potasyum, demir, bakır, mangan ve çinko bakımından buğday, arpa ve mısırdan daha zengindir (Ruales ve Nair, 1993; Johnson,1990).



Şekil 2.1. Quinoa Danelerinin Besin İçeriği (Oelke ve ark., 1992).

Birçok quinoa çeşidi yüksek besin içeriğine karşılık tohum kabuğunda farklı oranlarda besleyici olmayan acı saponin bileşikleri içerir (Kuljanabhagavad ve Wink, 2009; Ward, 2000). Quinoa danelerinin gıda olarak kullanımından önce tohum kabuğundaki saponin bileşiklerinin uzaklaştırılması gereklidir (Joshi ve ark., 2008).

2.1.2. Dünyada Quinoa Üretimi ve Pazarı

Quinoa, Güney Amerika'da Kolombiya'dan Arjantin'in kuzeyine ve Şili'nin güneyine kadar tüm And bölgesi ülkelerinde geleneksel olarak yetiştirilmektedir (Fuentes ve ark., 2009). Besleyici değeri, farklı agro-ekolojik bölgelere kolay adapte olabilmesi, abiyotik stres ve olumsuz çevre koşullarına dayanıklılığı sayesinde quinoa yetiştiriciliği kıta sınırlarını aşmış; Avustralya, Kanada, Çin, Fransa, İspanya, Danimarka, Hollanda, İtalya, Fas, Kenya ve Hindistan'nın da aralarında bulunduğu dünyanın çeşitli ülkelerinde quinoa yetiştirilmeye başlanmıştır (FAO, 2013).

2013 yılında yaklaşık 103400 ton olan dünya quinoa üretiminde Peru ve Bolivya lider üretici ülkeler konumundadırlar (FAO-FAOSTAT, 2014). Bu iki ülke

dünya pazarındaki talebin yaklaşık %96'sını karşılamaktadır (FAO, 2013). Üretim miktarı açısından Peru ve Bolivya'yı ABD, Ekvador ve Şili izlemektedir. Peru, Bolivya ve Ekvador'daki üretim miktarı 2000 yılından 2013 yılına kadar olan süreçte iki katına çıkmıştır (FAO-FAOSTAT, 2014). Ancak, özellikle ABD ve Avrupa'da quinoa talebi hızla artmakta fakat üretici ülkeler bu talebi karşılamakta yetersiz kalmaktadır (Jacobsen, 2003).

Dane iriliği, rengi ve kalitesi ile quinoa bitkisinin organik tarım prensiplerine uygun olarak yetiştirilmesi pazar fiyatlarını etkileyen unsurlardır. Bununla birlikte son on yıldaki talep artışı uluslararası pazarda quinoa fiyatlarının katlanarak artmasına neden olmuştur. FAO verilerine göre quinoa ihracat fiyatları 3000 $/ton üzerindedir ve yükselme eğilimi göstermektedir (FAO, 2013).

2.1.3. Quinoa Bitkisinin İklim ve Toprak İsteği

Quinoa bitkisi hafif eğimli, organik madde içeriği yüksek, drenajı iyi olan hafif ve orta bünyeli, nötr topraklarda iyi gelişir. Bununla birlikte quinoa uygun olmayan iklim ve toprak koşullarına iyi adapte olabilen bir bitkidir (Garcia ve ark., 2003). Kuraklık, tuzluluk ve don gibi çevresel stres koşullarına yüksek tolerans göstermekte, marjinal topraklarda ve sert çevresel koşullarda yetişebilmektedir. Güney Amerika'da oldukça fakir, drenaj problemi olan, pH 4.8'den 8.5'e kadar oldukça asitli veya alkali topraklarda, tuz göllerinin çevresinde yetiştirilmektedir (Jacobsen ve ark., 1994; Bosque Sanchez ve ark., 2003). Diğer bitkiler için uygun olmayan tuzlu ve verimsiz alanlar örneğin Bolivya sınırında Uyuni ve Coipasa tuz düzlükleri en önemli üretim alanlarından biridir (Jacobsen, 2003; FAO, 2011).

Quinoa bitkisi -4°C ile 38°C arasındaki sıcaklıklarda ve %40 ile %88 arasındaki oransal nem koşullarında yetişebilmektedir (FAO, 2011). Quinoa diğer birçok bitki türüne göre genel olarak dondan daha az etkilenen bir bitkidir. Quinoa bitkisinin fenolojik dönem ve çeşide bağlı olarak -8 ˚C'de 4 saate kadar canlılığını sürdürerek yüksek derecede don dayanımı gösterdiği tespit edilmiştir. Bitkinin değişik büyüme dönemlerinde dona karşı hassasiyeti karşılaştırıldığında; dona karşı

en hassas olduğu dönemin, kuraklık stresine karşı da hassas olduğu dönem olan, çiçeklenme dönemi olduğu belirtilmiştir (Jacobsen ve ark., 2003).

Quinoa toprakta su eksikliğine dayanıklıdır, yıllık toplam yağışın 100-200 mm olduğu iklim koşullarında bile kabul edilebilir düzeyde verim sağlamaktadır (Jacobsen ve ark., 2003; FAO, 2011).

Quinoa tohumlarının çimlenebilmesi için en uygun toprak sıcaklığı 8-10˚C, ekim derinliği ise 1-2 cm'dir (Jacobsen, 2003). Tohumların küçük olması çimlenme hassasiyetini arttırdığından iyi bir tohum yatağı hazırlanması önemlidir. 150 mg/kg toprak düzeyine kadar olan azotlu gübre uygulamaları quinoa dane verimini yükseltmektedir (Lavini ve ark., 2014). Çeşit özelliğine bağlı olarak quinoa bitkisinin büyüme mevsimi uzunluğu 90-180 gün arasında değişmektedir (Jacobsen, 2003).

2.2. Tuzlu Suların Sulamada Kullanılması

Günümüzde kentleşme ve sanayi sektöründeki gelişmeler tatlı suya olan talebi artırmakta ve sulama için ayrılan tatlı su miktarını azaltmaktadır (Zwart ve Bastiaanssen, 2004; Qadir ve Oster, 2004). Diğer taraftan dünyada büyük miktarlarda bulunan tuzlu sular sulama için potansiyel bir kaynak oluşturmaktadır (Mantell ve ark., 1985; Ma ve ark., 2008). Geçmiş yıllarda geleneksel tarım için çok tuzlu olarak sınıflandırılan bu sular günümüzde sulamada kullanılmaktadır (Rhoades ve ark, 1992). Tuzlu sular, tatlı su ile karıştırılarak yani seyreltilerek sulama amaçlı kullanılabildiği gibi tuzluluk düzeyine bağlı olarak seyreltilmeden de kullanılabilir. Diğer bir uygulama ise tuzlu suların tatlı su ile dönüşümlü olarak kullanılmasıdır (Malash ve ark., 2005).

Tuzlu suların sulamada kullanımı standart sulama uygulamalarından farklı olarak; söz konusu tuzluluk koşullarında yetişebilecek tuza toleranslı uygun bitkilerin seçimini, uygun sulama yönteminin seçimini, gelişmiş bir su yönetimi ile gerektiğinde ileri sulama teknolojilerinin kullanımını ve toprağın fiziksel özelliklerinin korunması için gerekli tedbirlerin alınmasını gerektirir (Oster, 1994; Pereira ve ark., 2002; Hamdy ve ark., 2003).

Sulama suyundaki yüksek tuz konsantrasyonları toprak tuzluluğunun birçok kültür bitkisine zarar verecek düzeylere ulaşmasına neden olabilir. Bitki kök bölgesindeki tuzluluk nedeniyle ortaya çıkan düşük ozmotik potansiyel su potansiyelini düşürür ve köklerden su alımını güçleştirir. Bu durum bitkilerde kuraklık etkilerine benzer etkiler yaratır. Diğer taraftan topraktaki sodyum, klor, bor gibi tuz iyonları bitki bünyesine girerek toksik etki yaratabilir (Taiz ve Zeiger, 2008). Bitkilerde tuzluluğa tolerans büyük ölçüde bitkinin genetik özelliklerine bağlı olmakla birlikte iklim koşulları (Somani, 1991), sulama suyunun tuzluluk düzeyi, seçilen sulama yöntemi ve sulama aralığı (Shalhevet, 1994) bitkilerin tuza dayanımını etkileyen faktörlerdir.

Tuzlu suların sulamada kullanımında ortaya çıkabilecek risklerden kaçınmak veya bu riskleri en aza indirmek için uygun sulama yönteminin seçilmesi önemlidir (Malash ve ark., 2005). Uygun yöntemin seçiminde, sulama yönteminin kendine has özelliklerine bağlı olarak topraktaki tuz birikimi, kök bölgesindeki tuzun kolay ve kontrollü bir şekilde yıkanabilmesi, yüzey akış kayıplarının kontrolü ve infiltrasyon koşulları, sulama suyunun yapraklara temas ederek toksik etki yaratma olasılığı, bitkinin strese girmesi ve verim kayıplarının kontrol altında tutulabilmesi için toprakta kullanılabilir suyun belli bir düzeyde tutulabilmesi gibi faktörler göz önünde bulundurulmalıdır (Pereira ve ark., 2002). Malash ve ark. (2005), sulama yöntemine bağlı olarak topraktaki tuz dağılımının farklılık gösterdiğini bildirmiştir. Shalhevet (1994), tuzlu suların sulama amaçlı kullanıldığı durumlarda sulama yöntemi olarak damla sulamanın seçilmesinin önemli avantajlar sağladığını belirtmiştir. Bu yöntemle sulama yapıldığında örneğin yağmurlama sulamada olduğu gibi bitki ıslanmadığından yaprakların tuzdan zarar görmesi söz konusu değildir. Yüzey sulama ya da yağmurlama sulama yöntemlerinde olduğundan daha az su ile sadece bitki kök bölgesi ıslatıldığından toprağa daha az tuz eklenmiş olur. Ayrıca sistemin otomasyona ve ileri teknolojilerin kullanımına olanak sağlaması, yüzey akış kayıplarının kontrolü, yıkama gibi yönetsel uygulamaların daha kolay yapılması damla sulama sisteminin sağladığı avantajlar arasındadır.

Tuzlu suların sulamada sürdürülebilir kullanımı için uygun bir yıkama programı kilit rol oynar. Letey ve ark. (2011), etkili bir yıkama uygulamasının

toprakta tuz dengesinin bitkiye zarar vermeyecek düzeyde tutulmasını sağladığı gibi toprak bozulması ve olası tuzluluk sorunlarının önlenmesi için de gerekli olduğunu ifade etmişlerdir.

2.3. Kısıntılı Sulama Teknikleri ve Su Verimliliği

Yakın zamana kadar tarımsal araştırmalar öncelikli olarak toplam verimin en yüksek düzeye çıkarılmasını amaçlarken son yıllarda başta arazi ve su kullanılabilirliği olmak üzere tarımsal üretim sistemini sınırlandıran faktörlere yoğunlaşmıştır. Özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde su verimliliğini artıran sürdürülebilir yöntemler önem kazanmaktadır (Debaeke ve Aboudrare, 2004). Suyun tarımsal üretimde kısıtlayıcı bir faktör olduğu bu bölgelerde kısıntılı sulama ve kısmi kök kuruluğu (PRD) teknikleri önemli sulama stratejileri olarak araştırılmaktadır (English, 1990; Kang ve ark., 1998; Pereira ve ark., 2002; Fereres ve Soriano, 2007).

Kısıntılı sulama ve PRD tekniğinin su artırımı sağlamasının yanı sıra iyi planlanmış kısıntılı sulama ve PRD uygulamaları ile su kullanım randımanlarının yükseltilmesi de mümkündür (Fereres ve Connor, 2004; Geerts ve Raes, 2009). Çeşitli tarım ürünleri için yapılan araştırmalarda kısıntılı sulama koşullarında su kullanım randımanının tam sulama koşullarında olduğundan daha yüksek olduğu gösterilmiştir (FAO, 2002; Zwart ve Bastiaansen, 2004; Fan ve ark., 2005, Fereres ve Soriano, 2007).

Davies ve ark. (2002), kısmi kök kuruluğu uygulamalarının kök gelişimini teşvik ettiğini ve bitkide stabil bir absisik asit (ABA) sinyalizasyonu sürdürerek sürgün fizyolojisini düzenlediğini ileri sürmüşlerdir. Buna karşılık geleneksel kısıntılı sulamada uzun süre kuru kalan toprakta bazı köklerin ölebileceğini ve sinyalizasyonun azalabileceğini buna bağlı olarak da sürgünde su eksikliğinin ortaya çıkacağını bildirmişlerdir. Bu durum aynı miktar sulama suyu uygulansa dahi bitki gelişimi ve verimin daha yüksek olmasına bağlı olarak PRD tekniğinin geleneksel kısıntılı sulamaya göre daha yüksek su kullanım randımanı sağlayabileceği düşüncesini desteklemektedir. Kang ve Zhang (2004), PRD tekniğinin su kullanım randımanını yükseltebileceğini, bitkide vejetatif gelişmeyi kontrol altında

tutabileceğini, ürün kalitesini geliştirebileceğini, verimde düşüşlere neden olabileceği gibi olmayabileceğini de ifade etmişlerdir.

Zhang ve Oweis (1999), kısıntılı sulamanın en yüksek bitki verimini elde etmekten daha çok en yüksek su kullanım randımanında istikrarlı bir verim elde etmeyi amaçladığını belirtmiştir. English (1990) ise doğru bir kısıntılı sulama stratejisi uygulamak için bitkide kuraklık stresine bağlı olarak ortaya çıkan verim azalmasının ekonomik etkilerinin de ayrıntılı bir şekilde değerlendirilmesi gerektiğini belirterek suyun sınırlandırıcı faktör olduğu koşullarda su kullanım randımanının yükseltilmesinin verimin yükseltilmesinden daha karlı olabileceğini vurgulamıştır.

Kısıntılı sulamada bitki daha az hassas olduğu büyüme dönemlerinde hafif su stresine tabi tutulur (Pereira ve ark., 2002; Fghire ve ark., 2015). Payero ve ark. (2006), kısıntılı sulamanın bitkilerde büyüme ve gelişmeyi etkileyebilecek şekilde su stresi yaratabileceğini belirtmiştir. Kuraklık toleransı bitki çeşidi ve büyüme dönemlerine bağlı olarak değişiklik gösterdiği için bitkilerin her bir gelişme döneminde kuraklık stresine gösterdiği tepkilerin bilinmesi başarılı bir kısıntılı sulama programlaması açısından önemlidir (Yazar, 1990; Geerts ve Raes, 2009).

Kısıntılı sulama uygulamalarında bitki kök bölgesine verilen su miktarı azaltıldığından toprak tuzluluğunun yükselmesi önemli bir risk oluşturmaktadır (Schoups ve ark., 2005).

Yukarıda sıralanan araştırmalarda kısıntılı sulama tekniklerinin su tasarrufu sağlanması, su kullanım randımanının artırılması, istikrarlı ve karlı bir verimin garanti altına alınması gibi avantajlar sağlamasının yanı sıra bitki ve toprak açısından bir takım riskleri de beraberinde getirebileceğine işaret edilmektedir. Kısıntılı sulama programları oluşturulurken tüm bu unsurların dikkate alınması tarımsal sürdürülebilirlik açısından önem taşımaktadır.

2.4. Quinoa Bitkisinin Kuraklık ve Tuz Stresine Toleransı

Bitkilerde stres toleransı hücresel ya da moleküler düzeyden başlayarak tüm bitki düzeyine ulaşan birbirine bağlı bir dizi morfolojik, fizyolojik ve biyokimyasal

mekanizmaları kapsar. Quinoa kuraklık, tuzluluk, soğuk hava, yüksek solar radyasyon, dondurucu gece sıcaklıkları ve farklı toprak pH dereceleri gibi çeşitli stres faktörlerine tolerans gösterebilen bir türdür (Risi ve Galwey, 1984; Gonzalez ve Prado, 1992; Jacobsen ve ark. 1994, Jensen ve ark., 2000, Geerts ve ark., 2008a).

Bitki çeşidine bağlı farklılıklarla birlikte; quinoa bitkisinin kuraklığa dayanıklılıkla ilgili çeşitli mekanizmalara sahip olduğu ve bu direnç mekanizmaları sayesinde kurak ve yarı kurak bölgelere kolay adapte olduğu belirtilmiştir (Jensen ve ark., 2000; Jacobsen ve ark., 2003). Derin ve yoğun kök sistemi, yaprak katikülasındaki beyaz higroskopik ve yansıtıcı kabarcıklar gibi morfolojik özellikleri bitkinin kuraklık tolerans mekanizmasının bir parçasıdır (Espindola, 1986; Jacobsen ve ark., 2009). Ayrıca bitkinin yapraklarını dökerek yaprak alanını düşürmesi, ciddi su kayıplarında bile turgoru koruyan küçük kalın duvarlı hücreleri ve dinamik stoma davranışları ile kuraklığın negatif etkilerinden korunduğu tespit edilmiştir (Jensen ve ark., 2000). Bitkide, erken vejetatif dönemdeki kuraklıklara tepki olarak büyüme sürecinin uzaması, geç büyüme dönemindeki kuraklıklara tepki olarak ise erken olgunlaşmanın ortaya çıktığı belirtilmiştir (Jacobsen ve ark., 2003).

Jacobsen ve ark. (2009), toprağın kuruma periyodu boyunca quinoa bitkisinin hassas bir stoma kapanma mekanizmasına sahip olduğunu; bu sayede yaprak su potansiyeli ve fotosentezi sürdürerek yüksek bir su kullanım etkinliği sağladığını belirlemiştir. Bitkinin sahip olduğu bu hassas stoma kapanma mekanizmasında köklerden kaynaklı ABA sinyalizasyonunun küçük bir rolü olduğu sonucuna varmıştır.

Lavini ve ark. (2014), vejetatif gelişme dönemindeki kuraklıkların quinoa bitkisinde daha derin kök gelişimi sağladığını ve bunun stressiz geçen sonraki gelişme dönemlerinde bitkinin fotosentez ve karbon değişimini optimum düzeyde gerçekleştirmesini sağladığını ortaya koymuşlardır.

Jacobsen ve ark. (2003), quinoa bitkisinin hafif kumlu topraklarda sadece 200 mm yağış ile yetiştirilebildiğini ifade etmişlerdir. Bununla birlikte, Galloardo ve Gonzalez (1992), toprak neminin çimlenme zamanı ve oranı ile fide gelişiminde önemli bir rolü olduğunu göstermişlerdir. Bitkinin çeşitli kuraklık dayanım mekanizmalarına sahip olmasına rağmen başlangıç büyüme dönemindeki orta

kuraklıkların üzerindeki su stresi nedeniyle verim düşüklükleri Bosque Sanchez ve ark. (2003) tarafından raporlanmıştır.

Garcia (2003) ile Geerts ve ark. (2006) quinoa bitkisinin kuraklığa karşı en hassas olduğu büyüme dönemlerinin bitki oluşumu, çiçeklenme ve erken dane dolum dönemleri olduğunu tespit etmişlerdir.

Vacher (1998) Bolivya'da yaptığı çalışmada iki quinoa çeşidinin (Sajama ve Sisa) kuraklığa tepkilerini ve kuraklığın yaprak su potansiyeli, stoma iletkenliği, transpirasyon ve fotosentez hızına etkilerini araştırmıştır. -2.5 MPa ve daha düşük yaprak su potansiyelinde, stomalarda ani kapanma ile birlikte transpirasyon ve fotosentez hızında 2/3 oranında düşüş ortaya çıktığını belirtmiştir. Bu düşüşü takip eden çok kurak koşullarda ve düşük yaprak su potansiyeli (yaklaşık -4 MPa) değerlerinde stoma iletkenliği, transpirasyon ve fotosentez hızının düşük fakat devam eden gaz değişimi ile nispeten stabil kaldığını ortaya koymuştur.

Jensen ve ark. (2000), Danimarka'da saksı ve lizimetre denemeleri ile yaptıkları çalışmada toprak kuruluğunun quinoa bitkisi yaprak su ilişkileri ve gaz değişimine etkilerini araştırmışlardır. Tam sulanan bitkilerde dallanma, çiçeklenme ve dane dolum dönemlerinde stoma iletkenliğinin sırasıyla 0.3-1.0, 0.3-0.6 ve 0.2-0.7 $mol/m^2/s$ arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Sulanmayan konularda ise yaprak su potansiyelinin -1.2 MPa değerinin altına, -1.6 MPa değerine kadar düştüğünde stomaların kapanmaya başladığını tespit etmişlerdir.

Quinoa bitkisi tuza yüksek tolerans gösteren bir türdür ve %100 deniz suyu ile sulanması durumunda bile canlılığını sürdürebilmektedir (Koyro ve Eisa, 2008). Quinoa bitkisi hücre turgorunu ve transpirasyonu sürdürebilmek için tuz iyonlarını biriktirerek ve yaprak ozmotik potansiyelini ayarlayarak yüksek tuzlu koşulları tolere eder (Jacobsen 2003, Gomez-Pando ve ark. 2010). Bu bitkinin tuz toleransı ozmotik düzenleme ve dokularında iyon biriktirme özellikleri arasında hassas bir denge oluşturması sayesindedir (Eisa ve ark., 2012).

Morales ve ark. (2011), dört quinoa ekotipi kullanarak yaptıkları araştırmada bitkileri NaCl konsantrasyonu 150, 300, 450 ve 600 mM olan tuzlu su ve tatlı su ile sulamışlar ve bitkilerin tuzluluğa karşı gösterdikleri fizyolojik tepkileri araştırmışlardır. Sonuç olarak quinoa bitkisinin tuzu dışlama ve dokularında tuz

biriktirme mekanizmalarının bir kombinasyonu aracılığı ile tuzluluğu tolere ettiğini belirlemişlerdir.

Jacobsen ve ark. (2003), quinoa bitkisinin sıra dışı bir tuz toleransı gösterdiğini ifade etmişler; birçok çeşidin hemen hemen deniz suyunda olduğu kadar (40 dS/m) yüksek tuz konsantrasyonlarında yetiştiğini ve 4 çeşidin daha yüksek toleranslı olduğunu saptamışlardır. Quinoa bitkisinin (Kancolla çeşidi) 57 dS/m tuz konsantrasyonunda çimlenme oranının %75 olduğu rapor edilmiştir (Christiansen ve ark., 1999).

Bosque Sanchez ve ark. (2003), quinoa çeşitlerinin çoğunda verimin orta dereceli tuzlu koşullarda, tuzsuz koşullara göre daha yüksek olduğunu tespit etmişler ve bitkinin glikofit bir bitkiden daha çok bir fakültatif halofit olarak sınıflandırılabileceğini belirtmişlerdir. Wilson ve ark. (2002), da quinoa bitkisinin bir fakültatif halofit olduğunu vurgulamış ve tuzluluk derecesi 19 dS/m üzerindeki tuzlu topraklar için umut verici bir bitki olduğunu belirtmişlerdir.

Adolf ve ark. (2012), 14 quinoa çeşidi ile yaptıkları saksı denemesinde çeşitler arasındaki tuzluluk toleransı farklılıklarını değerlendirmişler ve bu farklılıklara dayanarak tuz tolerans mekanizmalarını araştırmışlardır. Araştırmada tüm quinoa çeşitlerinin biyomas üretimi izlenmiş ve Danimarka çeşidi olan Titicaca ile Bolivya orijinli Utusaya çeşitlerinde gaz değişimi, klorofil içerik indeksi (CCI), floresans ve iyon ilişkileri incelenmiştir. Söz konusu quinoa çeşitleri arasından Bolivya Altiplano bölgesinden iki çeşit ile Peru orijinli bir çeşit tuzluluktan en az etkilenen quinoa çeşitleri olmuşlardır. Titicaca çeşidinde tuzluluk CO_2 asimilasyonunda %67 oranında bir düşüşe neden olurken; Utusaya çeşidinde CO_2 asimilasyonunda sadece %25'lik bir azalma ile stoma iletkenliği nispeten daha yüksek çıkmıştır.

2009 yılında Danimarka'da, serada yapılan saksı denemesi ile Titicaca quinoa çeşidinde kuraklık ve tuzluluk stresinin ayrı ayrı ve bir aradaki etkileri araştırılmıştır. Çalışmada 5 farklı tuzluluk düzeyinde (0, 10, 20, 30 ve 40 dS/m) tam sulama ve kısıntılı sulama uygulamaları yapılarak; bitkide stoma iletkenliği, yaprak su potansiyeli, sürgün ve köklerdeki ABA konsantrasyonu ve transpirasyon hızı gözlemlenmiştir. Çalışmada yaprak su potansiyeli ile stoma iletkenliği arasındaki

ilişki incelenmiş; -1.75 MPa'ın üzerindeki yaprak su potansiyelinin stoma iletkenliğinde önemli bir etki yaratmadığı ancak yaprak su potansiyeli bu değerin altına düştüğünde stoma iletkenliğinin de düşüşe geçtiği ve bu durumda ölçülen en yüksek stoma iletkenliğinin 0.15 mol/m^2/s olduğu belirtilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, toprak tuzluluk düzeyinin yükselmesi toprak su potansiyelini düşürmekte dolayısıyla stoma iletkenliği ve yaprak su potansiyeli hem tam sulama konularında hem de kısıntılı sulama konularında düşmektedir. Tuzluluk stresinin olmadığı koşullarda, kullanılabilir su (RAW) 0.42 seviyesinin altına düştüğünde, yaprak su potansiyelinde keskin bir düşüş olduğu; kuraklık stresi ile birlikte 10 ve 20 dS/m tuzlu su ile sulanan konularda ise yaprak su potansiyeli için eşik RAW değerinin sırasıyla 0.67 ve 0.96 olduğu belirtilmiştir. Topraktaki kullanılabilir suyun yukarıda belirtilen eşik değerlerin altına düşmesi durumunda yaprak su potansiyeli ani bir şekilde stomaların kapandığı -1.75 MPa değerine düşmektedir (Razzaghi ve ark., 2011a).

Eisa ve ark. (2012), Peru orijinli Hualhuas quinoa çeşidini kullanarak yaptıkları araştırmada kontrollü ortamda quinoa bitkisinin 0, 100, 200, 300, 400 ve 500 mM NaCl düzeyindeki sulama suyu tuzluluğuna tepkilerini araştırmışlardır. Araştırmada kontrol koşullarında quinoa bitkisinin yaprak su potansiyelinin -0.6 MPa iken 500 mM NaCl tuzluluk düzeyindeki su ile sulandığında önemli bir düşüş göstererek -5 MPa (-50 bar)'a ulaştığı belirlenmiştir. Bitkinin yaprak su potansiyelini etkili bir şekilde toprak su potansiyeli altına düşürebildiği belirtilmiştir. Tatlı su ile sulama konusunda stoma direnci 63 s/m iken sulama suyu tuzluluğu 500 mM NaCl olan deneme konusunda stoma direnci 484 s/m olarak ölçülmüştür. 400 mM NaCl içeren sulama suyu ile sulanan quinoa bitkisinde ise stoma direnci 275 s/m olarak saptanmıştır. Sulama suyu tuzluluğu arttıkça stoma direncinin de arttığı belirlenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre 100 mM NaCl yoğunluğunun üzerindeki tuzluluk koşullarında quinoa bitkisinin gelişimi düşmüş fakat bitki deniz suyuna eşdeğer tuzluluk düzeyinde bile canlılığını sürdürmüştür. Bitki gelişiminin düşmesinde ne ozmotik stres nede iyon eksikliği veya zehirlenmesinin belirleyici bir etken olmadığı tespit edilmiştir. Bitki gelişimindeki gerilemenin ozmotik potansiyeldeki düşüşle bağlantılı olarak fotosentez kısıtlamasının bir sonucu olduğu

ve bitkinin tüm fotosentez kapasitesini kullanamamasından kaynaklanabileceği belirtilmiştir.

Bosque Sanchez (1998), Bolivya'nın tuz çölüne ait bir quinoa ekotipi olan Real çeşidi ile serada bir saksı denemesi yürütmüştür. Araştırma sonuçlarına göre 7.7 mS/cm tuzluluk düzeyinde söz konusu quinoa çeşidinin stoma direnci 4.8 s/cm ile 16.1 s/cm arasında değişirken 11.88 mS/cm tuzluluk düzeyinde ise bitkinin stoma direnci 12.2 s/cm ile 28.2 s/cm arasında değişmiştir.

İtalya'da, 2009-2010 yıllarında yapılan araştırmada kuraklık ve tuzluluk stresinin bitki gelişiminde ve yaprakta oransal su içeriği, yaprak su potansiyeli ve stoma iletkenliği gibi fizyolojik parametrelerde düşüşe neden olduğu ancak verimde önemli bir etki yaratmadığı belirtilmiştir. Araştırmada kuraklık ve tuzluluk stresi nedeniyle bitkide yaprak su potansiyelinin -0.8 MPa düzeyinden -1.2 MPa seviyesine düşmesinin stoma iletkenliğinin de ani bir şekilde düşmesine neden olduğu saptanmıştır (Cocozza ve ark., 2013).

2.5. Quinoa Bitkisinin Su-Verim İlişkileri

Optimum koşullarda quinoa verimi iklim, toprak, ekim tarihi ve ekilen quinoa çeşidine bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Lavini ve ark., 2014). Danimarka'da Titicaca quinoa çeşidinden stressiz koşullarda elde edilen dane verimi 3.3 t/ha (Razzaghi ve ark., 2011b) iken; İtalya'da aynı quinoa çeşidi kullanılarak yapılan araştırmada verimin 1.9 ile 3.3 t/ha arasında değiştiği belirtilmiştir (Lavini ve ark., 2014). Farklı quinoa çeşitleri kullanılarak yapılan araştırmalarda ise Bolivya'da 3.7 t/ha (Garcia ve ark., 2003); Şili'de 2.6 t/ha (Martinez ve ark., 2009); Fas'ta ise 3.3 t/ha (Hirich ve ark., 2014a) verim elde edilmiştir. İtalya'da ekim zamanı ve çeşide bağlı olarak quinoa bitkisinden 1.5 ile 3.4 t/ha arasında dane verimi elde edildiği belirtilmiştir (Pulvento ve ark., 2010).

Delgado ve ark., (2009), Kolombiya'da 16 quinoa genotipi üzerinde yapmış oldukları çalışmada dane veriminin 1.7 ile 2.7 t/ha arasında; bin dane ağırlığının ise 2.5 ile 3.4 g arasında değiştiğini bildirmişlerdir.

Garcia ve ark. (2003), FAO'nun standart kıyas bitki su tüketimi eşitliği olan Penman- Monteith eşitliğini kullanarak Bolivya'nın Altiplano bölgesinde yetiştirilen quinoa bitkisinin sulama gereksinimini, bitki katsayısı (Kc), verim tepki etmeni (ky) ve oransal verimi lizimetre ve tarla denemelerinden elde etmişlerdir. Lizimetre verilerinden quinoa için bitki gelişim katsayısı (Kc), ilk gelişme döneminde 0.50, mevsim ortası dönemde 1.00 ve tam olgunlaşma döneminde ise 0.70 olarak belirlenmiştir. Mevsimlik verim tepki etmeni (ky) lizimetrelerden elde edilen bitki su tüketimi ve dane verimi verilerinden 0.67 olarak hesaplanmış ve küçük kuraklık stresinin verimde azalmalara neden olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Geerts ve ark. (2006), 2004-2005 üretim sezonunda Viacha'da (Bolivya) gerçekleştirdikleri yağmur korunağı altındaki lizimetre denemeleri ile farklı büyüme dönemlerinde quinoa bitkisinin kuraklık stresine tepkisini araştırmışlar ve bu bölgede kısıntılı sulama için bir rehber geliştirmeye çalışmışlardır. Çalışmada 8 farklı su uygulama konusu için üretim sezonu boyunca biyolojik verim, kök uzunluğu ve ağırlığı, uygulanan sulama suyu ve drenaj izlenmiş; mevsim sonunda dane verimi, su kullanım randımanı (WUE), hasat indeksi (HI) belirlenmiştir. Bu araştırma ile quinoa bitkisinin çiçeklenme öncesi, çiçeklenme ve dane dolum döneminde ortaya çıkan su stresinin hem toplam verim hem de su kullanım randımanı üzerinde olumsuz etkisi olduğu saptanmıştır. Bitkinin su stresine karşı en hassas olduğu dönemin erken dane dolum dönemi olduğu; quinoa için kısıntılı sulama stratejisi hazırlanırken çiçeklenme öncesi, çiçeklenme ve erken dane dolum dönemlerinde ortaya çıkan su stresinin 1 veya 2 sulama ile hafifletilmesi önerilmiştir. Başlangıç periyodunda su stresine göz yumulması ile yüksek verim ve yüksek su kullanım randımanı sağlanabileceği belirtilmiştir.

Geerts ve ark. (2008a), Güney Bolivya Platolarında kısıntılı sulamanın quinoa için sürdürülebilir bir uygulama olup olmadığını araştırmak üzere 2005-2006 ve 2006-2007 üretim sezonlarında Güney Altiplano bölgesinde tarla denemeleri yürütmüşlerdir. Güney Altiplano için kısıntılı sulamanın verim ve su kullanım randımanına etkileri yanında yüksek taban suyu seviyesinin mevsimsel gerçek bitki su tüketimine (ETc) katkısı belirlenmiştir. Gerçekleştirilen çalışmada BUDGET ve UPFLOW modelleri kullanılarak farklı çevresel koşullar için tuzlu taban suyu

seviyesinden yukarı doğru tuz hareketi, düşük kaliteli sulama suyundan kaynaklanan tuz birikimi ve farklı sayıda nadas yıllarının toprak tuzluluğu üzerindeki yıkama etkisi simüle edilmiştir. Tarla denemeleri kısıntılı sulamanın başarısı ve sürdürülebilirliği ile ilgili önemli sonuçlar ortaya koymuştur. Denemelerin yürütüldüğü bölge koşullarında quinoa için sadece mevsimsel bitki su gereksiniminin %55'i civarındaki temel bitki su gereksiniminin tamamlanması durumunda çiçeklenme ve erken dane dolum dönemindeki ilave sulamaların yararlı olabileceği gösterilmiştir. Anılan yörede kapilar yükselmenin bitki su gereksinimine dikkate değer ölçüde katkıda bulunduğu (taban suyu seviyesinin derinliğine ve gerçekleşen yağış miktarına bağlı olarak %8-25) ve taban suyu ve sulama sularının tuzlu olması nedeniyle yağış miktarının düşük olduğu dönemlerde kısıntılı sulamanın kısa sürede tuzlanma ile sonuçlanacağı ortaya konmuştur. Öte yandan ekimden önce yapılacak etkili bir sulama, sadece tuzun bitki kök bölgesi dışına yıkanmasını değil aynı zamanda da iyi bir çimlenme ve erken kök gelişimi sağlayan bir toprak su dengesi de yaratır. Bu çalışma göstermiştir ki kurak bölgelerde kötü kaliteli sularla kısıntılı sulama stratejisi uygulandığında ekim öncesi sulama zorunlu hale gelmiştir.

Geerts ve ark. (2008b), 2006 yılında yaptıkları lizimetre denemelerinin devamı niteliğinde; Bolivya'nın Altiplano bölgesinde iki ayrı yerde (Patacamaya ve Condoriri) ve iki üretim sezonunda (2005-2006 ve 2006-2007) gerçekleştirdikleri tarla denemeleri ile kuraklık stresinin quinoa bitkisinin su verimliliğine etkileri üzerinde çalışmışlardır. Denemelerde toplam dane verimi, dane büyüklüğü, hasat indeksi ve su kullanım randımanı belirlenmiştir. Araştırma sonucunda çimlenme ve çıkış dönemi ile çiçeklenme ve erken dane dolum dönemleri boyunca kuraklığı hafifletici bir kısıntılı sulama stratejisi elde edilmiştir. İyi planlanmış bir kısıntılı sulamanın tam sulamada ihtiyaç duyulan suyun yarısı kadar sulama suyu ile 1.2 ve 2 ton/ha arasında istikrarlı bir quinoa verimi sağlayabileceği sonucuna varılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre yağışlı yıllarda 70 mm'ye kadar kurak yıllarda ise 140 mm'ye kadar su gerektiren kısıntılı sulama ile sadece çimlenme ve çıkış, çiçeklenme ve erken dane dolum dönemlerinde su stresi yatıştırılmış olmalıdır. Gübreleme olmaksızın mevcut koşullarda, tam sulama ile verimi 2 ton/ha'ın üzerine çıkarmak

mümkün değildir ve tam sulamada su kullanım randımanı kısıntılı sulamadaki su kullanım randımanının altında kalmaktadır.

Bolivya'nın orta Altiplano bölgesinde bulunan Patacamaya'da 2005-2006 ve 2006-2007 üretim sezonlarında gerçekleştirilen araştırmada farklı ekim tarihleri ve 3 farklı sulama uygulaması ile "Santa Maria" quinoa çeşidi için çiçeklenme öncesi dönemdeki kuraklıkların fenolojik gelişme ve çiçeklenme dönemindeki etkileri belirlenmiştir (Geerts ve ark., 2008c). Yapılan çalışmada kuraklık stresinin bitki gelişimi üzerindeki etkilerini değerlendirmek için; ekimden sonraki ilk 60 gün boyunca kuraklık etkisi 3 farklı stres göstergesi ile belirlenmiştir. Bu göstergeler (1) kök bölgesindeki toprak su içeriğinin belli bir eşiğin üzerinde olduğu gün sayısı, (2) ortalama nispi buharlaşma ve (3) kıyas bitki su tüketimi için standardize edilmiş toplam günlük gerçek buharlaşma ($\Sigma(T_a/ET_o)$)'dır. Çiçeklenme öncesi dönemdeki kuraklık stresinin fenolojik gelişme üzerindeki etkilerinin belirlenmesinde en iyi gösterge; ekimden sonraki 60 güne kadar kıyas bitki su tüketimi için standardize edilmiş günlük gerçek buharlaşma ($\Sigma(T_a/ET_o)$) toplamıdır. Bu gösterge çiçeklenme zamanı ve fenolojik olgunluk zamanı ile önemli bir logaritmik ilişki göstermiştir. Sonuç olarak çiçeklenme dönemine kadar sert kuraklık stresinin bitkinin fizyolojik olgunluk ve çiçeklenme süresinin önemli ölçüde artması ile sonuçlanabileceği ve orta dereceli kuraklık stresinin aynı etkiyi yaratmadığı ortaya konmuştur.

Bolivya'nın kuzey, orta ve güney Altiplano bölgesinde yapılan araştırmada; quinoa verim açığının giderilmesi amacıyla AquaCrop simülasyon modeli kullanılarak yağışla beslenen üretim koşulları ve farklı kısıntılı sulama stratejileri altında beklenebilecek verim değerleri belirlenmiştir. Toplam verime karşılık gelen gerçek mevsimsel bitki su tüketim değerleri saptanarak matematiksel bir bitki su verim fonksiyonu elde edilmiştir. Senaryo analizlerinden 3 agro-klimatik bölge için verim olasılık eğrileri çizilmiştir. Verim olasılık eğrilerinden; kısıntılı sulamanın yağışlarla beslenmeden önemli ölçüde daha yüksek bir seviyede verim kararlılığı sağlayabildiği gösterilmiştir. Kısıntılı sulamanın; kuzey, orta ve güney Altiplano bölgelerinde verim açığını giderebileceği; yüksek ve kararlı bir su verimliliği (WP) seviyesini garanti edebileceği ortaya konmuştur (Geerts ve ark., 2009).

Quinoa bitkisinin farklı sulama suyu tuzluluğuna tepkilerinin değerlendirilmesi amacıyla Fas'ın güneyinde bir saksı denemesi gerçekleştirilmiştir. Araştırmada quinoa bitkisi kanal suyunun yanı sıra kanal suyuna NaCl eklenerek elde edilen ECw=10, 20 ve 30 dS/m olan tuzlu sularla sulanmıştır. Tüm deneme konuları ilk 20 gün boyunca kanal suyu ile sulanmış sonraki dönemde ise sulama suyu tuzluluğu her gün 1 dS/m artırılarak araştırma konularına uygun tuzluluk düzeyine ulaşılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre quinoa bitkisinin 10 dS/m tuzlu su ile sulanması quinoa bitkisinin kuru madde ve dane verimini etkilemezken daha yüksek sulama suyu tuzluluğu verimde düşüşlerine neden olmuştur. Quinoa bitkisinin ECw=20 dS/m olan tuzlu su ile sulanması durumunda kuru madde veriminde %22, dane veriminde ise %24 oranında düşüş ortaya çıkmıştır. Sulama suyu tuzluluğu 30 dS/m düzeyine yükseldiğinde ise dane ve kuru madde veriminde ortaya çıkan verim düşüşleri sırasıyla %34 ve %53 olmuştur (Hirich ve ark., 2013).

Fas'ta yürütülen bir başka çalışmada ise kısıntılı sulama ve organik kompost uygulamasının quinoa bitkisinin gelişimi ve verimine etkileri incelenmiştir. Söz konusu çalışmada 10 t/ha kompost uygulaması yapıldığında tam sulama konularından 3.3 t/ha dane verimi alınırken %50 kısıntılı sulama konusundan 2 t/ha dane verimi elde edilmiştir. Gübre uygulaması yapılmadığı durumda ise tam sulama konusundan 3 t/ha, %50 kısıntılı sulama konusundan ise 1.7 t/ha dane verimi elde edildiği belirtilmiştir. Araştırmada kompost uygulamasının özellikle kısıntılı sulama koşullarında dane veriminin arttırılmasında önemli rol oynadığı sonucuna varılmıştır. İyi planlanmış bir kısıntılı sulama programı ile tam sulamaya göre %50 daha az su kullanılarak quinoa bitkisinden 1.7 ile 2 t/ha arasında dane verimi alınabileceği bildirilmiştir (Hirich ve ark., 2014a).

İtalya'da, 2009-2010 yıllarında yapılan çalışmada Titicaca quinoa çeşidi tatlı ve ECw 22 dS/m olan tuzlu su kullanılarak; tam sulama ve tam sulamanın %50'si ve %25'i kadar olmak üzere iki farklı düzeyde kısıntılı sulama stratejisi ile sulanmıştır. Araştırmanın her iki yılında da deneme konularından elde edilen dane verimi, biyomas ve hasat indeksi (HI) değerleri arasında istatistiksel olarak önemli bir fark çıkmamıştır. Çalışmada tuzluluk ve kuraklık stresinin quinoa bitkisinin dane verimini etkilemediği sonucuna ulaşılmıştır (Pulvento ve ark., 2012).

2.6. SALTMED Modeli

Bir çok bilim dalında kullanılan simülasyon modelleri tarımda su yönetimi için de faydalı araçlar olabilirler. Modellemeye yönelik araştırmalarda, gerçek değerlerin tahmininde başarılı sonuçlar alınmaktadır (Aksoy ve Sarıyev, 1997). SALTMED Modeli sulama sistemi, toprak tipi, bitki, su uygulama stratejileri ve sulama suyu kalitesini dikkate alarak toprak su profilini, topraktaki tuz ve azot dağılımını, yıkama gereksinimini bitki gelişimi ve ürün verimini resmeden entegre bir modeldir (Ragab, 2002; 2010; 2015).

SALTMED modeli (Ragab, 2002) tarla koşullarında eşzamanlı olarak gerçekleşen bir dizi fiziksel süreçleri ve bunların bitki gelişimine etkilerini simule eden fizik temelli kapsamlı bir model olarak dizayn edilmiştir. Modelin bu ilk versiyonu farklı sulama sistemleri için evapotranspirasyon, bitki su alımı, toprakta su ve çözelti hareketi ile su alımı-biyomas ilişkisine dayalı olarak verim ve kuru madde üretimini hesaplamaktadır (Flowers ve ark., 2005). Avrupa Birliği 7. Çerçeve Programında yürütülen "Akdeniz Bölgesi Kuru Alanlarında Gıda Güvenliği için Sürdürülebilir Su Yönetimi (SWUP-MED)" projesi çerçevesinde SALTMED modeli üzerine yapılan bir dizi çalışmalarla model geliştirilerek yeni versiyonları üretilmiştir. Söz konusu geliştirme sürecinde modele araştırmacıların ve potansiyel kullanıcıların ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik bir takım yeni özellikler eklenmiştir (Ragab, 2010; 2015). Modelin kullanımda olan en son sürümü (SALTMED 2013), bitki gelişiminin simulasyonunda büyüme derece gün değerlerini dikkate alabilmektedir. Rotasyon, toprakta azot dinamikleri, toprak sıcaklığı, toprak altı sulama, açık ya da kapalı drenaj sistemi, yüksek taban suyu seviyesi için hesaplamalar yapmaktadır. Penman-Monteith eşitliğini kullanarak evapotranspirasyonun kestirimi için taç iletkenliğinin hesaplanmasında ABA konsantrasyonu, yaprak su potansiyeli veya ölçülen ya da kestirilen çevresel parametreler gibi seçeneklerin kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Model yüksek sıcaklık, soğuk, CO_2 düzeyi, kök bölgesinde aşırı su, toprakta oksijen ve azot düzeyi, tuzluluk ve kuraklık gibi çevresel stresler için hesaplamalar yapabilmektedir. Modelin önceki sürümleri tüm bitki büyüme mevsimi için tek bir kuraklık tolerans

düzeyini dikkate alarak hesaplamalar yaparken yeni versiyonlarında her büyüme dönemi için farklı kuraklık tolerans düzeylerini dikkate alarak hesaplamalar yapmaktadır. Bu özellik büyüme mevsimi boyunca bitki su alımının daha doğru bir şekilde modellenmesini sağlamaktadır. Bu yeni özelliklerle birlikte SALTMED modelinin bitki gelişimini kestirmede bitki sıcaklık toplamı isteği yani büyüme derece gün değerlerini dikkate alması modelin iklim değişikliği senaryolarına göre simulasyon yapabilmesine olanak sağlamaktadır. Modelin geliştirilmiş olan son versiyonu 20 farklı alanda farklı toprak, bitki ve agronomik uygulamalar için eşzamanlı olarak simulasyon yapabilmektedir (Ragab, 2015).

Ragab (2002), SALTMED modelinin ilk versiyonunu literatürden elde edilen verileri kullanarak bir büyüme mevsimi boyunca 5 örnek uygulama için çalıştırmıştır. Model; sulama sistemi, toprak tipi ve sulama suyu tuzluluk seviyesinin toprak nemi ve tuz dağılımına, yıkama gereksinimi ve bitki verimi üzerine etkilerini tüm konularda başarıyla kestirmiştir.

Ragab ve ark. (2005a), 2000-2002 yılları arasında Suriye ve Mısır'da tuza toleransının yüksek olduğu bilinen Floradade domates çeşidinin damla ya da karık sulama ile farklı tuzluluk düzeylerindeki sulama suyu kullanılarak tuzlu ve tatlı suyun döngüsel olarak veya karıştırılarak uygulanması şeklinde denemeler gerçekleştirmişlerdir. Bu denemelerden 2002 yılında Suriye ve Mısır'da Floradade domates çeşidinin damla sulama yöntemiyle %100 tatlı su ile sulanması konusuna ilişkin verileri kullanarak SALTMED modelini kalibre etmişlerdir. Çalışmada modelin kalibrasyonu esas olarak verim tahminine göre yapılmıştır.

Modelin başarıyla kalibre edilmesinden sonra 2000-2002 yılları arasında Suriye ve Mısır'da gerçekleştirilen tarla denemelerdeki tüm konular için SALTMED modeli test edilmiştir. Çalışmada anılan modelinin tuzluluğun verime etkisini, su kullanımını, toprak nemi ve tuz dağılımını başarıyla tahmin ettiği; Mısır ve Suriye'deki denemelerden elde edilen sonuçlar ile modelin tahmin ettiği sonuçlar arasında iyi bir uyum olduğu saptanmıştır (Ragab ve ark.,2005b).

İnce Kaya ve ark. (2009) Adana'da yaptıkları çalışmada SALTMED modelini (2009 (v.2) versiyonu) quinoa bitkisi için test etmişlerdir. Bu amaçla 2009 yılında yürütülen tarla denemesinde kanal suyu ile tam sulama, %50 kısıntılı sulama, kısmi

kök kuruluğu (PRD) ile 5 dS/m düzeyinde tuzlu su ile tam sulama yapılan quinoa bitkisinin gelişimi ve dane verimi ile toprak su ve tuz içeriği incelenmiştir. Modelin farklı sulama koşulları altında quinoa bitkisi için tahmin ettiği dane ve kuru madde verimi ile toprak su içeriği değerleri tarla denemesinden elde edilen değerlerle karşılaştırılarak model test edilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre SALTMED modelinin tam sulama konularında quinoa bitkisinin dane verimi, toprak üstü kuru madde verimi ve mevsimlik bitki su tüketimini oldukça iyi tahmin ettiği; kısıntılı sulama konularında ise bitki su tüketimi kestiriminde yetersiz kaldığı belirlenmiştir. Kısıntılı sulama koşullarında SALTMED modelinin daha güvenilir kestirimler yapabilmesi için modelde bazı değişikliklerin yapılması önerilmiştir.

İran'ın Khuzestan bölgesinde yapılan çalışmada 3 yıllık tarla denemelerinden elde edilen verilerle SALTMED Modeli şekerkamışı için kalibre edilmiş; şekerkamışı verimi ve sulamalardan sonra toprak tuzluluk profili için değerlendirilmiştir. Çalışmada simülasyon sonuçları ile gerçek sonuçların karşılaştırılması için maksimum hata, hata kareler ortalamasının karekökü (RMSE), determinasyon katsayısı ve ANOVA tablosu kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar genel olarak simulasyon sonuçları ve ölçülen değerler arasında önemli derecede fark olmadığını göstermiştir (Golabi ve ark., 2009).

Montenegro ve ark. (2010), Brezilya'nın yarı kurak bölgesinde bulunan Pesqueira'da yaptıkları çalışmada SALTMED modelini kullanarak iklim değişikliğinin Brezilya'nın üç temel tarımsal ürünü olan havuç, lahana ve hintyağının sulama gereksinimine etkilerini araştırmışlardır. Araştırmada kök bölgesi matrik potansiyeli ve toprak su içeriğinin tahmin edilen zaman serileri ile arazide ölçülen değerler arasında iyi bir uyum olduğu saptanmıştır. Aynı çalışmada iki farklı karbondioksit (CO_2) konsantrasyonu kullanılarak iklim değişikliğine bağlı olası yıllık sıcaklık değişimlerinin sulama suyu gereksinimi üzerine etkileri analiz edilmiş; düşük CO_2 konsantrasyonu için havuç ve lahanada sulama suyu gereksiniminin %11, yüksek CO_2 konsantrasyonu için ise %17 oranında artacağı öngörülmüştür.

Razzaghi ve ark. (2011c), Danimarka'da farklı tuz düzeylerinde tam ve kısıntılı sulama yapılan quinoa bitkisi için SALTMED modeli ile tahmin edilen verim, toprak su içeriği ve toprağın çamur süzüğü elektriksel iletkenliği (ECe)

değerlerini 2009 yılında yürütülen tarla denemesinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırarak modeli değerlendirmiştir. Modelin stresli koşullar altında bile quinoa bitkisinin dane ve kuru madde verimini tahmin etme becerisine sahip olduğunu belirten araştırmacılar, toprak su içeriği ve toprak tuzluluğunu da oldukça iyi tahmin ettiğini ifade etmişlerdir.

Hirich ve ark. (2012) tarafından Fas'ta, 3 büyüme sezonunda quinoa, mısır ve nohut bitkileri için gerçekleştirilen deneme sonuçları kullanılarak SALTMED modelinin kalibrasyonu ve değerlendirmesi yapılmıştır. Çalışmada quinoa, mısır ve nohut bitkilerinin sulanmasında, arıtılmış atıksu kullanılarak 6 farklı kısıntılı sulama konusu uygulanmıştır. Modelin kalibrasyonu tam sulama konusuna göre; verim, kuru madde ve toprak nemi referans alınarak yapılmıştır. Bunun için doygun hidrolik iletkenlik, toprak gözenek büyüklük dağılım indeksi, fotosentez etkinliği gibi bazı toprak ve bitki parametrelerinde ince ayarlamalar yapılmıştır. Başarılı bir kalibrasyondan sonra deneme sonuçları ile modelin tahmin ettiği sonuçlar arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Çalışmada 10, 30, 40 ve 50 cm toprak derinliklerinde ölçülen ve tahmin edilen toprak su içerikleri karşılaştırılmış; ölçülen ve kestirilen toprak nem değerlerinin uyumlu olduğu görülmüştür. SALTMED Modelinin ölçülen ve tahmin edilen verimlerle ilgili olarak %5'ten daha küçük oransal hata ile başarılı sonuçlar ortaya koyduğu belirtilmiştir. Modelin kuru madde verimini ise %98 korelasyon ile başarıyla tahmin ettiği vurgulanmıştır.

Portekiz'de yürütülen araştırmada yağışlı ve kurak geçen yıllarda tam sulama ve farklı kısıntılı sulama stratejileri altında yetiştirilen beş farklı nohut çeşidinin gelişimi SALTMED modelinin 2010 versiyonu (v. 3.02.09) kullanılarak simule edilmiştir. SALTMED modelinin tahmin ettiği dane ve kuru madde verimleri ile toprak su içeriği değerleri tarla denemelerinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Ölçülen ve model tarafından kestirilen değerlerin birbiri ile oldukça uyumlu olduğu belirtilen çalışmada; SALTMED modeli 2010 versiyonunun yeni özellikleri ile toprak, su ve bitki yönetiminde oldukça iyi bir araç olabileceği belirtilmiştir (Silva ve ark., 2012).

Oster ve ark., (2012) tuzluluk derecesi ECw 0.5 ile 6 dS/m arasında değişen tuzlu sularla sulanan silajlık mısır bitkisinin verimini ENVIRO-GRO, HYDRUS,

SALTMED, SWAP ve UNSATCHEM modellerini kullanarak tahmin etmişlerdir. Araştırmada söz konusu modellerle yapılan verim tahminleri birbirleriyle karşılaştırılarak her bir modelin sulama suyundan kaynaklanan ozmotik etkiyi nasıl yansıttığı değerlendirilmiştir. Sulama suyu tuzluluğunun dane verimi üzerinde yaratmış olduğu etkiyi tahmin etmede modellerin birbirine göre farklılıklar gösterdiği belirtilmiştir. Bununla birlikte orta dereceli tuzlu suların sulama amaçlı kullanılmasında söz konusu modellerin karar almayı kolaylaştırıcı değerli kaynaklar sağladığı belirtilmiştir.

İtalya'da yapılan çalışmada 2009-2010 yıllarında gerçekleştirilen deneme sonuçları kullanılarak quinoa bitkisi için SALTMED modelinin kalibrasyonu yapılmış ve model test edilmiştir. Çalışmada quinoa bitkisi tatlı ve tuzlu su kullanılarak farklı düzeylerde kısıntılı sulama uygulamaları ile sulanmıştır. SALTMED modelinin tatlı su ile tam sulama konusuna göre kalibrasyonu yapıldıktan sonra diğer konular için model kullanılarak elde edilen sonuçlarla denemeden elde edilen ölçüm sonuçları karşılaştırılarak model test edilmiştir. Çalışma sonucunda SALTMED Modelinin farklı sulama konuları için verim, toplam kuru madde ve toprak nemini başarıyla tahmin ettiği belirtilmiştir (Pulvento ve ark., 2013).

Fas'ta 2010-2012 yılları arasında yürütülen bir başka çalışmada atık su ile kısıntılı sulama ve farklı gübre uygulamalarının tatlı mısır bitkisinin verim, kuru madde ve su kullanım randımanı üzerine etkileri araştırılmıştır. Araştırmada üç yıllık tarla denemesinden elde edilen sonuçlar SALTMED modeli (2012 versiyonu) ile kestirilen sonuçlarla karşılaştırılarak modelin simulasyon performansı değerlendirilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre atık su ile farklı kısıntılı sulama stratejileri koşullarında, SALTMED modelinin toprak su içeriği, kuru madde ve dane verimini tahmin edebilme becerisini ispatladığı belirtilmiştir (Hirich ve ark., 2014b).

SALTMED Modelinin 2012 versiyonu (v.3.02.30) kullanılarak Adana'da farklı tuzluluk ve sulama suyu kısıntısı koşullarında quinoa bitkisi için verim, kuru madde ve toprak su içeriğine ilişkin kestirimler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar 2010 yılında yürütülen tarla denemesinde ölçülen sonuçlarla karşılaştırılarak modelin söz konusu versiyonunun performansı değerlendirilmiştir. Araştırma sonuçlarına

göre SALTMED modelinin farklı sulama suyu tuz konsantrasyonları ve kısıntı düzeyleri için toplam kuru madde, dane verimi ve hacimsel toprak su içeriği tahminlerinin kabul edilebilir düzeyde olduğu belirlenmiştir (İnce Kaya ve ark., 2014).

Fghire ve ark. (2015), Fas'ın güneyinde 2011 ve 2012 yıllarında yürütülen tarla denemelerinden elde edilen verileri kullanarak SALTMED modelini test etmişlerdir. İki yıllık tarla denemesinde damla sulama yöntemiyle tam sulama, %50 kısıntılı sulama ve %33 kısıntılı sulama koşullarında ve kuru (sulamasız) koşullarda Puno çeşidi quinoa bitkisinin kuru madde ve dane verimi ile topraktaki nem değişimi incelenmiştir. Model 2011 yılındaki tam sulama konusu esas alınarak kalibre edildikten sonra her iki yılda ele alınan araştırma konuları için toprak nemi, kuru madde verimi ve dane verimi tahminleri gerçek sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre modelin 60 cm toprak profilindeki toprak su içeriği tahminlerinin ölçülen değerlerle uyumlu olduğu ifade edilmiştir. SALTMED modelinin stresli ve stressiz koşullar altında dane verimini ve farklı büyüme dönemlerindeki kuru madde verimini doğru bir şekilde tahmin ettiği ortaya konulmuştur.

Ragab ve ark. (2015), İtalya, Girit ve Sırbistan'da 2006-2008 yılları arasında yürütülen tarla denemelerinden elde edilen verileri kullanarak SALTMED modelinin farklı iklim koşulları, sulama yöntemleri, sulama stratejileri altında domates ve patates bitkisi için kuru madde, verim, toprak nemi ve topraktaki azot içeriğini simule etme potansiyelini araştırmışlardır. İtalya'da yürütülen tarla denemelerinde domates ve patates bitkileri gömülü damla ve yağmurlama yöntemleri kullanılarak tam sulama, denetimli kısıntılı sulama (RDI) ve kısmi kök kuruluğu (PRD) teknikleri ile sulanmıştır. Girit'te yürütülen 3 yıllık araştırmada domates bitkisi toprak altı ve toprak üstü damla sulama yöntemleri kullanılarak tam sulama, kısıntılı sulama ve PRD tekniği ile sulanmıştır. Sırbistan'da ise patates bitkisi karık ve toprak altı damla sulama yöntemleri ile tam sulama, RDI ve PRD teknikleri uygulanarak sulanmıştır. Araştırma sonuçlarına göre SALTMED modelinin farklı iklim ve arazi yönetimi koşullarında domates ve patates bitkisi için kuru madde, verim, toprak su içeriği ve

topraktaki azotu başarıyla simule ettiği belirtilmiştir. Model tarımsal su yönetimi için kullanışlı bir araç olarak önerilmiştir.

İtalya'da yapılan çalışmada 2009 ve 2010 yıllarında yürütülen tarla denemelerinin verileri kullanılarak SALTMED modelinin amarant bitkisi için dane ve kuru madde verimi ile toprak su içeriği tahminleri değerlendirilmiştir. İki yıllık tarla denemesinde amarant bitkisi damla sulama yöntemiyle, tatlı su ve ECw=22 dS/m olan tuzlu su kullanılarak, tam sulama, %50 ve %25 kısıntılı sulama stratejileri ile sulanmıştır. Araştırmadan elde edilen veriler SALTMED modelinin kalibrasyonunda ve aynı koşullar için modelin yapmış olduğu simülasyonların değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Sonuç olarak SALTMED modelinin Akdeniz koşullarında tatlı veya tuzlu su ile tam ve kısıntılı sulama yapılan amarant bitkisi için toprak su içeriği, dane verimi ve kuru madde verimini tahmin etmede yüksek başarı gösterdiği bildirilmiştir (Pulvento ve ark., 2015a).

Pulvento ve ark. (2015b), SALTMED modelini kullanarak İtalya'nın güneyinde iklim değişikliği senaryolarının ortaya koyduğu koşullarda amarant bitkisinin yöreye adapte olabilirliğini araştırmışlardır. Bu amaçla 2009-2010 yıllarında yürütülen tarla denemelerinde amarant bitkisinin sıcaklık istekleri ve toprak su içeriğine verim tepkileri belirlenmiştir. Daha sonra model kullanılarak farklı iklim senaryolarında amarant bitkisinin verimi ve büyüme döngüsü tahmin edilmiştir. Araştırmadan elde edilen sonuçlara göre iklim değişikliği senaryolarına göre ortaya çıkan sıcaklık değişimleri bitki gelişimini etkilemekte ve dane veriminde belirleyici olmaktadır. Bitkinin kuraklığa karşı hassas olduğu fenolojik dönemlerde tamamlama sulama yapılarak belli bir verim düzeyini garanti altına almanın mümkün olabileceği belirtilmiştir.

SALTMED modelinin sera koşullarında kullanım olanaklarına yönelik ilk çalışma, Rameshwaran ve ark. (2015) tarafından yapılmıştır. Söz konusu çalışmada 2011 yılında, Antalya'da, ilkbahar ve sonbahar olmak üzere iki farklı üretim döneminde damla sulama sistemiyle uygulanan 4 farklı düzeydeki tuzlu sulama sularının serada yetiştirilen biber bitkisinin verimine etkilerinin araştırıldığı deneme sonuçları kullanılmıştır. SALTMED modelinin her iki üretim dönemindeki deneme konularında biber bitkisi için tahmin ettiği oransal verim ve toprak nemi değerleri

tarla denemelerinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılarak modelin sera koşullarında verim ve toprak nemini kestirebilme becerisi incelenmiştir. Araştırma sonuçlarına göre SALTMED modelinin serada farklı tuzluluk ve sulama rejimleri uygulanarak yetiştirilen biber bitkisi için oransal verim ve toprak nemini başarı ile simule ettiği belirtilmiş ve modelin sera koşullarında yetiştirilen başka bitkiler için de test edilmesi önerilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Tarla Denemesi

3.1.1.1 Araştırma Yeri

Araştırma, 2012 yetiştirme mevsiminde, Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü Deneme Alanı'nda yürütülmüştür. Deneme alanının denizden ortalama yüksekliği 20 m olup 36˚ 59' N, 35˚ 18' E enlem ve boylamlarında yer almaktadır.

3.1.1.2. Toprak Özellikleri

Deneme alanı topografyası düz ve düze yakındır. Mutlu serisinde yer alan deneme alanı toprakları oldukça yaşlı alüviyal depozitler üzerinde oluşmuş vertisollerdir. Bütün profil yüksek oranda şişme özelliği gösteren kil içerir. Kireç bakımından orta derecede zengindir ve koyu kırmızı kahve renklidir (Özbek ve ark., 1974). Araştırmanın yürütüldüğü deneme alanı topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri sırasıyla Çizelge 3.1 ve 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Deneme Alanı Topraklarının Bazı Fiziksel Özellikleri

Katman Derinliği (cm)	Dane İrilik Dağılımı (%)			Bünye Sınıfı	Tarla Kapasitesi (cm^3/cm^3)	Solma Noktası (cm^3/cm^3)	Doyma Noktası (cm^3/cm^3)	Hacim Ağırlığı (g/cm^3)
	Kum	Silt	Kil					
0-30	28	21	51	C	0.42	0.24	0.51	1.19
30-60	28	19	53	C	0.45	0.23	0.54	1.16
60-90	28	18	54	C	0.44	0.22	0.55	1.15
90-120	27	19	54	C	0.42	0.19	0.50	1.25

Çizelge 3.1 ve 3.2'de görüldüğü gibi profil boyunca killi bünyeye sahip toprağın katmanlara göre pH'sı, 6.80-7.10; tuz içeriği 0.31-0.35 dS/m; hacim ağırlığı 1.15-1.25 g/cm^3; hacim esasına göre tarla kapasitesi su içeriği % 42-45, solma noktası ise %19-24 arasında değişmektedir. Toprak profilinin 90 cm'lik derinliğindeki toplam kullanılabilir su 186 mm'dir.

Çizelge 3.2. Deneme Alanı Topraklarının Bazı Kimyasal Özellikleri

Katman Derinliği (cm)	Tuz İçeriği (dS/m)	pH	$CaCO_3$ (%)	Org. Mad. (%)	Katyonlar (me/l)				Anyonlar (me/l)		
					Ca	Mg	Na	K	HCO_3	SO_4	Cl
0-30	0.33	6.80	5.99	1.23	1.69	1.12	0.36	0.10	2.14	0.25	0.86
30-60	0.35	6.89	6.38	0.98	1.71	0.92	0.40	0.06	1.97	0.20	0.85
60-90	0.32	7.10	6.65	-	1.47	1.24	0.48	0.05	2.07	0.30	0.88
90-120	0.31	6.96	7.40	-	1.28	1.01	0.57	0.05	1.98	0.15	0.78

3.1.1.3. Sulama Suyunun Sağlanması

Araştırmada tatlı ve tuzlu su olmak üzere iki farklı su kaynağı kullanılmıştır. Denemenin tatlı su konularında kullanılan sulama suyu, Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Döner Sermaye İşletmesi Araştırma Uygulama Çiftliğinden geçen DSİ sulama kanalından sağlanmıştır. Tuzlu su konuları için ise deneme parsellerinin yakınına yerleştirilen tanklarda depolanan deniz suyu kullanılmıştır. Bunun için deneme alanına 4 adet 5 ton kapasiteli tank yerleştirilmiş ve deniz suyu kanal suyu ile karıştırılarak ilk üç tanktaki suyun elektriksel iletkenliği (EC_w) sırasıyla 30, 20 ve 10 dS/m olacak şekilde seyreltilmiştir. Dördüncü tankta ise gerek duyulduğunda kullanılmak üzere deniz suyu depolanmıştır. Sulama kanalından alınan sulama suyu örnekleri USSL (1954)'de verilen esaslardan, abak ve çizelgelerden yararlanılarak laboratuarda analiz edilmiş ve sonuçlar Çizelge 3.3'de verilmiştir. Yapılan analizler sonucunda denemenin tatlı su konularında kullanılan sulama suyu sınıfı C_2S_1 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3.3. Denemede Kullanılan Kanal Suyunun Analiz Sonuçları

Sulama Suyu Sınıfı	EC (dS/m)	pH	Katyonlar (me/l)				Anyonlar (me/l)				%Na	SAR
			Ca	Mg	Na	K	CO_3	HCO_3	SO_4	Cl		
C_2S_1	0.5	7.1	1.07	2.15	1.23	0.04	-	2.29	0.72	1.48	23.8	0.82

3.1.1.4. Sulama Sistemi

Denemede tatlı su konuları ve tuzlu su konuları için ayrı ayrı damla sulama hatları kullanılmıştır. Tatlı su konularında kullanılan damla sulama sistemi denetim biriminde; kum-çakıl filtre, disk filtre, manometre, su sayacı, vana ve bağlantı parçaları; iletim biriminde ise PE borulardan oluşan ana hat, manifold ve lateraller kullanılmıştır. Tuzlu su konularında ise damla sulama sistemi ECw 30, 20 ve 10 dS/m tuzluluk düzeyindeki su ile dolu her bir tanka ayrı ayrı bağlanmış olan pompa, disk filtre, su sayacı, ana hat, manifold ve laterallerden oluşmuştur. Hem tatlı su hem de tuzlu su konularında kullanılan lateraller 16 mm çapında olup üzerinde 20 cm aralıklarla içten geçik (in-line) damlatıcılar yer almaktadır. Damlatıcı debisi 100 kPa işletme basıncında 2 l/h'dir. Lateraller; her bitki sıra arasına bir lateral gelecek şekilde yerleştirilmiştir.

3.1.1.5. İklim Durumu

Akdeniz iklim kuşağında bulunan Adana ilinde kışlar ılık ve yağışlı, yazlar sıcak ve kurak geçer. Tipik Akdeniz iklim özellikleri gösteren araştırma alanında uzun yıllık istatistiklere göre yıllık ortalama toplam yağış 656 mm'dir. Araştırmanın yürütüldüğü 2012 yetiştirme mevsimine ilişkin iklim verileri araştırma alanında kurulu olan otomatik kaydedicili iklim istasyonundan; uzun yıllık ortalama iklim verileri ise Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Adana Meteoroloji Bölge Müdürlüğü kayıtlarından sağlanmıştır (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4. Quinoa Bitkisinin Büyüme Dönemindeki Uzun Yıllık ve 2012 Yılı İklim Verileri

	İklim Öğeleri	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz
Uzun Yıllık Değerler (1970-2012)	Ortalama Sıcaklık (˚C)	17.6	21.8	25.7	28.2
	Oransal Nem (%)	67.5	66.8	67.3	70.6
	Rüzgar Hızı (m/s)	1.5	1.6	1.7	1.8
	Yağış (mm)	57.7	42.5	18.5	8.6
	Buharlaşma (mm)	116.3	166.4	210.5	235.8
Araştırma Yılı İklim Verileri (2012)	Ortalama Sıcaklık (˚C)	17.7	20.9	26.2	29.0
	Oransal Nem (%)	67.3	71.2	65.4	61.3
	Rüzgar Hızı (m/s)	1.5	1.6	1.6	1.8
	Yağış (mm)	18.0	80.8	7.8	4.2
	Buharlaşma (mm)	109.0	141.5	210.5	242.8

3.1.1.6. Ekilen Quinoa Çeşidi

Araştırmada Akdeniz iklim koşullarına iyi adapte olmuş Danimarka menşeili Titicaca quinoa çeşidi kullanılmıştır. Söz konusu quinoa çeşidinin gövde, yaprak ve panikül rengi yeşildir. Bitki fizyolojik olgunluğa yaklaştıkça bitki rengi de sarıya dönüşmektedir. Bu quinoa çeşidinin daneleri küçük sarı-beyaz renklidir.

3.1.2. SALTMED Modeli

Araştırmada SALTMED modelinin 2013 versiyonu (v.3.02.69) kullanılmıştır. SALTMED Modeli sulama sistemi, toprak tipi ve sulama suyunun tuzluluk düzeyinin; toprak nemi ve topraktaki tuz dağılımı üzerine etkilerini, yıkama gereksinimini ve ürün verimini başarıyla resmeden fizik temelli entegre bir modeldir (Ragab, 2002). Model farklı toprak tipleri ve toprak katmanları, farklı sulama sistemleri, kısıntılı sulama, kısmi kök kuruluğu (PRD), toprak altı sulama gibi farklı su uygulama stratejileri ile tatlı su, atık su, tuzlu, acı veya drenaj suyu gibi farklı kalitedeki sulama suları için kullanılabilmektedir. Tarla bitkileri veya ağaçlar için simulasyon yapabilen model faklı gübre uygulamalarını (fertigasyon, kimyasal veya

organik azot uygulamaları, bitki artıklarının gübre olarak uygulanması) ve drenaj koşullarını da dikkate almaktadır (Ragab, 2010; 2015).

SALTMED modeli sayısal ve grafiksel olmak üzere iki şekilde çıktı sağlayabilmektedir. Model büyüme mevsimi boyunca herhangi bir gündeki toprakta yatay ve düşey yöndeki nem dağılımı, toprak tuzluluk profili, topraktaki azot dağılımı, uygulanan sulama suyu miktarı, evapotranspirasyon ve yıkama gereksinimine ilişkin kestirimlerde bulunabilmektedir. Benzer şekilde dane verimi, kuru madde verimi, kök derinliği, bitki boyu ve yaprak alan indeksi değerlerini de tahmin etmektedir.

3.1.2.1. SALTMED Modelinde Kullanılan Temel Eşitlikler

SALTMED modeli esas olarak evapotranspirasyon, bitki su alımı, farklı sulama sistemlerinde su ve çözelti hareketi, drenaj ve bitki verimi ile su kullanımı arasındaki ilişki gibi anahtar işlemleri içerir (Ragab, 2002). Modelde iyi bilinen fizik temelli su ve çözelti taşınımı, evapotranspirasyon ve topraktan su alımı eşitlikleri kullanılmaktadır (Ragab, 2010).

3.1.2.1.(1). Bitki Su Tüketimi

SALTMED modeli, bitki su tüketimini FAO 56 (Allen ve ark., 1998)'na göre FAO Penman-Monteith eşitliğini kullanarak hesaplamaktadır. FAO Penman-Monteith eşitliği aşağıda verilmiştir (Allen ve ark., 1998).

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T-273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (3.1)$$

Burada;

ET_o :Referans bitki su tüketimi, (mm/gün),

R_n :Net radyasyon, (MJ/m^2/gün),

G :Toprak ısı akısı, (MJ/m^2/gün),

T :ortalama hava sıcaklığı, (˚C),

U_2 :2 m yükseklikte rüzgar hızı, (m/s),

e_s :Doygun buhar basıncı, (kPa),

e_a :Gerçek buhar basıncı, (kPa),

$(e_s\text{-}e_a)$:Doygun buhar basıncı açığı (kPa),

Δ :Buhar basıncı eğrisinin eğimi (kPa/˚C),

γ :Psikrometrik sabitedir, (kPa/˚C)' dır.

Bu eşitlikte standart iklim verileri (solar radyasyon, güneşlenme süresi, hava sıcaklığı ve rüzgar hızı) kullanılmaktadır. Meteorolojik verilerin eksikliğinde model, Class A pan buharlaşma verilerini kullanarak FAO Penman-Monteith (Allen ve ark., 1998) eşitliğine göre referans bitki su tüketimini (ET_o) hesaplayabilmektedir.

Gerçek bitki su tüketimi (ET_c) aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır;

$$ET_c = ET_o(K_{cb} + K_e) \quad (3.2)$$

Eşitlikte;

ET_c :Gerçek bitki su tüketimi, (mm/gün),

ET_o :Referans evapotranspirasyon, (mm/gün),

K_{cb} :Bazal bitki katsayısı,

K_e :Açık toprak yüzeyinden meydana gelen buharlaşma katsayısıdır.

Farklı bitkiler için her büyüme dönemindeki bitki katsayıları (K_{cb} ve K_c değerleri) modelin veri tabanında bulunmaktadır. K_e değeri FAO-56 (Allen ve ark., 1998)'e göre hesaplanmaktadır. K_{cb} ve K_c sırasıyla 2 m/s ve %45'den farklı olan rüzgar hızı ve oransal nem için FAO-56 (Allen ve ark., 1998)'e göre düzeltilmektedir.

3.1.2.1.(2). Etkili Yağış

Modelde, yağışın toprak yüzeyinden bitki kök bölgesine infiltre olan ve bitki tarafından kullanılabilen bölümü olarak tanımlanan etkili yağış miktarını hesaplamak için 3 farklı seçenek bulunmaktadır. Bunlar;

1. Etkili yağış, toplam yağışın belirli bir yüzdesi olarak kabul edilebilir.
2. FAO-56 (Allen ve ark., 1998)'e göre hesaplanabilir veya
3. Toplam yağışa eşit olduğunu kabul edilebilir.

3.1.2.1.(3). Tuzlu Su Koşullarında Bitki Su Alımı

(1) Gerçek Su Alım Oranı

SALTMED Modeli su alımının belirlenmesinde Cardon ve Letey (1992) tarafından ortaya konan su alım eşitliğini kullanır.

$$S(z,t) = \left[\frac{S_{max}(t)}{1+\left(\frac{a(t)h+\pi}{\pi 50(t)}\right)} 3\right] \lambda(z,t) \qquad (3.3)$$

Burada;

z≤ 0.2L için,

λ(z) = 5/3L

0.2L <z≤ L için,

$\lambda(z) = 25/12L * (1 - z/L)$

z > L için,

λ(z) =0.0' dır.

Eşitliklerde;

$S_{max}(t)$:t zamanda maksimum potansiyel kök su alımı,

z :Aşağıya doğru pozitif değer olarak alınan dikey derinlik,

λ(z) :Derinlik ve zamana bağlı toplam kök yoğunluğu oranı,

L :Maksimum kök derinliği,

h :Matrik basınç,

p :Ozmotik basınç,

$p_{50}(t)$:S_{max}(t), %50 azaldığında ozmotik basıncın zamana bağlı değeri,

a(t) :Bitkinin matrik ve ozmotik potansiyele farklı tepkilerini dikkate alan düzeltme katsayısıdır.

$$a(t) = \frac{\pi 50(t)}{h50(t)} \quad (3.4)$$

Eşitlikte *h50(t),* S_{max}(t)'nin %50 azaldığı durumdaki matrik potansiyel değeridir. p_{50} ve h_{50} değerleri tarla denemeleri veya FAO-48 (Rhodes ve ark., 1992) gibi literatürden alınabilir.

(2) Maksimum Su Alımı, Smax(t)

Maksimum su alımı, S_{max}(t), aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır:

$$S_{max}(t) = ET_o(t) * K_{cb} \quad (3.5)$$

(3) Kök Derinliği ve Genişliği

Modelde kök derinliğinin bitki katsayısı ile benzer tavır izlediği varsayılmıştır. Zamana göre kök derinliği, *KD(t),* aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır:

$$KD(t) = [Kökderinliği_{min} + (Kökderinliği_{max} - Kökderinliği_{min})] * \frac{K_c(t)}{K_{c\,max}} \quad (3.6)$$

Maksimum kök derinliği doğrudan ölçülebileceği gibi literatürden de elde edilebilir.

Tarla bitkilerinde zamansal olarak lateral kök genişliğinin hesaplanmasında literatürde çok fazla bilgi yer almamaktadır. Bu nedenle modelde zamana göre kök genişliğinin hesaplanmasında aşağıdaki basit eşitlik kullanılmaktadır:

$$Kök\ genişliği(t) = \left[\frac{Kökgenişliği}{Kökderinliği}\right] Oranı * Kök\ derinliği \quad (3.7)$$

[Kök genişliği/Kök derinliği] oranı, bitki toprak tipi ve diğer faktörlere bağlıdır. Bu değer FAO-48 (Rhodes ve ark., 1992) gibi literatürden veya arazi denemelerinden elde edilebilir.

3.1.2.1.(4). Oransal ve Gerçek Bitki Verimi

Su alımı ile kuru madde üretimi ve buna bağlı olarak verim arasındaki tek ve güçlü ilişki olan oransal verim (RY); büyüme mevsimi boyunca toplam gerçek su alımının stressiz koşullardaki toplam maksimum su alımına bölünmesi şeklinde tahmin edilmektedir.

$$RY = \frac{\sum S(x,z,t)}{\sum S_{max}(x,z,t)} \quad (3.8)$$

Gerçek verim (AY) ise aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır;

$$AY = RY * Y_{max} \quad (3.9)$$

Eşitlikte, Y_{max} belli bir bölgede stressiz optimum koşullarda elde edilen en yüksek verimdir.

3.1.2.1.(5). Su ve Çözelti Hareketi

Toprakta suyun hareketi Richard Eşitliği kullanılarak matematiksel olarak ifade edilebilir. Bu eşitlik kısmi doğrusal olmayan diferansiyel bir eşitlik olup Darcy yasası ve süreklilik eşitliğine dayanmaktadır.

$$q = -K(h)\frac{\delta H}{\delta Z} \tag{3.10}$$

Eşitlikte *q*; su akısı, *K(h)*; toprağın hidrolik iletkenliği, *Z*; toprak yüzeyinden aşağıya doğru dikey koordinat, *H*; su yüküdür. Diğer yükleri ihmal edersek, topraktaki su yükü, yerçekimi yükü ile matrik yükün *(*ψ *)* toplamına eşit olur.

$$H = \psi + Z \tag{3.11}$$

Kök bölgesinin kararlı ve uniform katmanlarında düşey su hareketi Richard tipi eşitlikle tanımlanabilir;

$$\frac{\partial\theta}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial Z}\left[K(\theta)\frac{\partial(\psi+Z)}{\partial Z}\right] - S_w \tag{3.12}$$

Eşitlikte, θ; hacimsel ıslaklık, *t*; zaman, *z*; derinlik, $K(\theta)$; ıslaklığın bir fonksiyonu olarak hidrolik iletkenlik, ψ ; matrik emme yükü ve S_w bitki kökü tarafından alınan suyu temsil eden su alım terimidir.

Toprakta çözelti hareketi, hızı ve yönü büyük ölçüde suyun hareketine bağlıdır fakat aynı zamanda difüzyon ve hidrodinamik dispersiyon ile de belirlenir. Difüzyon, dispersiyon ve konveksiyonun kombinasyonu ile toplam çözelti akısı, Hillel (1977)'ye göre ifade edilebilir (Eşitlik 3.13).

$$J = -(D_h + D_s)\left(\frac{\partial c}{\partial x}\right) + \bar{v}\theta c \tag{3.13}$$

Eşitlikte, *J*; toplam çözelti akısı, *c*; akan sudaki çözelti konsantrasyonu, $\bar{v}$; ortalama akış hızı, D_s; topraktaki çözelti difüzyonudur.

Çözelti difüzyonu (D_s), sıvı faz toprağın sadece belirli bir kısmını oluşturduğundan ve akış yolunun kıvrımlı yapısından dolayı düşer. Bu nedenle D_s aşağıdaki eşitlik ile tanımlanabilir:

$$D_s = D_0 \theta \xi \tag{3.14}$$

Burada;

$$\xi = \frac{\theta^{7/3}}{\theta_s^2} \tag{3.15}$$

Eşitliklerde, D_o; difüzyon katsayısı, ξ ise kıvrılmadır. Toprakta hacimsel ıslaklık azaldıkça azalması beklenen bu faktör 1'den küçük ampirik bir faktördür (Simůnek ve Suarez, 1994).

Konveksiyon akısı genellikle hidrodinamik dispersiyona da neden olur. Bu çeşitli gözeneklerde mikroskobik düzensiz akış hızına bağlı olan bir etkidir. Böylece iki çözelti arasındaki keskin sınır ortalama bir pozisyona doğru giderek daha hızlı dağılmaya başlar. Bresler (1975), bu durumda difüzyon katsayısının ortalama akış hızına ($\bar{v}$) doğrusal orantılı olduğunu bulmuştur.

$$D_h = \alpha \bar{v} \tag{3.16}$$

Burada a , ampirik katsayıdır.

Süreklilik eşitliği dikkate alındığında bir çözeltinin topraktaki tek boyutlu süreksiz hareketi şöyle ifade edilebilir:

$$\frac{\partial(\theta c)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z}\left(D_a \frac{\partial c}{\partial z}\right) - \frac{\partial(qc)}{\partial z} - S_s \tag{3.17}$$

Eşitlikte; *c*, toprak çözeltisindeki çözünen maddenin konsantrasyonu; *q*, çözeltinin taşınım akısı; D_a birleşik difüzyon ve dispersiyon katsayısı; S_s çözelti için kök alımını temsil eden terimdir.

Çizgi kaynaklı damla sulama koşullarında, su ya da çözelti hareketi iki boyutlu akış olarak gösterilebilir ve aşağıdaki durumlardan birine göre simüle edilebilir.

1. *x ve z Kartezyen koordinatlarını içeren iki boyutlu akış:* Bir damla sulama sisteminde damlatıcılar eşit uzaklıkta ve sulamadan kısa bir süre sonra ıslak yüzeyler birbiri ile örtüşecek kadar damlatıcılar birbirine yakın ise iki boyutlu akış meydana gelir.
2. *r ve z silindirik koordinatları ile temsil edilen silindirik akış modeli:* Silindirik akış tek bir damlatıcının bulunduğu yada komşu kaynakların ıslattıkları alanların örtüşmeyecek şekilde birbirine uzak damlatıcıların bulunması durumunda meydana gelir.

Kararlı, izotropik (eş yönlü) ve homojen bir gözenekli ortam için toprakta iki boyutlu su hareketi aşağıdaki eşitlikle tanımlanabilir (Bresler, 1975).

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left[K(\theta)\frac{\partial \psi}{\partial x}\right] + \frac{\partial}{\partial z}\left[K(\theta)\frac{\partial(\psi+z)}{\partial z}\right] \quad (3.18)$$

Eşitlikte; *x*, yatay koordinat; *z*, düşey koordinat (aşağıya doğru pozitif değer olarak kabul edilir); *K(θ)*, toprağın hidrolik iletkenliğidir.

İzotropik ve homojen gözenekli ortam, ortalama akış yönüne paralel veya dikey olarak yönlendirilmiş dispersiyon eksenleri ile dikkate alınırsa hidrodinamik dispersiyon katsayısı, D_{ij}, şöyle ifade edilebilir;

$$D_{ij} = \lambda_T |V| \delta_{ij} + \frac{(\lambda_L - \lambda_T) V_i V_j}{|V|} + D_s(\theta) \quad (3.19)$$

Eşitlikte;

λ_L :Ortamın düşey dispersivitesi;

λ_T :Ortamın yatay dispersivitesi;

δ_{ij} :Kronecker simgesi *(i=j ise* δ_{ij} *=1 ve i≠j ise* δ_{ij} *=0)*;

V :Ortalama akış hızı $(V = (V_x^2 + V_z^2)^{1/2})$

V_i ve V_j :Ortalama akış hızının (V) sırasıyla i'inci ve j'nci bileşenleri;

$D_s(\theta)$:Eşitlik 3.14'te tanımlanan difüzyon katsayısıdır.

Akışın iki boyutlu olduğu kabul edilirse ve *Dij* eşitlikte yerine konulursa tuz akış eşitliği şöyle olur.

$$\frac{\partial(C\theta)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(D_{xx}\frac{\partial C}{\partial x} + D_{xz}\frac{\partial C}{\partial z} - q_x C\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(D_{zz}\frac{\partial C}{\partial z} + D_{zx}\frac{\partial C}{\partial x} - q_z C\right) \quad (3.20)$$

Modelde yağmurlama, tava ve salma sulama yöntemlerinde su ve çözelti hareketi tek yönlü akış eşitlikleri (Eşitlik 3.12 ve Eşitlik 3.17) ile tanımlanmıştır. Karık ve çizgi kaynaklı damla sulama yöntemlerinde ise model toprakta iki boyutlu su ve çözelti hareketi eşitlikleri olan Eşitlik 3.18 ve Eşitlik 3.20'yi kullanarak çözümleme yapmaktadır. Nokta kaynaklı damla sulama yönteminde ise topraktaki su ve çözelti hareketi silindirik akış eşitliği ile tanımlanmıştır. Silindirik su ve çözelti akış eşitlikleri Eşitlik 3.18 ve Eşitlik 3.20'deki *x* yerine yarıçap, *r*, konularak düzenlenmesi ile elde edilmektedir (Bresler, 1975; Fletcher Armstrong ve Wilson, 1983).

Modelde su ve çözelti hareketi eşitlikleri sonlu farklar açık şema yöntemi ile sayısal olarak çözülmüştür. Sınır koşulları Ragab ve ark., (1984), Bresler (1975) ve Brandt ve ark., (1971) tarafından belirtilen sınır koşullarıdır. Sonuç olarak model;

1. Toprak su içeriği, θ;
2. Tuz konsantrasyonu, C;
3. Toplam tuz içeriği, $C\theta$;
4. Oransal tuz konsantrasyonu zaman serilerini üretebilmektedir.

Modelde oransal tuz konsantrasyonu Eşitlik 3.21'e göre hesaplanmaktadır.

$$\frac{\left(C(z,t) - C_{sulama\ suyu}\right)}{C_{başlangıç}(z,t)} \quad (3.21)$$

(1) Toprağın Hidrolik Parametreleri

Toprak nemi-su potansiyeli ilişkisi ve toprak su potansiyeli-hidrolik iletkenlik ilişkisi, toprakta su ve çözelti hareketi eşitliklerini çözmek için gerekli olan iki ilişkidir. Bu ilişkiler modelde Van Genuchten (1980) tarafından önerilen şu eşitlikler ile tanımlanmıştır:

$$\theta(h) = \theta_r + \left[\left(\frac{(\theta_s-\theta_r)}{(1+|\alpha h|^n}\right)^m\right] \quad (3.22)$$

$$K(h) = K_s K_r(h) = K_s S_e{}^{1/2}\left[1-\left(1-S_e{}^{1/m}\right)^m\right]^2 \quad (3.23)$$

Eşitliklerde θ_r ve θ_s sırasıyla artan ve doygun toprak su içeriğini; K_s ve K_r sırasıyla doygun ve oransal hidrolik iletkenliği ifade etmektedir. S_e etkili doygunluk yada normalize hacimsel toprak su içeriğidir. α ve n amprik parametreler ve m=1-1/n'dir.

Modelde Eşitlik 3.22 ve Eşitlik 3.23 Van Dam ve ark. (1994)'e göre yeniden düzenlendikten sonra kullanılmıştır. Böylece toprak su potansiyeli ve hidrolik iletkenlik etkili doygunluğun fonksiyonu olarak elde edilmiştir.

$$S_e = \frac{(\theta-\theta_r)}{(\theta_s-\theta_r)} \quad (3.24)$$

$$h(S_e) = \frac{\left[\left(S_e^{-1/m}-1\right)^{1/n}\right]}{\propto} \quad (3.25)$$

$$K(S_e) = K_s S_e^{1/2}\left[1-\left(1-S_e^{1/m}\right)^m\right]^2 \quad (3.26)$$

Rawls ve Brakensiek (1989) yaptıkları çalışmada Pedotransfer fonksiyonlara dayalı olarak, çeşitli toprak tipleri için θ_r, θ_s, θ, K_s değerlerini, tarla kapasitesi ve

solma noktasındaki toprak su içeriklerini ortaya koymuşlar, n ve m değerlerini aşağıdaki şekilde hesaplamışlardır.

$$n = \lambda + 1 \tag{3.27}$$

$$m = \frac{\lambda}{n} \tag{3.28}$$

Eşitliklerde λ, gözenek büyüklüğü dağılım indeksidir.

Rawls ve Brakensiek (1989) ve farklı kaynaklardan elde edilen veriler modelin veritabanında bulunmaktadır. Modelin veritabanındaki bu toprak hidrolik parametreleri ölçülen değerlerinin olmaması durumunda varsayılan değerler olarak kullanılabilir. Ayrıca model tablo haline getirilmiş toprak nemi-toprak su potansiyeli ve toprak nemi-hidrolik iletkenlik veri çiftlerini kullanabilir ve sıralı değerler arasındaki değerler için hesaplama yapabilir.

3.1.2.1.(6). Drenaj

SALTMED modelinin yeni versiyonu (SALTMED 3) açık kanal yada toprak altı drenaj sistemi için tahminde bulunabilmektedir. Model su kaynağının her iki tarafında, su kaynağına belirli bir mesafede ve belirli bir derinlikte konumlandırılmış tek bir dren borusu olduğunu kabul etmektedir. Başlangıç taban suyu koşulları olarak başlangıç taban suyu seviyesini, taban suyunun tuzluluğunu, nitrojen ve üre içeriğini dikkate almaktadır.

Modelde drenaj hesaplamaları Wesseling (1973) ve Oosterbaan ve ark. (1989) tarafından verilen Hooghoudt drenaj eşitliğine (Hooghoudt, 1940) dayanmaktadır.

Hooghoudt drenaj eşitliği, düz bir arazide, yatay ve birbirine paralel hendek yada borulardan oluşan drenaj sistemindeki parametrelerin matematiksel ilişkisini vermektedir. Bu yaklaşımda birbirine paralel konumlu boru veya hendeklerin eşit derinliğe yerleştirilmiş olduğu ve giriş direnci olmaksızın arazi yüzeyine üniform olarak dağılan kararlı bir beslemenin etkisi altında olduğu kabul edilir. Hooghoudt

eşitliğinin en yaygın olarak bilinen biçimi Wesseling (1973) tarafından verilmiştir. Modelde bu eşitliğin modifiye edilmiş formu kullanılmıştır.

$$qL = \left(\frac{8H_m}{L}\right)(K_b D_e + K_a H_a) \quad (3.29)$$

Eşitlikte;

q :Su tablasına doğru süzülen kararlı su beslemesi (m/gün veya m/sa);

L :Dren aralığı (m);

Hm :Drenler arası orta noktada dren merkezinden itibaren su tablası yüksekliği (m);

K_b :Dren seviyesi altındaki toprağın hidrolik iletkenliği (m/gün veya m/sa);

K_a :Dren seviyesi üzerindeki toprağın hidrolik iletkenliği (m/gün veya m/sa);

D_e :Dren düzeyinin aşağısında geçirimsiz tabakaya olan Hooghoudt eşdeğer tabaka derinliği (m);

H_a :Dren düzeyinin yukarısındaki su tablasının ortalama yüksekliği (m).

Eşdeğer tabaka derinliği, D_e, drenlerin altındaki geçirimsiz tabaka derinliğine (D) bağlıdır:

D< R ise $De=D$ (3.30a)

R< D< L/4 ise $D_e = \frac{DL}{\left((L-D2)+8DL\,ln\left(\frac{D}{R}\right)\right)}$ (3.30b)

D> L/4 ise $D_e = \frac{L}{8\,ln\left(\frac{L}{R}\right)}$ (3.30c)

Eşitliklerde R, dren yarıçapıdır (m). L/8<D<L/2 için Eşitlik 3.30b ve 3.30c yaklaşık olarak aynı sonucu vermektedir. Eşitlik 3.30b Hooghoudt teorisinin Labeye

(1960) tarafından analizinin bir sonucudur. Eşitlik 3.30a ve 3.30c Hooghoudt (1940) tarafından verilmiştir.

Eğer drenaj sistemi gömülü boru yerine açık hendeklerden oluşuyor ise yukarıdaki eşitliklerde $R=W/\pi$ şeklinde hesaplanacak bir yarıçap değeri kullanılır. Burada W hendeğin ıslak çevresidir. Ayrıca eşitliklerdeki 8 katsayısı 6.4 olarak değiştirilirse eşitlikler zamanla düşen su tablasına sahip drenaj koşulları için de kullanılabilirler (Oosterban ve ark. 1989).

3.1.2.1.(7). Yıkama Gereksinimi

SALTMED modelinde yıkama gereksinimi (LR) sulama suyu tuz konsantrasyonunun drenaj suyu tuz içeriğine oranı veya kök bölgesi ortalama tuzluluk düzeyi olarak da hesaplanabilir (Eşitlik 3.31).

$$LR = \frac{D_d}{D_i} = \frac{C_i}{C_d} \tag{3.31}$$

Burada D_d; drenaj suyu miktarı, D_i; sulama suyu miktarı, C_i ve C_d sırasıyla sulama suyu ve drenaj suyunun tuz konsantrasyonlarıdır.

3.1.2.2. SALTMED Modeli İçin Gerekli Olan Veriler

SALTMED modelini çalıştırabilmek için gerekli olan veriler şunlardır:

Bitkiye İlişkin Veriler: Her büyüme dönemi için bitki katsayıları, $K_{c,}$ bazal bitki katsayısı, $K_{cb,}$ kök derinliği ve genişliği, yörede optimum koşullarda elde edilen bitki boyu ve en yüksek verim.

Toprak Özellikleri: Her bir toprak horizon derinliği, doygun hidrolik iletkenlik, doyma noktasındaki toprak su içeriği, tuz difüzyon katsayısı, yatay ve düşey dispersiyon katsayısı, başlangıç toprak suyu ve tuzluluk profilleri, toprak nemine karşı toprak su potansiyeli ve toprak nemine karşı hidrolik iletkenliğin tablo halindeki verileri.

Meteorolojik Veriler: Bitki büyüme sezonu boyunca günlük maksimum ve minimum sıcaklık değerleri, oransal nem, net radyasyon, rüzgar hızı ve günlük yağış.

Sulama verileri: Uygulanan sulama suyu miktarı ve sulama tarihleri, her sulama için sulama suyunun tuzluluk derecesi.

3.1.2.3. SALTMED Modeli Veritabanı

Model 3 ayrı veritabanı içermektedir:

Bitki Veritabanı: Farklı bölgelerden çeşitli bitkiler için farklı büyüme sezonlarında ekim ve hasat tarihleri, her bitki büyüme dönemi için bitki katsayıları, Kc, Kcb, maksimum bitki boyu ve kök derinliği gibi bitkiye ilişkin verileri içeren veritabanı geniş ölçüde Rhodes ve ark. (1992) ile Allen ve ark. (1998)'in çalışmalarına dayanmaktadır.

Toprak Veritabanı: Model 40'ın üzerinde farklı toprak tipi için hidrolik karakteristikler ve çözelti taşınım parametrelerini içermektedir. Toprak parametreleri Rawls ve Brakensiek (1989) ve farklı kaynaklardan elde edilmiştir.

Sulama Sistemi Veritabanı: 10 farklı sulama sistemi için sulama aralığı ve ıslatma yüzdesi gibi sulamaya ilişkin verileri içermektedir.

Modelin veritabanındaki parametreler ölçülen değerlerinin olmaması durumunda varsayılan değerler olarak kullanılabilir.

3.2. Yöntem

3.2.1. Tarla Denemesinde İzlenen Yöntem

3.2.1.1. Toprak Örneklerinin Alınması ve Analiz Yöntemleri

Deneme alanı topraklarının temel bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla bozulmuş ve bozulmamış toprak örnekleri alınmıştır. Bozulmuş toprak örnekleri 0-120 cm profil derinliğinden 30 cm'lik katmanlardan sistematik örnekleme esasına göre Hollanda tipi burgu kullanılarak alınmıştır (Petersen ve

Calvin., 1965). Bouyoucous (1951) tarafından esasları verilen Hidrometre Yöntemi ile toprak bünyesi saptanmıştır. Hacim ağırlığı, bozulmamış toprak örneklerinde belirlenmiştir. Tarla kapasitesi ve solma noktası, basınçlı plaka aygıtı kullanılarak bozulmamış ve bozulmuş toprak örneklerinin sırasıyla 1/3 ve 15 atmosfer basınçta tuttukları su miktarının saptanmasıyla bulunmuştur. pH, cam elektrotlu Beckman pH metresiyle satürasyon çamurunda belirlenmiştir. Tuz içeriği, satürasyon çamurunda Standart Wheatstone Köprüsü Yöntemi ile saptanmıştır (USSL, 1954). Kalsiyum karbonat; Çağlar (1969), tarafından verilen esaslara göre Scheibler Kalsimetresi ile belirlenmiştir.

3.2.1.2 Toprak Örneklerinde Tuzluluk Ölçümü

Deneme alanında profilin 0-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm ve 40-60 cm derinliklerinden toprak örnekleri alınmış ve çamur süzüklerinin çıkarılması amacıyla laboratuvara taşınmıştır. Toprak örnekleri, laboratuvarda hava kuru hale gelinceye kadar bekletilmiş; hava kuru toprak örnekleri dövülmüş ve 2 mm'lik elekten geçirilmiştir. Daha sonra 2 mm'lik elekten geçirilen toprak örneklerinden 100 g tartılarak saf su ile satürasyon çamuru hazırlanmıştır. Hazırlanan satürasyon çamuruna vakum uygulanarak çamur süzükleri çıkarılmış ve elektriksel iletkenlik (ECe, dS/m) ölçümleri yapılmıştır.

3.2.1.3. Toprak Hazırlığı ve Fide Dikimi

Deneme alanı toprağı fide dikiminden birkaç gün önce goble-disk çekilerek düzeltilip dikime hazır duruma getirilmiştir. Quinoa tohumları viyollerde, kontrollü ortamda çimlendirilmiş ve fideler 4-6 gerçek yaprağa ulaştığında, 11 Nisan 2012 tarihinde, deneme parsellerine dikilmiştir. Fide dikimi, deneme desenine uygun olarak, her parselde 5 bitki sırası yer alacak şekilde, sıra arası 50 cm, sıra üzeri 15 cm olacak şekilde yapılmıştır.

3.2.1.4. Gübreleme ve Bakım

Dikimle birlikte deneme parsellerine, 75 kg/ha N ve 75 kg/ha P_2O_5 saf madde esasına göre 20-20-0 kompoze gübre uygulanmıştır ve parsellere can suyu verilmiştir. İkinci gübreleme 31.05.2012 tarihinde gerçekleştirilmiş ve 50 kg/ha N saf madde asasına göre %33 Amonyum Nitrat gübresi uygulanmıştır.

Deneme süresince, parsellerde gelişen yabancı otlarla mücadele etmek için belirli dönemlerde el çapası yapılmıştır.

3.2.1.5. Araştırma Konuları ve Deneme Deseni

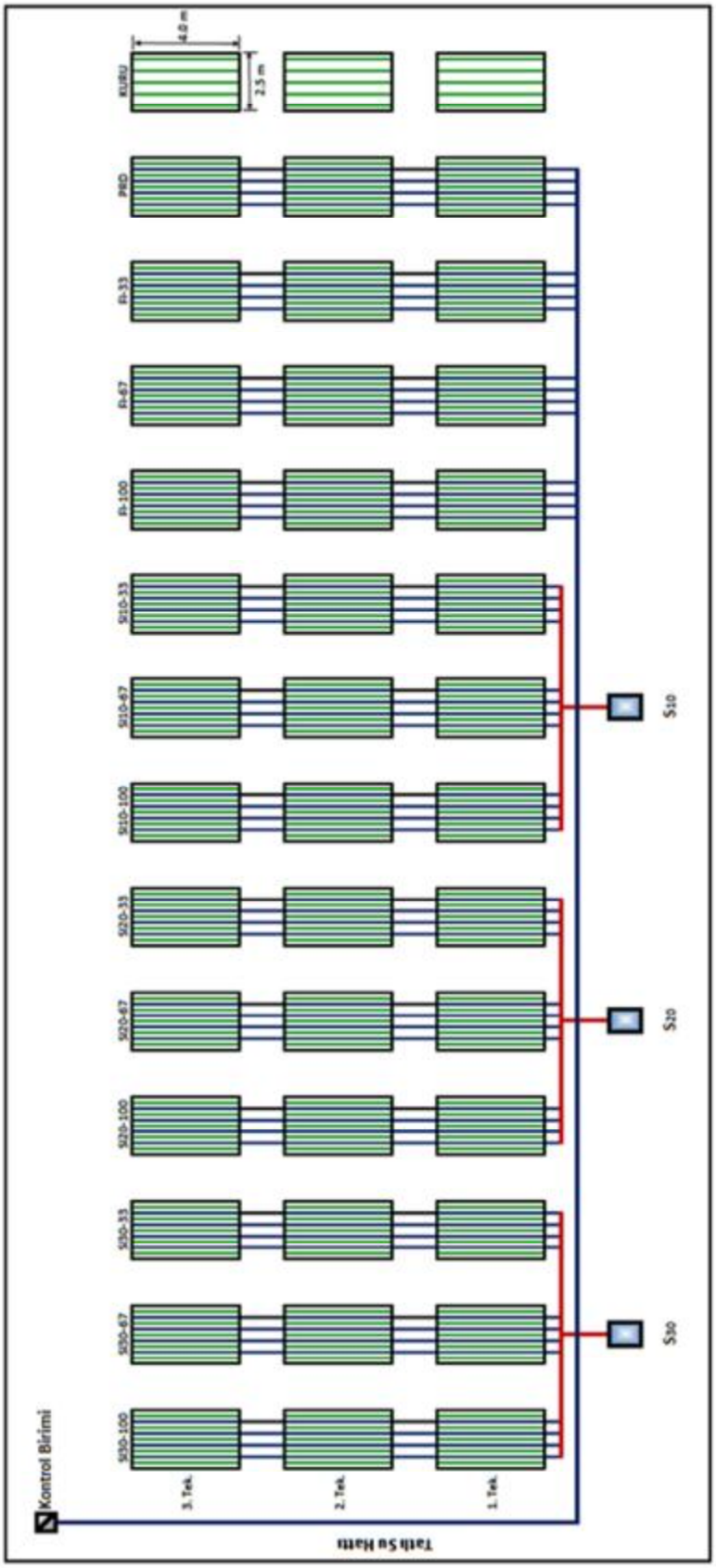
Araştırma konuları; sulama suyu tuzluluk düzeyleri dikkate alınarak 4 ana eksende planlanmıştır. Buna göre elektriksel iletkenliği 10, 20 ve 30 dS/m olan sulama suları ve ECw=0.5 dS/m olan kanal suyu kullanılarak dört farklı tuzluluk düzeyi ele alınmıştır. Her bir tuzluluk düzeyinde ise tam sulama konuları ile tam sulamanın %67'sinin ve %33'ünün uygulandığı kısıntılı sulama konuları yer almaktadır. Ayrıca denemede kanal suyu ile %50 kısmi kök kuruluğu (PRD) uygulaması ve hiç sulama yapılmayan kuru konularına da yer verilmiştir. Böylece araştırmada ele alınan 14 deneme konusunun adlandırılması ve tanımlaması;

- **FI-100;** kanal suyu ile 60 cm'lik etkili kök derinliğindeki eksik suyun tamamının karşılandığı deneme konusu;
- **FI-67;** kanal suyu ile FI-100 konusunda uygulanan sulama suyu miktarının %67'sinin uygulandığı konu;
- **FI-33;** kanal suyu ile FI-100 konusunda uygulanan sulama suyu miktarının %33'ünün uygulandığı konu;
- **PRD;** kanal suyu ile FI-100 konusuna göre %50 kısıntılı kısmi kök kuruluğu konusu;
- **SI10-100;** tuzluluk düzeyi 10 dS/m olan sulama suyu ile tam sulama konusu;
- **SI10-67;** EC_w 10 dS/m olan sulama suyu ile SI_{10}-100 konusunda uygulanan sulama suyu miktarının %67'sinin uygulandığı konu;

- **SI10-33;** EC_w 10 dS/m olan sulama suyu ile SI_{10}-100 konusunda uygulanan sulama suyu miktarının %33'ünün uygulandığı konu;
- **SI20-100;** tuzluluk düzeyi 20 dS/m olan sulama suyu ile tam sulama konusu;
- **SI20-67;** EC_w 20 dS/m olan sulama suyu ile SI_{20}-100 konusunda uygulanan sulama suyu miktarının %67'sinin uygulandığı konu;
- **SI20-33;** EC_w 20 dS/m olan sulama suyu ile SI_{20}-100 konusunda uygulanan sulama suyu miktarının %33'ünün uygulandığı konu;
- **SI30-100;** tuzluluk düzeyi 30 dS/m olan sulama suyu ile tam sulama konusu;
- **SI30-67;** EC_w 30 dS/m olan sulama suyu ile SI_{30}-100 konusunda uygulanan sulama suyu miktarının %67'sinin uygulandığı konu;
- **SI30-33;** EC_w 30 dS/m olan sulama suyu ile SI_{30}-100 konusunda uygulanan sulama suyu miktarının %33'ünün uygulandığı konu;
- **KURU;** büyüme mevsimi boyunca hiç sulama yapılmayan konu şeklindedir.

Tam sulama konularında (FI-100, SI10-100, SI20-100 ve SI30-100) 7 günlük sulama aralığında 60 cm'lik etkili kök derinliğindeki eksik toprak suyunun tarla kapasitesine getirilmesi için gerekli olan suyun tamamı damla sulama yöntemi ile uygulanmıştır. %67 ve %33 kısıntılı sulama konularında sulama süresi kısaltılarak tam sulama konularında uygulanan sulama suyunun sırasıyla %67'si ve %33'ü bitki kök bölgesine verilmiştir. Kanal suyu ile kısmi kök kuruluğu (PRD) konusunda ise bitki sıra arasına yerleştirilen lateraller dönüşümlü olarak çalıştırılarak tam sulama konusunda uygulanan sulama suyu miktarının %50'si kadar su verilmiştir.

Deneme tesadüf blokları deneme desenine göre 3 yinelemeli olarak kurulmuştur. Parsel boyutları, her parselde 5 bitki sırası yer alacak şekilde 2.5 m x 4 m olarak planlanmış ve deneme parselleri arasında 2 m boşluk bırakılmıştır. Deneme parsellerinin yerleşim düzeni Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Deneme Planı

3.2.1.6. Sulama Yöntemi

Denemede damla sulama sistemi kullanılmıştır. Tatlı su konularında (FI-100, FI-67, FI-33 ve PRD) kullanılan sulama suyu, araştırma alanı yakınlarından geçen DSİ sulama kanalından sağlanmıştır. Kapalı bir sistemle deneme alanına iletilen su hidrantlardan alınarak uygulanmıştır. Tuzlu su konularında ise deneme alanında bulunan tanklarda depolanan EC_w=30, 20 ve 10 dS/m olan sulama suları, her bir tanka bağlanan bir pompa, su iletim hattı ve damla sulama sistemi ile deneme parsellerine uygulanmıştır. Her lateralin başına bir vana yerleştirilmiş böylece kısıntılı sulama konularında sulama süresi tamamlanınca vanalar kapatılarak sulama sonlandırılmıştır. PRD konusunda ise lateral başına yerleştirilen vanalar ile dönüşümlü olarak çalıştırılacak lateraller ayarlanmıştır.

Araştırmada tam su konularında (FI-100, SI10-100, SI20-100 ve SI30-100) uygulanacak sulama suyu miktarı, 60 cm'lik toprak profilindeki eksik nemin tarla kapasitesine tamamlanması şeklinde belirlenmiştir. Sulama süresi ise uygulanacak sulama suyu miktarının damlatıcı debisi ve damlatıcı aralığı dikkate alınarak belirlenen su verme hızına bölünmesi ile elde edilmiştir. %67 kısıntılı sulama konularında (FI-67, SI10-67, SI20-67 ve SI30-67) sulama süresi kısaltılarak her sulamada tam su konularında uygulanan sulama suyunun %67'si kadar su uygulanmıştır. %33 kısıntılı sulama konularında da (FI-33, SI10-33, SI20-33 ve SI30-33) benzer şekilde sulama süresi kısaltılarak her sulamada tam su konularında uygulanan sulama suyunun %33'ü kadar su uygulanmıştır. PRD konusunda ise sulamalar, bitki sırasının her iki tarafına yerleştirilen laterallerden birinin bir sulamada diğerinin izleyen sulamada çalıştırılması şeklinde gerçekleştirilmiş böylece tam sulamada uygulanan suyun % 50'si kadar su verilmiştir.

3.2.1.7. Toprak Suyu Gözlemleri

Araştırmada toprak suyu gözlemleri, gravimetrik yöntem ve nötronmetre yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Gravimetrik yöntemde, sulamalardan bir gün önce

0-90 cm'lik toprak profilinden her 30 cm derinlik için toprak örnekleri alınarak toprak su içeriği belirlenmiştir.

Nötronmetre yöntemi ile toprak profilinde nem değişimini izlemek için her deneme parselinin ortasına, toprak yüzeyinden 100 cm derinliğe, 38.1 mm iç çapında ve 3.2 mm et kalınlığındaki alüminyum tüpler yerleştirilmiştir. Ölçümlerde Campbell Pasific Nuclear Corp tarafından üretilmiş olan BF^3 (nötron kaynağı Americium-Berilium) dedektör tüpü içeren 503 Hydroprope, DR tipi nötronmetre kullanılarak her ölçüm noktasında 15 saniye süre ile nötron sayımı yapılmıştır. Her sulama öncesi 0-30 cm, 30-60 cm ve 60-90 cm toprak katmanları için nötronmetre okumaları yapılmıştır. Standart okumalar su doldurulmuş bir varilde yapılmış olup her okumada 12 standart sayım yapılmıştır. Standart okumalardan en büyük ve en küçük değerler atılarak 10 okumanın ortalamaları alınmış ve elde edilen değer ölçümün standart sayımı olarak kabul edilmiştir. Gerçek ve standart sayımların birbirine oranlanması ile bulunan sayım oranı, kalibrasyon denkleminde kullanılarak yukarıda belirtilen katmanlar için toprak su içeriği belirlenmiştir.

3.2.1.8. Bitki Boyu

Her parselde 3 bitkinin haftada bir kez boyları ölçülerek ortalamaları alınmış böylece deneme süresince haftalık bitki boy değişimleri izlenmiştir.

3.2.1.9. Yaprak Alan İndeksi ve Kuru Madde Miktarı

Araştırma konularına göre birim toprak alanına düşen yaprak alanı olarak tanımlanan yaprak alan indeksi (LAI) değişimi haftada bir kez yapılan ölçümlerle izlenmiştir. Yaprak alan indeksi ölçümlerinde bitki tacı analizörü (LI-COR LAI-2000 Plant Canopy Analyzer) kullanılmıştır. Bitki tacı analizörü yaprak alan indeksini balık-gözü denilen optik sensörle (148º'lik görüş açısı) bitki tacının altında ve üstünde yapılan radyasyon ölçümlerinden tahmin etmektedir. Bitki taç analizörü ile yaprak alan indeksinin belirlenmesine ilişkin kuramsal dayanak Welles ve Nornman (1991) tarafından ortaya konmuştur.

Deneme konularına ilişkin kuru madde miktarının belirlenmesi için 7 günlük aralıklarla her parselden 3 bitkinin toprak yüzeyinden kesilmesi yoluyla bitki örnekleri alınmıştır. Alınan bitki örnekleri etüvde 65 ˚C'de sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuştur. Elde edilen kuru ağırlıklar örneğin alındığı alana oranlanarak birim alana düşen kuru madde miktarı saptanmıştır.

3.2.1.10. Stoma Direnci

Araştırmada ele alınan deneme konularında iki sulama arasındaki bir haftalık periyotta bitkinin stoma direncindeki değişimleri izlemek amacıyla porometre (Delta-T AP4 Leaf Porometer) ile stoma direnci ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler her bir parselin ortasında seçilen bitkilerde güneşi gören tam gelişmiş üst iki yaprağın altından ve üstünden, açık hava koşullarında 12.00-14.00 saatleri arasında yapılmıştır.

3.2.1.11. Yaprak Su Potansiyeli

Kuraklık ve tuzluluk stresi koşullarında, bitkide su durumunun önemli bir göstergesi olan yaprak su potansiyelinin izlenmesi amacıyla iki sulama uygulaması arasında 3 farklı günde basınç odacığı (pressure chamber) kullanılarak yaprak su potansiyeli ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler gün ortasında (12.00-14.00 saatleri arasında), her parselden tam gelişmiş üç yaprak örneği alınarak yapılmış ve bunların ortalaması gün ortası yaprak su potansiyeli olarak alınmıştır. Ölçüm için koparılan yapraklar hemen sap kısmı dışarıda kalacak şekilde basınç odacığına yerleştirilmiş ve yaprağın sap kısmında su zerreciği belirinceye kadar yaprağa basınç uygulanmıştır. Su zerreciğinin görüldüğü anda ölçülen basınç, yaprak su potansiyeli olarak ifade edilmektedir.

3.2.1.12. Bitki Taç Sıcaklığı

Bitkide su stresinin bir başka göstergesi olan bitki taç sıcaklığı portatif infrared termometre (Raytek Raynger MX Infrared Thermometer) kullanılarak ölçülmüştür. Taç sıcaklığı ölçümleri sulamalardan önce ve iki sulama arasındaki günlerde yapılmıştır. Ölçümler havanın tamamen açık olduğu veya bulutların güneşi engellemediği koşullarda, saat 12:00–14:00 arasında ve su stresinin günlük değişimini belirlemek için sabah saat 7:00'den akşam saat 19:00'a kadar birer saat aralıklarla yapılmıştır. Emissivite katsayısı 0.98 olarak alınmıştır. Portatif infrared termometre ile parsellerin köşegenleri doğrultusunda 3 yinelemeli olarak ölçüm yapılmış; ölçüm değerlerinin ortalaması alınarak o parsel için ortalama taç sıcaklığı bulunmuştur.

3.2.1.13. Bitki Su Stres İndeksi (CWSI)

Portatif infrared termometre ile yapılan bitki taç sıcaklığı ölçümlerinin başında ve sonunda psikrometre ile ıslak ve kuru termometre değerleri okunmuştur. Bitki su stres indeksi (CWSI) ölçülen taç sıcaklığı, ıslak ve kuru termometre değerlerinden hesaplanan havanın buhar basıncı açığından yararlanarak Idso ve ark. (1981)'in önerdiği ampirik yöntemle belirlenmiştir. Buna göre CWSI'nın hesaplanmasında aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır.

$$CWSI = \frac{[(Tc-Ta)-LL]}{(UL-LL)} \quad (3.32)$$

Eşitlikte;

Tc : Taç sıcaklığı, (^{o}C),

Ta : Hava sıcaklığı, (^{o}C),

LL : Bitkide su stresinin olmadığı alt sınır (bitkilerin potansiyel hızda transpirasyon yaptığı sınır değeri),

UL : Bitkilerin tamamen stres altında olduğu üst sınır (bitkinin transpirasyon yapmadığı varsayılan sınır değeri) ifade etmektedir.

Bitkilerin potansiyel evapotranspirasyon yaptığı diğer bir ifade ile hiç su stresinin olmadığı alt sınırın (LL) belirlenmesi için şu eşitlik kullanılmıştır (Idso,1982; O'toole ve Real, 1986).

$$Tc - Ta = a + b\,VPD \tag{3.33}$$

Eşitlikteki a ve b değerleri su stresi olmayan koşullarda ölçülen taç sıcaklığı ve hava sıcaklığı farkı (*Tc-Ta*) ile buhar basıncı açığı (*VPD*) arasında regresyon analizi sonucunda elde edilmektedir. Regresyon eşitliğinde, a doğrunun arakesit, b ise eğim katsayılarıdır.

Buhar basıncı açığının hesaplanmasında ise Howell ve ark. (1992)'nin önerdiği temel psikometre eşitliklerinden yararlanılmıştır. Buna göre;

$$VPD = e_a^*(T_a) - e_a \tag{3.34}$$

$$e_a^*(T_a) = 0.61078exp\left[\frac{17.27T_a}{237.3+T_a}\right] \tag{3.35}$$

$$e_a = e_w - (AP)(T_a - T_w) \tag{3.36}$$

$$e_w = 0.61078exp\left[\frac{17.27T_w}{237.3+T_w}\right] \tag{3.37}$$

$$A = [0.000660(1 + 0.00115T_w)] \tag{3.38}$$

Eşitliklerde;

e_a^* : Kuru termometre sıcaklığındaki doygun buhar basıncı, (kPa),

e_a : Hava sıcaklığında gerçek buhar basıncı, (kPa),

ew : Islak termometre sıcaklığındaki doygun buhar basıncı, (kPa),

T_a : Kuru termometre sıcaklığı, (^oC),

T_w : Islak termometre sıcaklığı, (^oC),

A : Psikometrik sabite, ($^oC^{-1}$),

P : Barometrik basınç, (kPa)'dır.

Idso ve ark. (1981), bitkilerin tamamen stres altında olduğu üst sınırın (UL) doygun buhar basıncına bağlı olmadığını belirtmişlerdir. UL'nin belirlenmesinde Idso ve ark. (1981)'ın önerdikleri UL'nin yalnızca Ta'ya bağlı olduğu yöntem kullanılmıştır.

$$Tc - Ta = a + bVPG \quad (3.39)$$

$$VPG = [e^*(T_a) - e^*(T_a + a)] \quad (3.40)$$

Eşitliklerde;

VPG : Sıfır taç-hava buhar basıncı eğimi için gerekli negatif atmosferik buhar basıncı eğimi,

e^* : İlgili sıcaklıkta doygun buhar basıncını göstermektedir.

3.2.1.14. Hasat

Hasat olgunluğuna gelen bitkiler 03.07.2012 tarihinde elle hasat edilmiştir. Hasatta 4 metre uzunluğunda olan her parselin ortasında yer alan 3 bitki sırasındaki tüm bitkiler toprak yüzeyinden kesilmiştir. Hasat edilen bitkilerde daneleme işlemi yapılmış ve parsel verimleri belirlenmiştir.

Hasatta her parselden 5 bitki örneği alınarak ayrıca kurumaya bırakılmıştır. Kurutulan bitki örnekleri danelenerek bin dane ağırlığı, bitki başına verim gibi verim bileşenleri belirlenmiştir.

3.2.1.15. Hasat İndeksi

Birim alandan elde edilen dane ağırlığının toprak üstü toplam kuru maddeye oranı olarak tanımlanan hasat indeksi (HI) Eşitlik 3.16 kullanılarak hesaplanmıştır (Beadle,1985).

$$HI = Y/DM \tag{3.41}$$

Eşitlikte;

HI : Hasat İndeksi,

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

DM : Birim alandan elde edilen toprak üstü kuru madde ağırlığı, (kg)'dır.

3.2.1.16. Su Tüketimi

Quinoa bitkisinin 90 cm'lik toprak derinliğinden tükettiği su (Evapotranspirasyon) miktarı Howell ve ark. (1986) tarafından önerilen su dengesi eşitliği ile saptanmıştır.

$$ET = I + P + D_P \pm R_{off} \pm \Delta s \tag{3.42}$$

Eşitlikte;

ET : Bitki su tüketimi, (mm),

I : Sulama suyu, (mm),

P : Yağış, (mm),

D_p : Derine süzülme, (mm),

R_{off} :Yüzey akış kayıpları, (mm),

Δs : Toprak profilindeki nem değişimi, (mm)'dir.

3.2.1.17. Su Kullanma Randımanları (WUE ve IWUE)

Araştırmada ele alınan sulama konularının değerlendirilmesinde su kullanma randımanlarından yararlanılmıştır. Deneme konularına uygulanan sulama suyu ve ET miktarının kullanım randımanlarını belirlemek amacıyla Eşitlik 3.43 ve Eşitlik 3.44 kullanılmıştır (Howell ve ark., 1994).

$$\boldsymbol{IWUE} = \frac{(\boldsymbol{Y}-\boldsymbol{Y_{KURU}})}{\boldsymbol{I}} \tag{3.43}$$

$$\boldsymbol{WUE} = \frac{\boldsymbol{Y}}{\boldsymbol{ET}} \tag{3.44}$$

Eşitliklerde;

IWUE : Sulama suyu kullanma randımanı, (kg/m³),
WUE : Toplam su kullanma randımanı, (kg/m³),
I : Uygulanan sulama suyu, (mm),
ET : Mevsimlik bitki su tüketimi, (mm),
Y : Deneme konularda elde edilen verim, (kg/da),
Y_{KURU} : Kuru konusundan elde edilen verim, (kg/da)'dır.

3.2.1.18. Bitki Üretim Fonksiyonu

Araştırmada oransal evapotranspirasyon açığı ile verim azalması arasındaki ilişkilerin ve verim etmeni (ky) değerlerinin belirlenmesinde Stewart modeli kullanılmıştır (Stegman ve ark., 1981). Anılan model matematiksel olarak aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$\left(\mathbf{1}-\frac{\boldsymbol{Ya}}{\boldsymbol{Ym}}\right) = \boldsymbol{ky}\left(\mathbf{1}-\frac{\boldsymbol{ETa}}{\boldsymbol{ETm}}\right) \tag{3.45}$$

Eşitlikte;

ETa ve *Ya* :Bitkinin yetiştirildiği koşullardaki mevsimlik gerçek bitki su tüketimi (mm) ve bu tüketime karşılık gelen gerçek verim (kg/da),

ETm ve *Ym* :Bitkinin büyüme mevsimi boyunca herhangi bir su eksikliğinin olmadığı koşullarda maksimum su tüketimi (mm) ve buna karşılık elde edilen maksimum verim (kg/da),

ky :Evapotranspirasyondaki bir birim azalmaya karşılık verimdeki azalmayı gösteren verim etmenidir.

3.2.2. SALTMED Modelinin Test Edilmesinde İzlenen Yöntem

SALTMED modelinin Akdeniz iklim koşullarında farklı sulama suyu kalitesi ve sulama stratejileri altında yetiştirilen quinoa bitkisi için verim kuru madde ve toprak su içeriğini tahmin etmede kullanım olanaklarının incelenmesi amacıyla 2012 yılında Akdeniz iklim koşullarını temsil eden iki farklı lokasyonda yürütülen tarla denemesi sonuçları kullanılmıştır. Bu tarla denemelerinden ilki yukarıda sözü edilen ve bu araştırmanın bir bölümünü oluşturan Adana'da Çukurova Üniversitesinde yürütülen tarla denemesidir. Model performans değerlendirmesi amacıyla kullanılan diğer tarla denemesi ise 2012 yılında Alata Bahçe Kültürleri Araştırma İstasyonu Müdürlüğünde SWUP-MED projesi çerçevesinde yürütülen tarla denemesidir.

SALTMED modeli Adana ve Tarsus koşulları için ayrı ayrı kalibre edildikten sonra model kullanılarak tahmin edilen dane ve kuru madde verimleri ile toprak su içerikleri tarla denemelerinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

3.2.2.1. Tarsus'ta Yürütülen Tarla Denemesi

SALTMED modelinin Tarsus koşullarında yetiştirilen quinoa bitkisi için dane ve kuru madde verimi ile toprak su içeriğini tahmin etme potansiyelinin değerlendirilmesi amacıyla 2012 yılında Alata Bahçe Kültürleri Araştırma İstasyonu

Müdürlüğü, Tarsus Toprak ve Su Kaynakları Lokasyonu'nda SWUP-MED Projesi çerçevesinde yürütülen tarla denemesinin verileri kullanılmıştır.

Denemenin yürütüldüğü lokasyon 37°01' N 35°01' E enlem ve boylamlarında yer almakta olup deniz seviyesinden yüksekliği 10 metredir. Tipik Akdeniz iklim özelliklerine sahip olan Tarsus'ta uzun yıllık istatistiklere göre yıllık ortalama toplam yağış 603 mm'dir.

Araştırmanın yürütüldüğü deneme alanı topraklarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri sırasıyla Çizelge 3.5 ve 3.6'da verilmiştir. Arıklı serisine giren deneme alanı toprakları su tutma kapasitesi yüksek siltli killi tınlı topraklardır. 90 cm toprak derinliğinde su tutma kapasitesi tarla kapasitesinde 333 mm, solma noktasında 183 mm'dir.

Çizelge 3.5. Tarsus Deneme Alanı Topraklarının Bazı Fiziksel Özellikleri

Katman Derinliği (cm)	Dane İrilik Dağılımı (%)			Bünye Sınıfı	Tarla Kapasitesi (cm^3/cm^3)	Solma Noktası (cm^3/cm^3)	Doyma Noktası (cm^3/cm^3)	Hacim Ağırlığı (g/cm^3)
	Kum	Silt	Kil					
0-30	17.81	29.29	52.90	C	0.34	0.17	0.69	1.17
30-60	14.23	22.06	63.71	C	0.38	0.21	0.77	1.31
60-90	14.23	22.44	63.33	C	0.39	0.23	0.77	1.29
90-120	12.06	22.36	65.58	C	0.38	0.21	0.78	1.28

Çizelge 3.6. Tarsus Deneme Alanı Topraklarının Bazı Kimyasal Özellikleri

Katman Derinliği (cm)	Tuz İçeriği (dS/m)	pH	$CaCO_3$ (%)	Org. Mad. (%)	N (%)	K_2O_5 (kg/ha)	P_2O_5 (kg/ ha)
0-30	0.15	8.35	21.56	1.73	0.086	134.32	54.3
30-60	0.30	8.32	23.17	-	-	-	-
60-90	0.34	8.35	23.17	-	-	-	-
90-120	0.34	8.30	23.49	-	-	-	-

Söz konusu çalışmada çizgi kaynaklı yağmurlama sulama sistemi ile uygulanan drenaj suyunun quinoa bitkisinin verim, verim bileşenleri ile su kullanım randımanı üzerine etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla 4 yinelemeli olarak kurulan tarla denemesinde quinoa bitkisinin drenaj suyu ile sulanmasında 4 farklı sulama düzeyi

ele alınmıştır. Buna göre deneme konuları, 60 cm toprak derinliğindeki eksik nemin tamamlanarak tarla kapasitesine getirildiği tam sulama (T1) konusu ve tam sulama konusunda uygulanan sulama suyunun sırasıyla %80, %50 ve %20'sinin bitki kök bölgesine verildiği kısıntılı sulama konularından (T2, T3 ve T4) oluşmuştur.

Çizgi kaynaklı yağmurlama sulama sisteminde çift püskürtmeli yağmurlama başlıkları deneme parsellerinin ortasından geçen tek bir lateral üzerine 6 m aralıkla yerleştirilmiştir. Sulama suyu drenaj kanalından bir pompa yardımıyla sisteme verilmiştir.

Araştırmada Titicaca quinoa çeşidi kullanılmıştır. Quinoa tohumları viyollerde, kontrollü ortamda çimlendirilmiş ve fideler 4-6 gerçek yaprağa ulaştığında, sıra arası 50 cm, sıra üzeri 20 cm olacak şekilde 11 Nisan 2012 tarihinde deneme parsellerine dikilmiştir. Dikim esnasında deneme parsellerine 70 kg/ha saf madde esasına göre 20-20-0 kompoze gübre uygulanmıştır. İkinci gübre uygulamasında üre (%46 N) kullanılmış ve gübreleme 50 kg/ha saf madde esasına göre 15 Mayıs 2012 tarihinde yapılmıştır.

Çizelge 3.7. Deneme Konularında Sulama Tarihleri ve Uygulanan Sulama Suyu Miktarları.

Sulama suyu, (mm)				
Tarih	T1	T2	T3	T4
11.04.2012	0	0	0	0
18.04.2012	28	22	15	7
25.04.2012	25	19	13	6
02.05.2012	23	17	12	5
09.05.2012	24	18	13	6
16.05.2012	25	19	13	3
23.05.2012	26	20	14	7
30.05.2012	35	27	19	8
06.06.2012	41	31	22	11
13.06.2012	38	28	20	9
20.06.2012	45	34	23	12
27.06.2012	0	0	0	0
10.07.2012	0	0	0	0
TOPLAM	310	235	164	74

Çalışmada kullanılan sulama suyu deneme alanından geçen drenaj kanalından sağlanmıştır. Sulama suyu uygunluk yönünden USSL (1954) sınıflandırma sistemine göre C2S1 sınıfında yer almaktadır. Büyüme mevsimi boyunca sulama suyu olarak kullanılan drenaj suyunun ortalama pH değeri 7.1 olup elektriksel iletkenliği (ECw) ise 0.57 ile 1.69 dS/m arasında değişmektedir. Quinoa bitkisine uygulanan toplam sulama suyu miktarları tam sulama yapılan T1 konusunda 310 mm, kısıntılı sulama konuları olan T2, T3 ve T4 konularında ise sırasıyla 235, 164 ve 74 mm olmuştur (Çizelge 3.7).

Büyüme mevsimi boyunca deneme konularına göre toprak su içeriğindeki değişimler, bitki boyu, yaprak alan indeksi ve kuru madde miktarı izlenmiştir. Hasat olgunluğuna gelen quinoa bitkisi 10 Temmuz 2012 tarihinde elle hasat edilmiştir. Hasattan sonra deneme konularında dane verimi, toplam kuru madde verimi, ET, su kullanma randımanı (WUE), sulama suyu kullanma randımanı (IWUE) belirlenmiştir (Çizelge 3.8).

Çizelge 3.8. Deneme Konularında Uygulanan Toplam Sulama Suyu Miktarları, ET, Dane Verimi ve Su Kullanım Randımanları.

Konu	Sulama Suyu (mm)	ET (mm)	Dane Verimi (kg/ha)	WUE (kg/m^3)	IWUE (kg/m^3)
T1	310	456	6380	1.40	2.06
T2	235	397	5770	1.45	2.45
T3	164	348	4550	1.31	2.77
T4	74	262	4110	1.57	5.55

3.2.2.2. SALTMED Modeli İçin Gerekli Verilerin Sağlanması

SALTMED modelini çalıştırabilmek için Adana ve Tarsus'ta yürütülen tarla denemelerinden elde edilen verilerin yanı sıra literatüre dayalı bazı veriler de kullanılmıştır.

Her büyüme dönemi için bitki katsayıları (Kc), bazal bitki katsayısı, (Kcb) literatüre (Allen ve ark., 1998; Garcia ve ark., 2003) dayalı verilerdir. Yörede optimum koşullarda elde edilen bitki boyu, yaprak alan indeksi, maksimum ve

minimum kök derinliği, en yüksek verim ve bitki büyüme dönemlerinin uzunluğu gibi bitkiye ilişkin veriler tarla denemelerinden elde edilmiştir.

Her bir toprak horizon derinliği, doygun hidrolik iletkenlik, doyma noktasındaki toprak su içeriği, başlangıç toprak suyu ve tuzluluk profilleri deneme alanında ve laboratuarda yapılan ölçümlerle elde edilmiş ve modelde kullanılmıştır.

Her iki tarla denemesi için deneme konularında uygulanan sulama suyu miktarları, sulama süresi ve sulama suyu tuzluluk değerleri tablolaştırılarak modelde veri olarak kullanılmıştır. Bitki büyüme mevsimi boyunca uygulanan gübreleme programı da tablolaştırılarak modelde kullanılan verilerdir.

Bitki büyüme sezonu boyunca Adana ve Tarsus için günlük maksimum ve minimum sıcaklık değerleri, oransal nem, net radyasyon, rüzgar hızı ve günlük yağış gibi meteorolojik veriler ise deneme alanındaki meteoroloji istasyonundan ve Meteoroloji Bölge Müdürlüğü'nden alınarak kullanılmıştır.

3.2.2.3. SALTMED Modelinin Kalibrasyonu

SALTMED modeli 2012 yılında Adana'da ve Tarsus'ta gerçekleştirilen tarla denemeleri için ayrı ayrı kalibre edilmiştir.

Modelin kalibrasyonu Adana'da yürütülen damla sulama denemesi için kanal suyu ile tam sulama (FI-100) konusu, Tarsus'ta yürütülen çizgi kaynaklı yağmurlama sulama denemesi için tam sulama (T1) konusu referans alınarak yapılmıştır. Buna göre modelin çalıştırılması için gerekli olan veriler modelin veritabanına kaydedilmiş daha sonra literatürden alınan Kc, Kcb gibi bitki katsayıları ile difüzyon katsayısı ve modeldeki sabitlerde ince ayarlamalar yapılmıştır. Böylece modelin tahmin ettiği toprak su içeriği, toplam kuru madde verimi ve dane verimi değerleri FI-100 ve T1 konuları için tarla koşullarında ölçülen değerlere yaklaştırılmaya çalışılmıştır.

Kalibrasyon yapılırken öncelikle farklı tarihlerde kestirilen hacimsel toprak su içeriklerinin arazide ölçülen toprak su içerikleri ile uyumlu hale getirilmesi için çalışılmıştır. Ölçülen toprak su içeriği değerlerine en yakın model değerleri yakalandığında ise kuru madde verimi ve dane veriminin ölçülen değerlerle uyumlulaştırılması için modelde ince ayarlar yapılmıştır.

3.2.2.4. SALTMED Modelinin Değerlendirilmesi

SALTMED modelinin her bir tarla denemesi için kalibrasyonu tamamlandıktan sonra model tüm deneme konuları için çalıştırılmış ve modelin toprak su içeriği, toplam kuru madde ve dane verimini tahmin etme performansı Adana ve Tarsus koşulları için ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Bu amaçla modelin her bir konu için yaptığı simulasyonlar tarla denemesinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Modelin performans değerlendirmesinde istatistiksel ve grafiksel olmak üzere iki farklı yaklaşım kullanılmıştır. Grafiksel yaklaşımda ölçülen ve model kullanılarak tahmin edilen veriler zamana karşı grafiklenmiş ve görsel olarak karşılaştırması yapılmıştır. İstatistiksel yaklaşımda ise ortalama hata (MBE) (Fox,1981), ortalama mutlak hata (MAE) (Fox,1981), oransal hata (RE) (Loague and Green, 1991), kök hata kareler ortalaması (RMSE) (Loague and Green, 1991) ve standart (düzeltilmiş) kök hata kareler ortalaması (NRMSE) (Dust ve ark., 2000) kullanılmıştır. Bu istatistiksel değerlendirme araçlarının matematiksel ifadesi şu şekildedir:

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Si-Oi)}{n} \tag{3.46}$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n}|Si-Oi|}{n} \tag{3.47}$$

$$RE = \frac{(O-S)}{O} x\ 100 \tag{3.48}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i-S_i)^2}{n}} \tag{3.49}$$

$$NRMSE = \frac{RMSE}{\bar{O}} \tag{3.50}$$

Eşitliklerde; O tarla denemesinde ölçülen verileri, S model kullanılarak tahmin edilen verileri, $\bar{O}$ ölçülen değerlerin ortalamasını, n ise örnekleme sayısını ifade etmektedir.

Hata temeline dayanan bu istatistiksel indeksler model çıktılarının ölçülen değerlerden ne kadar uzaklaştığını ifade etmektedirler. SALTMED modelinin değerlendirilmesi amacıyla izlenen bu yöntemde, ortalama hata (MBE), ortalama mutlak hata (MAE), oransal hata (RE), kök hata kareler ortalaması (RMSE) ve standart (düzeltilmiş) kök hata kareler ortalamasının (NRMSE) ideal değerleri sıfırdır. Bu nedenle bu istatistiksel göstergeler sıfıra ne kadar yakın ise ölçülen ve model kullanılarak kestirilen değerlerin birbiri ile o derece uyumlu olduğu kabul edilmektedir.

Model değerlendirmelerinde fark esasına dayanan istatistiksel değerlendirmelerin yanı sıra modelin etkinliğini ölçen istatistiksel yaklaşımlar da geliştirilmiştir. SALTMED modelinin değerlendirilmesinde etkinlik esasına dayanan bu yaklaşımlardan Nash-Sutcliffe etkinlik katsayısı (E_{NS}) (Nash ve Sutcliffe, 1970) ve Willmott (1981) tarafından önerilen uyum indeksi (d) kullanılmıştır. Ayrıca kestirilen ve ölçülen değerler arasındaki ilişkiyi belirlemek için regresyon analizi yapılarak determinasyon katsayıları (R^2) belirlenmiştir. Bu istatistiksel parametrelerin matematiksel ifadesi şu şekildedir:

$$E_{NS} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{O})^2} \tag{3.51}$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(|O_i - \bar{O}| + |S_i - \bar{O}|)^2} \tag{3.52}$$

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{O})(S_i - \bar{S})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{O})^2}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(S_i - \bar{S})^2}} \right)^2 \tag{3.53}$$

Eşitliklerde; O ve S sırasıyla ölçülen ve tahmin edilen değer, n örnekleme sayısı, $\bar{O}$ ölçülen değerlerin ortalamasıdır.

Model performans değerlendirmelerinde yaygın olarak kullanılan Nash-Sutcliffe etkinlik katsayısı (E_{NS}) değerleri -∞ ile 1 arasında değişmektedir. E_{NS}'nin ideal değeri 1'dir. Bu istatistiksel parametrenin sıfırdan küçük olması model performansının yetersiz olduğunu gösterirken, sıfır ile 1 arasındaki E_{NS} değerleri model performansının kabul edilebilir düzeyde olduğunu ifade etmektedir (Nash ve Sutcliffe, 1970).

Willmott (1981) tarafından önerilen uyum indeksi (d), hata kareler ortalamasının potansiyel hataya oranını temsil etmektedir (Willmott, 1984). Eşitlik 3.52'nin paydasında yer alan potansiyel hata karşılaştırılan her bir değer için ulaşılabilecek en yüksek hata karesini temsil etmektedir. d değeri 0 ile 1 arasında değişmektedir. Uyum indeksinin 0 olması model ile ölçülen değerler arasında bir ilişki (korelasyon) olmadığını ifade ederken 1 olması model ile ölçülen değerler arasında mükemmel bir uyum olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde 0 ile 1 arasında bir değer alabilen determinasyon katsayısının (R^2) 0 olması model ile ölçülen değerler arasında bir ilişki olmadığını ifade ederken 1 olması çok iyi bir ilişki olduğuna işaret etmektedir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Arazi Bulguları

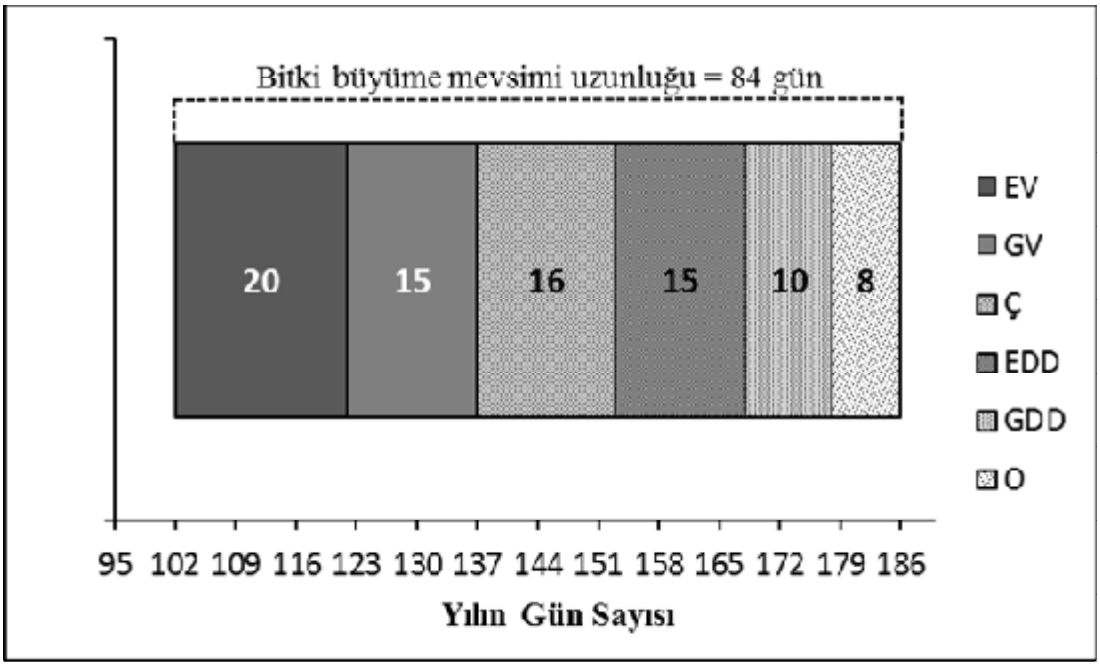
4.1.1. Quinoa Bitkisinin Gelişme Dönemleri

Araştırmada Akdeniz iklim koşullarına iyi adapte olmuş, Danimarka menşeli Titicaca quinoa çeşidi kullanılmıştır. Quinoa tohumları viyollerde ve kontrollü ortamda çimlendirilmiştir. Quinoa tohumlarından fide üretimi yaklaşık üç hafta (23 gün) sürmüştür. Fideler 4-6 gerçek yaprağa ulaştığında 11 Nisan 2012 tarihinde deneme parsellerine şaşırtılmıştır.

Quinoa bitkisinin fenolojik gelişim dönemleri Jacobsen ve Stolen, (1993) tarafından ortaya konan belirteçler kullanılarak izlenmiştir. Buna göre bitki gelişim dönemleri erken vejetatif gelişme (EV), geç vejetatif gelişme (GV), çiçeklenme (Ç), erken dane dolumu (ED), geç dane dolumu (GD) ve olgunlaşma (O) dönemleri şeklinde ayrılmıştır. Erken vejetatif gelişme döneminde quinoa bitkisinde hızlı bir şekilde yaprak gelişimi ve dallanma oluşurken geç vejetatif gelişme döneminde paniküller yavaş yavaş oluşmaya başlamıştır. Çiçeklenme döneminde panikül üzerinde oldukça küçük yapıda sarı renkli çiçekler gözlenmiştir. Çiçeklenme döneminden sonra erken dane dolum döneminde quinoa daneleri kolaylıkla ezilebilen bir yapıya sahipken geç dane dolum döneminde tohum kapsülü içerisindeki tohumlar artık sertleşmeye başlamış ve bu dönemde panikül rengi sarı-turuncu bir renge dönüşmüştür. Bitki olgunlaştıkça panikül rengi koyulaşmış ve bitkinin yaprakları olgunlaşarak sararıp dökülmeye başlamıştır.

Fidelerin deneme parsellerine şaşırtılmasından itibaren belirlenen bitki gelişim dönemleri ve gelişim dönemi uzunlukları Şekil 4.1'de verilmiştir. Araştırmada 1 Mayıs 2012 tarihinden itibaren quinoa bitkisinde panikül oluşumu başlamıştır. Çiçeklenme ve dane dolum dönemlerinin başlangıç tarihleri ise sırasıyla 15 Mayıs ve 1 Haziran 2012 olarak gözlenmiştir. 15 Haziran 2012 tarihinden itibaren bitkilerde renk değişimi ortaya çıkmaya başlamıştır. Aynı zamanda bu tarihten itibaren deneme parsellerindeki quinoa daneleri sütsü yapıdan sert bir yapıya

dönüşmeye başlamıştır. Fizyolojik olgunluğa ulaşan bitkiler 3 Temmuz 2012 tarihinde hasat edilmiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Jacobsen ve Stolen, (1993)'e Göre Belirlenen Quinoa Bitkisinin Erken Vejetatif (EV), Geç Vejetatif (GV), Çiçeklenme (Ç), Erken Dane Dolum (EDD), Geç Dane Dolum (GDD) ve Olgunlaşma (O) Dönemleri ile Bitki Büyüme Mevsimi Uzunluğu

Adana koşullarında yetiştirilen quinoa bitkisinde fide dikim tarihinden itibaren erken vejetatif gelişme dönemi uzunluğu 20 gün, geç vejetatif gelişme dönemi 15 gün, çiçeklenme dönemi uzunluğu ise 16 gün olmuştur. Erken dane dolum dönemi 15 gün sürerken geç dane dolum dönemi 10 gün ve olgunlaşma dönemi uzunluğu 8 gün olarak belirlenmiştir. Araştırmada fideden üretim yapıldığı için 84 gün olan toplam bitki büyüme mevsimi uzunluğu tohumdan üretime göre nispeten daha kısa olmuştur (Şekil 4.1).

Pulvento ve ark. (2012), İtalya'da yaptıkları çalışmada aynı quinoa çeşidi için büyüme mevsimi uzunluğunun 2009 yılında 96 gün, 2010 yılında ise 99 gün olduğunu bildirmişlerdir. Çalışmada erken vejetatif gelişme dönemi ise 2009 yılında 48 gün, 2010 yılında ise 51 gün olarak belirlenmiştir.

Araştırmada farklı gelişme dönemlerindeki quinoa bitkisine ait görüntüler Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.2. Farklı Bitki Gelişim Dönemlerinde Quinoa Bitkisi

4.1.2. Sulamaya İlişkin Bulgular

Fide dikimi sırasında parsellerde yeknesak bitki gelişimi sağlamak amacıyla tüm deneme konularına eşit miktarda can suyu verilmiştir. 2012 yılı üretim sezonu oldukça yağışlı geçtiğinden büyüme mevsimi boyunca iki defa sulama yapılabilmiştir. Nisan, Mayıs ve Haziran aylarında deneme alanına toplam 107 mm

yağış düşmüştür. Deneme parsellerinde konulara göre sulamalara 1 Haziran 2012 tarihinde başlanmıştır. 8 Haziran 2012 tarihinde ikinci konulu sulama yapılarak sulamalar sonlandırılmıştır. Araştırma konularında uygulanan sulama suyu miktarları Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Deneme Konularında Quinoa Bitkisine Uygulanan Sulama Suyu Miktarları (mm) ve Sulama Tarihleri

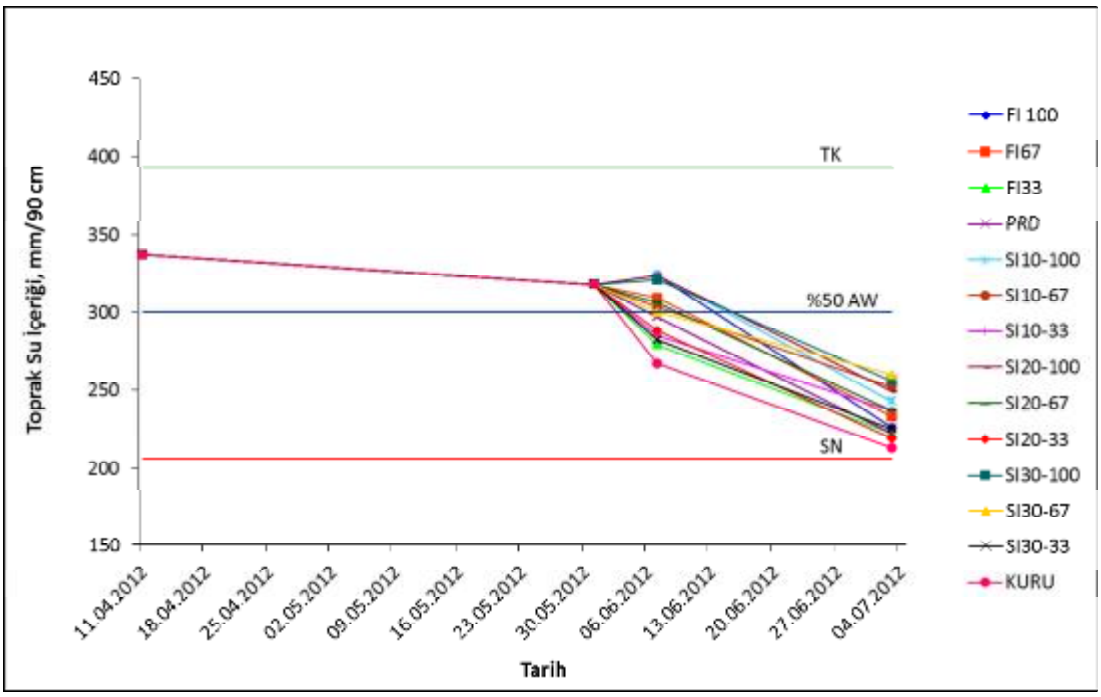
I: SULAMA SUYU MİKTARI, mm				
Deneme Konuları	11.04.2012	01.06.2012	08.06.2012	TOPLAM
FI-100	20	60	60	140
FI-67	20	40	40	100
FI-33	20	20	20	60
PRD	20	30	30	80
SI10-100	20	60	60	140
SI10-67	20	40	40	100
SI10-33	20	20	20	60
SI20-100	20	60	60	140
SI20-67	20	40	40	100
SI20-33	20	20	20	60
SI30-100	20	60	60	140
SI30-67	20	40	40	100
SI30-33	20	20	20	60
KURU	20	0	0	20

Tam sulama konuları olan FI-100, SI10-100, SI20-100 ve SI30-100 konularında büyüme mevsimi boyunca toplam 140 mm sulama suyu uygulanmıştır. Topraktaki eksik nemin tarla kapasitesine yükseltilmesi için gerekli olan suyun %67'sinin uygulandığı kısıntılı sulama konularında (FI-67, SI10-67, SI20-67 ve SI30-67) toplam sulama suyu miktarı 100 mm olmuştur. Araştırmada bir diğer geleneksel kısıntılı sulama stratejisi olarak ele alınan ve tam sulama konularında uygulanan suyun %33'ünün bitki kök bölgesine verildiği kısıntılı sulama konuları olan FI-33, SI10-33, SI20-33 ve SI30-33 konularında uygulanan sulama suyu miktarı

60 mm olmuştur. PRD konusunda büyüme mevsimi boyunca toplam 80 mm su bitki kök bölgesine verilirken KURU konusunda can suyu dışında sulama yapılmamıştır.

4.1.3. Toprak Profilinde Su İçeriği Gözlemleri

Araştırma konularında 90 cm toprak derinliğinde sulama öncesi toprak su içeriğinin zamana göre değişimi Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.3. Damla Sistemiyle Uygulanan Farklı Sulama Stratejilerine Göre Araştırma Konularında Sulama Öncesi Toprak Su İçeriğinin (mm/90 cm) Zamansal Değişimi

Büyüme mevsimi boyunca 90 cm toprak profilinde toprak su içeriğinin tarla kapasitesi ile solma noktası arasında olduğu gözlemlenmiştir. Fide dikim tarihinden konulu sulamaların başladığı 1 Haziran 2012 tarihine kadar tüm deneme konularında toprak su içeriği aynı düzeyde seyretmiştir. Konulu sulamalarla birlikte deneme konularına uygulanan sulama suyu miktarlarındaki farklılıklara bağlı olarak toprak su içerikleri de değişiklik göstermeye başlamıştır.

Tam sulama konularında (FI-100, SI10-100, SI20-100 ve SI30-100) ilk ve ikinci sulama tarihlerinden hemen önce toprak su içeriğinin toprakta elverişli suyun

%50'sinin (%50 AW) bir miktar üzerinde olduğu belirlenmiştir. Söz konusu araştırma konularında 8 Haziran 2012 tarihinde yapılan sulama ile tarla kapasitesine yükseltilen toprak su içeriği bu tarihten itibaren azalmaya başlamış ve hasat tarihinde toprakta kullanılabilir suyun %50'sinin altına düşmüştür. Bununla birlikte büyüme mevsimi boyunca tüm tuzluluk düzeylerindeki tam sulama konularında toprak su içeriğinin diğer konulara göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

Bitki kök bölgesindeki eksik nemin %67'sinin karşılandığı FI-67, SI10-67, SI20-67 ve SI30-67 konularında ilk sulamadan önce yapılan ölçümlerde toprak su içeriği elverişli suyun %50'sinin üzerinde iken ikinci sulamadan hemen önce topraktaki su kullanılabilir suyun %50'si seviyesine yaklaşmıştır. Hasat tarihinde bu deneme konularındaki toprak su içeriğinin tam sulama konularına göre daha düşük olduğu fakat yine de solma noktasının bir miktar üzerinde olduğu belirlenmiştir.

Bitki kök bölgesindeki eksik nemin %33'ünün karşılandığı FI-33, SI10-33, SI20-33 ve SI30-33 konularında ilk konulu sulamadan itibaren toprak su içeriğinin kullanılabilir suyun %50'sinin altında seyrettiği belirlenmiştir. Tam sulamaya göre %50 su tasarrufu sağlayan PRD konusunda büyüme mevsimi boyunca toprak su içeriği %33 kısıntı uygulanan deneme konularından bir miktar yüksek olsa da hasat tarihinde ölçülen toprak su içeriği %33 kısıntılı sulama konuları ile hemen hemen aynı olmuştur. Hasatta özellikle %33 kısıntılı sulama konuları, KURU ve PRD konusunda toprak su içeriği solma noktasına yaklaşmıştır (Şekil 4.3).

4.1.4. Bitki Su Tüketimi

Deneme konularında büyüme mevsimi boyunca uygulanan toplam sulama suyu miktarları (I), yağış (P), toprak profilindeki nem değişimi (ΔS) ve su dengesi eşitliği ile hesaplanan mevsimlik bitki su tüketimleri (ET) Çizelge 4.2'de verilmiştir. Araştırma konuları arasında en yüksek mevsimlik bitki su tüketimi stressiz koşulları temsil eden FI-100 konusunda 360 mm olarak hesaplanmıştır. Tuzluluk düzeyi ECw 10, 20 ve 30 dS/m olan sularla tam sulama yapılan SI10-100, SI20-100 ve SI30-100 konularında ise toplam bitki su tüketimleri sırasıyla 343, 337 ve 330 mm olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bu sonuç uygulanan sulama suyu miktarı aynı olsa dahi

sulama suyu tuzluluğundaki artışın quinoa bitkisinin su tüketiminde bir miktar düşüşe neden olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.2. Damla Sistemiyle Uygulanan Farklı Sulama Stratejilerine Göre Quinoa Bitkisinin Su Dengesi Eşitliği ile Hesaplanan Mevsimlik Su Tüketimleri

Konular	I (mm)	P (mm)	DS (mm)	ET (mm)
FI-100	140	107	113	360
FI-67	100	107	106	313
FI-33	60	107	117	284
PRD	80	107	117	304
SI10-100	140	107	96	343
SI10-67	100	107	87	294
SI10-33	60	107	102	269
SI20-100	140	107	90	337
SI20-67	100	107	102	309
SI20-33	60	107	120	287
SI30-100	140	107	83	330
SI30-67	100	107	79	286
SI30-33	60	107	114	281
KURU	20	107	126	253

Kısıntılı sulama konuları ile tam sulama konuları arasında karşılaştırma yapıldığında ise her bir tuzluluk düzeyinde uygulanan sulama suyu miktarındaki azalmaya paralel olarak bitki su tüketimlerinin de düştüğü görülmektedir. Sulama suyu tuzluluğu faktörünün dışarıda bırakıldığı ve sadece sulama suyu kısıntısı etkilerini yansıtan FI-67 ve FI-33 konularında FI-100 konusuna göre mevsimlik bitki su tüketimlerinde sırasıyla %13 ve %21 oranında düşüşler ortaya çıkmıştır. Kanal suyu ile kısmi kök kuruluğu (PRD) konusunda bitki su tüketimindeki düşüş ortalama %16 oranında olmuştur. Sulama suyu tuzluluğu ECw 10 dS/m düzeyindeki konular kendi içinde değerlendirildiğinde benzer şekilde sulama suyundaki kısıntıya paralel olarak quinoa bitkisinin su tüketimlerinde bu tuz düzeyindeki tam sulama konusuna (SI10-100) göre düşüşlerin ortaya çıktığı görülmektedir. SI10-67 konusunda bitki SI10-100 konusuna göre %14 oranında daha az su tüketirken daha sert su kısıntısı uygulanan SI10-33 konusunda bitki su tüketiminde %22 oranında bir düşüş belirlenmiştir. ECw 20 dS/m tuzluluk düzeyinde kısıntılı sulama konularında SI20-

100 konusuna göre ortaya çıkan ET azalışları SI20-67 konusunda %8, SI20-33 konusunda %15 oranında olmuştur. SI30-67 ve SI30-33 konularında ise ET, SI30-100 konusuna göre sırasıyla %13 ve %15 oranında azalmıştır. Elde edilen bu bulgular sulama suyunda uygulanan kısıntıların bitki su tüketimini etkileyen bir başka unsur olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Kök bölgesinde elverişli suyun azalması quinoa bitkisinin atmosferik istemi karşılamada yetersiz kalmasına ve buna bağlı olarak mevsimsel ET'nin tam sulama koşullarına göre daha düşük olmasına neden olmaktadır.

Öte yandan %67 ya da %33 kısıntılı sulama konuları kendi içinde değerlendirildiğinde her bir kısıntı düzeyinde genel olarak sulama suyu tuzluluğu arttıkça bitki su tüketiminin azaldığı söylenebilir.

Bitki kök bölgesinde hem tuz hem de su stresinin bir arada ortaya çıkması ise bitki su tüketimi üzerinde çift yönlü bir etki yaratmaktadır. Bitki kök bölgesinde su ve tuz stresinin olmadığı FI-100 konusu ile karşılaştırıldığında; SI10-33, SI20-33 ve SI30-33 konularındaki bitki su tüketimlerinde %20'nin üzerinde düşüşler ortaya çıktığı görülmektedir. Bu durumun bitki kök bölgesinde zaten az olan elverişli suyun sulama suyu tuzluluğuna bağlı olarak ortaya çıkan ozmotik etki nedeniyle köklerden alımının daha da zorlaşmasından kaynaklandığı söylenebilir.

Araştırma konuları arasında en düşük bitki su tüketimi ise hiç sulama yapılmayan KURU konusunda 253 mm olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.2). Bu durumun ise doğrudan doğruya bitki kök bölgesindeki su eksikliğinden kaynaklandığı söylenebilir.

Araştırma konularında hesaplanan bitki su tüketimi değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları Çizelge 4.3 verilmiştir. Varyans analizi sonuçlarına göre farklı sulama suyu tuzluluğu ve sulama stratejilerinin bitki su tüketimine etkilerinin istatistiksel olarak 0.01 önem düzeyinde farklı olduğu görülmüştür. Toplam 14 araştırma konusu için yapılan Duncan gruplandırmasında sulama suyu tuzluluk düzeyleri ve su uygulama stratejilerine göre ortaya çıkan gruplar Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Quinoa Bitkisinin Mevsimlik Bitki Su Tüketimi Değerlerine İlişkin Varyans Analizi

	S.D.	K.T.	K.O.	F	Olasılık
Yineleme	2	267.429	133.714	0.5242	0.0000
Sulama	13	35980.286	2767.714	10.8496	
Hata	26	6632.571	255.099		
Toplam	41	42880.286			

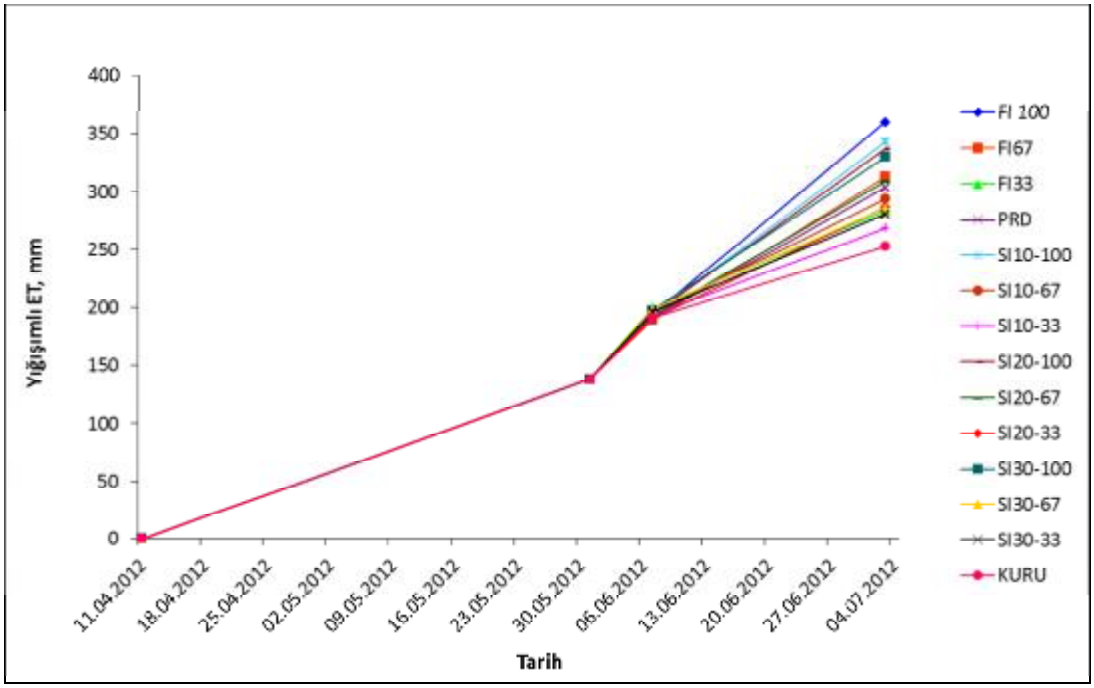
Değişim Katsayısı (CV) = % 5.26

Çizelge 4.4. Quinoa Bitkisinin Su Tüketimlerine İlişkin Duncan Gruplaması

Konular	Ortalama ET, (mm)
FI-100	360 **a**
SI10-100	343 **ab**
SI20-100	337 **abc**
SI30-100	330 **abcd**
FI-67	313 **bcde**
SI20-67	309 **bcde**
PRD	304 **cdef**
SI10-67	294 **def**
SI20-33	287 **efg**
SI30-67	286 **efg**
FI-33	284 **efg**
SI30-33	281 **efg**
SI10-33	269 **fg**
KURU	253 **g**
LSD (0.01)	**36.24**

Araştırma konularında quinoa bitkisinin yığışımlı su tüketim değerlerinin zamana göre değişimi Şekil 4.4'te gösterilmiştir. Konulu sulamaların başladığı tarih olan 1 Haziran 2012 tarihinden itibaren yığışımlı ET değerlerinde farklılaşmalar ortaya çıkmıştır. Genel olarak tam sulama konularındaki yığışımlı ET değerleri aynı tuz düzeyindeki kısıntılı sulama konularından yüksek seyretmiştir. Şekil 4.4'te görüleceği gibi stressiz koşulları temsil eden FI-100 konusunda bu tarihten büyüme mevsimi sonuna kadar bitki su tüketim hızı diğer konulara göre daha yüksek olmuştur. ECw 10, 20 ve 30 dS/m tuzluluk düzeyindeki sularla tam sulama yapıldığında quinoa bitkisi, FI-100 konusuna göre düşük fakat diğer tüm kısıntılı sulama konularına göre daha yüksek su kullanım eğilimi göstermiştir. Tam sulama

konuları kendi içinde değerlendirildiğinde sulama suyu tuzluluğu arttıkça bitki su tüketiminin azaldığı görülmüştür. Bu durumun sulama suyu tuzluluğundaki artışa paralel olarak yarattığı ozmotik etkinin de daha büyük olmasından yani topraktaki suyun elverişliliğini daha hızlı bir şekilde düşürmesinden kaynaklandığı söylenebilir.



Şekil 4.4. Damla Sistemiyle Uygulanan Farklı Sulama Stratejilerine Göre Quinoa Bitkisinin Yığışımlı Su Tüketiminin Zamansal Değişimi

Razzaghi ve ark. (2011b), Danimarka'da Titicaca quinoa çeşidi ile yaptıkları araştırmada bitki su tüketiminin toprak bünyesine bağlı olarak farklılık gösterdiğini ve tam sulama koşullarında quinoa bitkisinin mevsimlik bitki su tüketiminin kumlu toprakta 194 mm, tınlı kumlu toprakta 258 mm, kumlu tınlı toprakta ise 289 mm olduğunu belirtmişlerdir.

4.1.5. Dane Verimi

Araştırma konularından elde edilen quinoa dane verimleri Çizelge 4.5'te verilmiştir. Farklı tuzluluk derecelerindeki sulama suları ve farklı kısıntılı sulama stratejileri kullanılarak damla sulama yöntemiyle sulanan quinoa bitkisinden elde edilen dane verimleri 128 kg/da ile 196 kg/da arasında değişmiştir. En yüksek dane

verimi FI-100 konusunda 196 kg/da olarak elde edilirken bunu sırasıyla 10, 20 ve 30 dS/m tuzluluk düzeyinde tam sulama konuları olan SI10-100, SI20-100 ve SI30-100 konuları izlemiştir. Kanal suyu ile geleneksel kısıntılı sulama konuları olan FI-67 ve FI-33 konularında stressiz koşullara göre sırasıyla %14 ve %16 oranında verim azalışları ortaya çıkmıştır. Tam sulamaya göre %50 daha az su uygulanan PRD konusunda ise bitki kök bölgesindeki su eksikliği FI-100 konusuna göre yaklaşık %15 oranında bir verim düşüşüne neden olmuştur (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5. Damla Sistemiyle Uygulanan Farklı Sulama Stratejilerine Göre Quinoa Bitkisinin Dane Verimi

Konular	Dane Verimi (kg/da)			
	I	II	III	Ortalama
FI-100	198	187	203	196
FI-67	175	173	154	168
FI-33	150	180	162	164
PRD	160	153	187	167
SI10-100	187	192	195	192
SI10-67	173	169	165	169
SI10-33	148	143	148	146
SI20-100	197	191	173	187
SI20-67	154	163	174	164
SI20-33	109	171	148	143
SI30-100	159	212	201	191
SI30-67	171	197	155	174
SI30-33	142	133	109	128
KURU	159	142	151	151

Sulama suyu tuzluluğunun 10, 20 ve 30 dS/m olduğu deneme konuları incelendiğinde her bir tuzluluk düzeyindeki tam sulama uygulamaları aynı tuz düzeyindeki %67 ve %33 kısıntılı sulama konularına göre daha yüksek dane verimleri ile sonuçlanmıştır (Çizelge 4.5).

Hiç sulama yapılmaksızın sadece yağışla beslenen KURU konusunda elde edilen dane verimi 151 kg/da olmuştur. Buna karşılık ECw 10, 20 ve 30 dS/m tuz düzeylerinde %33 kısıntılı sulama konularından elde edilen dane verimleri KURU konusunda elde edilen dane veriminin altında kalmıştır (Çizelge 4.5). Araştırmada

elde edilen bu bulgular bitki kök bölgesinde kuraklık ve tuz stresinin bir arada ortaya çıkmasının dane verimini tek başına kuraklık stresi ya da tuz stresine göre daha fazla etkilediğine işaret etmektedir.

Deneme konularından elde edilen dane verimleri varyans analizi sonuçlarına göre 0.01 önem düzeyinde farklı bulunmuştur (Çizelge 4.6). Dane verimine ilişkin Duncan Gruplandırması Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.6. Quinoa Bitkisinin Dane Verimine İlişkin Varyans Analizi

	S.D.	K.T.	K.O.	F	Olasılık
Yineleme	2	572.122	286.061	1.0945	0.0004
Sulama	13	15789.506	1214.577	4.6471	
Hata	26	6795.478	261.365		
Toplam	41	23157.106			

CV = % 9.68

Çizelge 4.7. Quinoa Bitkisinin Dane Verimine İlişkin Duncan Gruplaması

Konular	Ortalama Verim
FI-100	195.9**a**
SI10-100	191.6**a**
SI30-100	190.8**a**
SI20-100	186.9**ab**
SI30-67	174.3**abc**
SI10-67	168.7**abc**
FI-67	167.5**abc**
PRD	166.5**abc**
FI-33	164.3**abcd**
SI20-67	163.**7abcd**
KURU	150.7**bcd**
SI10 33	146.1**cd**
SI20-33	142.9**cd**
SI30-33	128.3**d**
LSD (0.01)	**36.68**

Duncan gruplandırmasına göre FI-100, SI10-100 ve SI30-100 konuları aynı grupta yer alırken SI20-100 konusu bu üç konunun arkasından gelmektedir. Buna göre bitki kök bölgesindeki eksik suyun tamamının karşılandığı koşullarda quinoa

bitkisinin kanal suyu veya ECw 10, 20 ve 30 dS/m olan tuzlu sularla sulanması quinoa bitkisinde önemli bir dane verimi kaybı yaratmamaktadır. Hem tuzlu hem de tuzsuz koşullarda dane verimi sağlayan bir fakültatif halofit olarak tanımlanan quinoa bitkisinin kök bölgesindeki yüksek tuzluluk koşullarında dahi verim stabilizesini koruduğu söylenebilir (Bosque Sanchez ve ark. 2003).

Yapılan istatistiksel analiz ve Duncan gruplandırmasına göre orta dereceli sulama suyu kısıntısı uygulanan SI30-67, SI10-67, FI-67 ve PRD konuları aynı grupta yer almaktadır. Buna göre sulama suyunda %50 su tasarrufu sağlayan PRD uygulaması ile FI-67 konusundan elde edilen dane verimleri arasında önemli bir fark olmadığı söylenebilir. Ayrıca orta düzeyde sulama suyu kısıntısı uygulanması durumunda, kanal suyuyla sulama ve ECw 30 dS/m tuzluluk düzeyine kadar olan tuzlu sularla sulamanın quinoa dane verimini aynı derecede etkilediği söylenebilir. Ancak daha yüksek düzeyde sulama suyu kısıntısı uygulanması durumunda yani %33 kısıntılı sulama konularında bitki kök bölgesinde sulama suyundan kaynaklanan yüksek tuzluluk dane verimini ciddi bir şekilde etkilemektedir. SI30-33 konusunda FI-33 konusuna göre yaklaşık %22, FI-100 konusuna göre ise yaklaşık %35 oranında bir verim azalışı ortaya çıkmıştır. Diğer taraftan ECw 10, 20 ve 30 dS/m düzeyinde %33 kısıntılı sulama konularında ortaya çıkan verim azalışları hiç sulama yapılmayan KURU konusundan bile %3 ile %15 arasında değişen oranlarda daha düşük olmuştur. Araştırma konularında elde edilen dane verimlerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları da bitki kök bölgesinde kuraklık ve tuzluluk stresinin bir arada ortaya çıkmasının quinoa dane verimini tek başına kuraklık stresi ya da tuz stresine göre daha fazla etkilediği düşüncesini doğrulamaktadır.

Dane verimine ilişkin araştırma bulgularına göre bitki kök bölgesindeki eksik suyun tam olarak karşılanması durumunda ECw 30 dS/m tuzluluk derecesine kadar tuzlu su ile sulamanın quinoa bitkisinin dane verimini etkilemediği söylenebilir. Orta dereceli kısıntılı sulama (%67 kısıntılı sulama) koşullarında da tuzlu suyla sulama ile kanal suyu ile sulama arasında dane verimi bakımından önemli bir farklılık söz konusu değildir. Kanal suyu ile %33 kısıntılı sulama konusu (FI-33) hariç tüm tuzluluk düzeylerinde %33 kısıntılı sulama uygulaması dane veriminde ciddi düşüşlere neden olmuştur. Bu durumun bitki kök bölgesinde su eksikliği ve tuz

stresinin bir arada ortaya çıkmasından kaynaklandığı söylenebilir. Kanal suyu ile %67 kısıntılı sulama konusu olan FI-67 konusu ve PRD uygulaması stressiz koşullara göre benzer oranlarda dane verimi düşüşleri ile sonuçlanmıştır. Öte yandan FI-67 konusunda %33'lük bir su tasarrufu yapılırken PRD konusu %50 oranında su tasarrufu sağlaması nedeniyle avantaj yaratmaktadır.

Yukarıda ortaya konan araştırma bulguları Bolivya'da (Geerts ve ark., 2008b), Fas'ta (Hirich ve ark., 2013) ve İtalya'da (Pulvento ve ark., 2012) yürütülen çalışmalardan elde edilen sonuçlarla karşılaştırılabilir.

Geerts ve ark. (2008b), Bolivya'nın Altiplano bölgesinde yaptıkları çalışmada, iyi planlanmış bir kısıntılı sulamanın tam sulamada ihtiyaç duyulan suyun yarısı kadar sulama suyu ile 1.2 ve 2 ton/ha arasında istikrarlı bir quinoa verimi sağlayabileceğini belirtmiştir.

Hirich ve ark. (2013), Fas'ta yürüttükleri araştırmada quinoa bitkisinin 10 dS/m tuzlu su ile sulanmasının quinoa bitkisinin dane verimini etkilemediğini belirtmiştir. Öte yandan aynı araştırmada quinoa bitkisinin ECw 20 dS/m olan tuzlu su ile sulanmasının %24; ECw 30 dS/m tuzlu su ile sulanmasının ise %34 oranında verim düşüşüne neden olduğu bildirilmiştir.

İtalya'da Titicaca quinoa çeşidi ile yapılan çalışmada ise quinoa bitkisinin tatlı su ve ECw 22 dS/m olan tuzlu su kullanılarak; tam sulama ve tam sulamanın %50'si veya %25'i kadar olmak üzere iki farklı düzeyde kısıntılı sulama stratejisi ile sulanmasının dane veriminde istatistiksel olarak önemli bir fark yaratmadığı belirtilmiştir. Araştırmanın birinci yılında quinoa bitkisinden ortalama 2.7 t/ha; ikinci yılında ise 2.7 t/ha dane verimi elde edildiği bildirilmiştir. Çalışmada tuzluluk ve kuraklık stresinin quinoa bitkisinin dane verimini etkilemediği sonucuna ulaşılmıştır (Pulvento ve ark., 2012).

İtalya'da yapılan bir başka çalışmada da su ve tuz stresinin quinoa bitkisinin dane verimini etkilemediği belirtilmiştir (Cocozza ve ark., 2013).

Razzaghi (2011), Danimarka'da Titicaca quinoa çeşidi ile yaptığı çalışmada sulama suyu tuzluluğunun ECw 20dS/m'ye yükseltilmesinin dane verimini %33 oranında düşürdüğünü ancak sulama suyu tuzluluğunun 20 dS/m üzerinde 40 dS/m'ye kadar yükseltilmesinin verimde daha fazla düşüşe neden olmadığını

belirtmiştir. Araştırmacı bitkinin tuzlu koşullara alıştığı için 20 dS/m üzerindeki sulama suyu tuzluluğunun verimde daha fazla düşüş yaratmadığı sonucuna varmıştır.

Danimarka'da yapılan bir başka çalışmada toprakta su eksikliğinin dane verimi üzerinde küçük fakat istatistiksel olarak önemli etkisi olduğu belirtilmiştir. Stressiz koşullarda quinoa bitkisinden 1.87 t/ha dane verimi elde edildiği belirtilen çalışmada ekim tarihinden 60 gün sonra sulama kesilerek 10 gün süreyle kuraklık stresine maruz bırakılan quinoa bitkisinden 1.69 t/ha verim alındığı bildirilmiştir (Razzaghi ve ark., 2012).

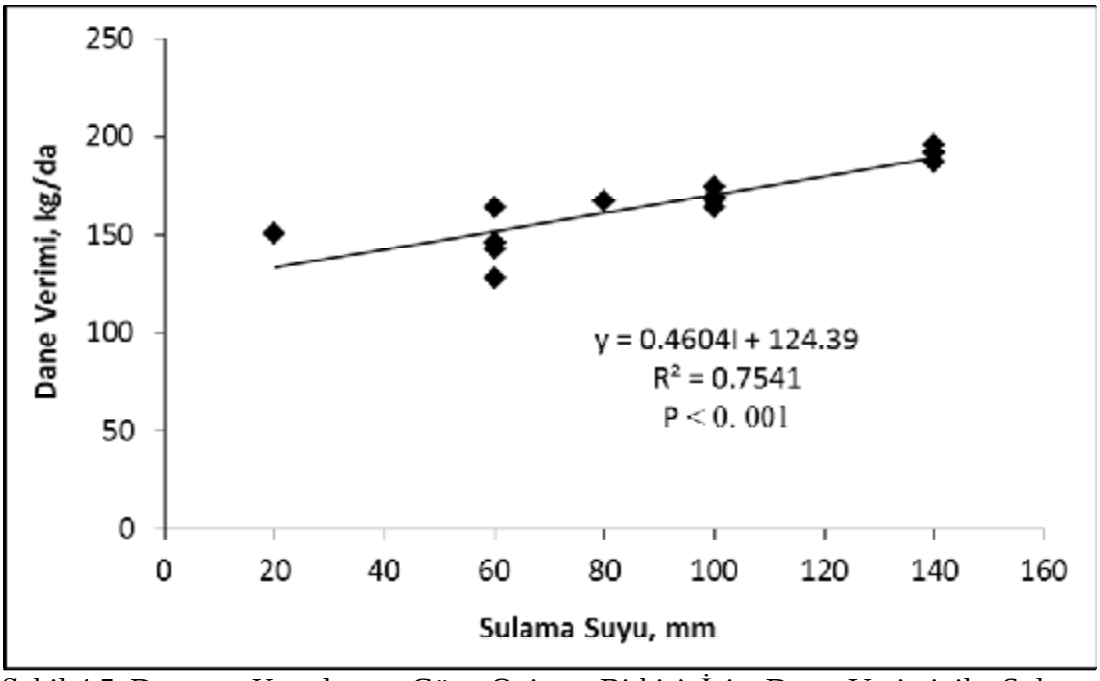
Casini (2002), orta İtalya'da yaptığı çalışmada quinoa bitkisinden 1.9 ile 3.0 t/ha arasında dane verimi elde ederken; Delgado ve ark. (2009), Kolombiya'da 16 quinoa genotipi üzerinde yapmış oldukları çalışmada dane veriminin 1.7 ile 2.7 t/ha arasında değiştiğini bildirmiştir.

İtalya'nın güneyinde, Vitulazio'da yapılan araştırmada iki farklı quinoa çeşidinin farklı ekim zamanlarında verimleri değerlendirilmiş; ekim zamanı ve çeşide bağlı olarak quinoa bitkisinden 1.5 ile 3.4 t/ha arasında dane verimi elde edildiği belirtilmiştir (Pulvento ve ark., 2010).

Hirich ve ark. (2014a), tam sulanan quinoa bitkisinden 3 t/ha dane verimi elde edilirken, %50 kısıntılı sulama uygulanan quinoa bitkisinden 1.7 t/ha dane verimi elde edildiğini ve iyi planlanmış bir kısıntılı sulama programı ile tam sulamaya göre %50 daha az su kullanılarak quinoa dane verimini 1.7 ile 2 t/ha arasında tutulabileceğini bildirmiştir.

4.1.5.1. Dane Veriminin Uygulanan Sulama Suyu Miktarı ile İlişkisi

Deneme konularından elde edilen dane verimleri ile uygulanan sulama suyu miktarları arasında R^2=0.75 olan doğrusal bir ilişki belirlenmiştir. Dane verimi (Y) ile uygulanan sulama suyu miktarı (I) arasındaki ilişki Y= 0.4604I+124.39 şeklindedir (Şekil 4.5).

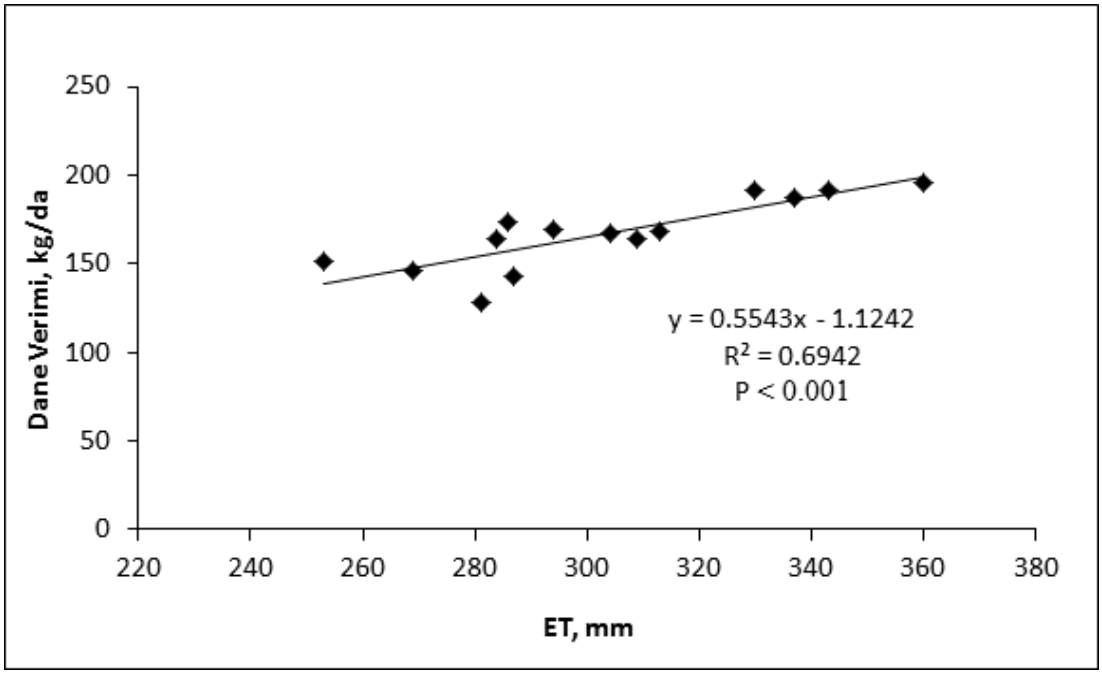


Şekil 4.5. Deneme Konularına Göre Quinoa Bitkisi İçin Dane Verimi ile Sulama Suyu Miktarı Arasındaki İlişki

Dane verimi ile sulama suyu miktarı arasındaki ilişki incelendiğinde quinoa dane veriminin uygulanan sulama suyu miktarı ile doğru orantılı olarak arttığı görülmektedir. Çeşitli araştırmalarda da quinoa veriminin bitki kök bölgesindeki su eksikliğinden negatif olarak etkilendiği belirtilmiştir (Garcia ve ark., 2003; Geerts ve ark., 2008a,b; Gonzalez ve Prado., 2009; Lavini ve ark., 2014; Hirich ve ark., 2014a).

4.1.5.2. Dane Veriminin Bitki Su Tüketimi ile İlişkisi

Dane verimi (Y) ile bitki su tüketimi (ET) arasında Y = 0.5543ET -1.1242 (R^2=0.69) denklemiyle ifade edilen istatistiksel olarak önemli doğrusal bir ilişki belirlenmiştir (Şekil 4.6). Deneme konularına uygulanan sulama suyu miktarı azaldıkça bitki su tüketimi de azalmıştır. Bitki su tüketimindeki bu düşüşle doğru orantılı olarak dane veriminin de azaldığı görülmüştür.

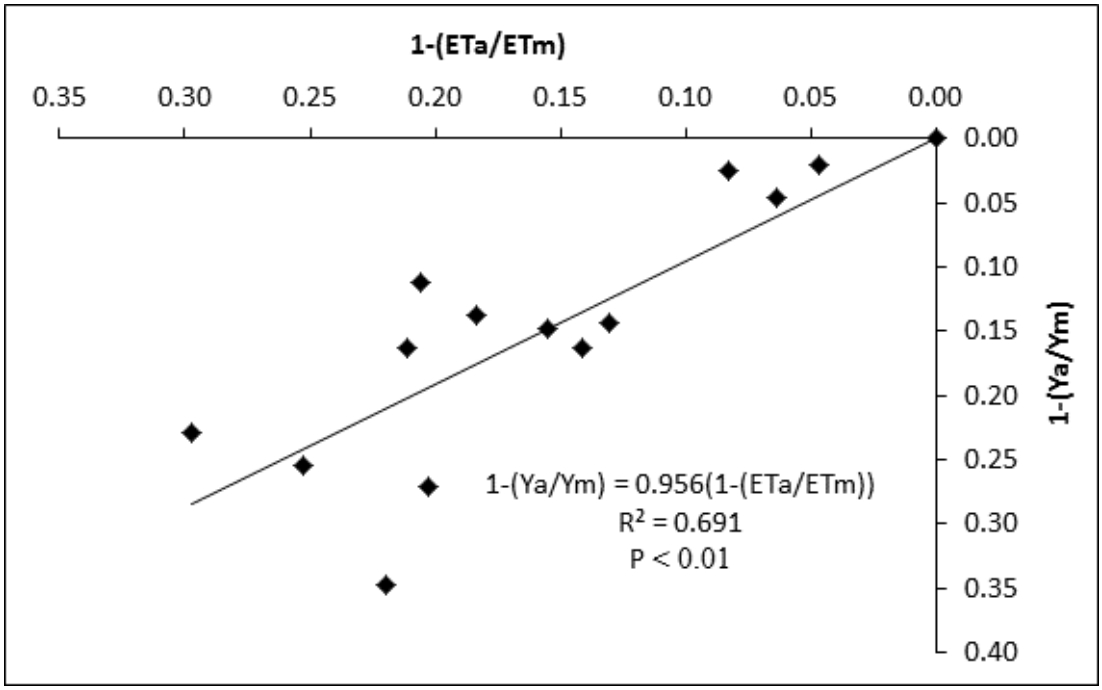


Şekil 4.6. Damla Sistemiyle Uygulanan Farklı Sulama Stratejilerine Göre Quinoa Bitkisi için Dane Verimi ile Su Tüketimi (ET) İlişkisi

4.1.5.3. Oransal Evapotranspirasyon Açığı ile Oransal Verim Azalışı Arasındaki İlişki ve Verim Tepki Etmeni (ky)

Araştırmada, sulama planlaması açısından önemli bir parametre olan ve bitki su tüketimindeki bir birimlik azalmaya karşı verimde kaç birim azalma olabileceğini ifade eden verim tepki etmeni (ky) 0.96 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.7). Buna göre evapotranspirasyonda bir birim azalmaya karşılık quinoa bitkisi dane veriminde 0.96 birim azalmanın beklenebileceği söylenebilir.

Garcia ve ark. (2003), tarafından Bolivya'nın Altiplano bölgesinde yetiştirilen quinoa bitkisi için ky değerini 0.67 olarak hesaplamışlardır. Araştırmada Adana koşulları için belirlenen ky değerinin daha yüksek olmasının bitki çeşidi ile iklim ve toprak koşullarının farklılığından kaynaklandığı söylenebilir.



Şekil 4.7. Damla Sistemiyle Uygulanan Farklı Sulama Stratejilerine Göre Quinoa Bitkisi İçin Oransal Evapotranspirasyon Açığı ile Oransal Verim Azalışı İlişkisi

4.1.6. Quinoa Bitkisinin Su Kullanma Randımanları

Deneme konularına ilişkin sulama suyu kullanma randımanları (IWUE) hesaplanarak Çizelge 4.8'de verilmiştir. Araştırmada en yüksek sulama suyu kullanma randımanı FI-100 konusunda 0.32 kg/m^3 olarak hesaplanmıştır. SI10-33 ve SI30-33 konularında IWUE değerleri sıfır olmuştur (Çizelge 4.8). Yapılan istatistiksel analiz sonucunda ise deneme konuları arasında sulama suyu kullanma randımanı bakımından önemli bir farklılık olmadığı belirlenmiştir (Çizelge 4.9). Genel olarak tüm sulama konularında sulama suyu kullanma randımanının nispeten düşük olduğu söylenebilir. Bunun nedeni hiç sulama yapılmaksızın sadece yağışlarla beslenen KURU konusunda 151 kg/da verim elde edilmiş olmasıdır.

Lavini ve ark. (2014), İtalya'da yapmış oldukları çalışmada tam sulama konusunun %25'inin uygulandığı kısıntılı sulama konusunda IWUE değerinin en yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

Çizelge 4.8. Damla Sulama Sistemiyle Farklı Sulama Stratejilerine Göre Sulanan Quinoa Bitkisinin Sulama Suyu Kullanma Randımanları

Konular	Sulama Suyu Kullanım Randımanı (IWUE), kg/m^3			
	I	II	III	Ortalama
FI-100	0.28	0.32	0.37	0.32
FI-67	0.16	0.31	0.03	0.17
FI-33	0.00	0.64	0.19	0.28
PRD	0.01	0.13	0.46	0.20
SI10-100	0.20	0.36	0.32	0.29
SI10-67	0.14	0.26	0.14	0.18
SI10-33	0.00	0.01	0.00	0.00
SI20-100	0.27	0.35	0.16	0.26
SI20-67	0.00	0.21	0.23	0.15
SI20-33	0.00	0.49	0.00	0.16
SI30-100	0.00	0.50	0.36	0.29
SI30-67	0.12	0.55	0.04	0.24
SI30-33	0.00	0.00	0.00	0.00
KURU	-	-	-	-

Çizelge 4.9. Quinoa Bitkisinin Sulama Suyu Kullanma Randımanı (IWUE) Değerlerine İlişkin Varyans Analiz Sonuçları

	S.D.	K.T.	K.O.	F	Olasılık
Yineleme	2	0.341	0.171	7.517	0.2363
Sulama	12	0.379	0.032	1.392	
Hata	24	0.545	0.023		
Toplam	38				

CV=%77.20

Deneme konularında su kullanma randımanları (WUE) incelendiğinde WUE değerlerinin 0.46 ile 0.61 kg/m^3 arasında değiştiği görülmüştür. En yüksek WUE değeri SI30-67 konusunda 0.61 kg/m^3 olarak hesaplanmış olup bunu 0.60 kg/m^3 ile KURU konusu izlemiştir (Çizelge 4.10). Bununla birlikte, deneme konularına göre su kullanım randımanları arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olmadığı ortaya çıkmıştır (Çizelge 4.11).

Çizelge 4.10. Damla Sulama Sistemiyle Farklı Sulama Stratejilerine Göre Sulanan Quinoa Bitkisinin Su Kullanma Randımanları

Konular	Su Kullanma Randımanı (WUE), kg/m^3			
	I	II	III	Ortalama
FI-100	0.55	0.51	0.57	0.54
FI-67	0.56	0.56	0.49	0.54
FI-33	0.49	0.65	0.60	0.58
PRD	0.54	0.45	0.67	0.55
SI10-100	0.54	0.57	0.57	0.56
SI10-67	0.59	0.57	0.56	0.57
SI10-33	0.54	0.52	0.56	0.54
SI20-100	0.61	0.57	0.49	0.56
SI20-67	0.52	0.53	0.54	0.53
SI20-33	0.43	0.58	0.48	0.50
SI30-100	0.48	0.65	0.61	0.58
SI30-67	0.61	0.66	0.55	0.61
SI30-33	0.54	0.45	0.38	0.46
KURU	0.59	0.63	0.58	0.60

Çizelge 4.11. Quinoa Bitkisinin Su Kullanım Randımanı (WUE) Değerlerine İlişkin Varyans Analiz Sonuçları

	S.D.	K.T.	K.O.	F	Olasılık
Yineleme	2	0.004	0.002	0.5204	0.2889
Sulama	13	0.061	0.005	1.2735	
Hata	26	0.096	0.004		
Toplam	41	0.162			

CV= % 11.06

Bolivya'nın Altiplano bölgesinde quinoa bitkisinde yapılan çalışmada, tam sulama konusunda su kullanma randımanı (WUE) 0.41 kg/m^3; tam sulamanın yarısı kadar sulama suyu uygulanan kısıntılı sulama konusunda ise 0.48 kg/m^3 olarak belirlenmiştir (Geerts ve ark., 2008a).

Razzaghi ve ark. (2012), Danimarka'da yaptıkları çalışmada quinoa bitkisinin su kullanma randımanının 1.08 ile 1.26 kg/m^3 arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Çalışmada stressiz koşullarda yetiştirilen quinoa bitkisi ile kuraklık stresine maruz bırakılan quinoa bitkisinde hesaplanan WUE değerleri arasında istatistiksel olarak önemli bir fark bulunmadığı ifade edilmiştir. Benzer şekilde farklı tuzluluk

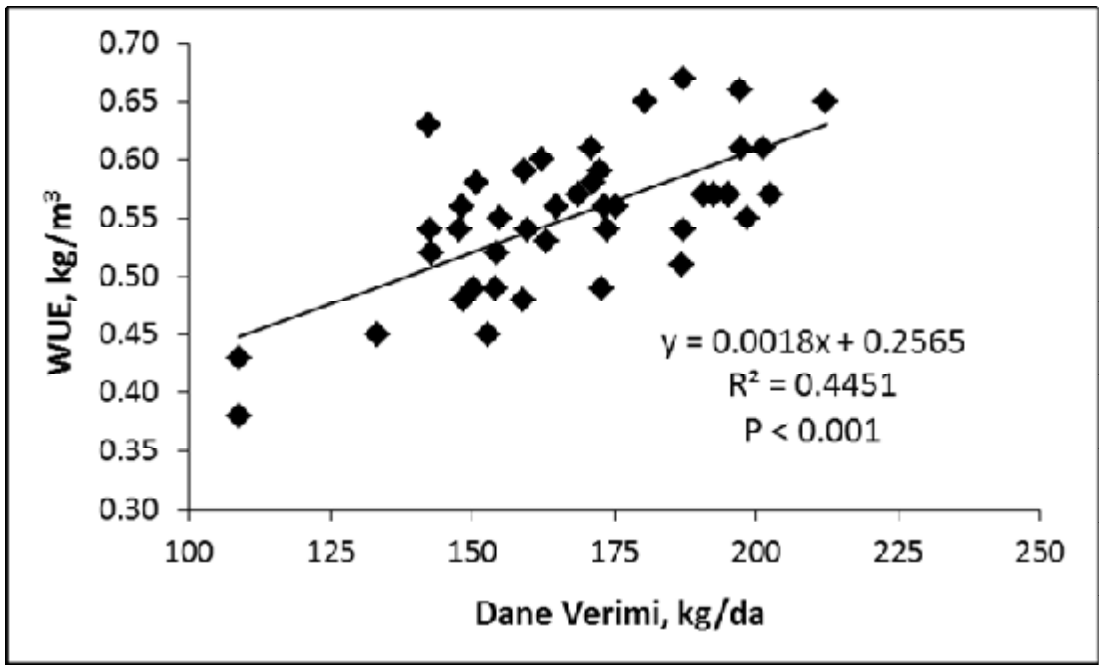
düzeylerinde sulanan quinoa bitkisinin WUE değerleri arasında da istatistiksel açıdan önemli bir fark olmadığı belirtilmiştir.

Lavini ve ark. (2014), tuzluluk düzeyi ECw 1, 10, 20 ve 30 dS/m olan sularla sulanan quinoa bitkisinde WUE değerlerini sırasıyla 0.6, 0.7, 0.7 ve 0.8 kg/m^3 olarak hesaplamışlar ve sulama suyu tuzluluğu arttıkça su kullanım randımanının yükseldiğini belirtmişlerdir. Aynı çalışmada Adana koşullarında farklı sulama suyu tuzluluk ve kısıntı düzeylerinde quinoa bitkisi WUE değerlerinin 0.45 ile 1.39 kg/m^3; IWUE değerlerinin ise 0.62 ile 1 kg/m^3 arasında değiştiği bildirilmiştir.

Hirich ve ark. (2014a), tam sulama yapılan ve %50 kısıntılı sulama yapılan quinoa bitkisinin su kullanma randımanlarının 1.2 ile 1.7 kg/m^3 arasında değiştiğini; % 50 kısıntılı sulama konularında WUE değerinin daha yüksek olduğunu belirtmiştir.

Razzaghi ve ark. (2012) ile Hirich ve ark. (2014a) tarafından belirtilen WUE değerlerinin bu çalışmada hesaplanan WUE değerlerinden oldukça yüksek olmasının farklı iklim ve toprak koşullarından kaynaklandığı söylenebilir. Örneğin Razzaghi ve ark. (2012), yaptıkları araştırmada tam sulama yapılan quinoa bitkisinden ortalama 187 kg/da dane verimi elde etmişlerdir. Buna karşılık söz konusu araştırma konusundaki toplam bitki su tüketiminin sadece 166 mm olduğunu bildirmişlerdir. Bu araştırmada ise FI-100 konusundan 196 kg/da dane verimi elde edilirken bu araştırma konusu için hesaplanan mevsimlik ET değeri ortalama 360 mm'dir. Danimarka koşullarında elde edilen dane verimi, Adana'da elde edilen dane verimine yakın olsa da bitki su tüketimleri arasında büyük fark olduğundan söz konusu iki araştırmadaki WUE değerleri de birbirinden oldukça farklı çıkmıştır.

Deneme konularına ilişkin IWUE ve WUE değerleri incelendiğinde sulama suyu miktarındaki veya bitki su tüketimindeki artışlara rağmen dane veriminde aynı oranda artış sağlanamadığını görülmektedir. Bu durumda özellikle suyun kısıtlı olduğu bölgelerde suyun etkin kullanımı açısından, kuru koşullarda dahi verim sağlayabilen quinoa bitkisi için kısıntılı sulamanın doğru bir yaklaşım olabileceği söylenebilir.



Şekil 4.8. Deneme Konularına Göre Quinoa Bitkisinin Dane Verimi ile Su Kullanma Randımanı (WUE) Arasındaki İlişki

Deneme konularına ilişkin verim ve su kullanma randımanları arasındaki ilişki Şekil 4.8'de verilmiştir. Dane verimi ve WUE arasında R^2= 0.45 olan WUE=0.0018Y+0.2565 şeklinde istatistiksel olarak %0.1 düzeyinde önemli doğrusal bir ilişki belirlenmiştir.

4.1.7. Bin Dane Ağırlığı

Denemede sulama konularına göre elde edilen ortalama bin dane ağırlıkları Çizelge 4.12'de verilmiştir. Sulama konularında saptanan ortalama bin dane ağırlıkları 3.0 g ile 3.4 g arasında değişmiştir. Araştırma konuları arasında en yüksek bin dane ağırlığının FI-100 konusunda olduğu görülmüş olmakla birlikte yapılan varyans analizi sulama konuları arasında bin dane ağırlığı bakımından istatistiksel olarak bir fark olmadığını göstermiştir (Çizelge 4.13). Bu durumda sulama suyu tuzluluğu ya da bitki kök bölgesinde su eksikliğinin bin dane ağırlığı üzerinde önemli bir etki yaratmadığı söylenebilir.

Çizelge 4.12. Damla Sistemiyle Uygulanan Farklı Sulama Stratejilerine Göre Quinoa Bitkisinin Ortalama Bin Dane Ağırlıkları

Konular	Bin Dane Ağırlıkları (g)			
	I	II	III	Ortalama
FI-100	3.2	3.7	3.2	3.4
FI-67	3.1	3.3	3.1	3.2
FI-33	3.4	3.4	3.1	3.3
PRD	3.3	3.4	3.1	3.3
SI10-100	3.4	3.1	3.1	3.2
SI10-67	3.1	3.0	3.1	3.1
SI10-33	3.1	2.9	3.1	3.0
SI20-100	3.0	3.2	3.1	3.1
SI20-67	3.1	3.2	3.2	3.2
SI20-33	3.3	3.6	3.0	3.3
SI30-100	3.0	3.3	3.2	3.2
SI30-67	3.0	3.3	3.2	3.2
SI30-33	3.0	3.2	2.8	3.0
KURU	3.0	3.2	3.3	3.2

Çizelge 4.13. Quinoa Bitkisinin Bin Dane Ağırlıklarına İlişkin Varyans Analiz Sonuçları

	S.D.	K.T.	K.O.	F	Olasılık
Yineleme	2	0.196	0.098	4.0886	0.2254
Sulama	13	0.436	0.034	1.3985	
Hata	26	0.624	0.024		
Toplam	41	1.256			

CV = % 4.88

Pulvento ve ark. (2012), bu çalışmada elde edilen bulgulardan farklı olarak Titicaca çeşidi quinoa bitkisinin ECw 22 dS/m olan tuzlu su ile sulanmasının dane verimi, biyomas ve hasat indeksini etkilemediğini ancak bin dane ağırlığında önemli farklılıklar yarattığını savunmuştur. Araştırmada tuzlu su ile sulamanın quinoa bitkisinin bin dane ağırlığını yükselttiği belirtilmiştir. Bununla birlikte söz konusu araştırmada ele alınan tüm deneme konularında ölçülen bin dane ağırlıklarının ortalamasının 2009 yılında 2.44 g, 2010 yılında ise 2.67 g olduğu bildirilmiştir. Pulvento ve ark. (2012), tuzlu su ile sulamanın quinoa bitkisinin bin dane ağırlığını

yükselttiğini ifade etseler de yürüttükleri araştırmada belirlenen bin dane ağırlıkları bu çalışmada ölçülen bin dane ağırlıklarından daha düşüktür.

Yazar ve ark. (2012), Adana koşullarında Titicaca quinoa çeşidini kullanarak 2009 ve 2010 yetiştirme mevsiminde yürüttükleri araştırmada sulama suyunun tuzluluk derecesi ve uygulanan sulama suyu kısıntısına bağlı olarak quinoa bitkisinin bin dane ağırlığının 2.1 g ile 3.2 g arasında değiştiğini belirtmişlerdir.

Bir başka araştırmada ise Bolivya'nın Altiplano koşullarında iki ayrı yerde (Patacamaya ve Condoriri) tam sulama ve kısıntılı sulama konularından elde edilen bin dane ağırlıkları arasında önemli farklılıklar olduğu bildirilmiştir (Geerts ve ark., 2008a). Çalışmada quinoa bitkisi için bin dane ağırlıklarının 3.2 ile 5.8 g arasında olduğu belirlenmiştir.

Pulvento ve ark. (2010), İtalya'nın Vitulazio bölgesinde iki farklı quinoa çeşidi ile yaptıkları çalışmada bin dane ağırlıklarının Regalona Baer çeşidinde 1.77 ile 2.25 g; KVLQ520Y çeşidinde ise 3.01 ile 3.63 g arasında değiştiğini saptamışlardır.

Delgado ve ark. (2009), Kolombiya'da 16 quinoa genotipi üzerinde yapmış oldukları çalışmada bin dane ağırlığının 2.5 ile 3.4 g arasında değiştiğini bildirmiştir.

Yukarıda sözü edilen araştırmalarda ve bu çalışmada quinoa bitkisi için elde edilen bin dane ağırlıkları arasındaki farklılıkların bitki çeşidi ve çevresel koşulların farklılığından kaynaklandığı söylenebilir.

4.1.8. Kuru Madde Verimi

Deneme konularına göre hasattaki kuru madde miktarları Çizelge 4.14'te verilmiştir. Deneme konularından elde edilen hasattaki kuru madde verimlerinin varyans analizi sonuçlarına göre quinoa bitkisinin kuru madde verimleri 0.01 önem düzeyinde farklılık göstermektedir (Çizelge 4.15). Yapılan Duncan gruplandırmasına göre deneme konuları kuru madde verimleri 7 farklı grupta toplanmıştır (Çizelge 4.16).

Çizelge 4.14. Damla Sistemiyle Uygulanan Farklı Sulama Stratejilerine Göre Quinoa Bitkisinin Hasattaki Kuru Madde Miktarları

Konular	Kuru Madde Miktarları (kg/da)			
	I	II	III	Ortalama
FI-100	676.1	519.7	640.5	612.1
FI-67	487.7	546.9	542.1	525.6
FI-33	472.6	453.4	448.9	458.3
PRD	502.2	492.4	593.3	529.3
SI10-100	641.2	551.0	507.6	566.6
SI10-67	509.0	431.3	462.7	467.7
SI10-33	422.1	490.5	420.2	444.2
SI20-100	583.7	614.4	534.9	577.7
SI20-67	497.0	419.8	443.5	453.4
SI20-33	373.2	424.1	480.2	425.8
SI30-100	513.0	662.3	649.8	608.4
SI30-67	459.7	592.3	518.2	523.4
SI30-33	460.4	467.3	408.3	445.3
KURU	421.3	446.6	464.9	444.3

Hasattaki en yüksek kuru madde verimi FI-100 konusunda 612.1 kg/da olarak, en düşük kuru madde verimi ise SI20-33 konusunda 425.8 kg/da olarak belirlenmiştir. Genel olarak tam su konularındaki kuru madde verimi kısıntılı sulama konularına göre daha yüksek olmuştur. Stressiz koşulları temsil eden FI-100 konusu ile karşılaştırıldığında, tuzlu suyla tam sulama konuları olan SI10-100, SI20-100 ve SI30-100 konularındaki kuru madde verimlerinde %0.6 ile %7 arasında değişen oranlarda düşüşler ortaya çıkmıştır. Sulama suyunda kısıntı uygulanması durumunda ise kuru madde verimindeki düşüşler daha yüksek oranlarda gerçekleşmiştir. Bitki kök bölgesinde yalnızca su eksikliği etkilerinin gözlemlendiği FI-67 ve FI-33 konularında kuru madde verimleri FI-100 konusuna göre sırasıyla %14 ve %25 oranında daha düşük olmuştur. Sulama suyunda %50 oranında kısıntı uygulanan PRD uygulamasında ise kuru madde verimi FI-100 konusuna göre %13.5 daha az olmuştur. Yüksek sulama suyu tuzluluğu koşullarında dahi bitki kök bölgesindeki eksik suyun tamamının karşılanması, bitkinin stressiz koşullara yakın kuru madde üretimini sağlarken sulama suyu kısıntısı kuru madde veriminde %25'e varan

düşüşlere neden olmuştur. Bu durumda quinoa bitkisinin kuru madde verimi üzerinde su stresinin tuz stresine göre daha fazla etki yarattığı söylenebilir.

Çizelge 4.15. Quinoa Bitkisinin Kuru Madde Verimlerine İlişkin Varyans Analiz Sonuçları

	S.D.	K.T.	K.O.	F	Olasılık
Yineleme	2	424.976	212.488	0.0738	0.0006
Sulama	13	168022.196	12924.784	4.4885	
Hata	26	74867.383	2879.515		
Toplam	41	243314.556			

CV= %10.61

Çizelge 4.16. Quinoa Bitkisinin Hasattaki Kuru Madde Verimi Değerlerine İlişkin Duncan Gruplaması

Konular	Ortalama Kuru Madde Verimi, (kg/da)
FI-100	612.1**a**
SI30-100	608.4**a**
SI20-100	577.7**ab**
SI10-100	566.6**abc**
PRD	529.3**abcd**
FI-67	525.5**abcd**
SI30-67	523.4**abcd**
SI10-67	467.7**bcd**
FI-33	458.3**bcd**
SI20-67	453.4**cd**
SI30-33	445.3**cd**
KURU	444.3**d**
SI10-33	444.2**d**
SI20-33	425.8**d**
LSD (0.01)	**121.7**

KURU konusu ile yoğun sulama suyu kısıntısı uygulanan %33 kısıntılı sulama konularından birbirlerine yakın miktarlarda kuru madde verimi elde edilmiştir. Orta dereceli kısıntılı sulama uygulamalarının yapıldığı %67 ve PRD konularından elde edilen kuru madde verimleri de birbirine yakın değerlerdedir.

Genel olarak araştırma konularına uygulanan sulama suyu miktarları azaldıkça kuru madde veriminin düştüğü söylenebilir.

Türkiye'de ve farklı ülkelerde yapılan araştırmalar bu çalışmada elde edilen bulguları destekler niteliktedir. 2009 yılında Adana'da yürütülen araştırmada ECw 5 dS/m olan tuzlu su ile sulamanın quinoa bitkisinin kuru madde verimine istatistiksel açıdan önemli bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir (İnce Kaya ve Yazar, 2009).

Orsini ve ark. (2011), yürüttükleri saksı denemesinde quinoa bitkisini 0 ile 750 mM NaCl arasında değişen 6 farklı tuz konsantrasyonuna sahip sularla sulamışlar ve kuru madde verimi bakımından araştırma konuları arasında önemli bir farkın olmadığı sonucuna varmışlardır.

Hirich ve ark. (2013), Fas'ta yürüttükleri saksı denemesinde ECw 10 dS/m olan tuzlu su ile sulanmanın quinoa bitkisinin kuru madde verimini etkilemediğini ancak daha yüksek sulama suyu tuzluluğunun kuru madde veriminde düşüşlerine neden olduğunu bildirmiştir. Çalışmada quinoa bitkisinin ECw 20 dS/m olan tuzlu su ile sulanması durumunda kuru madde veriminde %22, ECw 30 dS/m olan tuzlu su ile sulanması durumunda ise %53 oranında düşüş olduğu bildirilmiştir.

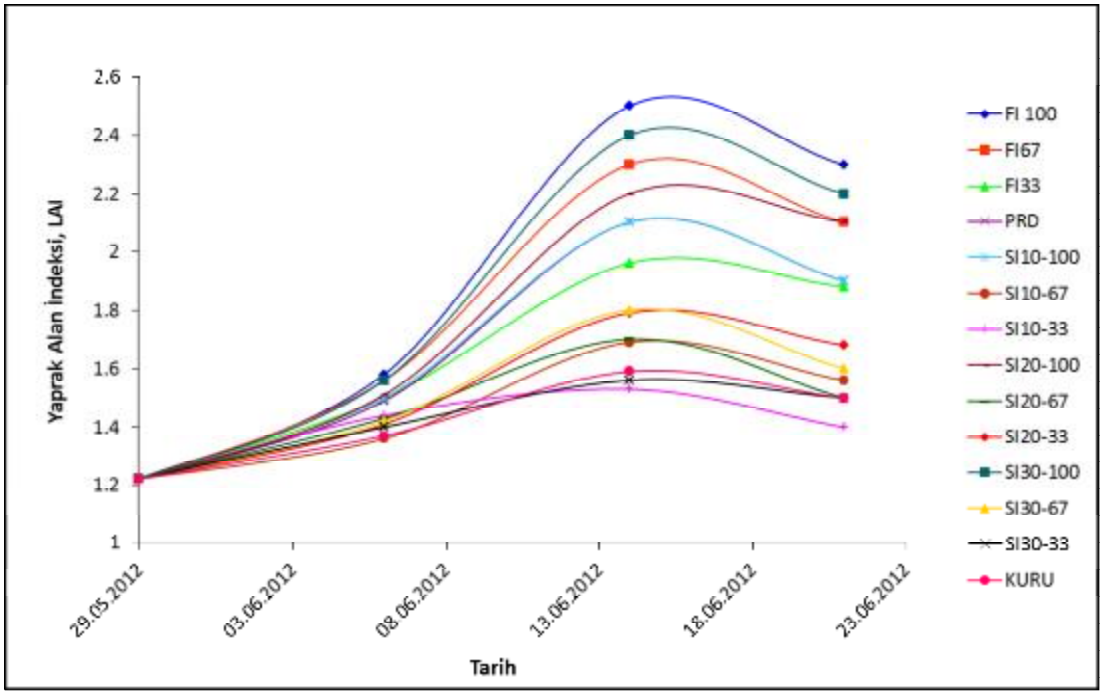
Fas'ta yürütülen bir başka çalışmada ise kısıntılı sulamanın quinoa bitkisinin kuru madde üretimini negatif etkilediği belirtilmiştir (Hirich ve ark., 2014a). Lavini ve ark. (2014), sulama suyu tuzluluğu ve su stresinin quinoa bitkisinin kuru madde verimini düşürdüğünü belirtmiştir. Öte yandan, Pulvento ve ark. (2012), tatlı su ve ECw 22 dS/m olan tuzlu su kullanılarak tam sulama ve tam sulamanın %50'si veya %25'i kadar olmak üzere iki farklı düzeyde kısıntılı sulama uygulamalarının Titicaca çeşidi quinoa bitkisinin kuru madde veriminde önemli bir fark yaratmadığını belirtmiştir.

Araştırmada elde edilen bulgular, dünyada yapılmış benzer çalışma sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, 10 dS/m üzerindeki sulama suyu tuzluluğu ve sulama suyu kısıntılarının quinoa bitkisinin kuru madde verimini önemli derecede etkilemekle birlikte su stresinin kuru madde verimini tuz stresinden daha fazla etkilediği söylenebilir.

4.1.9. Yaprak Alan İndeksi (LAI)

Araştırmada fide dikim tarihinden itibaren bitkilerde renk değişimi ortaya çıkıncaya kadar belirli aralıklarla yaprak alanları bitki tacı analizörü (LI-COR LAI-2000 Plant Canopy Analyzer) kullanılarak izlenmiştir.

Araştırma süresince ölçülen yaprak alan indeksi (LAI) değerleri Ek Çizelge 1'de; 29 Mayıs 2012 tarihinden itibaren deneme konularına göre LAI'nın zamansal değişimleri ise Şekil 4.9'da verilmiştir. İlk sulamanın yapıldığı tarihe kadar tüm deneme konularında yaprak alan indeksleri benzer gelişim göstermiş ve 1.22 değerine ulaşmıştır. Konulu sulamaların başlaması ile birlikte araştırma konularında ölçülen LAI değerleri de farklılık göstermeye başlamıştır. Yaprak alan indeksleri çiçeklenme döneminde en yüksek değerlerine ulaşmıştır. Bu dönemde en yüksek LAI değeri 2.5 olarak FI-100 konusunda elde edilmiştir. Bunu sırasıyla 2.4 ile SI30-100 konusu ve 2.3 ile FI-67 konuları izlemiştir. Çiçeklenmeden sonra hasada doğru bitkilerde yapraklarda yaşlanma ve dökülmeye bağlı olarak yaprak alan indeksleri düşüş göstermeye başlamıştır (Şekil 4.9).



Şekil 4.9. Damla Sistemiyle Uygulanan Farklı Sulama Stratejilerine Göre Quinoa Bitkisi Yaprak Alan İndekslerinin Zamana Göre Değişimi

Araştırmada en yüksek yaprak alan indeksi stressiz koşullarda ölçülürken su ve tuz stresi arttıkça LAI değerleri de düşmüştür. Yoğun su ve tuz stresinin olduğu %33 kısıntılı sulama konuları ile KURU konusu ise deneme konuları arasında en düşük LAI değerlerinin ölçüldüğü konular olmuştur.

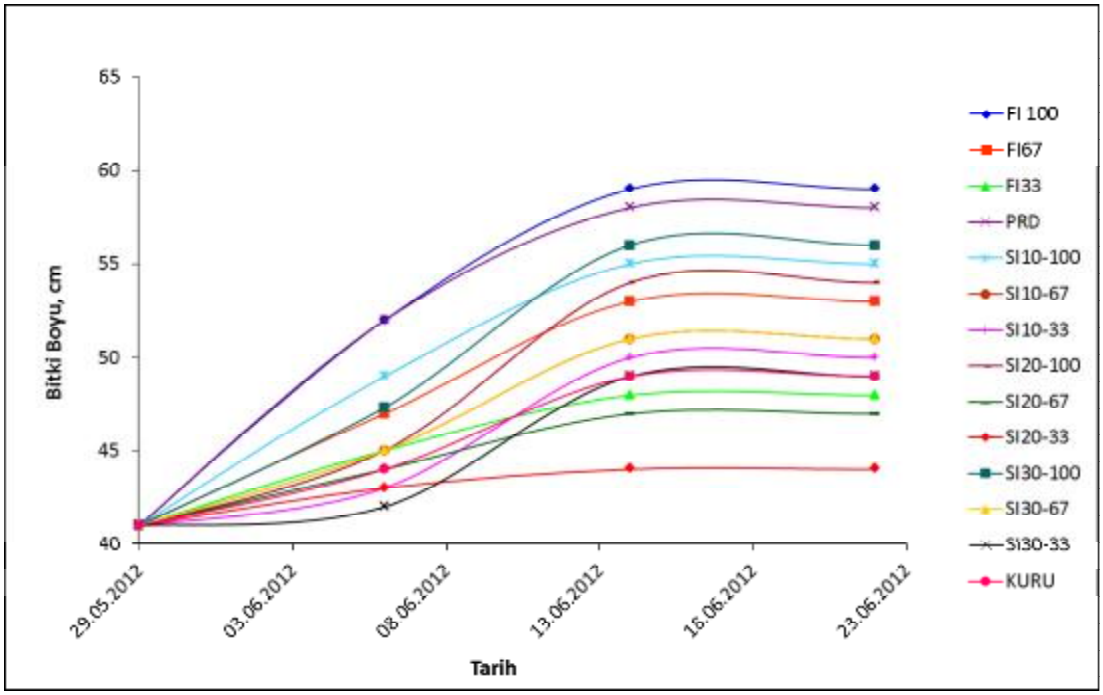
Yaprak genişlemesinin sınırlandırılması ve yaprakların sararıp dökülerek yaprak alanının azaltılması bitkilerde su stresine yanıt vermek için aktifleşen mekanizmalardır (Taiz ve Zeiger, 2008). Çalışmada tuzlu su ile sulama ve kısıntılı sulama konularında ölçülen düşük LAI değerleri, quinoa bitkisinin stres koşullarına alışma mekanizmalarından biri olarak yaprak alanını düşürdüğü şeklinde değerlendirilebilir. Jensen ve ark. (2000), quinoa bitkisinin yapraklarını dökerek yaprak alanını düşürmesi ile kuraklığın negatif etkilerinden korunduğu ifade etmiştir.

Lavini ve ark. (2014), kanal suyu veya 30 dS/m tuzlu su ile tam sulama yapılan quinoa bitkisinde LAI değerini 2.8 olarak ölçmüşler; kuru koşullarda ise yaprak alan indeksinin en düşük değerde olduğunu belirtmişlerdir. İnce Kaya ve Yazar (2009), Adana'da yaptıkları çalışmada quinoa bitkisinin yaprak alan indeksinin 2.8 ile 4.5 arasında değiştiğini belirlemişlerdir.

4.1.10. Bitki Boyu

Bitki büyüme mevsimi boyunca deneme konularında ölçülen bitki boyu değerleri Ek Çizelge 2'de verilmiş ve 29 Mayıs 2012 tarihinden itibaren bitki boylarının zamansal değişimi Şekil 4.10'da verilmiştir.

Genel olarak tüm deneme konularında ilk bitki gelişim dönemlerinde hızlı bir boy artışı gözlenirken bitki fizyolojik olgunluğa yaklaştıkça boy artış hızı düşmüştür. 29 Mayıs 2012 tarihinde yapılan ölçümlerde tüm deneme konularında bitki boylarının ortalama 41 cm olduğu belirlenmiştir. Araştırmada ele alınan sulama konuları bitki boy gelişimini etkilemiş; konulu sulamaların başlamasıyla bitki boyları farklılık göstermeye başlamıştır. Deneme konularında en yüksek bitki boyu FI-100 konusunda 59 cm olarak ölçülmüş ve bunu 58 cm ile PRD konusu izlemiştir. En düşük bitki boyu 44 cm ile SI20-33 konusunda ölçülmüştür.



Şekil 4.10. Damla Sistemiyle Uygulanan Farklı Sulama Konularına Göre Quinoa Bitki Boylarının Zamana Göre Değişimi

İtalya'nın Vitulazio bölgesinde 2006 yılında yapılan çalışmada quinoa bitkisinin hasattaki bitki boyları Regalona Baer çeşidinde 113 cm; KVLQ520Y çeşidinde ise 91 cm olarak saptamıştır (Pulvento ve ark., 2010). Hirich ve ark. (2014c), Fas'ta farklı ekim tarihlerine göre quinoa bitki boy gelişiminin önemli değişiklikler gösterdiğini belirtmiştir. Orsini ve ark. (2011), quinoa bitkisinin özellikle 150 mM NaCl (ECw=14.7) üzerindeki tuzlu sularla sulanmasının bitki boyunu önemli ölçüde düşürdüğünü belirtmiştir.

4.1.11. Hasat İndeksi

Dane veriminin toprak üstü kuru maddeye oranı olarak bilinen hasat indeksi (HI), deneme konularından elde edilen bitki başına dane verimlerinin bitki başına kuru madde verimlerine bölünmesi ile hesaplanmıştır. Deneme konularında hesaplanan hasat indeksleri ve bunlara ilişkin varyans analiz sonuçları sırasıyla Çizelge 4.17 ve Çizelge 4.18'de verilmiştir.

Araştırmada en yüksek hasat indeksleri SI20-67, SI10-67 ve FI-67 konularında 0.36 olarak belirlenmiştir. En düşük hasat indeksi ise SI30-33 konusunda 0.29 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.17). Yapılan varyans analizi sonuçlarına göre sulama suyu miktarı, tuzluluk derecesi ve farklı işletim biçimlerinin hasat indeksi üzerinde istatistiksel olarak etkisinin farklı olmadığı belirlenmiştir (Çizelge 4.18).

Çizelge 4.17. Araştırma Konularına Göre Quinoa Bitkisinin Hasat İndeksleri

Konular	Hasat İndeksi			
	I	II	III	Ortalama
FI-100	0.29	0.36	0.32	0.32
FI-67	0.36	0.32	0.28	0.32
FI-33	0.32	0.40	0.36	0.36
PRD	0.32	0.31	0.32	0.32
SI10-100	0.29	0.35	0.38	0.34
SI10-67	0.34	0.39	0.36	0.36
SI10-33	0.35	0.29	0.35	0.33
SI20-100	0.34	0.31	0.32	0.32
SI20-67	0.31	0.39	0.39	0.36
SI20-33	0.29	0.40	0.31	0.33
SI30-100	0.31	0.32	0.31	0.31
SI30-67	0.37	0.33	0.30	0.33
SI30-33	0.31	0.29	0.27	0.29
KURU	0.38	0.32	0.32	0.34

Çizelge 4.18. Quinoa Bitkisinin Hasat İndekslerine İlişkin Varyans Analiz Sonuçları

	S.D.	K.T.	K.O.	F	Olasılık
Yineleme	2	0.002	0.001	0.7298	0.4579
Sulama	13	0.017	0.001	1.0256	
Hata	26	0.032	0.001		
Toplam	41	0.051			

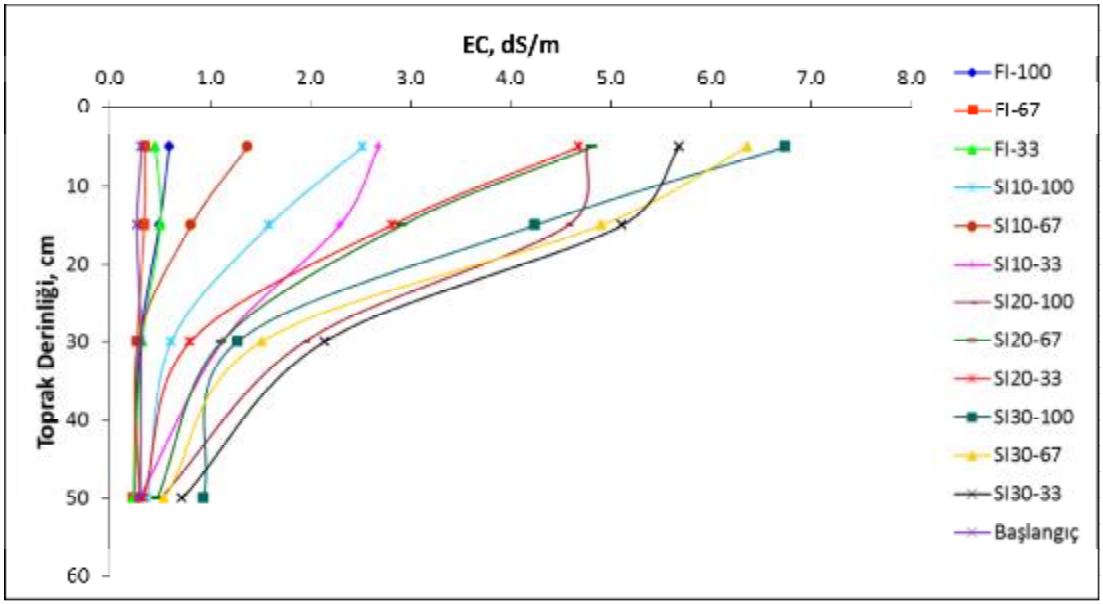
CV = %10.61

Bolivya'nın Viacha şehrinde gerçekleştirilen bir araştırmada quinoa bitkisi için ortalama hasat indeksi 0.63 olarak belirlenirken (Geerts ve ark., 2006), Patacamaya'da yapılan bir başka araştırmada aynı bitki için tam su konusunda hasat

indeksi 0.49; tam sulamada uygulanan suyun %50'si kadar su ile yapılan kısıntılı sulamada ise 0.48 olarak hesaplanmıştır (Geerts ve ark., 2008a). Hirich ve ark. (2013), Fas'ta yürüttüğü araştırmada ECw 30 dS/m olan tuzlu su ile tam sulama yapılan quinoa bitkisinde hasat indeksini 0.78; tatlı su ile tam sulama yapılan quinoa bitkisinde ise 0.56 olarak bulmuştur. İtalya'nın Vitulazio bölgesinde yapılan çalışmada quinoa bitkisine ilişkin hasat indeksleri 2006 yılında Regalona Baer çeşidinde 0.31; KVLQ520Y çeşidinde ise 0.57 olarak saptamıştır (Pulvento ve ark., 2010). İtalya'da yapılan bir başka çalışmada ise tuzluluk ve kuraklık stresinin quinoa bitkisinin dane ve kuru madde verimi ile hasat indeksini etkilemediği sonucuna ulaşılmıştır (Pulvento ve ark., 2012).

4.1.12. Toprak Tuzluluğu

Araştırma konularında 60 cm toprak derinliği için fide dikim tarihindeki toprak tuzluluk profili ile hasattaki toprak tuzluluk profilleri karşılaştırılmıştır (Şekil 4.11).



Şekil 4.11. Araştırma Konularına Göre Fide Dikim Tarihinde ve Hasatta Toprak Tuzluluk Profilleri

Deneme alanı topraklarının çamur süzüğü elektriksel iletkenliği (ECe) olarak ifade edilen başlangıç tuzluluk değerleri 0.28 ile 0.32 dS/m arasında değişim göstermiştir. Araştırmada uygulanan damla sulama yöntemine bağlı olarak topraktaki tuz birikiminin ilk 30 cm'lik toprak profilinde yoğunlaştığı görülmüştür. Toprak yüzeyinden alt katmanlara inildikçe toprak tuzluluğunda bir azalma söz konusudur. 40 cm toprak derinliğinden itibaren ise toprak tuzluluğunun başlangıç tuzluluk değerlerine yaklaştığı gözlenmiştir.

Şekil 4.11'de gösterildiği üzere topraktaki tuz birikimi özellikle üst toprak katmanlarında sulama suyunun tuzluluk derecesine bağlı olarak hızla artış göstermiştir. Araştırmada en yüksek sulama suyu tuzluluk düzeyi olarak ele alınan ECw 30 dS/m olan sulama suyu ile tam sulama yapılan SI30-100 konusunda ilk 10 cm derinlikteki toprak tuzluluğu ECe 6.75 dS/m seviyesine kadar ulaşmıştır. Aynı sulama suyu tuzluluk düzeyinde %67 ve %33 kısıntılı sulama konularında (SI30-67 ve SI30-33) bitki kök bölgesine daha az miktarda tuzlu su uygulandığından ilk 10 cm toprak derinliğinde ECe değerleri diğer araştırma konularından yüksek fakat SI30-100 konusundan daha düşük olmuştur.

Toprakta tuz birikimine ilişkin yapılan ölçüm ve gözlemler sulama suyu tuzluluk derecesi arttıkça bitki kök bölgesinde hızlı bir tuz birikiminin ortaya çıktığını göstermiştir. SI30-100 konusunda özellikle üst toprak katmanındaki tuz birikiminin toprağın fiziksel yapısını da etkilediği gözlenmiştir. Elde edilen bulgular tuzlu suların sulama amaçlı kullanılmasının sadece bitkiye etkilerinin değil toprak ve çevresel etkilerinin de göz önüne alınarak ciddi bir sulama yönetimi gerektirdiğini bir kere daha göstermiştir.

4.1.13. Stoma Direnci, (r_s)

Bitkilerde stoma davranışları, toprak-bitki-atmosfer döngüsü içerisinde bitkide su alımını ve transpirasyonu kontrol eden önemli bir fizyolojik tepkidir. Suyun toprak-bitki-atmosfer sistemi içinde hareketi topraktan bitki köküne, kökten de ksilem yoluyla yapraklara doğru, azalan su potansiyeli veya serbest enerji yönündedir (Kanemasu ve Tanner, 1969). Toprak su içeriği azaldıkça toprak ve

yaprak potansiyelleri de düşer buna bağlı olarak yapraklarda su eksikliği gelişir ve stoma davranışlarını kontrol eden bekçi hücreler turgor basıncını kaybeder. Bekçi hücrelerde turgorun düşmesi stomaların kapanmasına neden olur. Bitkideki su, süreklilik gösteren bir hidrolik sistem olarak görülebilir (Taiz ve Zeiger, 2008).

Kuraklık stresine bağlı olarak su eksikliği çeken bitkiler yapraklardan terleme yolu ile su kaybını azaltmak için stomalarını kapatarak dokularındaki su durumunu kontrol altında tutmaya çalışırlar. Bu durumda stoma iletkenliği düşer başka bir ifadeyle stoma direnci artar ve buna bağlı olarak transpirasyon ve fotosentez hızında düşüş ortaya çıkar. Bitki kök bölgesinde yüksek miktardaki tuzlar sahip oldukları düşük ozmotik potansiyel nedeniyle toprağın su potansiyelini düşürür böylece bitkilerde kuraklık stresine benzer bir etki yaratırlar. Tuzluluk ve kuraklık stresi arasındaki en önemli fark ise topraktaki toplam kullanılabilir su miktarıdır.

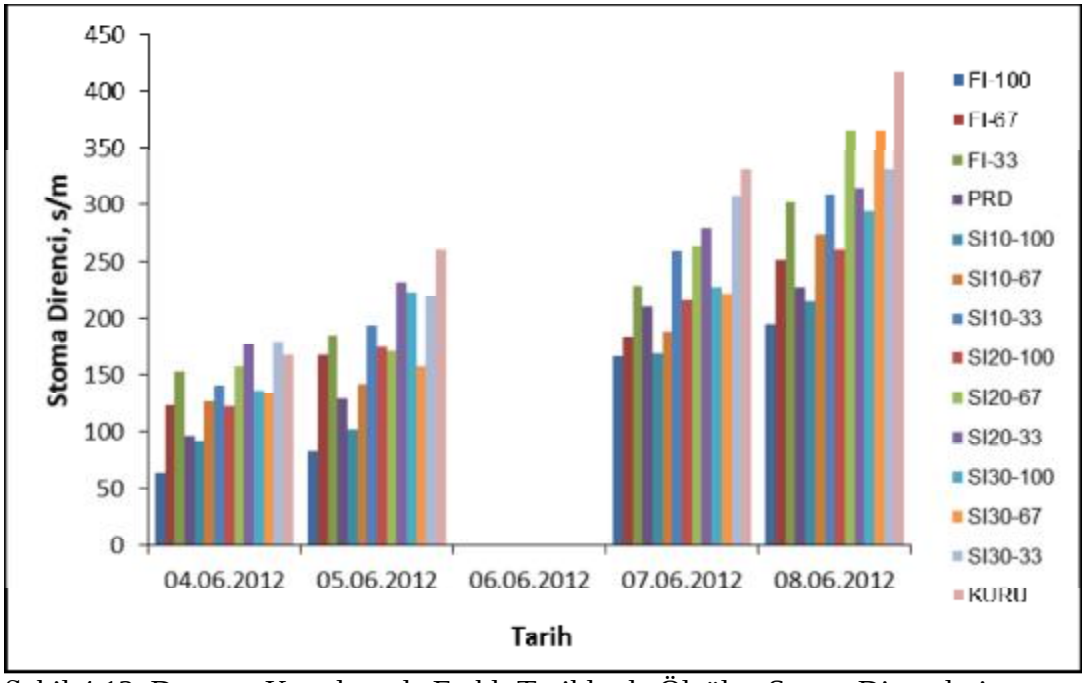
Çizelge 4.19. Deneme Konularında Sulama Öncesi ve İki Sulama Arasındaki Periyotta Ölçülen Stoma Direnci Değerleri

	Stoma Direnci (s/m)				
Konu	31.05.2012	04.06.2012	05.06.2012	07.06.2012	08.06.2012
FI-100	128	64	83	167	195
FI-67	128	124	167	183	251
FI-33	128	153	184	229	302
PRD	128	97	130	210	228
SI10-100	128	92	102	169	215
SI10-67	128	127	142	188	274
SI10-33	128	141	194	259	309
SI20-100	128	123	175	216	260
SI20-67	128	158	171	264	365
SI20-33	128	177	232	280	315
SI30-100	128	136	223	228	294
SI30-67	128	134	157	222	365
SI30-33	128	179	220	308	332
KURU	128	168	260	331	416

Deneme konularında farklı tarihlerde ölçülen stoma dirençleri Çizelge 4.19 ve Şekil 4.12'de verilmiştir. Tüm deneme konularında iki sulama arasında quinoa bitkisinin stoma direnci giderek yükselmektedir. Kanal suyu ile tam sulama konusu

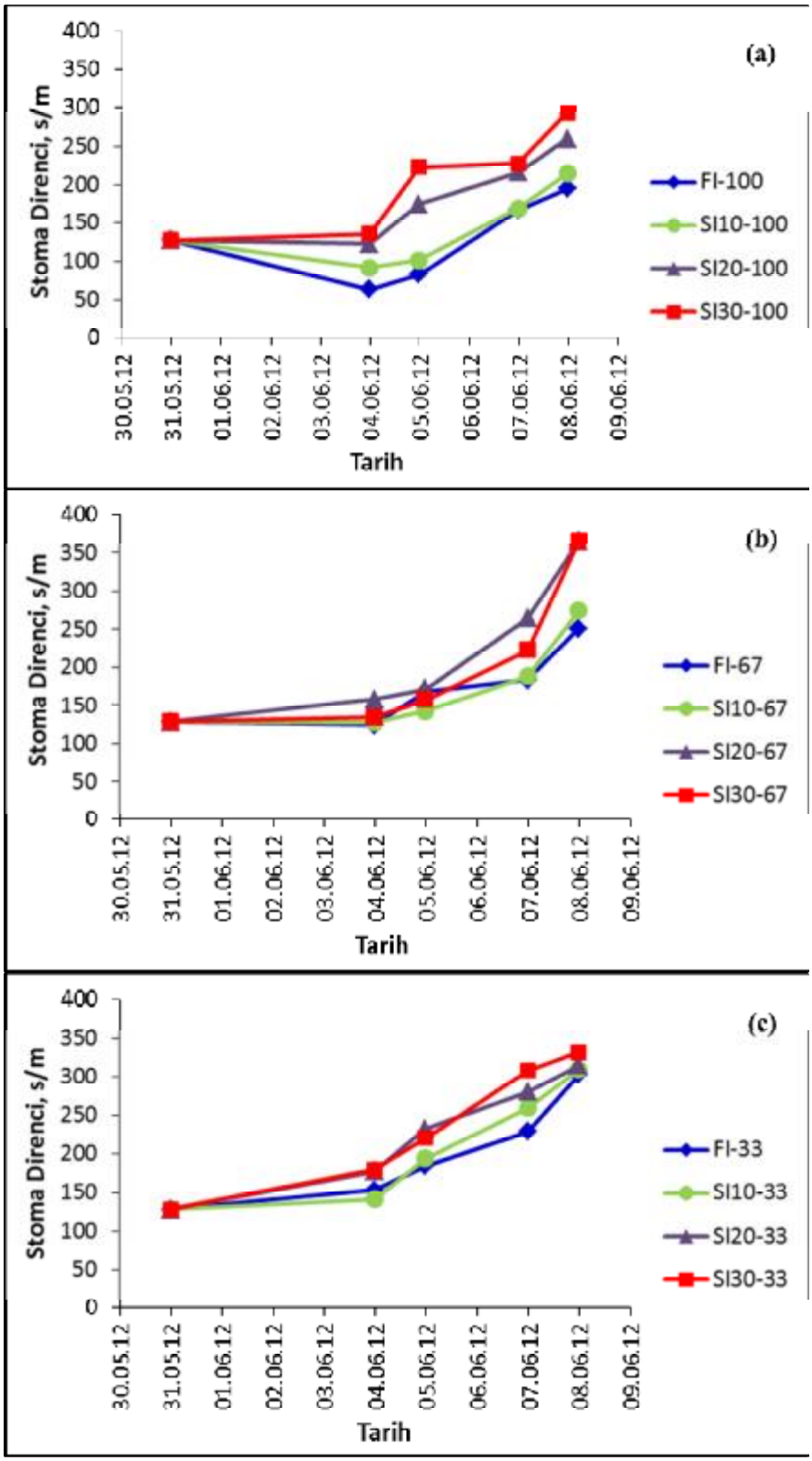
ile karşılaştırıldığında sulama suyu tuzluluk düzeyi ve uygulanan kısıntı oranına bağlı olarak stoma direncindeki artış daha belirgin bir biçimde ortaya çıkmaktadır. Araştırma konuları arasında en yüksek stoma direnci hiç sulama yapılmayan KURU konusunda ikinci sulamadan hemen önce 8 Haziran 2012 tarihinde 416 s/m olarak ölçülmüştür.

Deneme konularında 5 farklı tarihte ölçülen stoma dirençlerine ilişkin varyans analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre tüm tarihlerdeki stoma dirençleri istatistiksel olarak %0.1 önem seviyesinde deneme konularına göre önemli derecede farklılıklar göstermiştir. Farklı sulama suyu tuzluluk düzeyleri ve su uygulama stratejilerine göre quinoa bitkisinde farklı tarihlerde ölçülen stoma dirençlerine ilişkin varyans analiz sonuçları ve Duncan gruplandırmaları Ek Çizelge 3-Ek Çizelge 10'da verilmiştir.



Şekil 4.12. Deneme Konularında Farklı Tarihlerde Ölçülen Stoma Dirençleri

Sulama suyu tuzluluk derecesinin stoma direnci üzerindeki etkisini grafiksel olarak göstermek amacıyla araştırmada ele alınan tam sulama, %67 ve %33 kısıntılı sulama konularındaki stoma direncinin zamansal değişimi Şekil 4.13a,b,c'de ayrı ayrı karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.13a,b,c. Araştırmada Ele Alınan Tam Sulama Konularında (a), %67 Kısıntılı Sulama Konularında (b) ve %33 Kısıntılı Sulama Konularında (c) Stoma Direncinin Zamana Göre Değişimi

Tam sulama konuları olan FI-100, SI10-100, SI20-100 ve SI30-100 konuları kendi aralarında karşılaştırıldığında genel olarak tuzluluk düzeyi arttıkça stoma direncinin de yükseldiği görülmüştür. Araştırmada uygulanan en yüksek tuzluluk düzeyi olan ECw 30 dS/m sulama suyu tuzluluğunda ölçülen stoma direnci değerleri, tüm ölçüm tarihlerinde diğer tam sulama konularından daha yüksek olmuştur (Şekil 4.13a).

SI10-100 konusunda ölçülen stoma direnci değerleri genel olarak FI-100 konusuna yakın olmuştur. Sulama suyu tuzluluk düzeyi 20 dS/m ve üzerine çıktığında stoma direncinin FI-100 konusuna göre daha yüksek seyrettiği ve SI30-100 konusunda sulama öncesinde 294 s/m değerine ulaştığı görülmektedir (Şekil 4.13a).

Tam sulama konularında uygulanan sulama suyunun %67'sinin bitki kök bölgesine verildiği %67 kısıntılı sulama konularında stoma direncinin zamansal değişimi incelendiğinde; FI-67 ve SI10-67 konularında ölçülen stoma dirençlerinin iki sulama arası periyotta birbirine yakın değerlerde olduğu görülmektedir (Şekil 4.13b). SI20-67 ve SI30-67 konularında ölçülen stoma dirençleri ise sulamadan sonraki ilk günlerde FI-67 ve SI10-67 konularında ölçülen değerlere yakın iken sonraki günlerde söz konusu iki araştırma konusundaki stoma dirençleri yükselerek ikinci sulama öncesinde en yüksek değere ulaşmıştır. 8 Haziran tarihinde her iki araştırma konusu için (SI20-67 ve SI30-67) ölçülen stoma dirençleri 365 s/m olmuştur (Şekil 4.13b).

%33 kısıntılı sulama konuları kendi aralarında karşılaştırıldığında da benzer bir durumun ortaya çıktığı diğer bir deyişle sulama suyu tuzluluk derecesi arttıkça bitkide stoma direncinin yükseldiği gözlenmiştir (Şekil 4.13c). Toprak kurudukça tuz etkisi daha belirgin bir şekilde kendini göstermiş ve ikinci sulamadan hemen önce yapılan ölçümlerde stoma direnci FI-33 konusunda 302 s/m olarak ölçülürken SI10-33 konusunda 309 s/m, SI20-33 konusunda 315 s/m ve SI30-33 konusunda 332 s/m olarak belirlenmiştir.

Sulama suyu tuzluluğu ECw 10 dS/m olan araştırma konularında stoma direnci kanal suyu ile sulama konularına göre bir miktar yüksek olsa da genel olarak yakın değerlerde ölçülmüş fakat tuzluluk ECw 20 veya 30 dS/m'ye yükseldiğinde

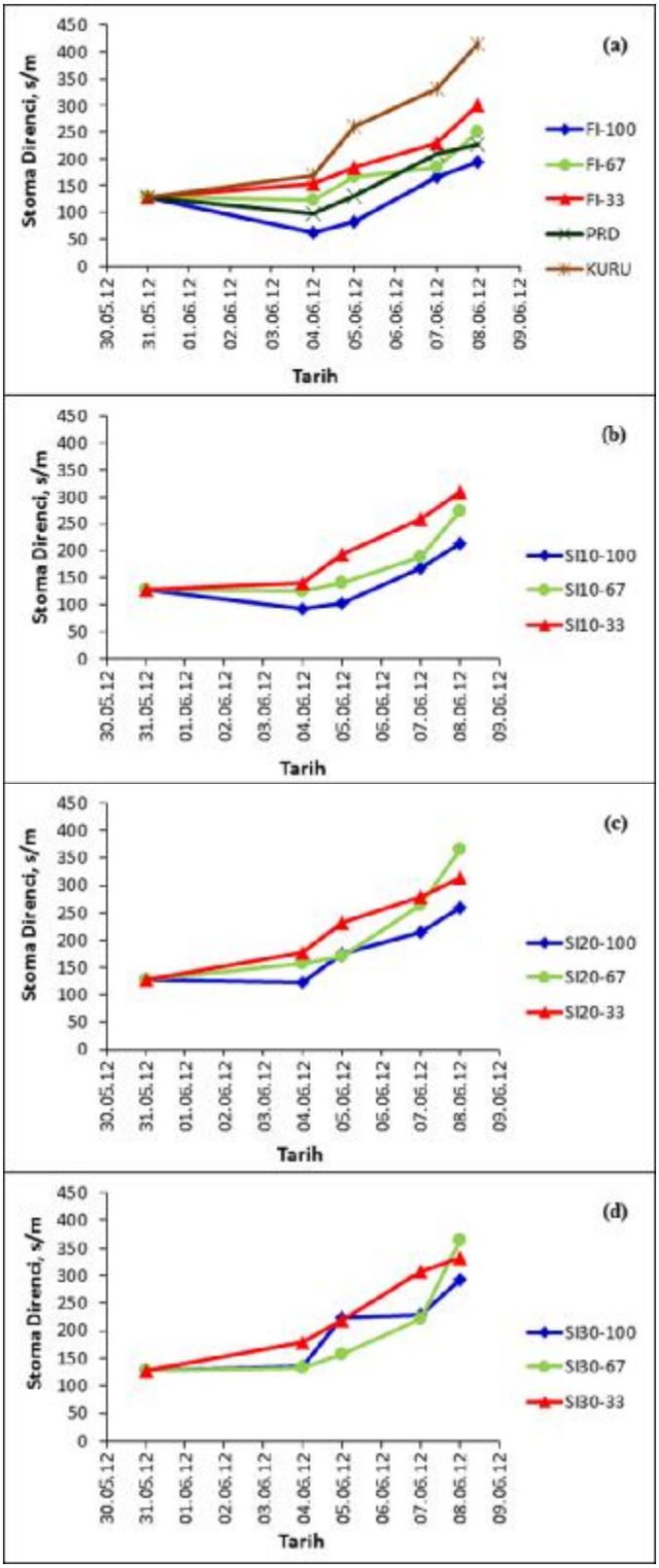
ölçülen stoma dirençleri daha yüksek olmuştur (Şekil 4.13a,b,c). Buna göre ECw 20 dS/m ve üzerinde olan sulama suyunun quinoa bitkisinin stoma direncini önemli ölçüde yükselttiği söylenebilir.

Sulama suyuna uygulanan kısıntı düzeyinin stoma direncini nasıl etkilediğini görebilmek amacıyla Şekil 4.14a,b,c,d'de her bir tuzluluk düzeyindeki sulama konularında stoma direncinin zamansal değişimi kendi içlerinde karşılaştırılmıştır.

Şekil 4.14a'da kanal suyu ile sulama konuları ve hiç sulama yapılmayan kuru konusu için stoma direncinin zamana göre değişimi verilmiştir. Kanal suyu ile tam sulama konusu olan FI-100 konusunda stoma direnci en düşük seviyelerde seyrederken, kısmi kök kuruluğu veya kısmi kök kuruluğu olarak tanımlanan ve %50 sulama suyu kısıntısı uygulanan PRD konusu ile %67 geleneksel kısıntılı sulama konularında stoma direnci birbirine yakın değerlerdir. Hiç sulama yapılmayan KURU konusunda ise stoma direnci diğer deneme konularına göre bariz bir biçimde yüksek seyretmiştir. Bu durum %33'lük kısıntılı sulamanın bile bitki su stresini önemli ölçüde hafiflettiğini göstermektedir.

Sulama suyu ECw 10 dS/m tuzluluk düzeyinde tam ve kısıntılı sulama konuları olan SI10-100, SI10-67 ve SI10-33 konularında stoma dirençlerinin zamana göre değişimi Şekil 4.14b'de verilmiştir. Bu tuzluluk düzeyinde tam sulama yapılan SI10-100 konusunda iki sulama arasındaki zaman diliminde ölçülen stoma dirençleri kısıntılı sulama konularından daha düşük olmuştur. Sulama suyuna uygulanan kısıntı miktarı arttıkça ölçülen stoma dirençleri de daha yüksek olmuştur. Buna göre iki sulama arasındaki bir haftalık periyotta ölçülen en yüksek stoma dirençleri SI10-33 konusunda iken SI10-67 konusunda ölçülen değerler SI10-100 konusunda ölçülenlerden yüksek fakat SI10-33 konusunda ölçülenlerden daha düşük olmuştur.

Şekil 4.14c ve Şekil 4.14d'de ise sırasıyla ECw 20 ve 30 dS/m tuzluluk düzeylerinde tam ve kısıntılı sulama konularında ölçülen stoma dirençlerinin zamana göre değişimi verilmiştir. Her iki grafikte de genel olarak kısıntılı sulama uygulamalarının stoma direncinin yükselmesine neden olduğu görülmektedir. Bununla birlikte ECw 20 ve 30 dS/m tuz düzeylerinde ikinci sulamadan hemen önce en yüksek stoma dirençlerinin beklenenin aksine %67 kısıntılı sulama konuları olan SI20-67 ve SI30-67 konularında ölçüldüğü görülmektedir.



Şekil 4.14a,b,c,d. Araştırmada Ele Alınan Kanal Suyu (a), ECw 10 dS/m (b), ECw 20 dS/m (c) ve ECw 30 dS/m (d) Tuzlu Su ile Sulama Konularında Stoma Direncinin Zamana Göre Değişimi

Bu durumun %67 kısıntılı sulama konularında sulama suyu ile birlikte bitki kök bölgesine %33 kısıntılı sulama konularına göre daha fazla tuz verilmesi sonucunda ortaya çıkan ozmotik stresten kaynaklandığı düşünülmektedir. Söz konusu tuzluluk düzeylerinde tam su konularında bitki kök bölgesine çok daha fazla tuz uygulanmasına rağmen kök bölgesindeki eksik nemin tamamının karşılanmış olması bitkide yatıştırıcı bir etki yaratmış ve stoma direnci %67 ve %33 kısıntılı sulama konularına göre daha düşük olmuştur.

Elde edilen bulgular sulama suyu tuzluluğundan kaynaklanan ozmotik etki ve bitki kök bölgesinde kullanılabilir su eksikliğinin quinoa bitkisinin stoma direncini arttıran faktörler olduğunu ortaya koymaktadır. Tuzluluk ve su stresinin bir arada ortaya çıkması ise tek başına tuz ya da kuraklık stresine göre daha yoğun bir etki yaratmıştır. Bununla birlikte en yüksek stoma direncinin KURU konusunda ölçülmüş olması quinoa bitkisinde yüksek tuzluluk düzeylerinde ve düşük hacimlerde bile sulama uygulamalarının bitkinin stresini azalttığını göstermektedir.

Jensen ve ark. (2000), quinoa bitkisinin dinamik stoma davranışları ile kuraklığın negatif etkilerinden korunduğunu belirtmiştir. Jacobsen ve ark. (2009), Danimarka'da yürüttükleri saksı denemesinde iyi sulanmış quinoa bitkisinde stoma direncinin 20.5 s/m ile 82 s/m arasında değiştiğini bildirmişlerdir.

Eisa ve ark. (2012), Hualhuas quinoa çeşidi ile yaptıkları araştırmada sulama suyu tuzluluğu arttıkça bitkide stoma direncinin de arttığı sonucuna varmışlardır. Araştırmada tatlı su ile sulanan quinoa bitkisinde stoma direnci 63 s/m olarak ölçülürken sulama suyu tuzluluğu 300 mM NaCl (ECw=29 dS/m) olan deneme konusunda stoma direnci 201 s/m; 500 mM NaCl (ECw=42 dS/m) olan deneme konusunda ise 484 s/m olarak ölçülmüştür.

Orsini ve ark. (2011), yürüttükleri saksı denemesinde 0 ile 750 mM NaCl arasında değişen 6 farklı tuz konsantrasyonuna sahip sularla sulanan quinoa bitkisinde stoma iletkenliğinin tuz konsantrasyonu ile ters orantı gösterdiğini belirtmiştir. Araştırmada tuzluluğu 150 mM NaCl (ECw=14.7) olan suyla sulanan quinoa bitkisinde stoma iletkenliğinin kontrol konusuna göre %60 oranında düştüğü; daha yüksek tuz konsantrasyonlarında ise bu düşüşün daha sert olduğu bildirilmiştir.

Razzaghi ve ark. (2011a), yürüttüğü saksı denemesinde ECw 0 dS/m olan sulama suyu ile her gün tam sulama yapılan quinoa bitkisinde 5 günlük stoma direnci değerlerinin 132.8 s/m ile 162.6 s/m arasında değiştiğini belirtmiştir. Sulama suyu ECw 40 dS/m olan su ile günlük olarak tam sulanan quinoa bitkisinin stoma direnci ise 172.4 s/m değerinden başlayarak 562 s/m düzeyine kadar çıkmıştır. Aynı çalışmada ECw 0 dS/m ve ECw 40 dS/m olan sularla her gün tam sulama yapılan quinoa bitkisi büyüme mevsiminin 56'ncı gününden itibaren 10 gün süreyle kuraklık stresi ile karşı karşıya bırakılmıştır. ECw 0 dS/m olan su ile sulanan ve kuraklık stresi uygulanan quinoa bitkisinde büyüme mevsiminin 60'ncı gününde 112 s/m olarak ölçülen stoma direnci 68'nci günde 757 s/m değerine ulaşmıştır. ECw 40 dS/m olan tuzlu su ile sulanan ve aynı şekilde kuraklık stresi ile karşı karşıya kalan quinoa bitkisinde ise stoma direnci 191 s/m ile 719 s/m arasında değişmiştir.

Fas'ta yürütülen bir araştırmada tam sulama yapılan quinoa bitkisinin 12.00 - 13.00 saatleri arasında ölçülen ortalama en düşük stoma direncinin 233 s/m olduğu belirtilirken, %50 kısıntılı sulama yapılan bitkide ise aynı saatlerde ortalama en düşük stoma direncinin 282 s/m olduğu bildirilmiştir. %50 kısıntılı sulama konusunda gün ortasında ortalama stoma direncinin 315 s/m olduğu belirtilmiştir (Hirich ve ark., 2014a).

Bosque Sanchez ve ark. (2003), Real çeşidi ile serada koşullarında yaptığı araştırma sonucunda kuraklık ve tuz stresinin quinoa bitkisinin stoma direncini artırdığını belirtmişlerdir. 2009-2010 yıllarında İtalya'da yapılan araştırmada kuraklık ve tuzluluk stresinin stoma iletkenliğinde düşüşlere neden olmasına rağmen verimde önemli bir etki yaratmadığı belirtilmiştir (Cocozza ve ark., 2013). Jacobsen ve ark. (2009), quinoa bitkisinin, toprak kurudukça yaprak su potansiyeli ve fotosentez hızını sürdürmeyi sağlayan hassas bir stoma kapatma mekanizmasına sahip olduğunu bildirmişlerdir.

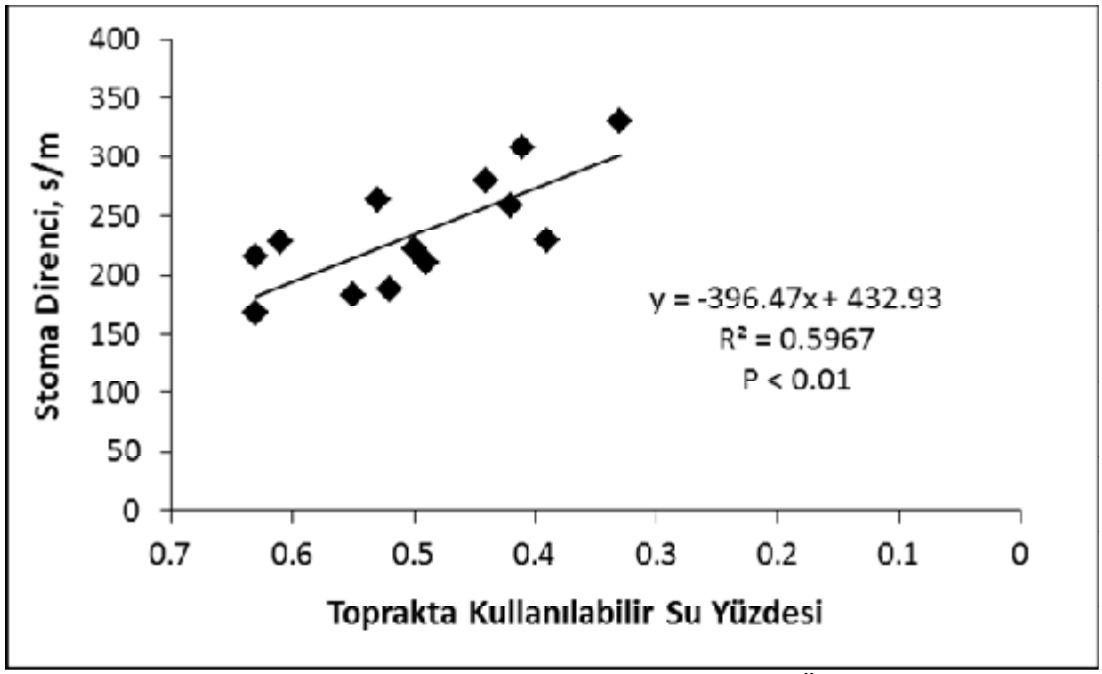
Yukarıda sözü edilen araştırmalardaki quinoa bitkisinin stoma direncine ilişkin sonuçlardan, bu araştırmada elde edilen bulgularla benzerlikler gösterenler olduğu gibi oldukça farklı sonuçlar da söz konusudur. Stoma direnci tek başına topraktaki kullanılabilir suyun ya da tuzluluğun bir fonksiyonu olmayıp aynı zamanda bitki çeşidi, hava sıcaklığı, ışık, havanın kimyasal kompozisyonu

(kirleticiler) ve aerodinamik koşullar gibi hem çevresel hem de fizyolojik koşulların bir fonksiyonudur (Kanemasu ve Tanner, 1969). Bu nedenle farklı çevresel koşullar altında aynı bitki çeşidinde dahi farklı stoma dirençlerinin ortaya çıkması olağandır.

Öte yandan stoma tepkileri, özellikle stresli koşullarda bitkinin transpirasyonu etkili bir şekilde aşağı çekerek düzenlemesine izin verdiğinden, halofitler de dahil olmak üzere bitki performansının önemli bir göstergesi olarak kabul edilmektedir (Orsini ve ark., 2011). Elde edilen bulgular ışığında kuraklık ve tuzluluk stresi koşullarında quinoa bitkisinin etkili stoma davranışları ile stoma direncini artırarak tepki gösterdiği ve böylece transpirasyonu kontrol altında tuttuğu söylenebilir.

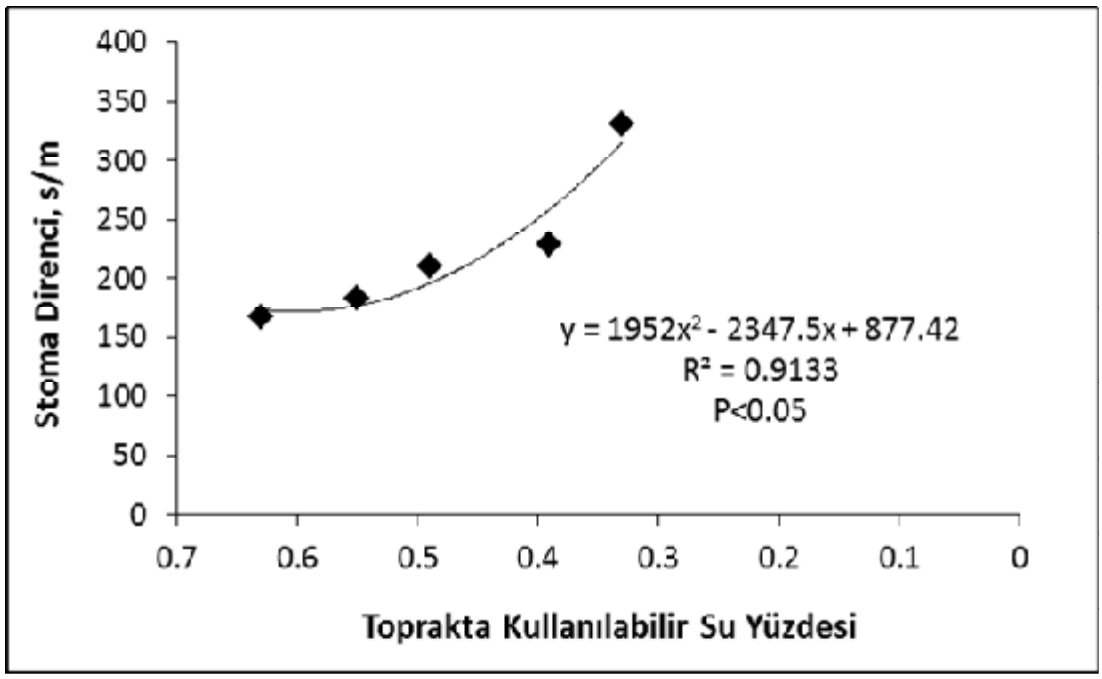
4.1.13.1. Stoma Direnci ile Kullanılabilir Su Yüzdesi (RAW) Arasındaki İlişki

Stoma direnci (r_s) ile toprakta kullanılabilir su yüzdesi (RAW) arasındaki ilişkilerin belirlenmesi amacıyla tüm deneme konularında 7 Haziran 2012 tarihinde ölçülen stoma dirençleri ve RAW değerleri arasında korelasyon analizi yapılmıştır (Şekil 4.15).



Şekil 4.15. 7 Haziran 2012 Tarihinde Deneme Konularında Ölçülen Stoma Direnci ile Toprakta Kullanılabilir Su Yüzdesi Arasındaki İlişki

Şekil 4.15'te, araştırmada ele alınan tüm konular yani hem kanal suyu ile sulama hem de tuzlu su ile sulama konuları için r_s ile RAW arasında R^2=0.60 olan istatistiksel olarak önemli bir ilişki bulunmuştur. Bununla birlikte tuzlu su ile sulama konularında, bitki kök bölgesindeki yüksek tuz konsantrasyonundan kaynaklı toprak ozmotik potansiyelindeki düşüşün, toprakta toplam kullanılabilir su miktarı yüksek olsa dahi, bitkide kuraklık benzeri bir etki yaratabileceği bilinmektedir. Bu nedenle Şekil 4.16'da sadece kanal suyu ile sulama (FI-100, FI-67, FI-33 ve PRD) konuları ile KURU konusu ele alınarak stoma direnci ile kullanılabilir su yüzdesi arasında R^2=0.91 olan r_s= 1952RAW^2-2347.5RAW+877.42 şeklinde bir ilişki belirlenmiştir.



Şekil 4.16. 7 Haziran 2012 Tarihinde FI-100, FI-67, FI-33, PRD ve KURU Konularında Ölçülen Stoma Direnci (r_s) ile Toprakta Kullanılabilir Su Yüzdesi (RAW) Arasındaki İlişki

4.1.14. Yaprak Su Potansiyeli, (Ψ_l)

Yaprak su potansiyeli (Ψ_l), kuraklık ve tuzluluk stresi koşullarında bitkide su durumunun önemli bir göstergesi olarak kabul edilmektedir. Araştırmada iki sulama arasında basınç odacığı (pressure chamber) kullanılarak yaprak su potansiyeli ölçümleri yapılmıştır. Gün ortasında (12.00-14.00 saatleri arasında), her parselden

koparılan iki yaprak örneği hemen sap kısmı dışarıda kalacak şekilde basınç odacığına yerleştirilerek yaprağın sap kısmında su zerreciği belirinceye kadar yaprağa basınç uygulanması şeklinde yapılmıştır. Su zerreciğinin görüldüğü anda ölçülen basınç yaprak su potansiyelini göstermektedir.

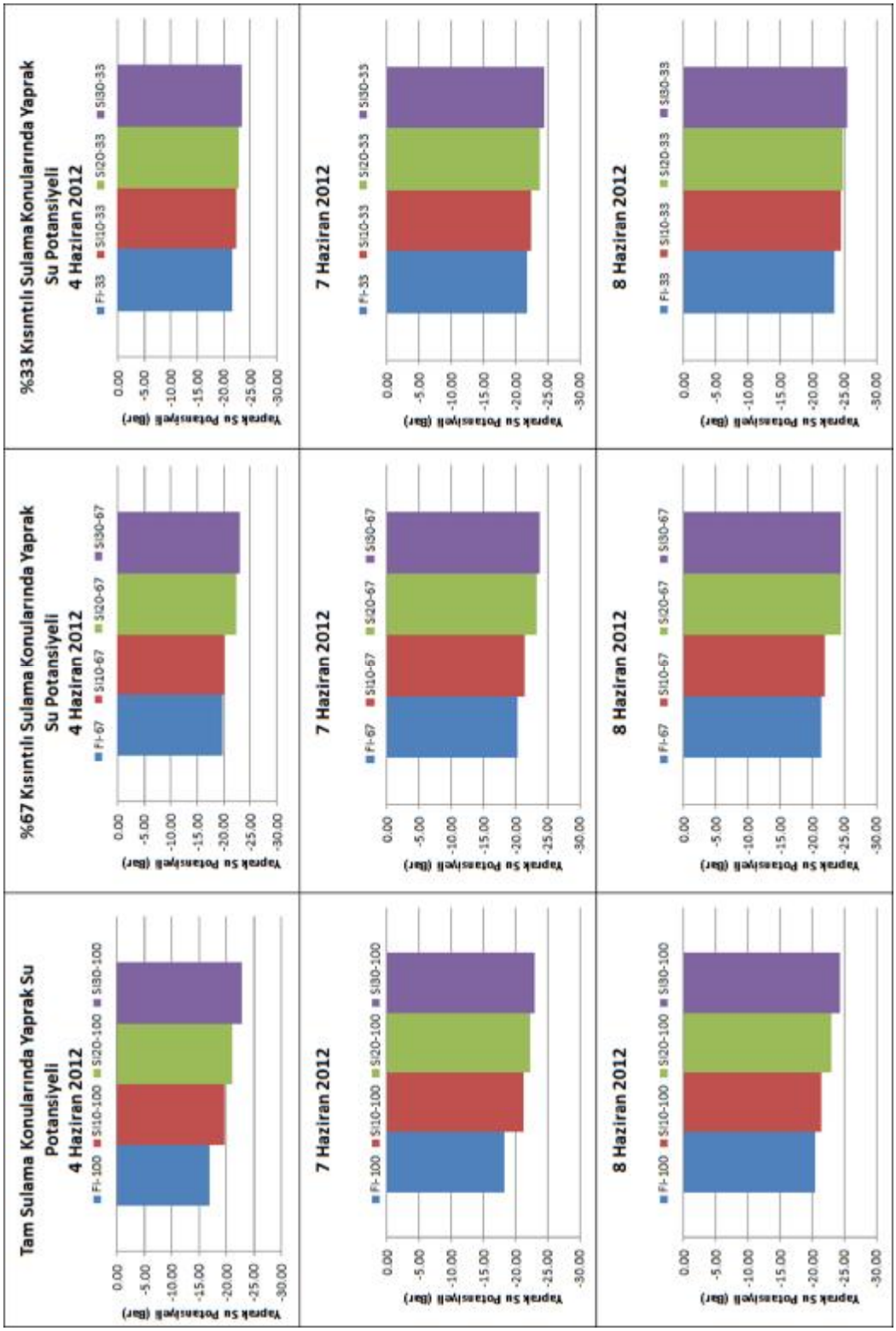
Çizelge 4.20'de 4, 7 ve 8 Haziran tarihlerinde ölçülen yaprak su potasiyelleri verilmiştir. Deneme konularında en yüksek Ψ_l, 4 Haziran 2012 tarihinde FI-100 konusunda -17.0 bar olarak ölçülmüştür. Aynı araştırma konusunda topraktaki kullanılabilir su azaldıkça Ψ_l'nin düştüğü ve 8 Haziran 2012 tarihinde -20.50 bar'a ulaştığı belirlenmiştir. Araştırmada ilk sulama tarihinden sonra 4 Haziran 2012 tarihinde yapılan ölçümlerde en düşük Ψ_l, SI30-33 konusunda -23.50 bar olarak ölçülürken, ikinci sulamanın hemen öncesinde (8 Haziran 2012 tarihinde) en düşük Ψ_l değeri KURU konusunda -26.50 bar olarak belirlenmiştir. Genel olarak tüm deneme konularında ilk sulamadan itibaren ikinci sulamaya kadar toprak kurudukça yaprak su potansiyellerinin düştüğü gözlenmiştir.

Çizelge 4.20. Deneme Konularında İki Sulama Arasındaki Periyotta Ölçülen Yaprak Su Potansiyelleri

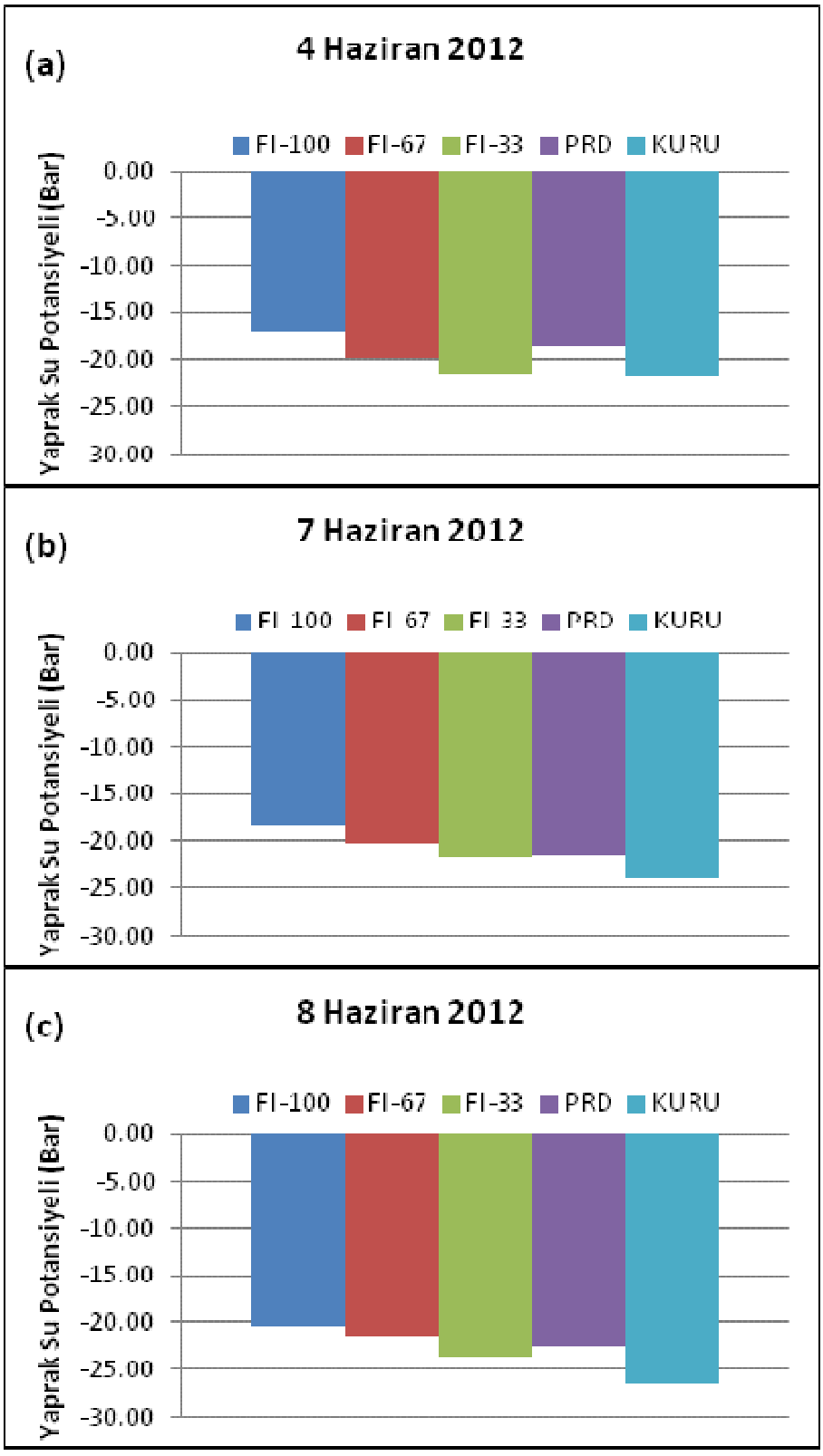
Konular	Yaprak Su Potansiyeli, (bar)		
	04.06.2012	07.06.2012	08.06.2012
FI-100	-17.00	-18.25	-20.50
FI-67	-19.80	-20.25	-21.50
FI-33	-21.50	-21.75	-23.50
PRD	-18.50	-21.50	-22.50
SI10-100	-19.75	-21.25	-21.50
SI10-67	-20.25	-21.50	-22.00
SI10-33	-22.30	-22.50	-24.50
SI20-100	-21.00	-22.25	-23.00
SI20-67	-22.50	-23.25	-24.50
SI20-33	-22.75	-23.75	-24.75
SI30-100	-22.75	-23.00	-24.25
SI30-67	-23.00	-23.75	-24.50
SI30-33	-23.50	-24.50	-25.50
KURU	-22.00	-24.00	-26.50

Üç farklı tarihte ölçülen yaprak su potansiyellerine ilişkin istatistiksel analiz sonuçlarına göre araştırma konularında her bir tarihte ölçülen yaprak su potansiyellerinin %0.1 önem düzeyinde istatistiksel olarak farklı olduğu belirlenmiştir. Varyans analiz sonuçları ve Duncan gruplandırmaları Ek Çizelge 11-Ek Çizelge 16'da verilmiştir. Sulama suyu tuzluluk derecesinin yaprak su potansiyeli üzerindeki etkisini grafiksel olarak göstermek amacıyla 4, 7 ve 8 Haziran tarihlerinde tam sulama, %67 kısıntılı sulama ve %33 kısıntılı sulama konularında ölçülen yaprak su potansiyellerinin kendi aralarında karşılaştırmaları Şekil 4.17'de verilmiştir.

Tam sulama konuları birbirleri ile karşılaştırıldığında her üç ölçüm tarihinde de sulama suyu tuzluluk düzeyi arttıkça yaprak su potansiyellerinin düştüğü görülmektedir (Şekil 4.17). Örneğin 4 Haziran tarihinde FI-100 konusunda Ψ_l -17.0 bar iken SI10-100 konusunda -19.75, SI20-100 konusunda -21.0 bar, SI30-100 konusunda ise -22.75 bar olarak ölçülmüştür. Toprak kurudukça söz konusu dört deneme konusunda Ψ_l değerleri daha da azalmıştır. İki sulama arasındaki zaman diliminde toprak su içeriğinin en düşük değerlerde olduğu 8 Haziran 2012 tarihli ölçümlerde Ψ_l, FI-100 konusunda -20.5 bar'a düşerken ozmotik etkinin en yüksek olduğu SI30-100 konusunda -24.25 bar'a ulaşmıştır. Benzer durum %67 ve %33 kısıntılı sulama konuları için de geçerlidir. Tüm sulama düzeylerinde sulama suyu tuzluluğu yükseldikçe ölçülen Ψ_l değerleri azalmıştır. Yaprak su potansiyellerindeki bu değişim tuzlu su ile sulamanın etkisini ortaya koymaktadır (Şekil 4.17).



Şekil 4.17. 4 Haziran, 7 Haziran ve 8 Haziran 2012 tarihlerinde ölçülen yaprak su potansiyellerinin tam sulama, %67 kısıntılı sulama ve %33 kısıntılı sulama konuları içerisinde ayrı ayrı karşılaştırılması

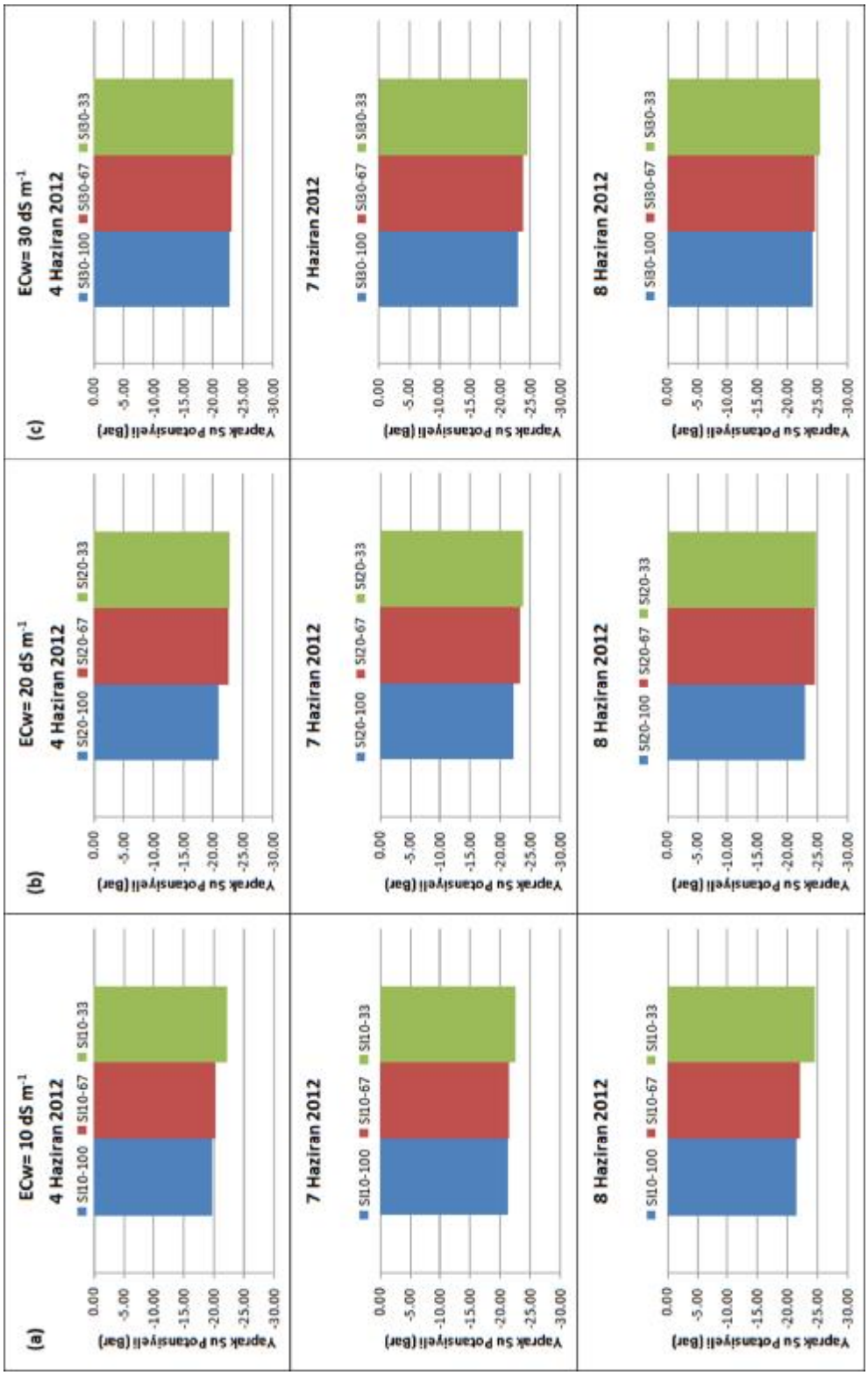


Şekil 4.18a,b,c. Kanal Suyu ile Sulama Konuları ve KURU Konusunda 4 Haziran (a), 7 Haziran (b) ve 8 Haziran (c) 2012 Tarihlerinde Ölçülen Yaprak Su Potansiyellerinin Karşılaştırılması

Şekil 4.18a,b,c'de kanal suyu ile sulama konuları ve KURU konusunda farklı tarihlerde ölçülen yaprak su potansiyelleri karşılaştırılmıştır. Böylece tek başına sulama suyu kısıntısının yaprak su potansiyelinde yarattığı değişim gösterilmeye çalışılmıştır. Şekil 4.18a,b,c'de görüldüğü gibi sulama suyundaki kısıntı yaprak su potansiyelinin negatif yönde yükselmesine neden olmuş ve tüm ölçüm tarihlerinde negatif olarak en yüksek Ψ_l değerleri KURU konusunda ortaya çıkmıştır. Bu durum kısıntılı sulama konuları ve KURU konusunda toprakta kullanılabilir suyun kıt olması nedeniyle toprak su potansiyelinin düşük olması ve bitkinin kökleri ile topraktan su alımını gerçekleştirebilmesi için Ψ_l'ni belli bir denge oluşturacak şekilde düşürmesi şeklinde açıklanabilir.

Benzer şekilde 10, 20 ve 30 dS/m tuzluluk düzeylerindeki deneme konuları için de yaprak su potansiyelleri ayrı ayrı grafiklenmiş ve farklı tuz düzeylerinde uygulanan sulama suyu kısıntısının yaprak su potansiyeli üzerine etkileri görülmeye çalışılmıştır (Şekil 4.19a,b,c). Genel olarak sulama suyundaki kısıntı tüm tuz düzeylerinde yaprak su potansiyelinin düşmesine neden olmuştur. Yaprak su potansiyellerindeki bu düşüşlerin sulama suyunda uygulanan kısıntı miktarıyla yakından ilişkili olduğu görülmektedir.

Şekil 4.19a,b,c'de görüldüğü gibi tüm tuzluluk düzeylerinde sulama suyunda kısıntı miktarı arttıkça ölçülen yaprak su potansiyelleri daha düşük olmuştur. Örneğin 4 Haziran 2012 tarihinde, 10 dS/m tuz düzeyinde tam sulama konusu olan SI10-100 konusunda Ψ_l -19.75 bar iken, %67 kısıntılı sulama konusu olan SI10-67 konusunda -20.25 bar, tam sulama konusuna uygulanan suyun sadece %33'ünün uygulandığı SI10-33 konusunda ise -22.30 bar olmuştur. Topraktaki kullanılabilir su miktarı azaldıkça her üç araştırma konusunda da ölçülen Ψ_l değerleri giderek azalmış ve ikinci sulamadan hemen önce yapılan ölçümlerde en düşük değerlere ulaşmıştır. Buna göre 8 Haziran 2012 tarihinde ölçülen Ψ_l, SI10-100 konusunda -21.5 bar, SI10-67 konusunda -22.0 bar ve SI10-33 konusunda -24.50 bar olmuştur. Sulama suyuna uygulanan kısıntı miktarına bağlı olarak topraktaki kullanılabilir su miktarı azaldıkça Ψ_l daha fazla düşmüştür.



Şekil 4.19a,b,c. 10 (a), 20 (b) ve 30 dS/m (c) sulama suyu tuzluluk düzeylerindeki deneme konularında 4, 7 ve 8 Haziran 2012 tarihlerinde ölçülen yaprak su potansiyellerinin kendi aralarında karşılaştırılması

Bununla birlikte özellikle 20 ve 30 dS/m tuzluluk düzeyindeki deneme konuları incelenecek olursa bu tuzluluk düzeylerinde %67 ve %33 kısıntılı sulama konularında yaprak su potansiyellerinin birbirine yakın değerlerde olduğu görülmektedir. Bu tuzluluk düzeylerinde tuz etkisinin uygulanan kısıntılı sulama etkisinden daha fazla öne çıktığı söylenebilir.

Yukarıda ifade edilen bulgular sulama suyuna uygulanan kısıntı miktarı ile sulama suyu tuzluluk derecesinin quinoa bitkisinde yaprak su potansiyelinin düşmesine neden olan iki unsur olduğunu ortaya koymaktadır. Sulama suyu kısıntısı arttıkça bitki tarafından su alımının gerçekleşmesi için Ψ_l daha da düşük olmuştur. Benzer şekilde tuzlu su ile sulama konularında düşük ozmotik potansiyel nedeniyle toplam toprak su potansiyeli düşük olduğundan bitki su durumunu kontrol altına almak için Ψ_l'ni düşürmüştür. Bitki kök bölgesinde tuzluluk ve kuraklık stresinin bir arada ortaya çıkması ikili bir etki yaratmış ve sadece kuraklık ya da sadece tuzluluk stresinin olduğu koşullara göre bitkide daha düşük Ψ_l değerleri ortaya çıkmıştır. Buna göre quinoa bitkisinin kuraklık ve tuzluluk stresine gösterdiği tepkilerden birinin de yaprak su potansiyelini düşürmek olduğu; bu fizyolojik tepkinin aşırı tuzlu ve yoğun kuraklık koşullarında bitkinin su durumunu kontrol etmek ve canlılığını sürdürmek için kullandığı mekanizmalardan biri olduğu söylenebilir.

Eisa ve ark. (2012), kontrol koşullarında quinoa bitkisinin yaprak su potansiyelinin -6 bar olduğunu; bitkinin 500 mM NaCl (ECw=42 dS/m) tuzluluk düzeyindeki su ile sulandığında ise yaprak su potansiyelinin önemli bir düşüş göstererek -50.0 bar'a ulaştığını bildirmiştir. Araştırmada bitkinin yaprak su potansiyelini etkili bir şekilde toprak su potansiyeli altına düşürebildiği belirtilmiştir.

Razzaghi ve ark. (2011a) tarafından yürütülen saksı denemesinde ECw 0 dS/m ve ECw 40 dS/m olan sularla her gün sulanan quinoa bitkisi büyüme mevsiminin 56'ncı gününden itibaren 10 gün süreyle kuraklık stresi ile karşı karşıya bırakılmıştır. Araştırmada ECw 0 dS/m olan su ile sulanan quinoa bitkisinde yaprak su potansiyelinin kuraklık periyodu boyunca -8.0 bar düzeyinde neredeyse sabit kaldığı belirtilmiştir. Tuzlu suyla sulanan quinoa bitkisinde ise Ψ_l'nin kuraklık periyodunun başında -17.0 bar iken 10 günlük periyodun sonuna doğru -26.0 bar'a kadar düştüğü bildirilmiştir.

Garcia ve ark. (1991), su stresinin olmadığı koşullarda quinoa bitkisinde Ψ_l'nin -5.0 ile -10.0 bar arasında olduğunu, stresli koşullarda ise -15.0 bar'a düştüğünü ifade etmiştir. Ayrıca söz konusu araştırmada, kuru (sulamasız) koşullarda quinoa bitkisinin Ψ_l'nin -30.0 bar'a kadar düştüğü belirtilmiştir.

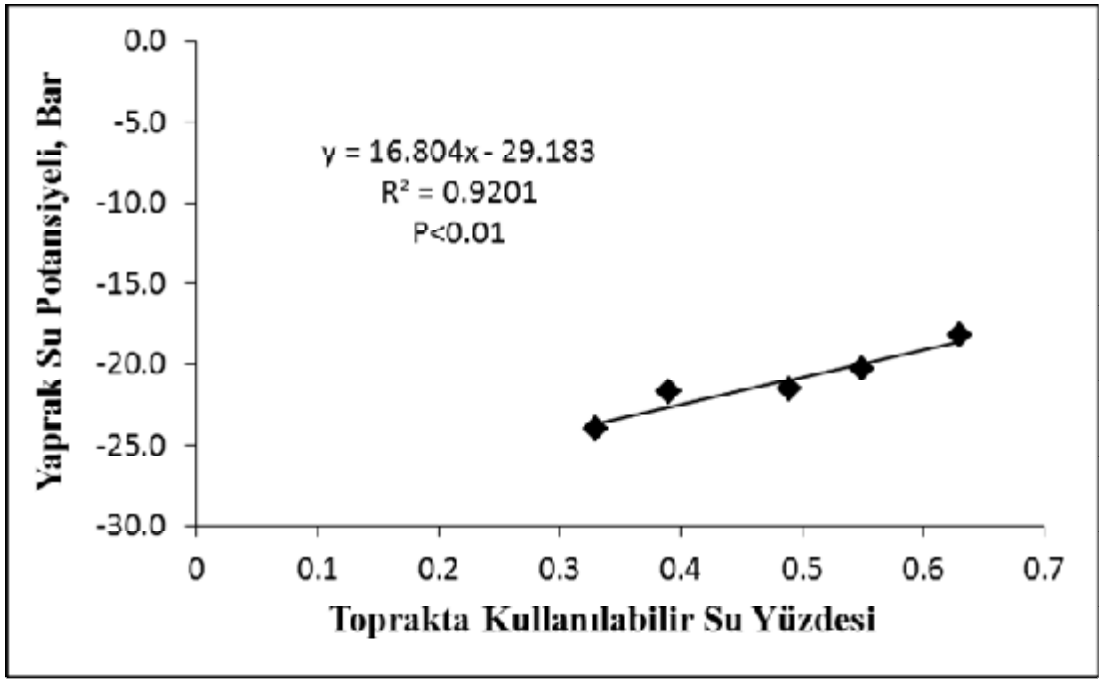
Jensen ve ark. (2000), Danimarka'da yürüttükleri saksı ve lizimetre denemeleri sonucunda kuraklık stresi çeken quinoa bitkisinde yaprak su potansiyelinin -20.0 bar altına düştüğünü saptamışlardır. Buna karşılık Jacobsen ve ark. (2009), çevre kontrollü sera ortamında yürüttükleri çalışmada günlük olarak sulanan quinoa bitkisinin sulama kesilerek kuraklık stresine maruz bırakılması durumunda en az 10 gün boyunca yaprak su potansiyelinin -10.0 bar altına düşmeksizin hemen hemen stabil kaldığını bildirmişlerdir.

İtalya'da yapılan bir araştırmada 2009 yılında kanal suyu ile tam sulama yapılan quinoa bitkisinde Ψ_l -14.7 bar olarak belirlenirken tuzlu (ECw=22 dS/m) suyla %50 kısıntılı sulama yapılan bitkide -24.3 bar olarak ölçülmüştür. 2010 yılında ise Ψ_l değerlerinin -8.0 bar ile -22.2 bar arasında değiştiği belirtilmiştir (Cocozza ve ark., 2013).

Yukarıdaki araştırma sonuçları ve bu çalışmada elde edilen bulgulara göre quinoa bitkisi farklı çevresel koşullarda kuraklık ve tuzluluk stresine yaprak su potansiyelini ayarlayarak tepki vermektedir. Böylece düşük toprak su potansiyelinde su alımı için potansiyel gradyentin devamlılığını sağlamaktadır.

4.1.14.1. Yaprak Su Potansiyeli ile Toprakta Kullanılabilir Su Yüzdesi Arasındaki İlişki

Yaprak su potansiyeli (Ψ_l) ile toprakta kullanılabilir su yüzdesi (RAW) arasındaki ilişkilerin belirlenmesi amacıyla FI-100, FI-67, FI-33 ve KURU konularında 7 Haziran 2012 tarihinde ölçülen yaprak su potansiyelleri ve RAW değerleri arasında regresyon analizi yapılmıştır (Şekil 4. 20).



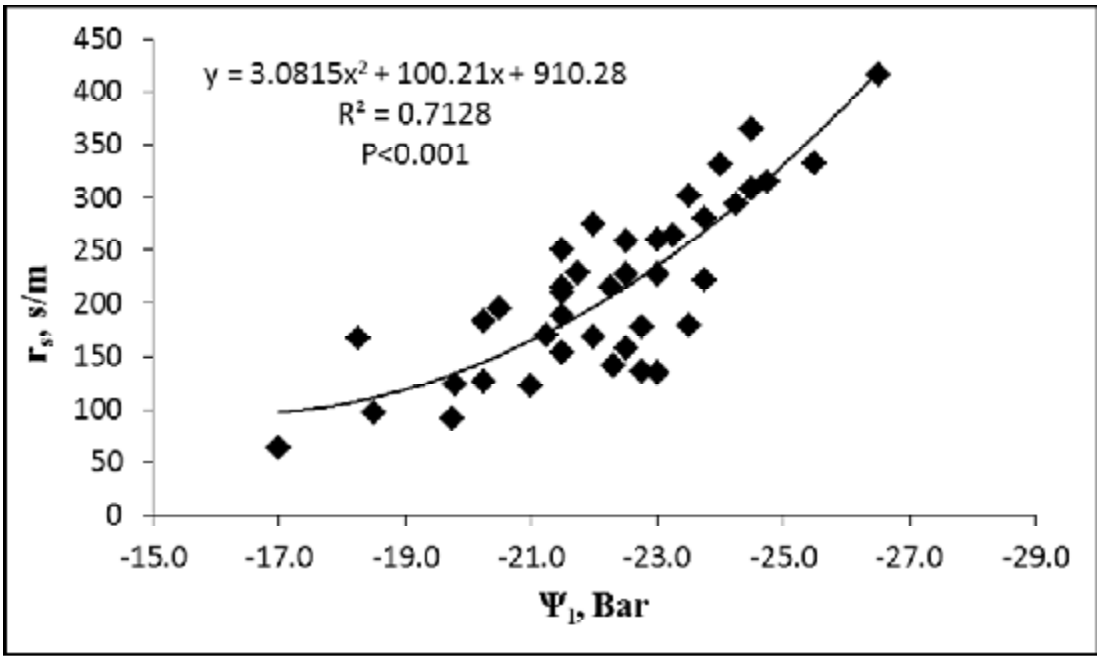
Şekil 4.20. 7 Haziran 2012 Tarihinde FI-100, FI-67, FI-33, PRD ve KURU Konularında Ölçülen Ψ_l ile RAW Arasındaki İlişki

Şekil 4.20'de görüldüğü gibi topraktaki kullanılabilir su miktarı azaldıkça quinoa bitkisinin Ψ_l düşmektedir. Yaprak su potansiyeli ile kullanılabilir su yüzdesi arasında R^2=0.92 olan Ψ_l=16.804RAW-29.183 şeklinde doğrusal bir ilişki belirlenmiştir.

Cocozza ve ark. (2013), İtalya'da Titicaca quinoa çeşidini kullanarak yaptıkları çalışmada Ψ_l ile RAW arasında R^2=0.60 olan Ψ_l=-4.07+0.034RAW şeklinde bir ilişki belirlemişlerdir.

4.1.14.2. Yaprak Su Potansiyeli ile Stoma Direnci Arasındaki İlişki

Araştırmada farklı tuz düzeylerinde farklı sulama stratejileri uygulanarak sulanan quinoa bitkisinin yaprak su potansiyeli ve stoma direnci arasında R^2= 0.71 olan r_s=3.0815RAW^2+100.21RAW+910.28 şeklinde istatistiksel olarak %0.1 önem düzeyinde anlamlı ikinci dereceden bir ilişki belirlenmiştir (Şekil 4.21).



Şekil 4.21. Damla Sistemiyle Farklı Tuz Düzeyleri ve Sulama Stratejileri Uygulanarak Sulanan Quinoa Bitkisinde Ψ_l ile r_s Arasındaki İlişki

Bilim çevrelerince stoma direnci ile ilgili kabul edilen önemli bir varsayım; stoma direncinin yaprak su potansiyelinden nispeten bağımsız olduğu ve bitkide yaprak su potansiyelinin belirli bir kritik değerin altına düşmesi ile birlikte stoma direncinin ani ve keskin bir şekilde yükseldiği şeklinde ifade edilmektedir (Lynn ve Carlson, 1990).

Cocozza ve ark. (2013), İtalya'da yaptıkları çalışmada quinoa bitkisinin yaprak su potansiyelinin -8.0 bar'dan -12.0 bar'a azalması durumunda stoma iletkenliğinin ani ve keskin bir şekilde düştüğünü belirtmiştir.

Jensen ve ark. (2000), quinoa bitkisi kuraklığa toleranslı bir bitki olduğu için serada veya tarlada yetiştirilen quinoa bitkisinin Ψ_l'nin -12.0 bar'ın altına -16.0 bar'a kadar düşmeden önce stomaların kapanmadığını belirtmiştir.

Danimarka'da yürütülen bir başka çalışmada ise quinoa bitkisinin Ψ_l -10.0 bar'a ulaşmadan önce stomaların zaten kapanmaya başladığını bildirilmiştir (Jacobsen ve ark., 2009).

Yukarıda belirtilen araştırmalarda elde edilen ve birbirinden farklılık gösteren sonuçların çevresel koşulların ve bitki çeşidinin farklılığından kaynaklandığı söylenebilir.

4.1.15. Bitki Taç Sıcaklığı ile Hava Sıcaklığı Farkı, (Tc-Ta)

Araştırmada, ilk sulamadan bir gün önce ve iki sulama arasındaki günlerde deneme konularında gün ortasında (12.00- 14.00 saatleri arasında) ölçülen bitki taç sıcaklıkları ile hava sıcaklıkları arasındaki farklar (Tc-Ta) Çizelge 4.21'de verilmiştir. Ayrıca 4, 5, 6, 7 ve 8 Haziran 2012 tarihlerinde deneme konularında ölçülen Tc-Ta değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları ve Duncan gruplandırmaları Ek Çizelge 17- Ek Çizelge 26'da verilmiştir. Araştırma konularında belirlenen Tc-Ta değerleri istatistiksel olarak %0.1 önem düzeyinde farklı bulunmuştur.

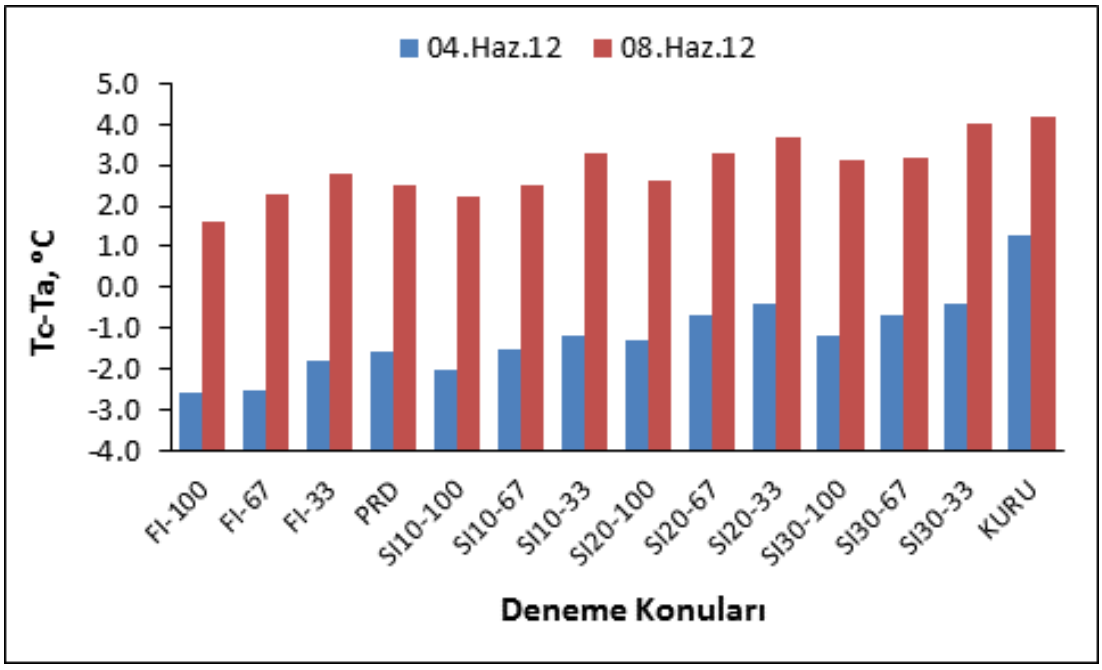
Çizelge 4.21. Deneme Konularında Farklı Tarihlerde Ölçülen Bitki Taç Sıcaklığı ile Hava Sıcaklığı Farkları

Konular	Tc-Ta, (°C)					
	31.05.2012	4.06.2012	5.06.2012	6.06.2012	7.06.2012	8.06.2012
FI-100	0.3	-2.6	-1.0	0.9	1.2	1.6
FI-67	0.3	-2.5	-0.8	1.3	1.9	2.3
FI-33	0.3	-1.8	0.4	1.6	2.4	2.8
PRD	0.3	-1.6	0.4	1.1	2.2	2.5
SI10-100	0.3	-2.0	0.4	1.4	1.5	2.2
SI10-67	0.3	-1.5	1.4	2.2	2.2	2.5
SI10-33	0.3	-1.2	1.5	2.2	3.0	3.3
SI20-100	0.3	-1.3	0.5	1.7	2.1	2.6
SI20-67	0.3	-0.7	1.7	2.5	2.7	3.3
SI20-33	0.3	-0.4	2.1	3.2	3.5	3.7
SI30-100	0.3	-1.2	0.3	2.2	3.0	3.1
SI30-67	0.3	-0.7	1.4	2.7	3.1	3.2
SI30-33	0.3	-0.4	1.9	3.4	3.9	4.0
KURU	0.3	1.3	2.9	3.8	4.0	4.2

Tüm deneme konularında ilk sulamadan birkaç gün sonra bitki taç sıcaklıkları hava sıcaklığından daha düşük iken toprak kurudukça bitkideki su durumu değişmeye ve buna bağlı olarak bitki taç sıcaklıkları yükselmeye başlamıştır. En yüksek Tc-Ta farkı KURU konusunda 4.2 ºC olarak hesaplanmıştır ve bunu takiben

en yüksek tuzluluk düzeyinde en çok sulama suyu kısıntısı uygulanan SI30-33 konusunda Tc-Ta farkı 4 ºC olarak belirlenmiştir.

Genel olarak sulama suyu tuzluluk düzeyi ve sulama suyu kısıntısı arttıkça bitkide ortaya çıkan su stresinin bir sonucu olarak bitki taç sıcaklıkları yükselmeye başlamıştır. İkinci sulamadan hemen önce yapılan ölçümlerde ise bitki taç sıcaklığı-hava sıcaklığı farklarının en yüksek seviyelere ulaştığı görülmüştür (Şekil 4.22).



Şekil 4.22. Deneme Konularında 4 ve 8 Haziran 2012 Tarihlerindeki Tc-Ta Değerlerinin Karşılaştırması

Stressiz koşulları temsil eden FI-100 konusunda gün ortasındaki Tc-Ta değerleri 4 Haziran 2012 tarihinde -2.6 ºC iken, iki sulama tarihi arasında topraktaki suyun en kıt olduğu 8 Haziran 2012 tarihinde ikinci sulamadan hemen önce yapılan ölçümlerde 1.6 ºC'ye yükselmiştir. Kanal suyu ile %67 ve %33 kısıntılı sulama konularında (FI-67 ve FI-33) ise 4 Haziran 2012 tarihinde yaprak sıcaklıkları hava sıcaklığının altında iken 8 Haziran 2012 tarihinde hava sıcaklıklarının üstüne çıkmış ve sırasıyla 2.3 ve 2.8 ºC olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.21 ve Şekil 4.22).

Tuzlu su ile tam sulama yapılan SI10-100, SI20-100 ve SI30-100 konularında sulama suyu tuzluluk derecesi yükseldikçe yaprak sıcaklıklarının arttığı ve SI30-100 konusunda Tc-Ta değerinin 3.1 ºC'ye kadar yükseldiği görülmüştür (Çizelge 4.21).

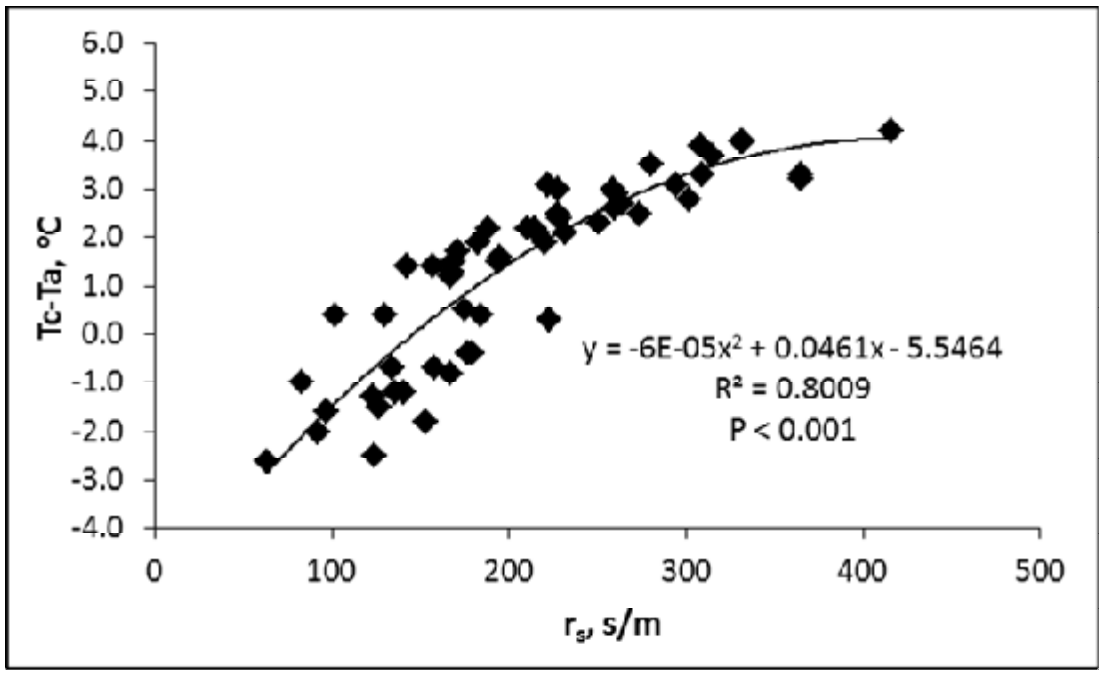
Tuzlu su ile %67 ve %33 kısıntılı sulama konularında ise kuraklık stresine tuz stresinin de eşlik etmesinin bir sonucu olarak özellikle 20 ve 30 dS/m tuz düzeylerinde oldukça yüksek Tc-Ta değerleri ölçülmüştür. Öyle ki 8 Haziran 2012 tarihinde bu araştırma konularında Tc-Ta değerleri 3.0 ºC'nin üzerine çıkmış ve SI30-33 konusunda 4.0 ºC'ye ulaşmıştır (Çizelge 4.21 ve Şekil 4.22).

Bitkiler, güneşten gelen radyasyonun etkisiyle yapraklarında oluşan ısı yükünden zarar görmemek için bu ısı yükünü dağıtmak zorundadırlar. Bitkilerde yüksek ısı yükü uzun dalga boylu ışınım, yaprağı çevreleyen havaya kondüksiyon ve konveksiyonla ısı kaybı ve terlemeyle (transpirasyon) ısı kaybı şeklinde dağıtılır. Transpirasyonla ısının yitirilmesi yaprak sıcaklığını düşürür. Tipik C3 ve C4 bitkileri yaprak sıcaklığını düşürmek için transpirasyonun soğutucu etkisine bağımlıdırlar (Taiz ve Zeiger, 2008).

Dünyanın en sıcak yerlerinde bile iyi sulanan bitkilerin yaprak sıcaklığının hava sıcaklığından 8 ºC daha düşük olabildiği bulunmuştur (Taiz ve Zeiger, 2008). Öte yandan topraktaki su kıtlığı veya tuz stresi bitkide transpirasyonun sınırlanmasına dolayısıyla taç sıcaklığının hava sıcaklığı üzerine çıkmasına neden olabilir. Stres altındaki bitkilerde gün ortasında yaprak sıcaklıkları, hava sıcaklığının 4-5 ºC üzerine çıkabilir (Taiz ve Zeiger, 2008).

4.1.15.1. Tc-Ta ile Stoma Direnci Arasındaki İlişki

Topraktaki su kıtlığı veya yüksek tuzluluk nedeniyle stomaların kısmen veya tamamen kapanması transpirasyonu sınırlandırmakta bunun sonucunda bitki yaprak sıcaklığı hava sıcaklığının üzerine çıkabilmektedir. Bu nedenle su ve tuz stresiyle karşı karşıya kalan quinoa bitkisinin stoma davranışları ile bitki taç sıcaklığı-hava sıcaklığı farkları arasında doğrudan bir ilişki olabileceği açıktır.



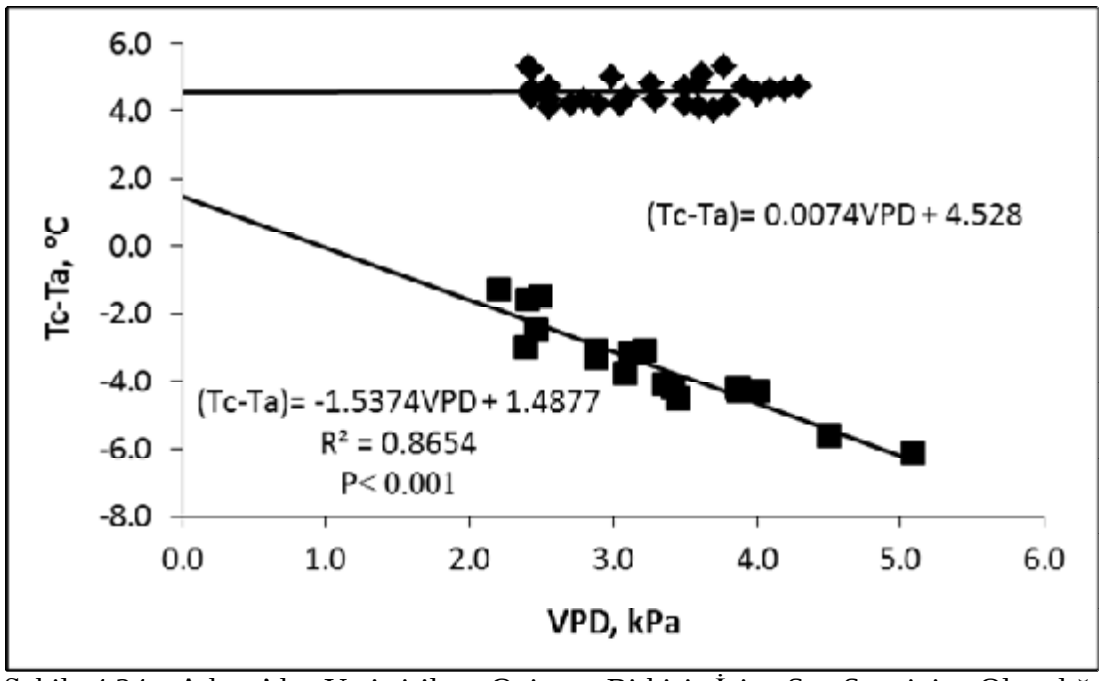
Şekil 4.23. Damla Sistemiyle Farklı Tuz Düzeyleri ve Sulama Stratejileri Uygulanarak Sulanan Quinoa Bitkisinde Tc-Ta ile r_s Arasındaki İlişki

Araştırmada ele alınan deneme konuları için bitki taç sıcaklığı hava sıcaklığı farkı ile stoma direnci arasında $R^2 = 0.80$ olan ve istatistiksel olarak %0.1 düzeyinde önemli bir ilişki belirlenmiştir (Şekil 4.23).

4.1.16. Bitki Su Stres İndeksi, (CWSI)

Havanın buhar basıncı açığına (VPD) karşı bitki taç sıcaklığı-hava sıcaklığı farkından (Tc-Ta) elde edilen bitki su stres indeksi (CWSI), bitkide su stresinin ölçülmesinde ve sulama programlamasında kullanılan bir araçtır (Jackson ve ark., 1981; Yazar ve ark., 1999).

Dünyada, buğday (Alderfasi ve Nielsen, 2001), mısır (Yazar ve ark., 1999), soya (Nielsen, 1990) veya karpuz (Erdem ve ark., 2005) gibi yaygın olarak üretimi yapılan bazı tarım ürünleri için CWSI kullanılarak bitkide su durumunun izlenmesine ve sulama programlamasına yönelik çalışmalar yapılmıştır. Ancak quinoa bitkisi için CWSI kullanılarak bitkide su stresinin ölçülmesine veya sulama programlamasına yönelik herhangi bir çalışma bulunmamaktadır.



Şekil 4.24. Adana'da Yetiştirilen Quinoa Bitkisi İçin Su Stresinin Olmadığı Varsayılan Alt Sınır (LL) ve Bitkinin Tamamen Stres Altında Olduğu Varsayılan Üst Sınır (UL) Koşullarında Taç-Hava Sıcaklığı Farkı İle Buhar Basıncı Açığı (VPD) İlişkisi

Araştırmada, CWSI'in saptanmasında kullanılan, bitkinin su stresinin olmadığı ve potansiyel transpirasyon yaptığı varsayılan alt sınırın (LL) belirlenmesi için FI-100 konusu baz alınırken; bitkinin tamamen stres altında olduğu ve transpirasyon yapmadığı üst sınırın (UL) belirlenmesi için KURU konusu esas alınmıştır. Buna göre Adana koşullarında yetiştirilen quinoa bitkisi için bitki su stres indeksinin hesaplanmasında kullanılan alt sınır (LL) ve üst sınır (UL) koşullarında bitki taç sıcaklığı-hava sıcaklığı farkı ile buhar basıncı açığı arasındaki ilişkiler Şekil 4.24'te verilmiştir.

Adana'da quinoa bitkisinin transpirasyon yapmadığı varsayılan üst sınır (UL) koşullarında Tc-Ta değerinin 4.5 ºC olduğu belirlenmiştir. Bitkinin potansiyel transpirasyon yaptığı varsayılan alt sınır koşullarında ise Tc-Ta ile VPD arasında R^2=0.86 olan (Tc-Ta)=-1.5374VPD+1.4877 şeklinde bir ilişki belirlenmiştir (Şekil 4.24). Horst ve ark. (1989), su stresinin olmadığı alt sınırın bitki çeşidine ve çevre koşullarına bağlı olduğunu ayrıca rüzgar hızı, net radyasyon ve bitki tacından etkilendiğini bildirmişlerdir.

Araştırma konularında ilk sulamadan bir gün önce ve iki sulama arasındaki günlerde, gün ortası Tc-Ta ve VPD değerleri kullanılarak quinoa bitkisi için hesaplanan CWSI değerleri Çizelge 4.22'de verilmiştir. Quinoa bitkisinin farklı tarihlerdeki CWSI değerlerine ilişkin istatistiksel analizler sonucunda istatistiksel olarak %0.1 önem düzeyinde araştırma konularına göre CWSI değerlerinin farklı olduğu bulunmuştur. CWSI değerlerine ilişkin varyans analiz sonuçları ve Duncan gruplandırmaları Ek Çizelge 27-Ek Çizelge 36'da verilmiştir.

Çizelge 4.22. Deneme Konularında Farklı Tarihlerde Belirlenen Bitki Su Stres İndeksi (CWSI) Değerleri

Konular	CWSI					
	31.5.2012	4.06.2012	5.06.2012	6.06.2012	7.06.2012	8.06.2012
FI-100	0.26	0.02	0.02	0.32	0.45	0.58
FI-67	0.26	0.03	0.06	0.39	0.57	0.68
FI-33	0.26	0.13	0.27	0.45	0.65	0.75
PRD	0.26	0.16	0.28	0.35	0.62	0.71
SI10-100	0.26	0.10	0.26	0.41	0.50	0.67
SI10-67	0.26	0.17	0.45	0.56	0.62	0.71
SI10-33	0.26	0.21	0.47	0.56	0.75	0.83
SI20-100	0.26	0.20	0.28	0.47	0.60	0.72
SI20-67	0.26	0.28	0.51	0.62	0.70	0.83
SI20-33	0.26	0.32	0.57	0.75	0.83	0.88
SI30-100	0.26	0.21	0.26	0.56	0.75	0.80
SI30-67	0.26	0.28	0.45	0.66	0.77	0.81
SI30-33	0.26	0.32	0.54	0.79	0.90	0.93
KURU	0.26	0.56	0.72	0.87	0.92	0.96

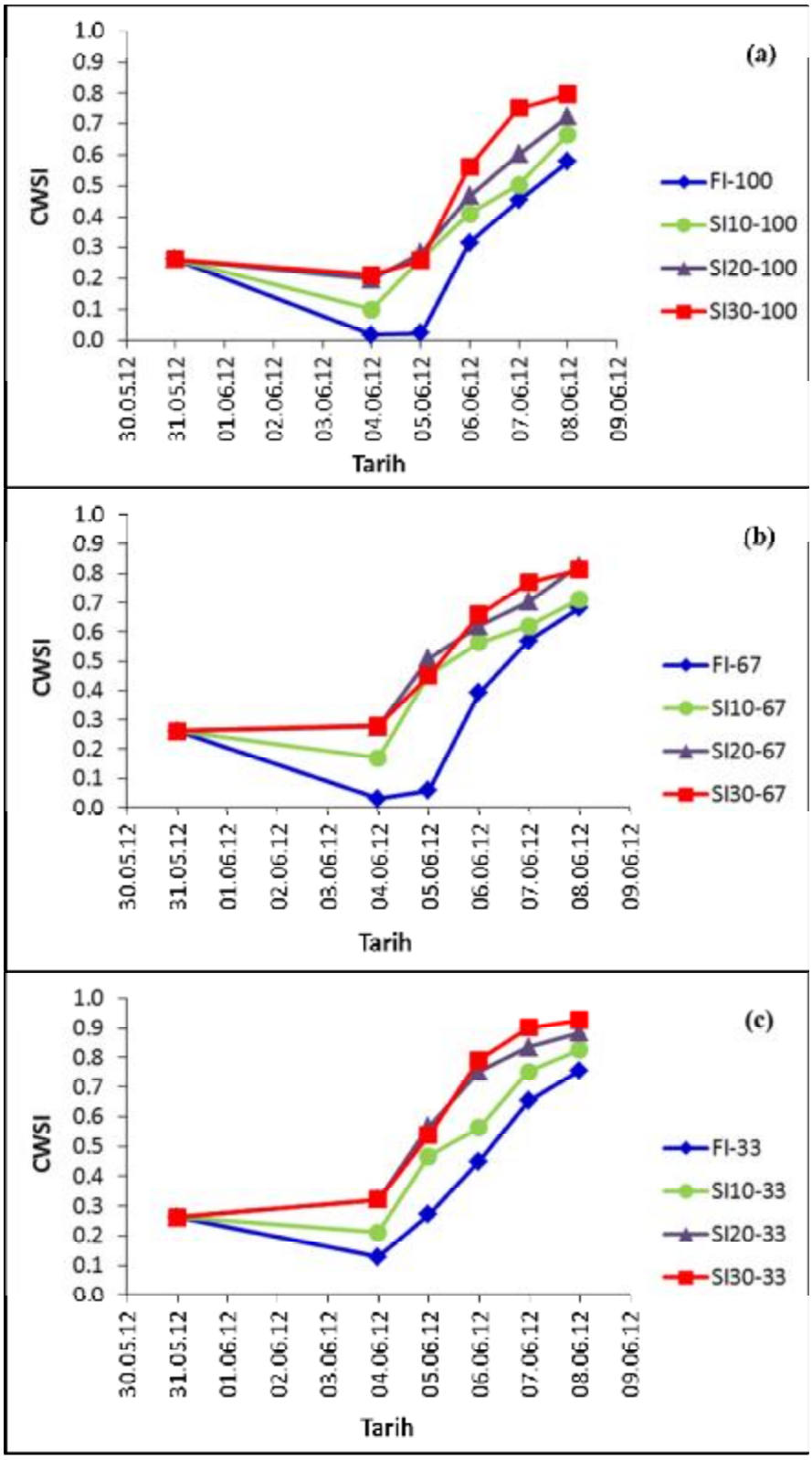
Çizelge 4.22'de görüldüğü gibi KURU konusu hariç tüm deneme konularında CWSI değerleri ilk sulamadan sonra sıfıra yakın değerlerde iken toprak kurudukça yükselme eğilimi göstermiş ve ikinci sulamadan hemen önce en yüksek düzeyine ulaşmıştır. Stressiz koşulları temsil eden FI-100 konusunda ilk sulama öncesi 0.26 olan CWSI değeri ilk sulamadan birkaç gün sonra sıfır değerine yaklaşmış sonraki günlerde ise yükselmeye başlamıştır. İkinci sulamadan hemen önce bu araştırma konusundaki CWSI değeri 0.58 olarak hesaplanmıştır. Kanal suyu ile orta düzeyde sulama suyu kısıntısı uygulanan FI-67 konusunda sulama döngüsü içerisinde CWSI

değerleri 0.03 ile 0.68 arasında değişmiştir. Kanal suyu ile %50 kısıntılı PRD uygulamasında ise CWSI değerleri FI-67 konusuna göre biraz daha yüksek olmuş iki sulama arasındaki dönemde 0.16 ile 0.71 arasında değişmiştir. Yoğun sulama suyu kısıntısı uygulanan FI-33 konusunda sulama döngüsü içerisinde CWSI değerleri 0.13 ile 0.75 arasında değişmiştir. Tuzlu su ile sulama konularında CWSI'nın genel tavrı kanal suyu ile sulama konularıyla benzerlik gösterse de bu konulardaki bitki su stres indeksleri kanal suyu ile sulama konularına göre nispeten daha yüksek olmuştur. Bununla birlikte tüm deneme konuları arasında en yüksek CWSI değerlerinin KURU konusunda olduğu belirlenmiştir.

Şekil 4.25a,b,c'de sulama suyu tuzluluğunun CWSI üzerine etkilerini daha açık bir şekilde görebilmek için tam sulama konuları (a), %67 kısıntılı sulama konuları (b) ve %33 kısıntılı sulama konularındaki (c) CWSI değerlerinin zamana göre değişimi kendi içlerinde grafiksel olarak karşılaştırılmıştır. Tam sulama konuları kendi aralarında karşılaştırıldığında; kanal suyu ile tam sulama konusunda hesaplanan CWSI değerleri en düşük seviyede seyrederken 10 dS/m tuzlu su ile tam sulama konusu olan SI10-100 konusunda CWSI değerlerinin bir miktar daha yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 4.25a). 20 ve 30 dS/m tuzluluk düzeyinde tam sulama konularında hesaplanan CWSI değerleri ilk birkaç gün birbirine yakın iken toprak kurudukça SI30-100 konusunda hesaplanan CWSI değeri tam sulama konuları arasında hesaplanan en yüksek değere (0.80) ulaşmıştır.

Şekil 4.25a'da yapılan grafiksel karşılaştırma, tam sulama koşullarında sulama suyunun tuzluluk düzeyi arttıkça bitkideki su stresinin bir göstergesi olan CWSI değerlerinin de yükseldiğini göstermektedir. Bu durum tek başına sulama suyu tuzluluğunun bitkideki su durumu üzerine etkisini yansıtmaktadır.

Şekil 4.25b'de %67 kısıntılı sulama konularında CWSI değerlerinin zamansal değişimi karşılaştırılmıştır. Farklı tuz düzeylerinde orta düzeyde kısıntılı sulama uygulanan bu araştırma konularında CWSI 0.03 ile 0.81 arasında değişmiştir. Bununla birlikte FI-67 konusunda diğer %67 kısıntılı sulama konularına göre daha düşük CWSI değerleri tespit edilmiştir. SI10-67 konusunda ilk sulamadan birkaç gün sonra 0.17 olarak belirlenen CWSI yavaş yavaş yükselmiş ve ikinci sulama öncesinde 0.71 değerine ulaşmıştır.



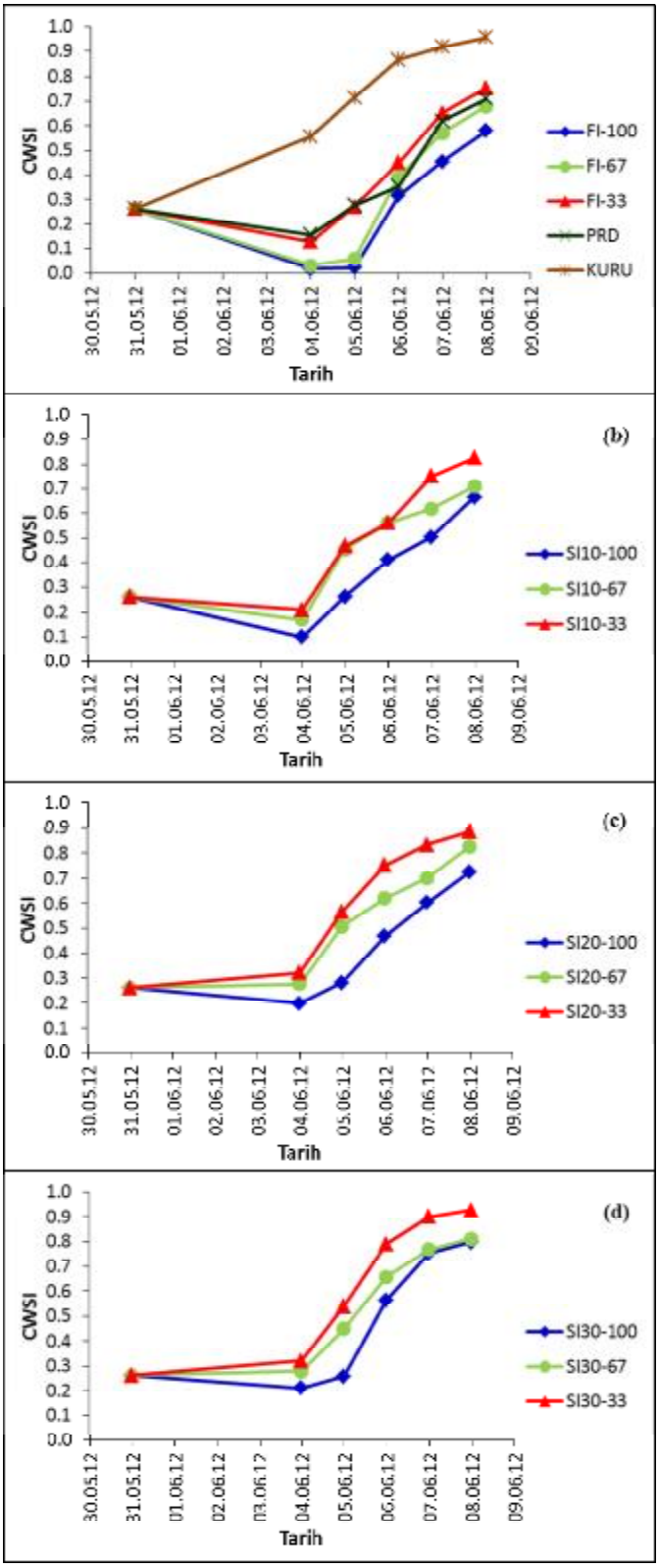
Şekil 4.25a,b,c. Araştırmada Ele Alınan Tam Sulama (a), %67 Kısıntılı Sulama (b) ve %33 Kısıntılı Sulama (c) Konularında Bitki Su Stres İndeksinin Zamansal Değişimi

Sulama suyu tuzluluğu yükseldikçe CWSI değerleri de artış göstermiş fakat 20 ve 30 dS/m tuz düzeylerinde %67 kısıntılı sulama uygulanan SI20-67 ve SI30-67 konularında birbirlerine oldukça yakın CWSI değerleri saptanmıştır (Şekil 4.25b).

Benzer durum %33 kısıntılı sulama konuları için de geçerlidir (Şekil 4.25c). Bu kısıntı düzeyinde, FI-33 konusunda quinoa bitkisinin CWSI değerlerinin zamansal değişimi en düşük seviyelerde iken SI10-33 konusunda bitki su stres indeksinin daha yüksek bir düzeyde seyrettiği görülmektedir. Sulama suyu tuzluluğu 20 veya 30 dS/m'ye yükseldiğinde ise quinoa bitkisinin CWSI değerleri FI-33 ve SI10-33 konularında olduğundan daha yüksek fakat birbirlerine yakın değerlerde seyretmiştir. SI20-33 konusunda iki sulama aralığında CWSI değerleri 0.28-0.83 arasında değişirken, SI30-33 konusunda 0.28 ile 0.81 arasında değişmiştir (Şekil 4.25c). Genel olarak hem kısıntılı sulama konularında hem de tam sulama konularında tuzluluk düzeyi arttıkça CWSI değerleri yükselmiştir.

Araştırmada, sulama suyu kısıntısının quinoa bitkisinin CWSI üzerine etkilerini daha açık bir şekilde görebilmek için Şekil 4.26a,b,c,d'de araştırma konuları sulama suyu tuzluluk düzeylerine göre gruplandırılmış ve her tuz düzeyindeki konulara ait CWSI değerlerinin zamana göre değişimi kendi aralarında karşılaştırılmıştır.

Kanal suyu ile sulama konuları ile kuru konusundaki CWSI değerlerinin zamansal değişimi incelendiğinde genel olarak sulama suyuna uygulanan kısıntı miktarı arttıkça CWSI'nin daha yüksek değerlerde seyrettiği görülmektedir (Şekil 4.26a). Kanal suyu ile sulama konuları arasında bitki su stres indeksinin en düşük değerlerde olduğu araştırma konusu stressiz koşulları temsil eden FI-100 konusu olmuştur. FI-100 konusu ile FI-67 konusunda CWSI, sulamadan sonraki yaklaşık 5 gün boyunca benzer tavır izlemiş fakat sonraki günlerde farklılaşarak FI-100 konusunda quinoa bitkisinin stres indeksi 0.58'de kalırken FI-67 konusunda 0.68'e ulaşmıştır. Benzer şekilde PRD konusu ile FI-33 konusunda CWSI değişim deseni ilk sulamadan sonraki birkaç gün boyunca benzerlik gösterirken ikinci sulama tarihine doğru farklılaşarak FI-33 konusunda CWSI bir miktar daha yüksek olmuştur. Bu iki araştırma konusunda CWSI değerleri PRD konusu için 0.16 ile 0.71 arasında değişirken FI-33 konusunda 0.13 ile 0.75 arasında değişmiştir (Şekil 4.26a).



Şekil 4.26a,b,c,d. Araştırmada Ele Alınan Kanal Suyu (a), 10 dS/m (b), 20 dS/m (c) ve 30 dS/m (d) Tuzlu Su Konularında Quinoa Bitkisinin Bitki Su Stres İndeksinin Zamansal Değişimi

KURU konusunda ise iki sulama arasındaki periyotta quinoa bitkisinin su stres indeksi sürekli olarak yükselme eğilimi göstermiştir. Söz konusu araştırma konusunda ilk sulamadan birkaç gün sonra 0.56 olarak belirlenen CWSI, ikinci sulama öncesinde 0.96'ya kadar yükselmiştir. Bu durum KURU konusunda quinoa bitkisinin diğer deneme konularına göre oldukça yüksek düzeyde su stresi yaşadığını ve transpirasyon hızının diğer deneme konularına göre daha düşük olduğunu göstermektedir (Şekil 4.26a).

ECw=10 dS/m sulama suyu tuzluluk düzeyindeki araştırma konuları olan SI10-100, SI10-67 ve SI10-33 konularında CWSI'nın değişim tavırları karşılaştırıldığında, tam sulama yapılan SI10-100 konusunda bitki su stres indeksinin SI10-67 ve SI10-33 konularına göre göreceli daha düşük bir düzeyde değişim gösterdiği görülmektedir. SI10-100 konusunda CWSI değeri, ilk sulamadan birkaç gün sonra sıfır değerine yaklaşmış ve 4 Haziran 2012 tarihinde 0.10 olarak belirlenmiştir. Bu tarihten itibaren yavaş yavaş yükselmeye başlayan CWSI ikinci sulama öncesinde 0.67 değerine ulaşmıştır. SI10-67 ve SI10-33 konularında ise CWSI sırasıyla 0.17 ile 0.71 ve 0.21 ile 0.83 arasında değişmiştir. Bu iki konuda başlangıçta birbirine yakın seyreden CWSI sonraki günlerde farklılaşarak su kısıntısının daha yüksek olduğu SI10-33 konusunda 10dS/m sulama suyu tuzluluk düzeyindeki en yüksek değerine ulaşmıştır (Şekil 4.26b).

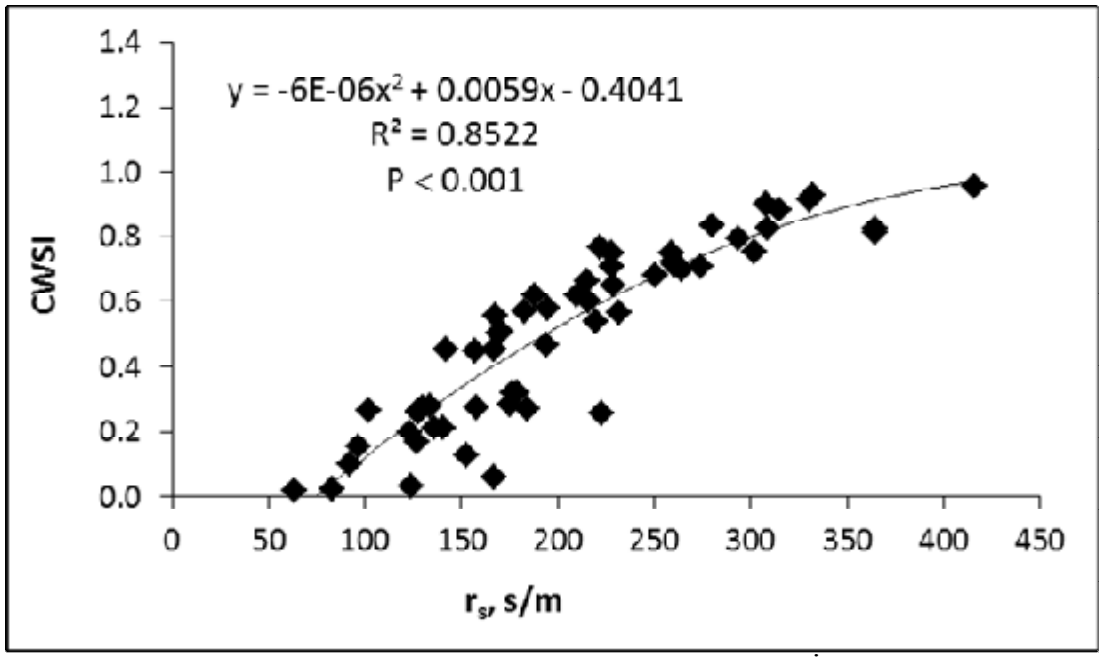
Araştırmada ele alınan SI20-100, SI20-67 ve SI20-33 konularında CWSI değişim tavırları karşılaştırıldığında genel olarak bu tuz düzeyinde sulama suyuna uygulanan kısıntı arttıkça quinoa bitkisinin su stres indeksinin de daha yüksek değerlerde değişim sergilediği görülmektedir. Söz konusu tuzluluk düzeyinde CWSI SI20-67 ve SI20-33 konularında başlangıçta benzer tavır sergiliyor gibi görünmesine rağmen toprak kurudukça bu iki araştırma konusunda belirlenen CWSI değerleri arasındaki fark artmış ve SI20-33 konusunda 0.88 değerine ulaşmıştır (Şekil 4.26c).

Sulama suyu tuzluluk düzeyi 30 dS/m olan, SI30-100, SI30-67 ve SI30-33 konularında CWSI'nin zamansal değişimleri de yukarıda ifade edilen "aynı sulama suyu tuzluluk düzeyinde, sulama suyuna uygulanan kısıntı miktarı arttıkça quinoa bitkisinin su stres indeksinin yükseldiği" şeklindeki düşünceyi doğrulamaktadır (Şekil 4.26d).

Araştırmada elde edilen bulgular ışığında, sulama suyu tuzluluğu ve sulama suyuna uygulanan kısıntı miktarlarının CWSI'ni yükselten faktörler olduğu söylenebilir. Araştırmada ele alınan tüm sulama düzeylerinde (tam sulama, %67 veya %33 kısıntılı sulama düzeyleri) sulama suyu tuzluluk derecesi arttıkça CWSI değerleri yükselmiştir. Bitki kök bölgesindeki eksik suyun tamamı karşılanmış olsa bile sulama suyunda yüksek oranda bulunan çözünmüş tuzların yarattığı ozmotik etki quinoa bitkisinde CWSI değerlerinin yükselmesine neden olmuştur. Diğer taraftan aynı sulama suyu tuzluluk düzeyinde, sulama suyuna uygulanan kısıntı miktarı arttıkça quinoa bitkisinin su stres indeksinin de arttığı söylenebilir. Sulama suyu kısıntısı ve tuzluluk stresinin birlikte yarattığı etki ise tek başına kuraklık veya tuz stresinden daha şiddetli olmuştur.

4.1.16.1. CWSI ile Stoma Direnci Arasındaki İlişki

Adana koşullarında yetiştirilen quinoa bitkisinin su stres indeksi (CWSI) ile stoma direnci (r_s) arasında CWSI=-6E-6r_s^2 + 0.0059r_s - 0.4041 şeklinde R^2=0.85 olan güçlü bir ilişki belirlenmiştir (Şekil 4.27).



Şekil 4.27. Adana Koşullarında Yetiştirilen Quinoa Bitkisi İçin CWSI ile Stoma Direnci Arasındaki İlişki

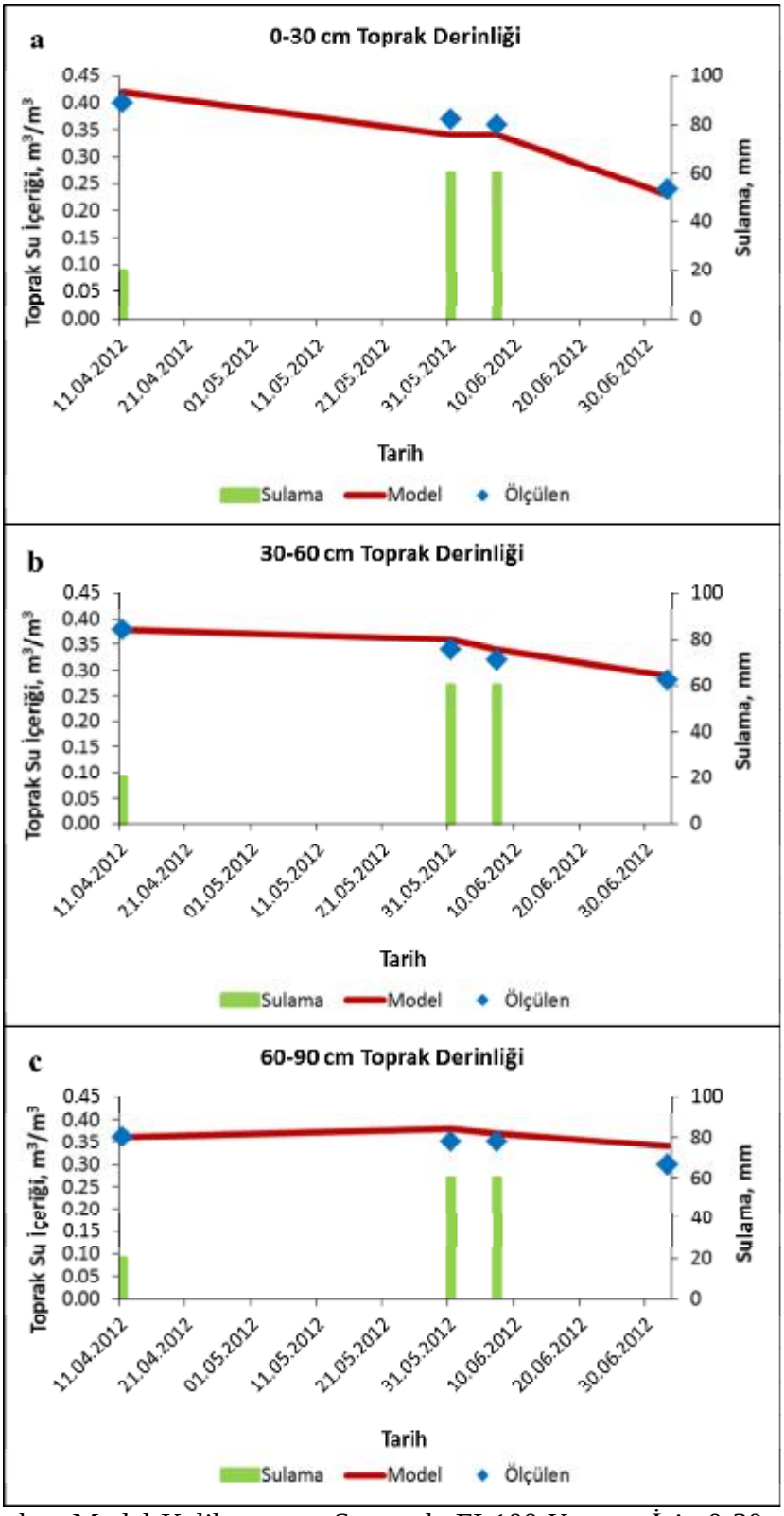
4.2. SALTMED Modeli

SALTMED modelinin Akdeniz iklim koşullarında farklı sulama suyu kalitesi ve sulama stratejileri altında yetiştirilen quinoa bitkisi için verim kuru madde ve toprak su içeriğini tahmin etme performansının değerlendirilmesi amacıyla 2012 yılında Akdeniz iklim koşullarını temsil eden iki farklı yerde yürütülen tarla denemesi sonuçları kullanılmıştır. Bu tarla denemelerinden birincisi bu araştırmanın bir bölümünü oluşturan ve yukarıda araştırma bulguları detaylı olarak verilen Çukurova Üniversitesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Araştırma İstasyonunda yürütülen tarla denemesidir. İkinci tarla denemesi ise 2012 yılında Alata Bahçe Kültürleri Araştırma İstasyonu Tarsus Toprak ve Su Kaynakları Biriminde yürütülen çizgi kaynaklı yağmurlama sulama sistemi ile uygulanan drenaj suyunun quinoa bitkisinin verim ve verim bileşenleri ile su kullanım randımanı üzerine etkilerinin araştırıldığı tarla denemesidir. Söz konusu tarla denemesinin amacı, kapsamı ve araştırmadan elde edilen sonuçlar materyal ve yöntem bölümünde ayrıntıları ile verilmiştir. Bu bölümde ise her bir tarla denemesi için ayrı ayrı kalibre edilen SALTMED modelinin tahminleri ile tarla denemelerinden elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak model performansı değerlendirilmiştir.

4.2.1. SALTMED Modelinin Kalibrasyonu

4.2.1.1. SALTMED Modelinin Adana Koşulları için Kalibrasyonu

Adana'da yürütülen ve önceki bölümlerde bulguları ayrıntıları ile verilen tarla denemesi için SALTMED modelin kalibrasyonu FI-100 konusunda toprak su içeriği, toplam kuru madde verimi ve dane verimi esas alınarak yapılmıştır. Buna göre modelin çalıştırılması için gerekli olan veriler modelin veri tabanına kaydedilmiş daha sonra literatürden alınan Kc, Kcb gibi bitki katsayıları ile difüzyon katsayısı, fotosentez etkinliği ve modeldeki sabitlerde ince ayarlamalar yapılmıştır. Böylece modelin tahmin ettiği toprak su içeriği, toplam kuru madde verimi ve dane verimi değerleri FI-100 konusu için tarla koşullarında ölçülen değerlere yaklaştırılmıştır.



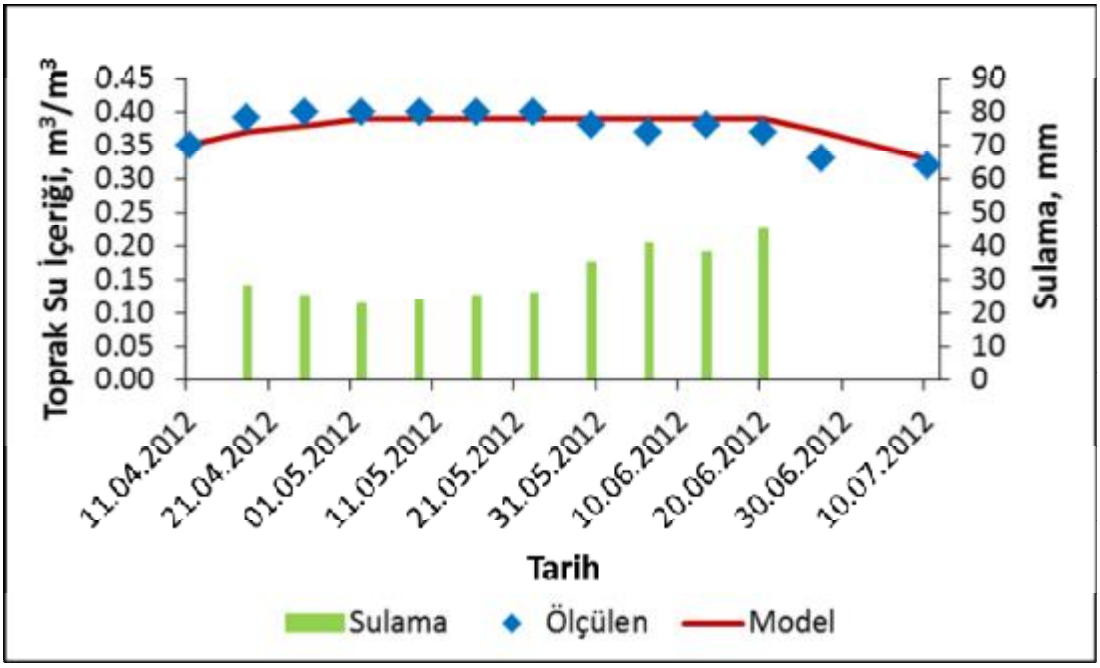
Şekil 4.28a,b,c. Model Kalibrasyonu Sırasında FI-100 Konusu İçin 0-30 cm (a), 30-60 cm (b) ve 60-90 cm (c) Toprak Derinliğinde Ölçülen ve Tahmin Edilen Hacimsel Toprak Su İçeriklerinin Karşılaştırılması

Modelin kalibrasyonu yapılırken öncelikle farklı tarihlerde 0-30 cm, 30-60 cm ve 60-90 cm toprak derinlikleri için kestirilen hacimsel toprak su içeriklerinin arazide ölçülen hacimsel toprak su içerikleri ile uyumlu hale getirilmesi için çalışılmıştır. Toprak su içeriğine ilişkin kalibrasyon tamamlandıktan sonra ikinci aşamada kuru madde verimi ve dane veriminin ölçülen değerlerle uyumlulaştırılması için modelde ince ayarlar yapılmıştır.

Şekil 4.28a,b,c'de kalibrasyonu tamamlanan modelin kalibrasyon (FI-100) konusu için 0-30 cm, 30-60 cm ve 60-90 cm toprak derinliklerinde tahmin ettiği hacimsel toprak su içeriklerinin arazide ölçülen değerlerle grafiksel karşılaştırması gösterilmektedir. Şekil 4.28.a,b,c'de görüldüğü gibi 60-90 cm toprak derinliğinde 3 Temmuz 2012 tarihi için ölçülen ve kestirilen toprak su içerikleri arasında küçük bir farklılık söz konusu olsa da genel olarak her üç toprak derinliği için model kullanılarak kestirilen ve ölçülen değerlerin örtüşmesi, iyi bir toprak su içeriği kalibrasyonu sağlandığına işaret etmektedir.

4.2.1.2. SALTMED Modelinin Tarsus Koşulları için Kalibrasyonu

SALTMED modelinin çalıştırılması için gerekli olan veriler Adana örneğinde olduğu gibi tarla denemesinden ve literatürden elde edilmiştir. Modelin kalibrasyonunda tam sulama konusu olan T1 konusu referans alınmıştır. Kalibrasyonda temel prensip olarak literatürden elde edilen ve toprak nemi ile kuru madde verimini etkileyen bitki katsayıları (Kc, Kcb), örtü yüzdesi (Fc) ve fotosentez etkinliği değerlerinde ince ayarlamalar yapılmıştır. Her bir parametrenin kalibrasyonu için adım adım ilerlenmiş ve öncelikle toprak su içeriği kalibre edilmiştir. Adana örneğinden farklı olarak Tarsus'ta toprak su içeriğinin kalibrasyonu; her biri 30 cm derinliğe sahip üç toprak katmanı için değil; 0-90 cm toprak derinliğinde tek bir katman için yapılmıştır. Buna göre 90 cm toprak derinliği için kestirilen hacimsel toprak su içerikleri, T1 konusu için elde edilen toprak su içeriği değerleri ile uyumlu hale getirilmiştir. Kalibrasyonun ikinci adımında kestirilen kuru madde verimi ve dane verimi ölçülen değerlerle uyumlu hale getirilmiştir.



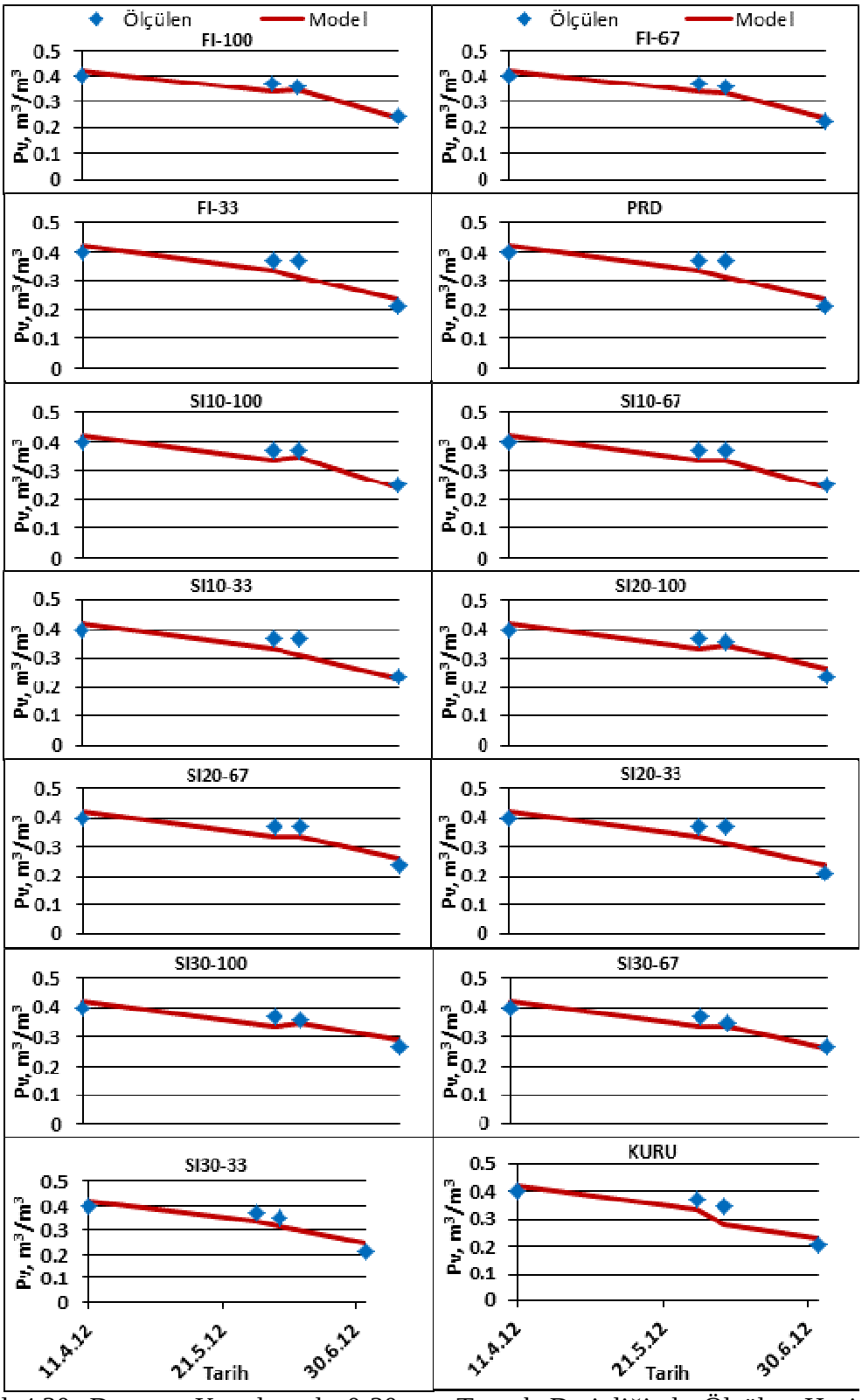
Şekil 4.29. Model Kalibrasyonu Sırasında T1 Konusu için 0-90 cm Toprak Derinliğinde Ölçülen ve Tahmin Edilen Hacimsel Toprak Su İçeriklerinin Karşılaştırılması

Şekil 4.29'da Tarsus koşulları için kalibrasyonu tamamlanan modelin T1 konusu için tahmin ettiği hacimsel toprak su içeriklerinin arazide ölçülen değerlerle grafiksel karşılaştırması görülmektedir. Ölçülen ve kestirilen toprak su içeriklerinin hemen hemen tam olarak örtüşmüş olması iyi bir kalibrasyonun sağlandığını göstermektedir.

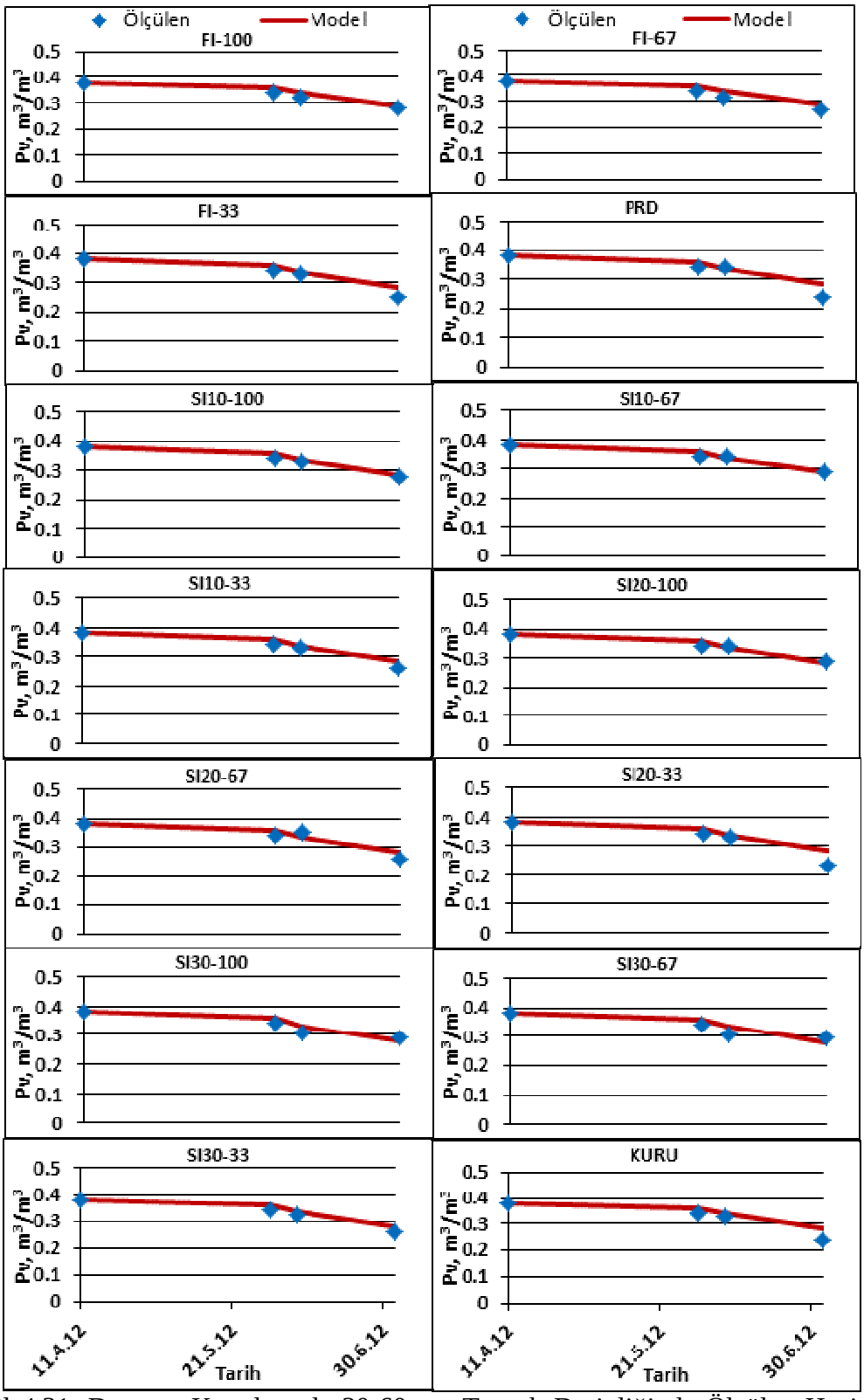
4.2.2. SALTMED Modelinin Toprak Su İçeriğini Kestirmedeki Performansı

4.2.2.1. Adana Koşulları

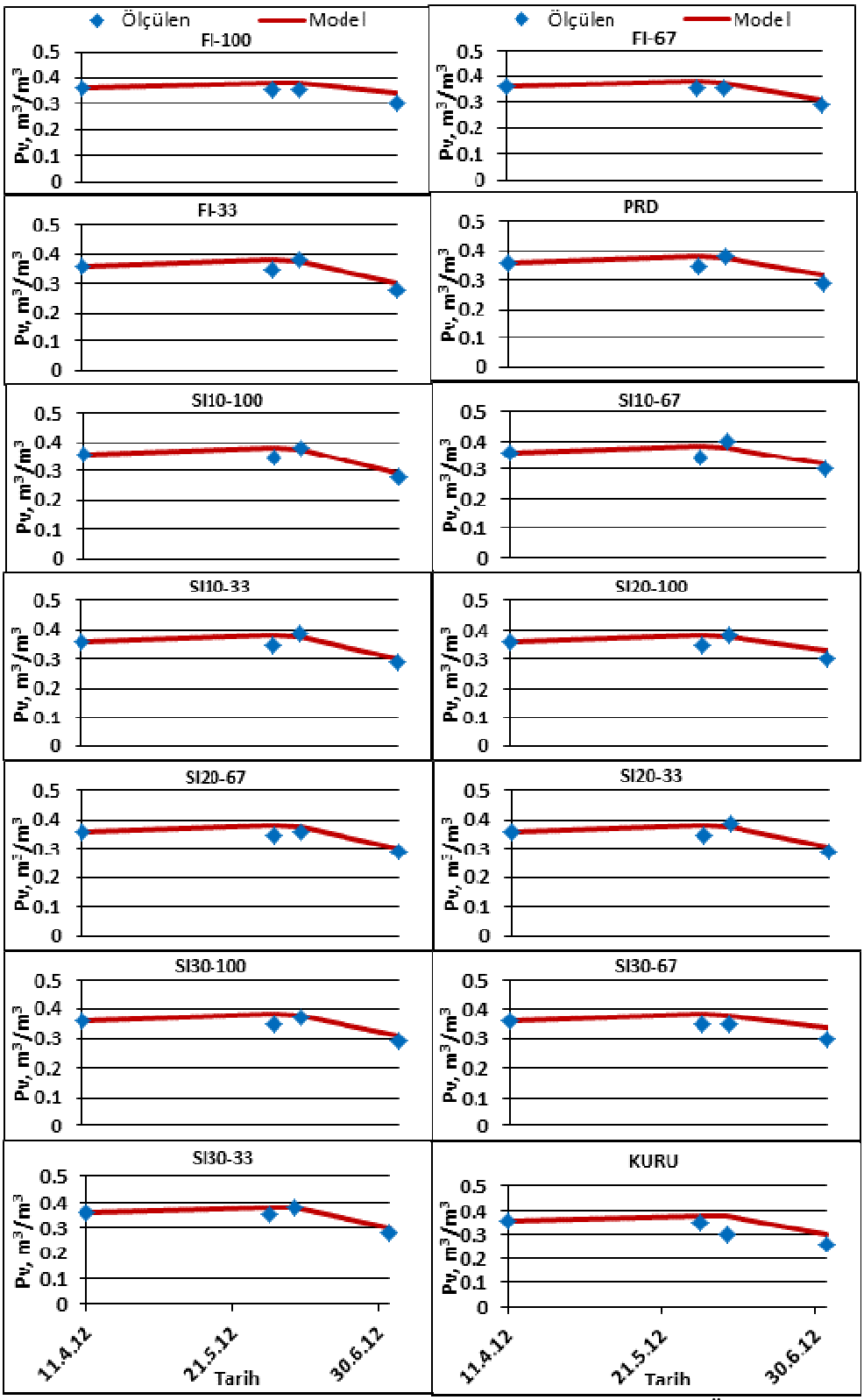
Başarılı bir kalibrasyon işleminden sonra SALTMED modeli Adana'da yürütülen araştırmada ele alınan 14 deneme konusu için çalıştırılarak modelin 0-30, 30-60, 60-90 cm toprak derinlikleri için tahmin ettiği hacimsel toprak su içeriği değerleri ile tarla denemesinde ölçülen değerler karşılaştırılmıştır. Araştırmada ölçülen ve SALTMED modeli kullanılarak kestirilen toprak su içeriklerinin grafiksel karşılaştırmaları Şekil 4.30, Şekil 4.31, Şekil 4.32'de verilmiştir.



Şekil 4.30. Deneme Konularında 0-30 cm Toprak Derinliğinde Ölçülen Hacimsel Toprak Su İçeriklerinin (Pv) SALTMED Modeli ile Kestirilen Toprak Su İçerikleri ile Grafiksel Karşılaştırılması



Şekil 4.31. Deneme Konularında 30-60 cm Toprak Derinliğinde Ölçülen Hacimsel Toprak Su İçeriklerinin (Pv) SALTMED Modeli ile Kestirilen Toprak Su İçerikleri ile Grafiksel Karşılaştırılması



Şekil 4.32. Deneme Konularında 60-90 cm Toprak Derinliğinde Ölçülen Hacimsel Toprak Su İçeriklerinin (Pv) SALTMED Modeli ile Kestirilen Toprak Su İçerikleri ile Grafiksel Karşılaştırılması

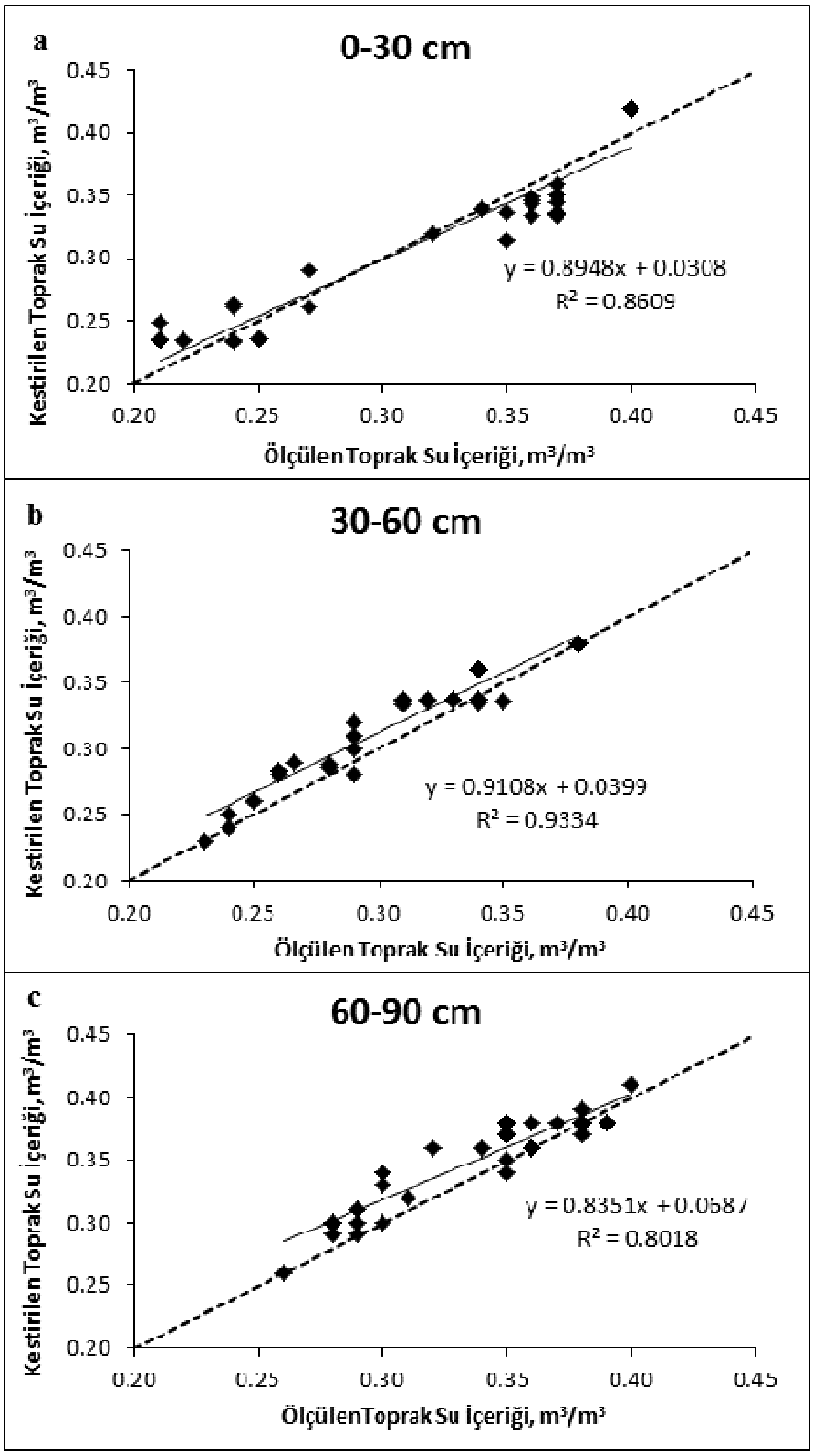
Şekil 4.30'da gösterilen karşılaştırmalara göre SALTMED modelinin ilk 30 cm toprak derinliği için tahmin ettiği toprak su içerikleri araştırma konularında ölçülen değerlerle hemen hemen örtüşmektedir. Bununla birlikte FI-33, PRD ve SI10-33, SI20-33 ve KURU konularında 7 Haziran 2012 tarihinde modelin öngördüğü toprak su içeriği değerlerinin ölçülen değerlerden biraz yüksek olduğu görülmektedir.

Şekil 4.31'de yapılan görsel karşılaştırmaya göre 30-60 cm toprak derinliği için araştırma konularında ölçülen ve modelin tahmin ettiği toprak su içeriği değerlerinin tam bir uyum içinde olduğu söylenebilir.

Şekil 4.32'de ise KURU konusu için 7 Haziran 2012 tarihli ölçülen ve kestirilen değerler arasındaki küçük farklılık göz ardı edilecek olursa ölçülen ve tahmin edilen toprak su içeriklerinin birbirine yakın göründüğü söylenebilir.

Adana koşullarında yetiştirilen quinoa bitkisi için SALTMED modeli kullanılarak kestirilen toprak su içerikleri ile araştırma konularında ölçülen toprak su içerikleri arasında regresyon analizi yapılmıştır. Buna göre 0-30, 30-60 ve 60-90 cm toprak derinliklerinde ölçülen ve SALTMED modeli ile kestirilen hacimsel toprak su içerikleri arasında sırasıyla R^2 = 0.86, 0.93 ve 0.80 olan doğrusal ilişkiler belirlenmiştir (Şekil 4.33a.b.c).

Şekil 4.33a incelendiğinde ilk 30 cm'lik toprak katmanı için ölçülen ve kestirilen toprak su içeriklerine ilişkin eğilim çizgisinin 1:1 çizgisi ile oldukça uyumlu olduğu görülmektedir. Şekil 4.33b'de ise ikinci 30 cm'lik toprak katmanında ölçülen ve kestirilen toprak su içerikleri arasında R^2 = 0.93 olan bir ilişki olmasına rağmen eğilim çizgisinin 1:1 çizgisinden hafifçe uzaklaştığı görülmektedir. Son 30 cm'lik toprak katmanında ilk iki toprak katmanına göre daha düşük olan R^2 değeri ve 1:1 çizgisinden biraz daha uzaklaşmış olan eğilim çizgisi bu toprak derinliği için ölçülen ve kestirilen toprak su içerikleri arasında bir miktar farklılaşmanın söz konusu olduğuna işaret etmektedir (Şekil 4.33c).



Şekil 4.33a,b,c. Deneme Konularında 0-30 cm (a), 30-60 cm (b) ve 60-90 cm (c) Toprak Derinliklerinde Ölçülen ve SALTMED Modeli ile Kestirilen Hacimsel Toprak Su İçerikleri Arasındaki İlişkiler

Deneme konularında 0-30, 30-60 ve 60-90 cm toprak derinliklerinde tahmin edilen hacimsel toprak su içeriklerinin ölçülen değerlerle uyumunun istatistiksel olarak değerlendirilmesi amacıyla hesaplanan, fark ve etkinlik esasına dayanan istatistiksel parametreler Çizelge 4.23'te verilmiştir.

Çizelge 4.23. Deneme Konularında 0-30, 30-60 ve 60-90 cm Toprak Derinliklerinde SALTMED Modeli ile Tahmin Edilen Hacimsel Toprak Su İçerikleri için Hesaplanan İstatistiksel İndeksler

İstatistiksel Parametre	Toprak Derinliği, (cm)		
	0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm
MBE	-0.009	0.011	0.012
MAE	0.026	0.013	0.014
Ort. RE	2.019	-3.817	-3.661
RMSE	0.029	0.017	0.019
NRMSE	0.086	0.053	0.055
E_{NS}	0.795	0.832	0.675
d	0.946	0.952	0.916

0-30 cm toprak derinliği için ortalama hata (MBE) ve ortalama mutlak hata (MAE) sırasıyla -0.01 ve 0.03 olarak hesaplanmış ve ortalama hata yüzdesi (Ort. RE) 2.02 olmuştur. Bu toprak derinliği için kök hata kareler ortalaması (RMSE) ve düzeltilmiş kök hata kareler ortalamasının (NRMSE) da sıfıra yakın değerler olduğu dikkate alınırsa modelin ortaya koyduğu hacimsel toprak su içeriklerinde ölçülen değerlere göre sapmanın oldukça küçük olduğu söylenebilir. Diğer taraftan söz konusu toprak derinliğindeki hacimsel toprak su içeriğini tahmin etmede model etkinliğini gösteren Nash-Sutcliffe etkinlik katsayısı (E_{NS}) 0.80, Willmott uyum indeksi (**d**) ise 0.95 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.23). Bu istatistiksel göstergeler modelin 0-30 cm toprak derinliği için hacimsel toprak su içeriğini tahmin etmede iyi bir performans sergilediğini göstermektedir.

30-60 cm toprak derinliğinde SALTMED modeli toprak su içeriğini ortalama %-3.82 hata ile tahmin etmiştir. Buna karşılık söz konusu toprak derinliği için hesaplanan MBE, MAE, RMSE ve NRMSE değerleri genel olarak 0-30 cm toprak katmanı için hesaplanan değerlere göre daha düşük ve sıfıra daha yakın değerler olmuştur. Ayrıca sırasıyla 0.83 ve 0.95 olarak bulunan E_{NS} ve **d**'nin ideal değer olan

1'e oldukça yakın değerler olduğu görülmektedir (Çizelge 4.23). Buna göre SALTMED modelinin 30-60 cm toprak derinliğindeki toprak su içeriğini tahmin etmede oldukça başarılı olduğu söylenebilir.

60-90 cm toprak derinliği için hesaplanan istatistiksel parametreler incelendiğinde modelin toprak su içeriğini ortalama %-3.66'lık bir hata ile tahmin ettiği görülmektedir. Bu toprak derinliği için hesaplanan MBE, MAE, RMSE ve NRMSE değerleri yine sıfıra yakın değerlerdir. Etkinlik esasına dayanan istatistiksel parametrelerden E_{NS} ve **d** ise üst toprak katmanları için hesaplanan değerlerden daha düşük çıkmıştır. Bu toprak katmanı için Nash-Sutcliffe etkinlik katsayısının 0.68 olması model performansının nispeten düşük olmakla birlikte kabul edilebilir sınırlar içinde olduğunu ifade etmektedir. Öte yandan söz konusu toprak derinliğinde, 0.92 olarak hesaplanan **d** değeri önceki toprak katmanları için hesaplanan **d** değerlerine göre daha düşük olsa da model performansının kabul edilebilir düzeyde olduğunu göstermektedir (Çizelge 4.23). Şekil 4.32 ve Şekil 4.33c'deki grafiksel karşılaştırmalar da göz önüne alınarak bir değerlendirme yapılacak olursa SALTMED modelinin bu toprak katmanı için hacimsel toprak su içeriğini bir miktar yüksek tahmin etme eğiliminde olmasına rağmen kabul edilebilir bir performans sergilediği söylenebilir.

SALTMED modelinin 0-90 cm toprak derinliğindeki hacimsel toprak su içeriğini tahmin etme performansının deneme konularına göre nasıl bir değişim gösterdiğini incelemek amacıyla model değerlendirmede kullanılan istatistiksel parametreler her bir deneme konusu için ayrı ayrı hesaplanmıştır (Çizelge 4.24). Böylece modelin farklı tuz düzeyleri ve farklı kısıntı uygulamaları koşullarındaki davranışı anlaşılmaya çalışılmıştır.

Araştırma konularında hesaplanan MBE ve MAE değerleri arasında önemli bir değişim görülmemiş ve tüm konularda MBE ve MAE değerlerinin sıfıra yakın olduğu belirlenmiştir. Ortalama hata yüzdesi incelendiğinde ise en yüksek ortalama RE, KURU konusunda -4.71 olarak hesaplanmış, bunu -4.65 ile SI20-33 konusu izlemiştir. En yüksek RMSE ve NRMSE değerleri yine KURU konusunda sırasıyla 0.041 ve 0.123 olarak hesaplanırken, SI20-33 konusunda bu istatistiksel parametreler sırasıyla 0.035 ve 0.103 olmuştur. Diğer araştırma konularında ise RMSE ve

NRMSE değerlerinin sıfıra oldukça yakın olduğu görülmüştür. Buna göre SALTMED modelinin SI20-33 ve KURU konusunda tahmin ettiği toprak su içeriklerinin ölçülen değerlerden az da olsa bir sapma gösterdiği söylenebilir. Buna rağmen modelin söz konusu deneme konuları için yapmış olduğu tahminler halen kabul edilebilir düzeydedir. Deneme konuları için hesaplanan E_{NS} değerleri 0.53 ve üzerinde olurken **d** değerleri de 0.86 ve üzerinde olmuştur. Model etkinliğini ifade eden E_{NS} ve **d** değerleri genel olarak tüm deneme konuları için tahmin edilen toprak su içeriklerinin ölçülen değerlerle uyumlu olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.24. Deneme Konularında 0-90 cm Toprak Derinliğinde SALTMED Modeli ile Tahmin Edilen Hacimsel Toprak Su İçerikleri İçin Hesaplanan İstatistiksel İndeksler

Deneme Konuları	İstatistiksel Parametreler						
	MBE	MAE	Ort. RE	RMSE	NRMSE	E_{NS}	**d**
FI-100	0.008	0.018	-2.54	0.022	0.064	0.75	0.94
FI-67	0.008	0.018	-2.53	0.020	0.061	0.83	0.95
FI-33	0.004	0.019	-1.98	0.026	0.075	0.79	0.94
PRD	0.007	0.022	-2.82	0.028	0.084	0.73	0.92
SI10-100	0.006	0.018	-1.98	0.024	0.071	0.72	0.92
SI10-67	0.003	0.019	-0.96	0.026	0.077	0.64	0.91
SI10-33	0.000	0.018	-0.21	0.024	0.071	0.75	0.93
SI20-100	0.009	0.017	-3.01	0.024	0.071	0.70	0.92
SI20-67	0.011	0.023	-3.84	0.028	0.084	0.64	0.90
SI20-33	0.011	0.027	-4.65	0.035	0.103	0.65	0.89
SI30-100	0.008	0.016	-2.38	0.018	0.054	0.78	0.94
SI30-67	0.008	0.018	-2.51	0.022	0.065	0.65	0.92
SI30-33	0.009	0.019	-3.58	0.023	0.069	0.82	0.95
KURU	0.011	0.029	-4.71	0.041	0.123	0.53	0.86

Modelin toprak su içeriği kestirimlerine ilişkin tüm grafiksel ve istatistiksel değerlendirmeler göz önüne alındığında SALTMED modelinin farklı tuzluluk düzeylerindeki sulama sularının kullanıldığı Adana koşullarında toprak su içeriğini ölçülen değerlerle uyumlu bir şekilde tahmin ettiği söylenebilir. Yüksek sulama suyu tuzluluğu SALTMED modelinin toprak su içeriğini tahmin etme performansını düşürmemiştir. Benzer şekilde farklı tuzluluk düzeylerinde %67, %33 geleneksel

kısıntılı sulama, %50 PRD uygulaması veya KURU (sulamasız) koşullarda da model quinoa bitkisi için toprak su içeriğini başarıyla tahmin edebilmiştir.

Sonuç olarak SALTMED Modelinin Adana koşullarında farklı sulama stratejileri uygulanarak yetiştirilen quinoa bitkisi için toprak su içeriğini tahmin etme performansının oldukça iyi olduğu söylenebilir.

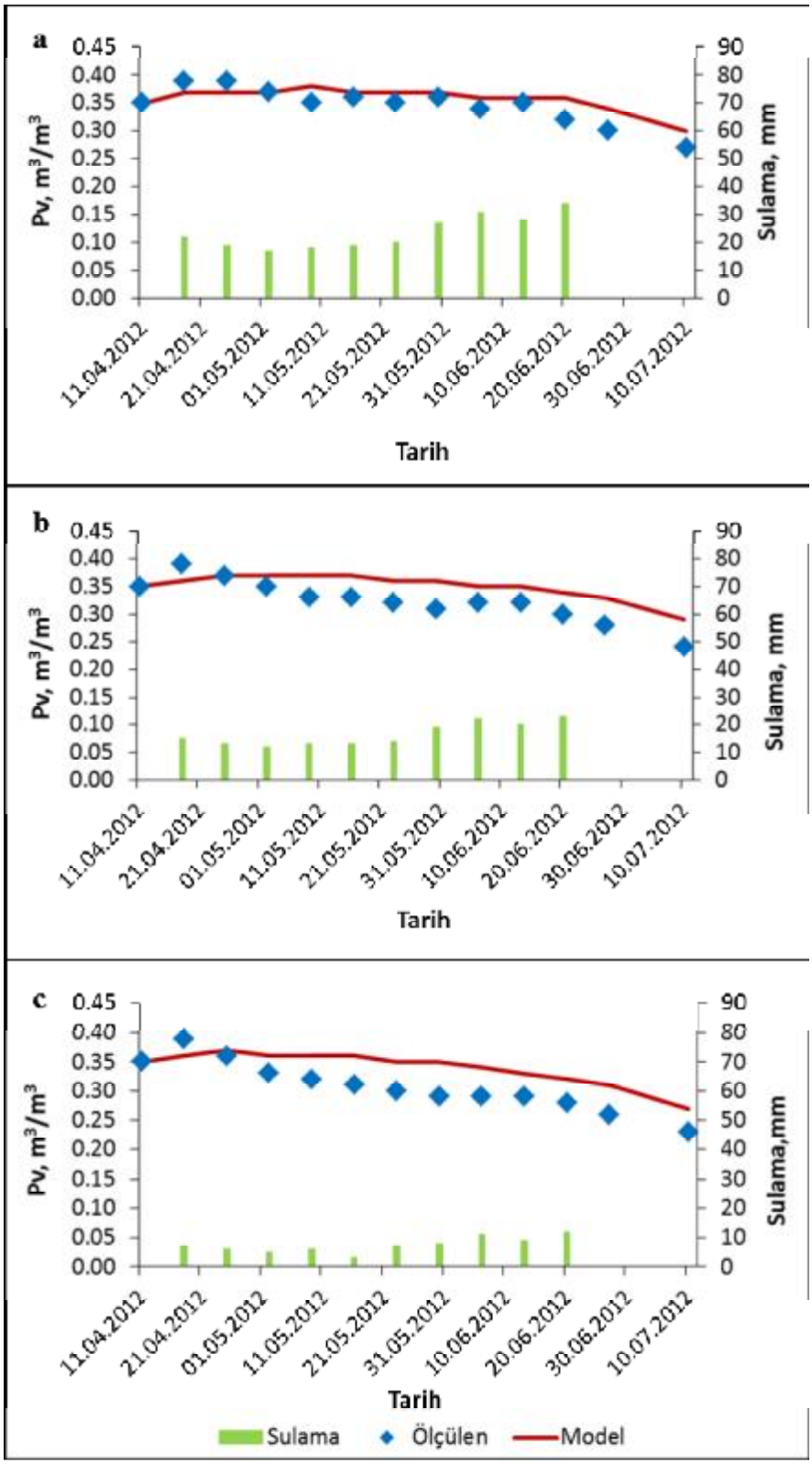
4.2.2.2. Tarsus Koşulları

Tarsus koşullarında, quinoa bitkisinin drenaj suyu kullanılarak çizgi kaynaklı yağmurlama sistemi ile sulandığı tarla denemesinde üretim sezonu boyunca nötron saçılma yöntemi ve gravimetrik örnekleme yöntemleri kullanılarak deneme konularında 90 cm toprak derinliğindeki nem değişimi izlenmiştir. SALTMED modelinin her deneme konusunda söz konusu toprak derinliği için yapmış olduğu tahminler ile ölçülen değerler karşılaştırılmıştır.

Araştırma konularında ölçülen ve SALTMED modeli kullanılarak kestirilen toprak su içeriklerinin grafiksel karşılaştırmaları Şekil 4.34a,b,c'de verilmiştir.

Şekil 4.34a'da tam sulama (T1) konusunda uygulanan suyun %80'inin bitki kök bölgesine verildiği T2 konusunda, ölçülen ve kestirilen toprak su içeriklerinin karşılaştırılması görülmektedir. T2 konusunda genel olarak ölçülen ve kestirilen toprak su içerikleri büyüme mevsimi başlangıcından itibaren birbiri ile uyumlu bir seyir izlemesine rağmen 20 ve 27 Haziran 2012 tarihlerinde modelin tahmin ettiği toprak su içerikleri ölçülen değerlerden biraz yüksek olmuştur.

Şekil 4.34b ise tam sulama (T1) konusunda uygulanan suyun %50'sinin bitki kök bölgesine verildiği T3 konusunu temsil etmektedir. Grafikte de görüldüğü gibi söz konusu araştırma konusu için model, 9 Mayıs 2012 tarihinden itibaren ölçülen değerlere göre bir miktar daha yüksek toprak su içeriği tahminlerinde bulunmaya başlamıştır. Büyüme mevsimi sonuna kadar modelin tahmin ettiği toprak su içerikleri ölçülen değerlere yakın fakat bir miktar daha yüksek olmuştur.

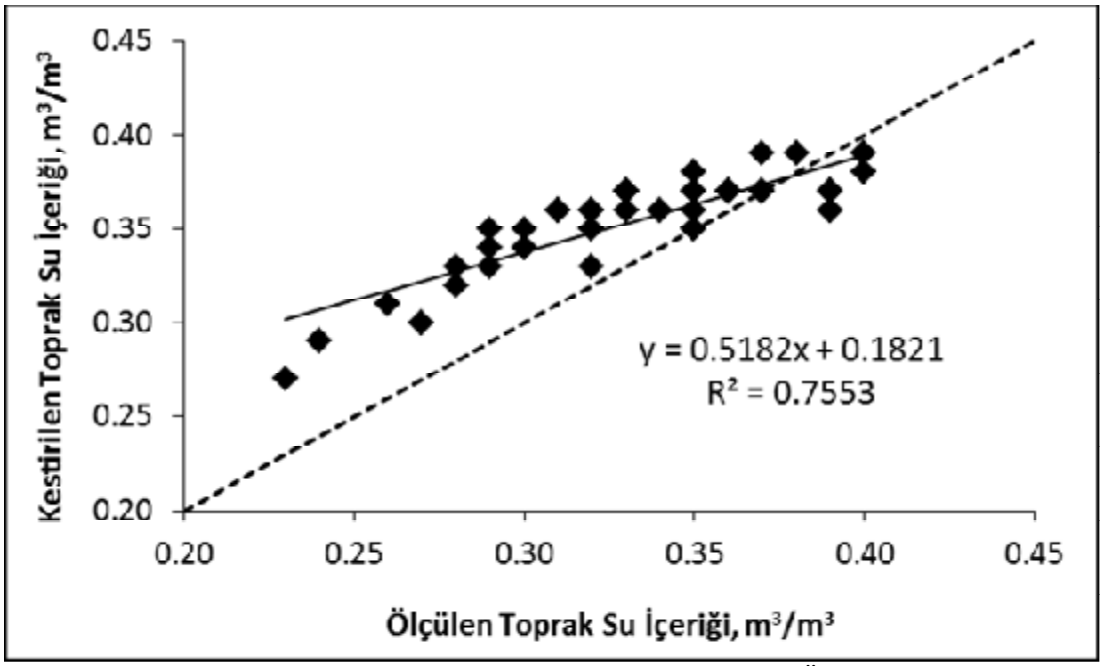


Şekil 4.34.a,b,c. T2 (a), T3 (b) ve T4 (c) Konularında 0-90 cm Toprak Derinliğinde Ölçülen ve SALTMED Modeli ile Kestirilen Hacimsel Toprak Su İçeriklerinin (Pv) Grafiksel Karşılaştırılması

T1 konusunda uygulanan suyun %20'sinin bitki kök bölgesine verildiği T4 konusunda ise, T3 konusu ile benzer şekilde 9 Mayıs 2012 tarihinde ortaya çıkan ölçülen ve kestirilen toprak su içerikleri arasındaki farklılaşma daha belirgin bir hal almıştır. Özellikle büyüme mevsiminin ortasında ölçülen ve kestirilen toprak su içerikleri arasındaki fark en yüksek düzeyde olmuştur. Büyüme mevsimi sonuna doğru model ölçülen değerlere daha yakın tahminlerde bulunsa da mevsim sonunda model tahminlerinin halen ölçülen değerlerin bir miktar üzerinde olduğu görülmüştür Şekil 4.34c).

Şekil 4.34a,b,c'de yapılan görsel karşılaştırmalara göre sulamada uygulanan kısıntı oranı yükseldikçe özellikle büyüme mevsimi ortalarında SALTMED modelinin tahmin ettiği toprak su içerikleri ile ölçülen hacimsel su içerikleri arasındaki fark artmıştır. Bununla birlikte genel olarak model ölçülen hacimsel su içerikleri ile uyumlu tahminlerde bulunmuştur.

Araştırma konularında SALTMED modeli kullanılarak kestirilen ve ölçülen toprak su içerikleri arasında regresyon analizi yapılmış; ölçülen ve kestirilen toprak su içerikleri arasında $R^2 = 0.76$ olan bir ilişki belirlenmiştir (Şekil 4.35).



Şekil 4.35. Deneme Konularında 90 cm Toprak Derinliğinde Ölçülen ve SALTMED Modeli ile Kestirilen Hacimsel Toprak Su İçerikleri Arasındaki İlişki

Şekil 4.35 incelendiğinde 90 cm toprak derinliğinde ölçülen ve kestirilen toprak su içeriklerine ilişkin eğilim çizgisinin 1:1 çizgisinden bir miktar uzaklaştığı görülmektedir. Şekil 4.35'te modelin özellikle 0.30 m^3/m^3 ve altındaki toprak su içeriklerini gerçekte olduğundan daha yüksek tahmin ettiği görülebilmektedir. Bu durum modelin T3 ve T4 kısıntılı sulama konularında özellikle büyüme mevsimi ortasında toprak su içeriklerini ölçülen değerlerden bir miktar daha yüksek tahmin etmesinin bir sonucudur.

Deneme konularında 0-90 cm toprak derinliği için tahmin edilen hacimsel toprak su içeriklerinin ölçülen değerlerle uyumunun istatistiksel olarak değerlendirilmesi amacıyla fark ve etkinlik esasına dayanan istatistiksel parametreler hesaplanarak Çizelge 4.25'te verilmiştir.

Çizelge 4.25. Araştırmada 0-90 cm Toprak Derinliğinde SALTMED Modeli ile Tahmin Edilen Hacimsel Toprak Su İçerikleri İçin Hesaplanan MBE, MAE, Ort. RE, RMSE, NRMSE, E_{NS} ve **d** Değerleri

İstatistiksel Parametre	Hesaplanan Değer
MBE	0.02
MAE	0.03
Ort. RE	-6.54
RMSE	0.03
NRMSE	0.09
E_{NS}	0.49
d	0.81

SALTMED modeli 90 cm toprak derinliğindeki hacimsel su içeriğini ortalama %-6.54 hata ile tahmin etmiştir. Genel olarak MBE, MAE, RMSE ve NRMSE değerleri ideal değer olan sıfıra oldukça yakın değerler olmuştur. Bu istatistiksel parametreler, modelin toprak su içeriğini düşük sapmalarla ölçülen değerlere yakın tahmin ettiğini göstermektedir. Diğer taraftan Willmott uyum indeksi, **d**, 0.81 olarak belirlenirken Nash-Sutcliffe etkinlik katsayısı, E_{NS}, ise biraz daha düşük kalmış ve 0.49 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.25). Önceki bölümlerde belirtildiği gibi Nash-Sutcliffe etkinlik katsayısı $-\infty$ ile 1 arasında değer alabilen ve ideal değeri 1 olan bir istatistiksel indekstir. Nash-Sutcliffe etkinlik katsayısının

sıfırdan küçük olması model performansının yetersiz olduğunu gösterirken, sıfır ile 1 arasındaki E_{NS} değerleri model performansının kabul edilebilir düzeyde olduğunu ifade etmektedir (Nash ve Sutcliffe, 1970). Buna göre araştırmada hesaplanan 0.49 E_{NS} değeri modelin toprak su içeriği tahminlerinin kabul edilebilir düzeyde olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.26. Deneme Konularında 90 cm Toprak Derinliğinde SALTMED Modeli ile Tahmin Edilen Hacimsel Toprak Su İçerikleri İçin Hesaplanan MBE, MAE, Ort. RE, RMSE, NRMSE, E_{NS}, **d** Değerleri

Deneme Konuları	Parametreler						
	MBE	MAE	Ort. RE	RMSE	NRMSE	E_{NS}	**d**
T1	0.00	0.01	-0.86	0.02	0.05	0.58	0.84
T2	0.01	0.02	-4.25	0.02	0.07	0.50	0.80
T3	0.03	0.03	-9.36	0.04	0.11	0.05	0.72
T4	0.03	0.04	-11.70	0.04	0.13	0.01	0.71

SALTMED modelinin her bir deneme konusunda toprak su içeriğini tahmin etme performansının nasıl değiştiğini incelemek amacıyla yukarıda belirtilen istatistiksel indeksler her bir deneme konusu için ayrı ayrı hesaplanmış ve Çizelge 4.26'da verilmiştir. MBE, MAE, RMSE ve NRMSE değerleri tüm deneme konularında ideal olan sıfır değerine yakın olmakla birlikte özellikle T3 ve T4 konusunda bu değerlerin bir miktar yüksek olduğu görülmektedir. Bu araştırma konularında NRMSE değerleri T3 konusunda 0.11, T4 konusunda ise 0.13 olarak hesaplanmıştır. Söz konusu deneme konularında etkinlik esasına dayanan E_{NS} ve **d** değerleri de kabul edilebilir sınırlar içerisinde olmakla birlikte diğer deneme konularına göre daha düşük çıkmıştır. T1 ve T2 konusunda sırasıyla 0.58 ve 0.50 olarak hesaplanan E_{NS}, T3 ve T4 konusunda sırasıyla 0.05 ve 0.01 olarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde T1 ve T2 konusunda sırasıyla 0.84 ve 0.80 olan uyum indeksi, T3 ve T4 konularında sırasıyla 0.72 ve 0.71 olarak bulunmuştur. Şekil 4.34 ve 4.35'te yapılan grafiksel karşılaştırmalarda görüldüğü gibi model T3 ve T4 konusunda toprak su içeriğini ölçülen değerlerden bir miktar yüksek tahmin etme eğilimi göstermiştir. Bu nedenle E_{NS} ve **d** değerleri bu deneme konuları için diğer deneme konularına göre daha düşük bulunmuştur. Her ne kadar modelin %50 (T3) ve

%20 (T4) kısıntılı sulama konularında toprak su içeriğini bir miktar yüksek tahmin etme eğilimi olsa da modelin yaptığı tahminler istatistiksel olarak kabul edilebilir sınırlar içerisindedir.

SALTMED modelinin 0-90 cm toprak derinliğindeki toprak su içeriğini tahmin etme performansının değerlendirilmesi için yapılan tüm grafiksel ve istatistiksel karşılaştırmalar modelin Tarsus koşullarında yağmurlama sulama yöntemi ile drenaj suyu kullanılarak farklı kısıntı düzeylerinde sulanan quinoa bitkisi için toprak su içeriğini gerçek değerlere yakın tahmin ettiğini göstermektedir.

Adana ve Tarsus koşulları için SALTMED modelinin toprak su içeriğini tahminlerine ilişkin elde edilen bulgular birlikte değerlendirilecek olursa gerek Adana gerekse Tarsus koşullarında farklı kalitedeki sulama suları ile farklı düzeylerde sulanan quinoa bitkisi için modelin toprak su içeriğini tahmin etmede oldukça iyi bir performans sergilediği söylenebilir.

Araştırmada elde edilen bu bulgular Hirich ve ark. (2012) tarafından Fas'ta; Pulvento ve ark. (2013) tarafından İtalya'da yürütülen araştırma sonuçları ile örtüşmektedir. Hirich ve ark. (2012), Fas iklim koşullarında yetiştirilen quinoa bitkisi için SALTMED modeli ile tahmin edilen toprak su içeriklerinin ölçülen değerlerle oldukça uyumlu olduğunu belirtmişlerdir. Pulvento ve ark. (2013), ise tatlı ve tuzlu su ile sulanan quinoa bitkisi için 0-36 cm toprak katmanında ölçülen ve SALTMED modeli kullanılarak kestirilen toprak su içerikleri arasında R^2 = 0.84 olan güçlü bir korelasyon olduğunu ifade etmişlerdir.

Silva ve ark. (2013) Portekiz'de nohut bitkisi ile yaptıkları araştırmada ölçülen ve SALTMED modeli kullanılarak tahmin edilen toprak su içerikleri arasında determinasyon katsayısı (R^2), 0.78'in üzerinde olan doğrusal bir ilişki belirlemişler ve 70 cm toprak derinliği için modelin doğru tahminlerde bulunduğunu bildirmişlerdir. Hirich ve ark. (2014b), Fas'ta tatlı mısır için yaptıkları araştırmada SALTMED modelinin 0-30 ve 30-60 cm toprak katmanları için toprak nemini sırasıyla 0.06 ve 0.05 RMSE değerleri ile başarıyla kestirebildiğini belirtmişlerdir. Suriye ve Mısır'da gerçekleştirilen çalışmalarda SALTMED modelinin toprak nemini başarıyla simule ettiği sonucuna varılmıştır (Ragab ve ark., 2005b). 2010 yılında Adana'da yürütülen çalışmada SALTMED modelinin farklı sulama suyu tuz

konsantrasyonları ve kısıntı düzeyleri için hacimsel toprak su içeriği tahminlerinin kabul edilebilir düzeyde olduğu belirlenmiştir (İnce Kaya ve ark., 2014). Razzaghi ve ark. (2011c), Danimarka'da farklı tuz düzeylerinde tam ve kısıntılı sulama yapılan quinoa bitkisi için SALTMED modelinin toprak su içeriğini oldukça iyi tahmin ettiğini ifade etmişlerdir. Ragab ve ark. (2015), İtalya, Girit ve Sırbistan'da yağmurlama, toprak altı ve toprak üstü damla ve karık sulama yöntemleri ile farklı sulama stratejileri uygulanarak sulanan domates ve patates bitkisi için SALTMED modelinin toprak su içeriğini %4 ile %10 arasında değişen hatalarla tahmin ettiğini belirtmişlerdir. Söz konusu araştırmada modelin toprak su içeriğine ilişkin RMSE değerlerinin 0.003 ile 0.042 arasında değiştiği ve modelin farklı iklim ve su yönetim koşullarında toprak su içeriğini başarıyla tahmin ettiği bildirilmiştir. Antalya'da sera koşullarında yapılan araştırmada, SALTMED modelinin serada farklı tuzluluk ve sulama rejimleri uygulanarak yetiştirilen biber bitkisi için 60 cm derinlikteki toprak nemini başarı ile tahmin ettiği belirtilmiştir. Söz konusu araştırmada ölçülen ve kestirilen toprak su içerikleri arasında R^2 = 0.67 ve 0.79 olan doğrusal ilişkiler belirlenmiştir (Rameshwaran ve ark., 2015). Fghire ve ark. (2015), Fas'ta yürüttükleri araştırma sonucunda tam ve kısıntılı sulama yapılan quinoa bitkisi için 60 cm toprak derinliğine kadar ölçülen ve SALTMED modeli kullanılarak kestirilen toprak su içerikleri arasında R^2 değerlerinin 0.84 ve 0.97 arasında değiştiği güçlü korelasyonlar belirlemişlerdir.

4.2.3. SALTMED Modelinin Toplam Kuru Madde Verimi ve Dane Verimini Kestirmedeki Performansı

4.2.3.1. Adana Koşulları

Çizelge 4.27'de Adana koşullarında damla sulama sistemiyle farklı tuzluluk ve kısıntı düzeylerinde sulanan quinoa bitkisi için SALTMED Modeli kullanılarak tahmin edilen toplam kuru madde verimleri, deneme konularında ölçülen toplam kuru madde verimleri ile karşılaştırılarak ölçülen ve kestirilen değerler arasındaki farklar ortaya konmuştur.

Çizelge 4.27. Deneme Konuları için SALTMED Modeli ile Kestirilen Quinoa Bitkisinin Toplam Kuru Madde Verimleri ile Gerçek Kuru Madde Verimleri Arasındaki Farklar

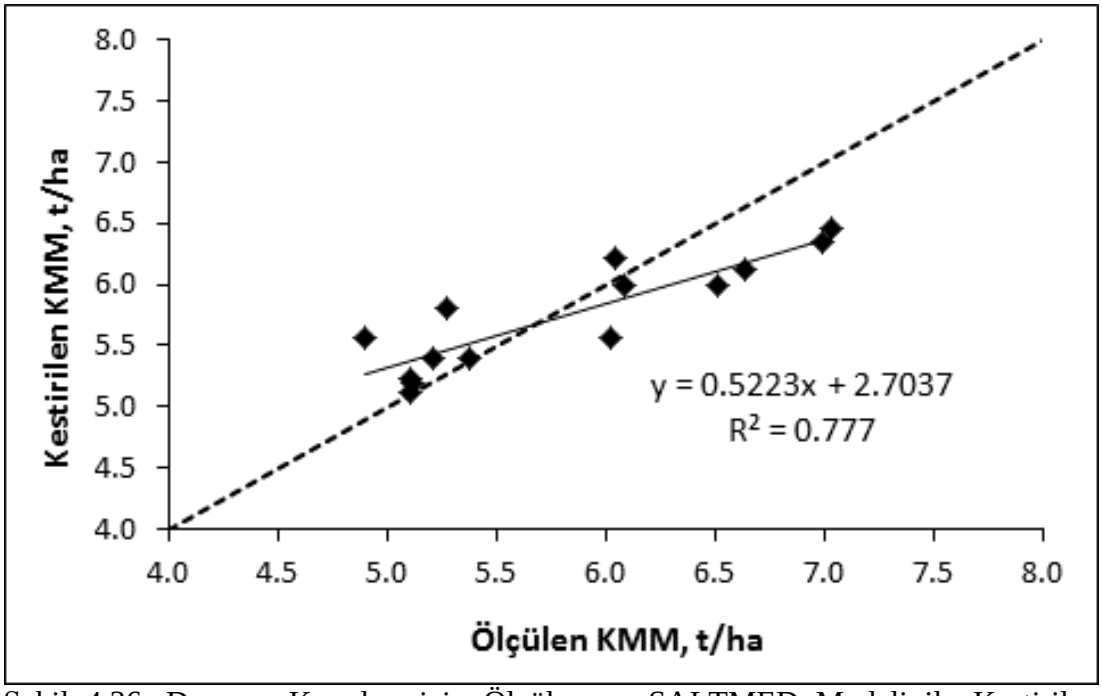
Deneme Konuları	Toplam Kuru Madde Verimi, (t/ha)			
	Ölçülen	Kestirilen	Fark (t/ha)	Fark %
FI100	7.04	6.45	0.59	8.38
FI67	6.04	6.21	-0.17	-2.81
FI33	5.27	5.81	-0.54	-10.25
PRD	6.09	5.99	0.1	1.64
SI10-100	6.52	5.99	0.53	8.13
SI10-67	5.38	5.4	-0.02	-0.37
SI10-33	5.11	5.13	-0.02	-0.39
SI20-100	6.64	6.12	0.52	7.83
SI20-67	5.21	5.4	-0.19	-3.65
SI20-33	4.9	5.56	-0.66	-13.47
SI30-100	6.99	6.35	0.64	9.16
SI30-67	6.02	5.56	0.46	7.64
SI30-33	5.12	5.19	-0.07	-1.37
DRY	5.11	5.24	-0.13	-2.54
MBE	-0.07			
MAE	0.33			
Ort. RE	0.57			
RMSE	0.41			
NRMSE	0.070			
E_{NS}	0.68			
d	0.87			

Yapılan karşılaştırmalara göre ölçülen ve model tarafından kestirilen kuru madde verimleri arasındaki farklar %9.16 ile %-13.47 arasında değişmiştir. Ölçülen ve kestirilen toplam kuru madde verimleri arasındaki en yüksek fark SI20-33 konusunda ortaya çıkmıştır. Bu deneme konusunda ölçülen kuru madde verimi 4.9 t/ha iken SALTMED modeli toplam kuru madde verimini %13.47 oranında daha yüksek bir tahminle 5.56 t/ha olarak öngörmüştür. Bununla birlikte genel olarak deneme konularından elde edilen toplam kuru madde verimleri ile modelin tahmin ettiği değerler arasındaki farklar %10'un altında olmuştur. SALTMED modelinin toplam kuru madde verimini tahmin etmede ortalama hata yüzdesi 0.57; RMSE 0.41

ve NRMSE 0.07 olarak hesaplanmıştır. MBE ve MAE ise sırasıyla -0.07 ve 0.33 olarak bulunmuştur. Hata esasına dayalı bu istatistiksel parametrelerin sıfıra yakın değerlerde olması modelin kuru madde tahmininde ölçülen değerlerden sapmaların küçük olduğunu ifade etmektedir.

SALTMED modelinin kuru madde verimini tahmin etmede E_{NS} 0.68 olarak hesaplanırken **d** değeri 0.87 olmuştur. Nash-Sutcliffe etkinlik katsayısına göre modelin kuru madde verimini tahmin etmedeki performansı kabul edilebilir sınırlar içindedir. Willmot uyum indeksine (**d**) göre ise modelin kuru madde verimini oldukça iyi tahmin ettiği söylenebilir.

Araştırmada ölçülen ve SALTMED Modeli kullanılarak tahmin edilen kuru madde verimlerinin grafiksel olarak karşılaştırması Şekil 4.36'da verilmiştir.



Şekil 4.36. Deneme Konuları için Ölçülen ve SALTMED Modeli ile Kestirilen Toplam Kuru Madde Verimleri Arasındaki İlişki

Şekil 4.36'da görüldüğü gibi ölçülen ve model kullanılarak kestirilen kuru madde verimleri arasında R^2 = 0.78 olan bir ilişki olduğu ortaya konmuştur. Bununla birlikte ölçülen ve kestirilen kuru madde verimlerine ait eğilim çizgisinin 1:1 çizgisi ile bir miktar uyumsuzluk gösterdiği de görülmektedir. Bu uyumsuzluğun nedeni

model tahminlerinin ölçülen değerlere göre her ne kadar genel olarak %10'un altında olsa da bir miktar farklılık göstermesinden kaynaklandığı söylenebilir.

Araştırmada objektif bir değerlendirme yapabilmek adına tek bir istatistiksel parametreye bağlı kalınmayıp birkaç istatistiksel indeks kullanılarak çok yönlü bir değerlendirme yapılmaya çalışılmıştır. Hata veya etkinlik esasına dayalı olan tüm bu istatistiksel indeksler bir arada değerlendirildiğinde SALTMED modelinin Adana koşullarında farklı tuzluluk düzeylerinde ve farklı sulama stratejileri ile sulanan quinoa bitkisinin toplam kuru madde verimi konusunda iyi tahminler ortaya koyduğu söylenebilir.

Çizelge 4.28. Deneme Konuları için SALTMED Modeli ile Kestirilen Quinoa Dane Verimleri ile Gerçek Dane Verimleri Arasındaki Farklar

Deneme Konuları	Dane Verimi, (t/ha)			
	Ölçülen	Model	Fark (t/ha)	Fark %
FI100	1.96	1.81	0.15	7.65
FI67	1.68	1.74	-0.06	-3.57
FI33	1.64	1.8	-0.16	-9.76
PRD	1.67	1.61	0.06	3.59
SI10-100	1.92	1.74	0.18	9.38
SI10-67	1.69	1.67	0.02	1.18
SI10-33	1.46	1.5	-0.04	-2.74
SI20-100	1.87	1.71	0.16	8.56
SI20-67	1.64	1.68	-0.04	-2.44
SI20-33	1.43	1.61	-0.18	-12.59
SI30-100	1.91	1.71	0.2	10.47
SI30-67	1.74	1.61	0.13	7.47
SI30-33	1.28	1.3	-0.02	-1.56
DRY	1.51	1.57	-0.06	-3.97
MBE	-0.02			
MAE	0.10			
Ort. RE	0.83			
RMSE	0.12			
NRMSE	0.073			
E_{NS}	0.60			
d	0.85			

SALTMED Modeli kullanılarak tahmin edilen quinoa bitkisi dane verimleri ile deneme konularından elde edilen gerçek dane verimleri arasındaki karşılaştırmalar ve istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4.28'de verilmiştir.

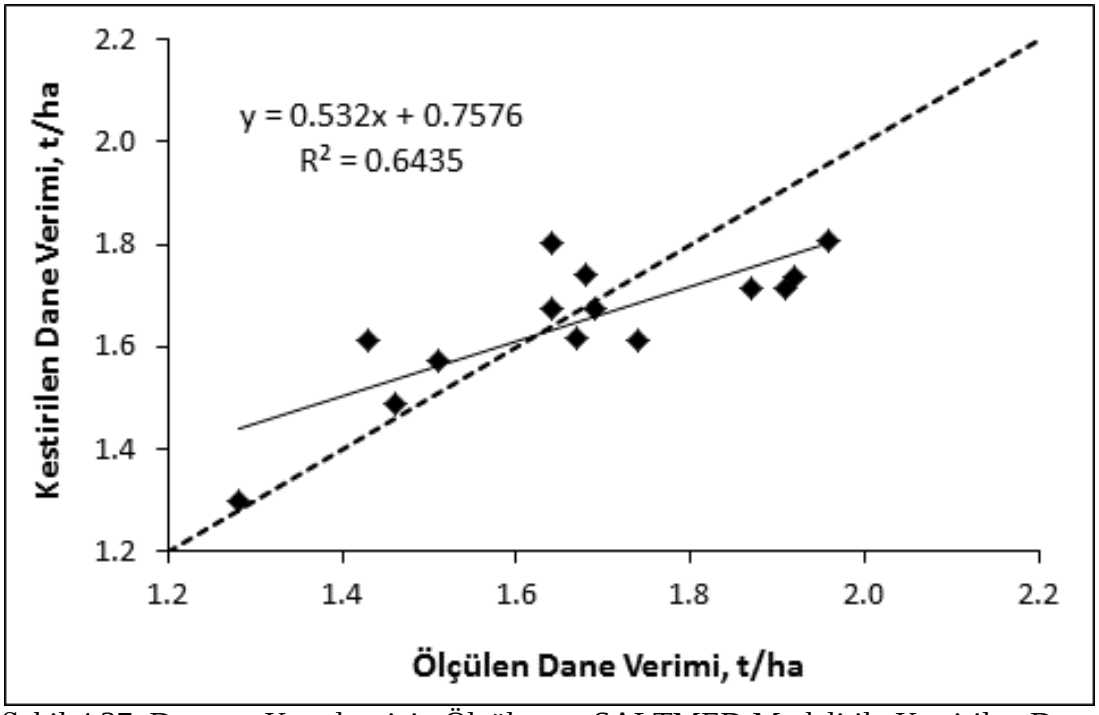
Modelin tahmin ettiği dane verimleri ile deneme konularından elde edilen dane verimleri karşılaştırıldığında ortaya çıkan farkların %10.47 ile %-12.59 arasında değiştiği görülmüştür. Ölçülen ve kestirilen dane verimleri arasındaki en önemli fark yine SI20-33 konusunda ortaya çıkmıştır. Diğer deneme konuları da göz önüne alınarak ölçülen ve kestirilen dane verimleri arasındaki farklar incelendiğinde modelin %10'un daha altında farklarla tahminde bulunduğu söylenebilir. Yapılan istatistiksel değerlendirmelerde MAE ve MBE sırasıyla -0.02 ve 0.10 olarak hesaplanırken ortalama RE 0.83; RMSE 0.12 ve NRMSE 0.073 olmuştur.

Dane verimini tahmin etmede model etkinliğini gösteren E_{NS} ve d sırasıyla 0.60 ve 0.85 olmuştur. Nash-Sutcliffe etkinlik katsayısı ölçülen ve tahmin edilen dane verimleri arasında Willmot uyum indeksine göre daha düşük bir korelasyona işaret etmiş olsa da model etkinliğinin kabul edilebilir düzeyde olduğunu göstermektedir. Bu nedenle modelin farklı tuzluluk düzeylerinde ve farklı sulama stratejileri ile sulanan quinoa bitkisi dane verimlerinin kestirilmesinde istatistiksel olarak gerçek değerlerle uyumlu sonuçlar verdiği söylenebilir.

SALTMED Modeli kullanılarak tahmin edilen verim değerlerinin tarla denemesinden elde edilen sonuçlar ile grafiksel olarak karşılaştırması Şekil 4.37'de verilmiştir.

Yapılan regresyon analizi sonucunda ölçülen ve model kullanılarak kestirilen dane verimleri arasında $R^2 = 0.64$ olan doğrusal bir ilişki belirlenmiştir. Şekil 4.37'de ölçülen ve kestirilen dane verimlerine ait eğilim çizgisi 1:1 çizgisine tam olarak uyum göstermese de modelin genel olarak %10 ve daha düşük hatalarla tahminlerde bulunmuş olması iyi bir performansa işaret etmektedir.

Adana'da 2012 yılında yürütülen tarla denemesinden elde edilen sonuçlar ile SALTMED modeli kullanılarak tahmin edilen verim parametrelerinin istatistiksel ve grafiksel olarak karşılaştırması sonucunda modelin Adana koşulları için toplam kuru madde ve dane verimini tahmin etmede başarılı olduğu söylenebilir.



Şekil 4.37. Deneme Konuları için Ölçülen ve SALTMED Modeli ile Kestirilen Dane Verimleri Arasındaki İlişki

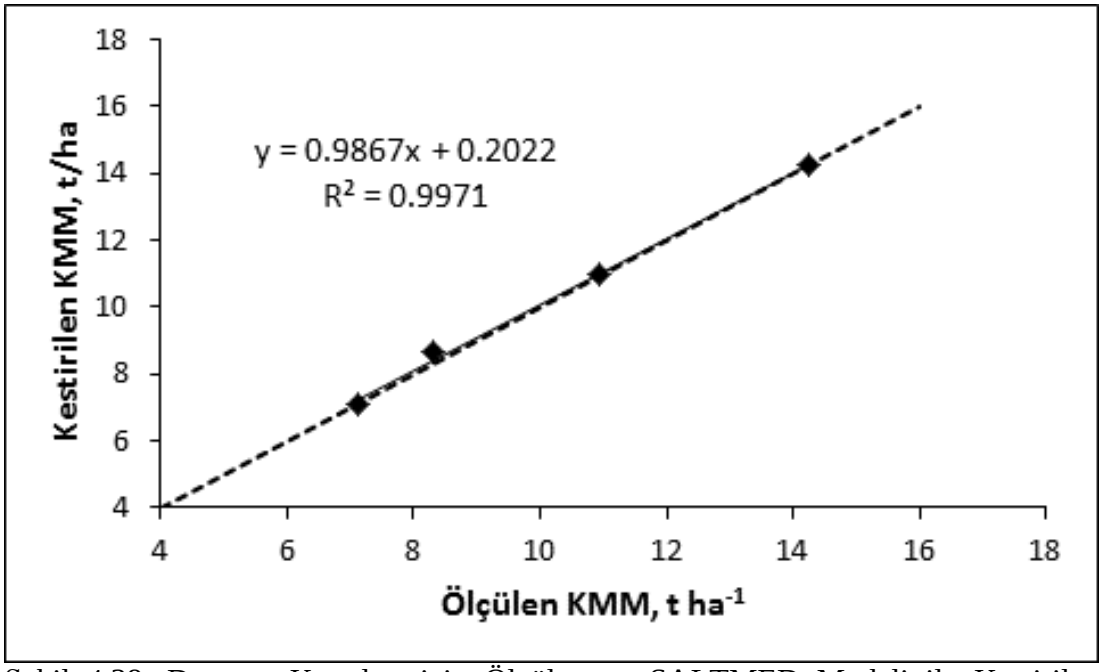
4.2.3.2. Tarsus Koşulları

SALTMED modelinin Tarsus koşullarında yetiştirilen quinoa bitkisinin dane ve kuru madde verimini tahmin etmekteki performansının değerlendirilmesi amacıyla ölçülen ve model kullanılarak tahmin edilen değerler karşılaştırılmıştır. Deneme konularına göre ölçülen ve kestirilen kuru madde verimleri arasındaki farklar ve hesaplanan istatistiksel göstergeler Çizelge 4.29'da verilmiştir.

Tarsus koşullarında, drenaj suyu kullanılarak farklı kısıntı düzeylerinde sulanan quinoa bitkisi için ölçülen ve kestirilen kuru madde verimleri arasındaki farklar %0.07 ile %-3.85 arasında değişmiştir. Kuru madde verimine ilişkin istatistiksel analiz sonuçları incelendiğinde hata esasına dayalı istatistiksel indekslerin hepsinin sıfıra oldukça yakın değerler olduğu görülmektedir. Hesaplanan RMSE değeri 0.16, NRMSE değeri ise 0.016 olmuştur. Kuru madde verimini kestirmede model etkinliğinin bir göstergesi olarak kabul edilebilecek istatistiksel göstergeler olan E_{NS} ve **d** ise 0.99 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.29).

Çizelge 4.29. Deneme Konularında Ölçülen Toplam Kuru Madde Verimi ile SALTMED Modeli ile Kestirilen Değerler Arasındaki Farklar

Deneme Konuları	Toplam Kuru Madde Verimi, (t/ha)			
	Ölçülen	Model	Fark (t/ha)	Fark %
T1	14.24	14.23	0.01	0.07
T2	10.94	10.97	-0.03	-0.27
T3	8.31	8.63	-0.32	-3.85
T4	7.13	7.06	0.07	0.98
MBE	0.07			
MAE	0.11			
Ort. RE	-0.77			
RMSE	0.16			
NRMSE	0.016			
E_{NS}	0.99			
d	0.99			



Şekil 4.38. Deneme Konuları için Ölçülen ve SALTMED Modeli ile Kestirilen Toplam Kuru Madde Verimleri Arasındaki İlişki

Yapılan regresyon analizi sonucunda ölçülen ve kestirilen toplam kuru madde verimleri arasında R^2 = 0.99 olan doğrusal bir ilişki bulunmuştur (Şekil 4.38). Ölçülen ve kestirilen kuru madde verimlerine ilişkin eğilim çizgisinin 1:1 çizgisi ile

neredeyse tam olarak örtüştüğü Şekil 4.38'de görülebilmektedir. Bu örtüşme modelin Tarsus koşullarında yetiştirilen quinoa bitkisinin toplam kuru madde verimi konusunda oldukça iyi tahminler yaptığı göstermektedir.

SALTMED modeli ile tahmin edilen ve tarla denesinden elde edilen sonuçların grafiksel karşılaştırması ve yapılan istatistiksel değerlendirmeler göz önüne alındığında modelin kuru madde veriminde ölçülen değerlere oldukça yakın sonuçlar verdiği söylenebilir.

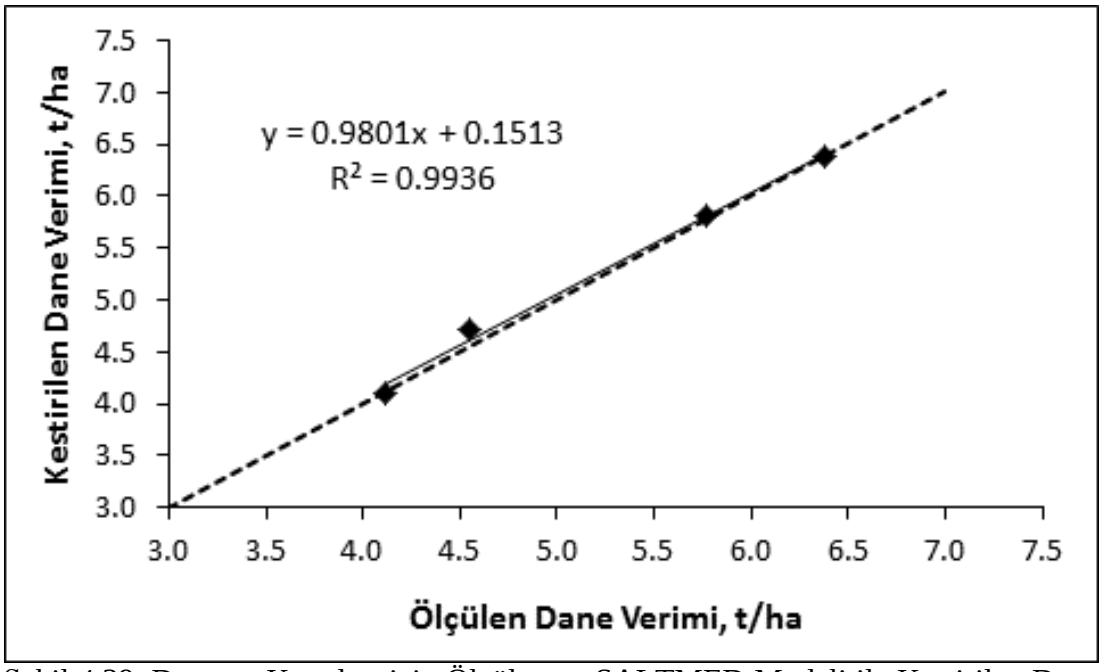
Çizelge 4.30. Deneme Konularında Ölçülen Dane Verimleri ile SALTMED Modeli ile Kestirilen Verim Değerleri Arasındaki Farklar

Deneme Konuları	Dane Verimi, (t/ha)			
	Ölçülen	Model ile Kestirilen	Fark (t/ha)	Fark %
T1	6.38	6.38	0	0.00
T2	5.77	5.81	-0.04	-0.69
T3	4.55	4.72	-0.17	-3.74
T4	4.11	4.09	0.02	0.49
MBE	0.05			
MAE	0.06			
Ort. RE	-0.99			
RMSE	0.09			
NRMSE	0.017			
E_{NS}	0.99			
d	0.99			

Çizelge 4.30'da Tarsus koşulları için SALTMED Modeli kullanılarak tahmin edilen quinoa bitkisi dane verimleri, deneme konularından elde edilen dane verimleri ile karşılaştırılarak ölçülen ve kestirilen değerler arasındaki farklar verilmiştir. Söz konusu çizelgede görüldüğü gibi model, Tarsus koşullarında quinoa bitkisinin dane verimlerini en fazla %-3.74 hata ile tahmin etmiştir. SALTMED modelinin dane verimi tahminlerine ilişkin MBA ve MAE değerleri sırasıyla 0.05 ve 0.06 olarak hesaplanmıştır. Modelin dane verimini tahmin etmede gösterdiği performansın bir başka göstergesi olan RMSE ve NRMSE değerleri ise sırasıyla 0.09 ve 0.017 olarak belirlenmiştir. 0.99 olarak hesaplanan Nash-Sutcliffe etkinlik katsayısı (E_{NS}) ve

Willmot uyum indeksi (**d**) ölçülen ve kestirilen quinoa dane verimleri arasında mükemmele yakın bir uyuşma olduğuna işaret etmektedir.

Ölçülen ve kestirilen quinoa dane verimleri arasında yapılan korelasyon analizi sonucunda $R^2 = 0.99$ olan doğrusal bir ilişki belirlenmiştir (Şekil 4.39). Şekil 4.39'da görüldüğü gibi dane verimi eğilim çizgisinin 1:1 çizgisi ile oldukça uyumlu olması modelin dane verimi tahminlerinin oldukça başarılı olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.39. Deneme Konuları için Ölçülen ve SALTMED Modeli ile Kestirilen Dane Verimleri Arasındaki İlişki

Tarsus koşullarında gerek kuru madde verimi ve gerekse dane verimine ilişkin değerlendirmeler sonucunda SALTMED modelinin yağmurlama sulama yöntemi ile drenaj suyu kullanılarak farklı kısıntı düzeylerinde sulanan quinoa bitkisi için kuru madde ve dane verimi tahminlerinde mükemmele yakın bir performans sergilediği söylenebilir.

Adana ve Tarsus koşulları için ortak bir değerlendirme yapmak gerekirse SALTMED modelinin farklı kalitedeki sulama suları ile farklı düzeylerde sulanan quinoa bitkisi için kabul edilebilir sınırlar içerisinde ve ölçülen değerlerle uyumlu tahminlerde bulunduğu söylenebilir.

Araştırmada SALTMED modelinin kuru madde ve dane verimi tahminlerine ilişkin elde edilen bu sonuçlar Hirich ve ark. (2012) tarafından Fas'ta yürütülen araştırma sonuçları ile uyumludur. Söz konusu araştırmada quinoa bitkisinin ölçülen ve SALTMED modeli ile kestirilen toplam kuru madde verimleri arasında R^2 = 0.98 olan; ölçülen ve kestirilen dane verimleri arasında ise R^2 = 0.96 olan oldukça güçlü korelasyonlar belirlenmiştir. Araştırmacılar modelin, ölçülen değerlere göre en fazla %16.24 ve ortalama %2.57 hata ile başarılı dane verimi tahminlerinde bulunduğunu bildirmişlerdir.

Pulvento ve ark. (2013), İtalya'da tatlı ve tuzlu su kullanılarak farklı sulama stratejileri ile sulanan quinoa bitkisi için SALTMED modeli ile tahmin edilen ve tarla denemesinden elde edilen dane verimleri arasında R^2 = 0.95; ölçülen ve kestirilen kuru madde verimleri arasında ise R^2 = 0.96 olan doğrusal ilişkiler belirlemişlerdir. Araştırmada modelin toplam kuru madde verimi tahminlerine ilişkin RMSE 0.35 olarak hesaplanırken, dane verimi tahminlerine ilişkin RMSE 0.19 olarak belirlenmiştir.

Silva ve ark. (2013) Portekiz'de 2009-2010 yıllarında nohut bitkisi ile yaptıkları araştırmada hem ölçülen ve SALTMED modeli ile tahmin edilen kuru madde verimleri arasında hem de ölçülen ve tahmin edilen dane verimleri arasında R^2 = 0.99 olan korelasyonlar belirlemişlerdir. Araştırmada toplam kuru madde verimi için RMSE 2009 yılında 0.149 olarak belirlenirken, 2010 yılında 0.150 olarak hesaplanmıştır. Dane verimi için hesaplanan RMSE ise her iki yıl için de 0.044 olmuştur.

Hirich ve ark. (2014b), Fas'ta yürüttükleri araştırmada SALTMED modelinin tatlı mısır için dane verimi tahminlerinde Ort. RE 2010 yılında %-10.92, 2011 ve 2012 yıllarında ise sırasıyla %0.34 ve %-0.14 olarak hesaplanmıştır. Üç yılllık ölçülen ve model ile tahmin edilen dane verimleri için hesaplanan determinasyon katsayısı, R^2, 0.93 olarak belirlenmiştir. Araştırmada dane verimi için hesaplanan RMSE ise 1.11 olmuştur.

Suriye ve Mısır'da gerçekleştirilen araştırmalarda, Mısır'da damla sulama yöntemi ile farklı tuzluluk derecelerindeki sulama suyu ile sulanan domates için ölçülen ve tahmin edilen verimler arasındaki ortalama fark %-2.77 olarak; en yüksek

fark ise %-11.36 olarak belirlenmiştir. Suriye'de ise drenaj suyu ile tatlı suyun farklı oranlarda karıştırılarak damla sulama ile uygulandığı deneme konularında ölçülen ve tahmin edilen domates verimleri arasındaki ortalama fark %-2.2; en yüksek fark ise %-10.5 olarak belirlenmiştir. Araştırmada SALTMED modelinin tuzluluğun verim üzerindeki etkisini başarıyla yansıttığı; denemelerden elde edilen sonuçlar ile modelin tahmin ettiği sonuçlar arasında iyi bir uyum olduğu saptanmıştır (Ragab ve ark., 2005b).

İnce Kaya ve ark. (2014), 2010 yılında Adana'da yürüttükleri çalışmada SALTMED modelinin quinoa bitkisinin kuru madde verimini ortalama %-6.79; dane verimini ise ortalama %-4.18 hata ile tahmin ettiğini bildirmişlerdir. Söz konusu araştırmada kuru madde verimi için RMSE 0.47, NRMSE 0.08 olarak hesaplanırken dane verimi için RMSE 0.20, NRMSE 0.07 olarak belirlenmiştir.

Razzaghi ve ark. (2011c), SALTMED modelinin, Danimarka'da koşullarında farklı tuz ve kısıntı düzeylerinde sulanan quinoa bitkisinin kuru madde ve dane verimini başarıyla tahmin ettiğini ifade etmişlerdir.

Fghire ve ark. (2015), Fas'ın güneyinde 2011 ve 2012 yıllarında yürüttükleri araştırmada SALTMED modelinin damla sulama yöntemiyle tam sulama ve kısıntılı sulama yapılan quinoa bitkisi için kuru madde verimini %5'ten daha düşük hatalarla tahmin ettiğini belirlemişlerdir. Araştırmada kuru madde verimine ilişkin RMSE değeri 0.0063 olarak hesaplanmış; ölçülen ve kestirilen kuru madde verimleri arasında R^2 = 0.99 olan mükemmele yakın bir korelasyon olduğu belirtilmiştir. Modelin dane verimi tahminleri için hesaplanan RMSE değerinin 0.063 olduğu ve modelin stresli ve stressiz koşullar için dane verimini %10'dan daha düşük hatayla başarılı bir şekilde tahmin ettiği ifade edilmiştir.

Ragab ve ark. (2015), SALTMED modelinin İtalya'da damla ve yağmurlama sulama ile sulanan domates bitkisinin verimini R^2 = 0.95 olan güçlü bir korelasyonla ölçülen değerlerle uyumlu bir şekilde tahmin ettiğini belirtmişlerdir. Çalışmada, modelin Girit'te damla sulama yöntemi ile tam ve kısıntılı sulama uygulanarak yetiştirilen domates bitkisinin kuru madde verimini %4'ün altında hatalarla ölçülen değerlere oldukça yakın tahmin ettiği bildirilmiştir. Aynı araştırmada İtalya'da damla sulama yöntemi ile Sırbistan'da ise karık ve damla sulama yöntemi ile tam sulama,

kısıntılı sulama ve kısmi kök kuruluğu uygulanan patates bitkisinin kuru madde verimleri ile modelin tahminleri arasında R^2 değerleri sırasıyla 0.96 ve 0.91 olan güçlü ilişkiler belirlenmiştir. Araştırmacılar, SALTMED modelinin, farklı iklim ve su yönetim koşullarında domates ve patates bitkisinin kuru madde verimi ile toplam verimini oldukça iyi kestirebildiğini vurgulanmışlardır.

Antalya'da yürütülen bir araştırmada, ilkbahar ve güz döneminde sera koşullarında yetiştirilen iki farklı biber çeşidi için SALTMED modeli ile tahmin edilen oransal biber verimleri denemeden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Modelin ilkbahar döneminde her iki çeşit için oransal verimi 0.05; sonbahar döneminde ise 0.05 ve 0.06 RMSE değerleri ile ölçülen değerlere uygun tahmin ettiği belirtilmiştir (Rameshwaran ve ark., 2015).

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Akdeniz iklim koşullarında, farklı sulama suyu tuzluluk düzeyleri ve farklı sulama stratejilerinin, quinoa bitkisinin vejetatif gelişimi, verimi ve topraktaki tuz birikimine etkilerinin yanı sıra bitkinin kuraklık ve tuzluluk stresine göstermiş olduğu fizyolojik tepkiler incelenmiştir. Ayrıca araştırmada SALTMED modelinin farklı sulama suyu kalitesi ve sulama stratejileri kullanılarak yetiştirilen quinoa bitkisi için verim, kuru madde ve toprak nemini tahmin etmede kullanım olanakları araştırılmıştır.

Tarla denemesinde elektriksel iletkenliği 10, 20 ve 30 dS/m olan sulama suları ve ECw=0.5 dS/m olan kanal suyu kullanılarak dört farklı tuzluluk düzeyi ele alınmıştır. Her bir tuzluluk düzeyinde, tam sulama konuları ile tam sulamanın %67'sinin ve %33'ünün uygulandığı kısıntılı sulama konuları yer almıştır. Ayrıca denemede kanal suyu ile %50 kısıntılı kısmi kök kuruluğu (PRD) uygulaması ve hiç sulama yapılmayan KURU konularına da yer verilmiştir. Böylece araştırmada toplam 14 araştırma konusu planlanmıştır. Sulama uygulamaları damla sulama yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Araştırmada ele alınan tüm tuzluluk düzeylerinde; tam sulama konularına (FI-100, SI10-100, SI20-100 ve SI30-100) toplam 140 mm sulama suyu uygulanırken; %67 kısıntılı sulama konularına (FI-67, SI10-67, SI20-67 ve SI30-67) 100 mm, %33 kısıntılı sulama konularına (FI-33, SI10-33, SI20-33 ve SI30-33) ise 60 mm su uygulanmıştır. PRD konusunda 80 mm sulama suyu uygulanırken, KURU konusunda denemenin başlangıcında verilen can suyu dışında sulama yapılmamıştır.

Araştırmada bitki kök bölgesinde su eksikliğinin dane verimini etkileyen bir faktör olduğu saptanmıştır. Kanal suyu ile %67 kısıntılı sulama uygulanan FI-67 konusunda, dane veriminde stressiz koşullara göre %14.5; PRD uygulamasında ise %15 düşüş kaydedilmiştir. Öte yandan FI-67 konusunda, tam sulamaya göre %33'lük, PRD konusunda ise %50 oranında su tasarrufu sağlanmaktadır. Sulama suyunda daha ciddi bir kısıntı uygulandığında yani %33 kısıntılı sulama konusu olan FI-33 konusunda verimde FI-100 konusuna göre %16'lık bir düşüş söz konusu olmuştur. Hiç sulama yapılmayan KURU konusunda ise stressiz koşullara göre dane veriminde %23'lük bir azalma olduğu görülmüştür.

Araştırmada, bitki kök bölgesindeki eksik suyun tam olarak karşılanması durumunda quinoa bitkisinin kanal suyu veya ECw 10, 20 ya da 30 dS/m olan tuzlu sularla sulanmasının dane veriminde istatistiksel olarak önemli derecede düşüşlere neden olmadığı belirlenmiştir.

Çalışmada bitki kök bölgesinde su ve tuz stresinin bir arada ortaya çıkmasının dane verimini nasıl etkilediği de incelenmiştir. Buna göre orta düzeyde sulama suyu kısıntısı durumunda, kanal suyuyla sulama ve ECw 30 dS/m tuzluluk düzeyine kadar olan tuzlu sularla sulamanın quinoa dane verimini aynı derecede etkilediği belirlenmiştir. Bir başka deyişle tuzluluk derecesi ECw 10, 20 ve 30 dS/m olan sularla %67 kısıntılı sulama koşullarında ortaya çıkan dane verimi düşüşleri kanal suyuyla orta dereceli kısıntılı sulama uygulamalarındaki ile benzer oranlarda olmuştur. Ancak daha yüksek düzeyde sulama suyu kısıntısı uygulanması durumunda, bitki kök bölgesinde su ve tuz stresinin bir arada ortaya çıkması dane verimini ciddi bir şekilde etkilemiştir. ECw 10, 20 ve 30 dS/m düzeyinde %33 kısıntılı sulama konularında ortaya çıkan verim düşüşleri hiç sulama yapılmayan KURU konusundan bile %3 ile %15 arasında değişen oranlarda daha düşük olmuştur. Buna göre bitki kök bölgesinde yüksek derecede kuraklık ve tuzluluk stresinin bir arada ortaya çıkmasının quinoa dane verimini tek başına kuraklık stresi ya da tuz stresine göre daha fazla etkilediği söylenebilir.

Çalışmada oransal evapotranspirasyon azalmasına karşın verimdeki oransal azalmayı tanımlayan verim tepki etmeni, ky, 0.96 olarak belirlenmiştir.

Su kullanım randımanı ve sulama suyu kullanım randımanları deneme konularına göre önemli bir farklılık göstermemiştir.

Sulama suyu tuzluluğu ve bitki kök bölgesinde su eksikliğinin bin dane ağırlığı üzerinde önemli bir etki yaratmadığı tespit edilmiştir.

Hasattaki en yüksek kuru madde verimi, 612.1 kg/da olarak, stressiz koşulları temsil eden FI-100 konusundan elde edilmiştir. Tuzlu suyla tam sulama konuları olan SI10-100, SI20-100 ve SI30-100 konularında, kuru madde verimlerinde stressiz koşullara göre %0.6 ile %7 arasında değişen oranlarda düşüşler gözlenmiştir. Sulama suyunda kısıntı uygulanması durumunda ise kuru madde veriminde daha yüksek oranlarda düşüşler ortaya çıkmıştır. Yüksek sulama suyu tuzluluğu koşullarında dahi

bitki kök bölgesindeki eksik suyun tamamının karşılanması, bitkinin stressiz koşullara yakın kuru madde üretimini sağlarken sulama suyu kısıntısı kuru madde veriminde %25'e varan düşüşlere neden olmuştur. Bu durumda quinoa bitkisinin kuru madde verimi üzerinde su stresinin tuz stresine göre daha fazla etki yarattığı sonucuna ulaşılabilir.

Quinoa bitkisinin çiçeklenme dönemindeki LAI değerleri araştırma konularına göre 1.4 ile 2.5 arasında değişmiş; en yüksek LAI stressiz koşullarda ölçülürken su ve tuz stresi arttıkça LAI değerleri de düşmüştür. Yoğun su ve tuz stresinin olduğu %33 kısıntılı sulama konuları ile KURU konusu ise deneme konuları arasında en düşük LAI değerlerinin ölçüldüğü konular olmuştur.

Araştırmada uygulanan sulama suyu miktarı, tuzluluk derecesi ve farklı işletim biçimlerinin hasat indeksi üzerinde istatistiksel olarak etkisinin farklı olmadığı belirlenmiştir.

Toprakta tuz birikimine ilişkin yapılan ölçüm ve gözlemler sulama suyu tuzluluk derecesi arttıkça bitki kök bölgesinde hızlı bir tuz birikiminin ortaya çıktığını göstermiştir. Araştırmada uygulanan sulama yöntemine bağlı olarak topraktaki tuz birikiminin ilk 30 cm'lik toprak profilinde yoğunlaştığı görülmüştür.

Araştırmada, kuraklık ve tuzluluk stresi koşullarında quinoa bitkisinin etkili stoma davranışları ile stoma direncini yükselterek tepki gösterdiği ve böylece transpirasyonu kontrol altında tuttuğu saptanmıştır. Elde edilen bulgular sulama suyu tuzluluğundan kaynaklanan ozmotik etkinin ve bitki kök bölgesinde kullanılabilir su eksikliğinin quinoa bitkisinin stoma direncini yükselten faktörler olduğunu ortaya koymaktadır. Stoma direnci ile topraktaki kullanılabilir su yüzdesi arasında doğrusal bir ilişki olduğu; yüksek tuzluluk düzeylerinde ve küçük hacimlerde bile sulama uygulamalarının bitkinin stoma direncini nispeten düşürücü bir etki yarattığı belirlenmiştir.

Quinoa bitkisinin kuraklık ve tuzluluk stresi koşullarında bünyesindeki su durumunu kontrol etmek ve topraktan su alımını sürdürmek için kullandığı mekanizmalardan birinin de yaprak su potansiyelini düşürmek olduğu tespit edilmiştir. Stressiz koşullarda -17.0 bar olarak ölçülen yaprak su potansiyelinin iki

sulama arasındaki periyotta toprak kurudukça düştüğü ve hiç sulama yapılmayan KURU konusunda ise -26.5 bar'a ulaştığı belirlenmiştir.

Sulama suyu tuzluluk düzeyi ve sulama suyu kısıntısı arttıkça bitkide ortaya çıkan su stresinin bir sonucu olarak bitki taç sıcaklıklarının yükselmeye başladığı ve gün ortasındaki Tc-Ta değerinin stres koşullarına bağlı olarak 4.0 ºC üzerine çıkabildiği saptanmıştır.

Stressiz koşullarda quinoa bitkisinin CWSI değerinin 0.02 ile 0.58 arasında değiştiği, bitkiye uygulanan su ve tuz stresinin yoğunluğuna bağlı olarak CWSI'nın da yükseldiği ve 0.96 değerine kadar ulaştığı görülmüştür.

Elde edilen bu bulgular ışığında quinoa bitkisinin hiç sulama yapılmaksızın kuru koşullarda dahi yetiştirilebileceği ancak bu durumda bitki büyüme mevsimindeki yağış durumuna bağlı olarak dane veriminde ciddi düşüşlerin ortaya çıkabileceği sonucuna varılabilir. Sulama suyunun kısıtlı olduğu durumlarda orta dereceli geleneksel kısıntılı sulama ya da PRD uygulamaları ile quinoa dane verimini belli bir düzeyde tutmak mümkün olabilir. Ciddi sulama suyu sıkıntısı yaşanan durumlarda ise bitki su stresinin hafifçe giderilmesi yani bitki kök bölgesindeki eksik suyun yalnızca %33'ünün karşılanması bile verimdeki düşüşleri önemli ölçüde azaltabilmektedir.

Sulama için uygun kalitede suyun bulunamadığı durumlarda quinoa bitkisi özellikle ECw=10 dS/m tuzluluk düzeyine kadar olan tuzlu sularla sulanabilir. Çalışmada quinoa bitkisinin ECw=30 dS/m'ye kadar olan daha yüksek derecedeki tuzlu sularla da sulanabileceği sonucuna varılmış olsa da bu tip suların sulama amaçlı kullanılması toprakta kısa sürede çok fazla tuz birikimine neden olacağı ve toprağın fiziksel ve kimyasal yapısında kalıcı hasarlar bırakabileceği düşüncesi ile önerilmemektedir. Quinoa bitkisinin sulanmasında tuzlu suların kullanılması planlanıyor ise bitki tuz stresinin yanı sıra aşırı derecede kuraklık stresi ile karşı karşıya bırakılmamalı mümkünse bitki kök bölgesindeki eksik suyun tamamı karşılanmalı değilse orta dereceli (%67) kısıntılı sulama uygulaması yapılmalıdır. Öte yandan her durumda tuzlu suların sulama amaçlı kullanılmasının sadece bitkiye etkilerinin değil toprak ve çevresel etkilerinin de göz önüne alınarak ciddi bir sulama yönetimi gerektirdiği unutulmamalıdır.

Araştırmada elde edilen sonuçlara göre kuraklık ve tuzluluk stresine yüksek tolerans gösteren quinoa bitkisi özellikle tarım dışı kalma tehlikesi ile karşı karşıya olan kurak ve tuzlu tarım alanları için yeni, alternatif bir ürün olarak önerilebilir.

Araştırmada SALTMED modeli Adana ve Tarsus'ta yürütülen iki farklı tarla denemesi için ayrı ayrı kalibre edilerek modelin toprak nemi, quinoa bitkisinin dane ve kuru madde verimini tahmin etme performansı değerlendirilmiştir. Adana'da yürütülen araştırmada quinoa bitkisi damla sulama yöntemi ile kanal suyu ve tuzlu sularla sulanırken Tarsus'ta yürütülen çalışmada çizgi kaynaklı yağmurlama sulama yöntemi kullanılarak drenaj suyu ile sulanmıştır.

Adana koşullarında yetiştirilen quinoa bitkisi için 0-30, 30-60 ve 60-90 cm toprak derinliklerinde ölçülen ve SALTMED modeli ile kestirilen hacimsel toprak su içerikleri arasında sırasıyla R^2 0.86, 0.93 ve 0.80 olan doğrusal ilişkiler belirlenmiştir. Yapılan grafiksel ve istatistiksel karşılaştırmalar sonucunda, modelinin 60-90 cm toprak katmanı için hacimsel toprak su içeriğini bir miktar yüksek tahmin etme eğiliminde olmasına rağmen Adana koşullarında farklı sulama stratejileri uygulanarak yetiştirilen quinoa bitkisi için toprak su içeriği tahminlerinin kabul edilebilir sınırlar içinde ve ölçülen değerlerle uyumlu olduğu belirlenmiştir.

Tarsus koşulları için SALTMED modelinin 0-90 cm toprak derinliğinde toprak su içeriği tahminleri değerlendirilmiş ve yapılan tüm grafiksel ve istatistiksel karşılaştırmalar modelin Tarsus koşullarında yağmurlama sulama yöntemi ile drenaj suyu kullanılarak farklı kısıntı düzeylerinde sulanan quinoa bitkisi için toprak su içeriğini gerçek değerlere yakın tahmin ettiğini göstermiştir.

Modelin Adana ve Tarsus koşullarında yetiştirilen quinoa bitkisi için tahmin ettiği dane ve kuru madde verimleri tarla denemelerinden elde edilen verimlerle ayrı ayrı karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalara göre Adana'da yetiştirilen quinoa bitkisi için ölçülen ve model tarafından kestirilen kuru madde verimleri arasındaki farklar %9.16 ile %-13.47 arasında değişmiştir. Tarsus koşullarında drenaj suyu ile sulanan quinoa bitkisi için ölçülen ve kestirilen kuru madde verimleri arasındaki farklar ise %0.98 ile %-3.85 arasında değişmiştir. SALTMED modelinin kuru madde verimi tahminlerine ilişkin yapılan istatistiksel değerlendirmeler gerek Adana

gerekse Tarsus koşulları için modelin quinoa bitkisinin kuru madde verimini kabul edilebilir düzeyde olduğunu göstermiştir.

SALTMED modelinin, Adana koşullarında yetiştirilen quinoa bitkisi için tahmin ettiği dane verimleri ile deneme konularından elde edilen dane verimleri karşılaştırıldığında ortaya çıkan farkların %10.47 ile %-12.59 arasında değiştiği belirlenmiştir. Model Tarsus koşulları için çok daha başarılı dane verimi tahminlerinde bulunmuş ve ölçülen ve kestirilen dane verimleri arasındaki farklar %0.49 ile %-3.74 arasında değişmiştir.

Araştırmada SALTMED modelinin değerlendirilmesine ilişkin elde edilen bulgular ışığında modelin farklı kalitedeki sulama suları ile farklı düzeylerde sulanan quinoa bitkisi için toprak nemi, dane ve kuru madde verimini kabul edilebilir sınırlar içerisinde ve ölçülen değerlerle uyumlu bir şekilde tahmin ettiği sonucuna varılabilir. Model Akdeniz iklim kuşağında yer alan her iki yörede sulama suyu kalitesinin ve uygulanan sulama suyu kısıntısının kuru madde ve dane verimi üzerine etkilerini başarıyla yansıtabilmiştir. Ayrıca farklı sulama yöntemleri ile yapılan farklı sulama koşullarında topraktaki su dağılımını gerçek değerlere yakın bir şekilde tahmin edebilmiştir. Buna göre SALTMED modelinin Akdeniz iklim kuşağında farklı tuzluluk düzeylerinde ve farklı sulama stratejileri uygulanarak sulanan qunioa bitkisi için kuru madde ve dane verimi ile toprak nemini tahmin etmede iyi bir performans sergilediği ve sulama yönetimi için kullanışlı bir araç olma potansiyeline sahip olduğu söylenebilir.

SALTMED modeli tarla koşullarında yoğun ölçümler yerine detaylı simülasyon verileri ile proseslerin izlenmesini kolaylaştırabilir. Gelecekte, iklim değişikliği senaryoları dikkate alınarak SALTMED modeli ile sulama yönetimi, bitki gelişimi ve ürün rekolte tahminleri üzerine çalışmalar yürütülmesi önerilebilir.

KAYNAKLAR

ADOLF, V. I., SHABALA, S., ANDERSEN, M. N., RAZZAGHI, F., JACOBSEN, S. E., 2012. Varietal Differences of Quinoa's Tolerance to Saline Conditions. Plant Soil, 357, 117-129.

AKSOY, H., SARIYEV, A., 1997. Çukurova Bölgesinde Arık ve Menzilat Toprak Serilerinde Cropsyst Modeli Aracılığıyla Diyarbakır-81 Buğday Çeşidinde Potansiyel Verimliliğin Hesaplanması. Çukurova Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 8, 151-158.

ALDERFASI, A.A., NIELSEN D.C., 2001. Use of Crop Water Stress Index for Monitoring Water Status and Scheduling Irrigation in Wheat. Agricultural Water Management, 47, 69-75.

ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S., RAES, D., SMITH, M., 1998. Crop Evapotranspiration-Guidelines for Computing Crop Water Requirements. Irrigation and Drainage Paper No. 56, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 300s.

ALVAREZ-JUBETE, L., ARENDT, E. K., GALLAGHER E., 2010. Nutritive Value of Pseudocereals and Their Increasing Use as Functional Gluten-Free Ingredients. Trends in Food Science and Technology, 21, 106-113.

BEADLE, C.L., 1985. Plant Growth Analysis. Techniques in Bioproductivity and Photosynthesis. Edited by J. Coombs, D.O. Hall, S.P. Long and J.M.O. Scurlock. Chapter 2, 20-25. Pergoman Press Oxford, England.

BHARGAVA, A., SHUKLA, S., OHRI, D., 2006. Chenopodium Quinoa-An Indian Perspective. Industrial Crops and Products, 23, 73-87.

BHARGAVA, A., SHUKLA, S., OHRI, D., 2007. Genetic Variability and Interrelationship Among Various Morphological and Quality Traits in Quinoa *(Chenopodium quinoa* Willd.). Field Crop. Res. 101, 104–116.

BHARGAVA, A., SRIVASTAVA, S., 2013. Quinoa: Botany, Production and Uses. CAB International North America, ISBN-13: 9781780642260, 264s.

BOSQUE SANCHEZ, H., LEMEUR, R., VAN DAMME P., JACOBSEN, S-E., 2003. Ecophysiological Analysis of Drought and Salinity Stress of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Food Reviews International, 19, 111-119.

BOSQUE, H.D. 1998. Ecophysiological Analysis of Drought and Salinity Stress of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). MSc thesis in Soil Science and Eremology. Faculty of Science, Faculty of Agricultural and Applied Biological Sciences, University of Gent. International Center for Eremology, Gent, Belgium. 122s.

BOUYOUCOUS, W.S., 1951. A Recalibration of the Hydrometer Method for Making Mechanical Analysis of Soils. Argon. J., 43, 434–448.

BRANDT, A., BRESLER, E., DINER, N., BEN-ASHER, Y., HELLER, J., GOLDBERG, D., 1971. Infiltration from a Trickle Sources: I. Mathematical Models. Soil Science Society of America, 35, 675-682.

BRESLER, E., 1975. Two-Dimensional Transport of Solute during Nonsteady Infiltration for a Trickle Source. Soil Science Society of America, 39, 604-613.

CARDON, E.G., LETEY, J., 1992. Plant Water Uptake Terms Evaluated for Soil Water and Solute Movement Models. Soil Science Society of America, 56, 1876-1880.

CASINI, P., 2002. Possibilità di Introdurre la Quinoa Negli Ambienti Mediterranei. L'Informatore Agrario, 58, 29-34.

CHRISTIANSEN, J.L., RUIZ-TAPIA, E.N., JORNSGARD B., JACOBSEN, S.E., 1999. Fast Seed Germination of Quinoa (*Chenopodium quinoa*) at Low Temperature. In: Proceedings of COST 814-Workshop: Alternative Crops for Sustainable Agriculture, 13-15 June 1999, Turku, Finland, 220-225.

COCOZZA, C., PULVENTO, C., LAVINI, A., RICCARDI, M., D'ANDRIA R., TOGNETTI, R., 2013. Effects of Increasing Salinity Stress and Decreasing Water Availability on Ecophysiological Traits of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Journal of Agronomy and Crop Science, 199, 4, 229-240.

ÇAĞLAR, K.Ö., 1969. Toprak Bilgisi. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları:10, Ankara, 230s.

DAVIES, W. J., WILKINSON, S., LOVEYS, B., 2002. Stomatal Control by Chemical Signalling and the Exploitation of This Mechanism to Increase Water Use Efficiency in Agriculture. New Phytologist, 153, 449-460.

DEBAEKE, P., ABOUDRARE, A., 2004. Adaptation of Crop Management to Water-Limited Environments. European Journal of Agronomy, 21, 433-446.

DELGADO, P.A.I., PALACIOS C.J.H., BETANCOURT G.C., 2009. Evaluación de 16 Genotipos de Quinua Dulce (*Chenopodium quinoa* Willd.) en el Municipio de Iles, Nariño, Colombia. J. Agronomia Colombiana 27(2), 159-167.

DINI, A., RASTRELLI, L., SATURNINO, P., SCHETTINO, O., 1992. A Compositional Study of Chenopodium Quinoa Seeds. Nahrung, 36, 400-404.

DOORENBOS, J., KASSAM, A.K., 1979. Yield Response to Water. FAO United Nations, Irrigation and Drainage Paper, No: 33, Rome, 193s.

DUST M., BARAN N., ERRERA G., HUSTON J.L., MOUVET C., SCHAFET H., VEREECKEN H., WALKER A., 2000. Simulation of Water and Solute Transport in Field Soils with the LEACHP Model. Agricultural Water Management 44, 225-245.

EISA, S., HUSSIN, S., GEISSLER, N., KOYRO, H.W., 2012. Effect of NaCl Salinity on Water Relations, Photosynthesis and Chemical Composition of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as a Potential Cash Crop Halophyte. Australian J. of Crop Science, 6 (2), 357-368.

ENGLISH, M., 1990. Deficit Irrigation. I. Analytical Framework. J. Irrig. Drain E. ASCE 116, 399-412.

ERDEM, Y., ERDEM, T., ORTA, A.H., OKURSOY, H., 2005. Irrigation Scheduling for Watermelon with Crop Water Stress Index (CWSI). Journal of Central European Agriculture, 6, 449-460.

ESPINDOLA, G., 1986. Respuestas Fisiologicas, Morfologicas y Agronomicas de la Quinua al Deficit Hidrico. MSc Thesis. Inst. De Ensenanza y Ciencias Agricolas, Chapingo, Mexico.

FAN, T., STEWART, B.A., PAYNE WA, W. Y., SONG, S., LUO, J., ROBINSON, C.A., 2005. Supplemental Irrigation and Water: Yield Relationships for Plasticulture Crops in the Loess Plateau of China. Agronomy Journal 97, 177-188.

FAO, 1994. Neglected Crops 1492 From a Different Perspective. FAO Plant Production and Protection Series, No:26, Rome.

FAO, 2002. Deficit Irrigation Practices. FAO Water Report 22. ISBN 92-5-104768-5. http://www.fao.org/DOCREP/004/Y3655E/Y3655E00.htm.

FAO, 2011. Quinoa: An Ancient Crop to Contribute to World Food Security. FAO Regional Office for Latin America and the Caribbean. http://www.fao.org/alc/file/media/pubs/2011/cultivo_quinua_en.pdf

FAO, 2012. Celebrating the International Year of Quinoa: A Future Sown Thousands of Years Ago Concept Note, Bioversity International and FAO, June 2012.

FAO, 2013. Food Outlook Biannual Report on Global Food Markets. ISSN: 0251-1959. http://www.fao.org/docrep/018/al999e/al999e.pdf.

FAO, IFAD and WFP, 2014. The State of Food Insecurity in the World 2014. Strengthening the Enabling Environment for Food Security and Nutrition. Rome, FAO, 53s.

FAO-FAOSTAT, 2014. http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/home/E.

FAURES J.M., HOOGEVEEN J., BRUINSMAB J., 2000. The FAO Irrigated Area Forecast for 2030. www.fao.org.

FERERES, E., CONNOR, D.J., 2004. Sustainable Water Management in Agriculture. In: Challenges of the New Water Policies for the XXI Century (Edited by: Cabrera, E., Cobacho, R.). Lisse, The Netherlands: A.A. Balkema, 157–170.

FERERES, E., SORIANO, M.A., 2007. Deficit Irrigation for Reducing Agricultural Water Use. Special issue on 'Integrated approaches to sustain and improve plant production under drought stress' J. Exp. Bot. 58, 147–159.

FGHIRE, R., WAHBI, S., ANAYA, F., ALI, O. I., BENLHABIB, O., RAGAB, R., 2015. Response of Quinoa to Different Water Management Strategies: Field Experiments and SALTMED Model Application Results. Irrigation and Drainage, 64, 29-40.

FLETCHER ARMSTRONG, C., WILSON, T.V., 1983. Computer Model for Moisture Distribution in Stratified Soils under Tickle Source. Transactions of the ASAE, 26, 1704-1709.

FLOWERS, T. J., RAGAB, R., MALASH, N., ABDEL GAWAD, G., CUARTERO, J., ARSLAN, A., 2005. Sustainable Strategies for Irrigation in Salt-Prone Mediterranean: SALTMED. Agricultural Water Management, 78, 3-14.

FOX D.G., 1981. Judging Air Quality Model Performance. Bulletin of the American Meteorological Society 62, 599-609.

FUENTES, F., BHARGAVA, A., 2011. Morphological Analysis of Quinoa Germplasm Grown Under Lowland Desert Conditions. Journal of Agronomy and Crop Science, 197 (2), 124-134.

FUENTES, F.F, MARTINEZ, E.A., HINRICHSEN P.V., JELLEN, E.N., MAUGHAN, P.J., 2009. Assessment of Genetic Diversity Patterns in Chilean Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Germplasm Using Multiplex Fluorescent Microsatellite Markers. Conservation Genetics, 10, 369-377.

GALLARDO, M., GONZÁLEZ, J.A., 1992. Efecto de Algunos Factores Ambientales Sobre la Germinación de la Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Sus Posibilidades Como Cultivo en Tucumán. Lilloa, 38, 55-64.

GARCIA M., VACHER J. J., HIDALGO J., 1991. Estudio Comparativo Del Comportamiento Hidrico de Dos Variedades de Quinua en el Altiplano Central. Actas del VII Congreso Internacional Sobre Cultivos Andinos, 4-8 Febrero 1991, La Paz, Bolivia, 57-61.

GARCIA, M., 2003. Agroclimatic Study and Drought Resistance Analysis of Quinoa for an Irrigation Strategy in the Bolivian Altiplano. Dissertationes de Agricultura, 556, Faculty of Applied Biological Sciences, K.U. Leuven, Belgium.

GARCIA, M., RAES, D., JACOBSEN, S. E., 2003. Evapotarnspiration Analysis and Irrigation Requirements of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in the Bolivivan Highlands. Agricultural Water Management 60, 119-134.

GEERTS, S., MAMANI, R.S., GARCIA, M., RAES D., 2006. Response of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) to Differential Drought Stress in the Bolivian Altiplano: Towards a Deficit Irrigation Strategy within a Water Scarce Region. In: Proceedings of the 1st International Symposium on Land and Water Management for Sustainable Irrigated Agriculture, 4- 8 April 2006, Çukurova University, Adana, Turkey.

GEERTS, S., RAES, D., 2009. Deficit Irrigation as an On-Farm Strategy to Maximize Crop Water Productivity in Dry Areas. Agricultural Water Management, 96, 1275-1284.

GEERTS, S., RAES, D., GARCIA M., CONDORI, O., MAMANI, J., MIRANDA, R., CUSICANQUI, J., TABOADA, C., YUCRA, E., VACHER, J., 2008a. Could Deficit Irrigation Be a Sustainable Practice for Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in the Southern Bolivian Altiplano? Agricultural Water Management 95, 909-917.

GEERTS, S., RAES, D., GARCIA M., MENDOZA, J., HUANCA, R., 2008c. Crop Water Use Indicators to Quantify the Flexible Phenology of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in Response to Drought Stress. Field Crop Research 108, 150-156.

GEERTS, S., RAES, D., GARCIA, M., TABOADA, C., MIRANDA, R., CUSICANQUI, J., MHIZHA, T., VACHER, J., 2009. Modeling the Potential of Closing Quinoa Yield Gaps under Varying Water Availability in the Bolivian Altiplano. Agricultural Water Management, 96 (11), 1652-1658.

GEERTS, S., RAES, D., GARCIA, M., VACHER, J., MAMANI, R., MENDOZA, J., HUANCA, R., MORALES, B., MIRANDA, R., CUSICANQUI, J., TABOADA, C., 2008b. Introducing Deficit Irrigation to Stabilize Yields of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). European Journal of Agronomy 28, 427-436.

GOLABI, M., NASERI, A. A., KASHKULI, H. A., 2009. Evaluation of SALTMED Model Performance in Irrigation and Drainage of Sugarcane Farms in Khuzestan Province of Iran. Food, Agriculture & Environment (JFAE), 7, (2), 874-880.

GÓMEZ-PANDO, L. R., ALVAREZ-CASTRO, R., EGUILUZ-DE LA BARRA, A., 2010. Effect of Salt Stress on Peruvian Germplasm of Chenopodium quinoa Willd.: A Promising Crop. Journal of Agronomy and Crop Science, 196, 391-396.

GONZÁLEZ, J.A., PRADO, F.E., 1992. Germination in Relation to Salinity and Temperature in *Chenopodium Quinoa* Willd. Agrochimica, 36, 101-108.

HAMDY, A., RAGAB, R., SCARASCIA-MUGNOZZA, E., 2003. Coping with Water Scarcity: Water Saving and Increasing Water Productivity. Irrigation and Drainage, 52, 3-20.

HILLEL, D., 1977. Computer Simulation of Soil–Water Dynamics: a Compendium of Recent Work. IDRC, Ottawa, Canada, 214s.

HIRICH, A., CHOUKR-ALLAH, R., JACOBSEN, S-E., 2014a. Deficit irrigation and Organic Compost Improve Growth and Yield of Quinoa and Pea. Journal of Agronomy and Crop Science 200 (5), 390-398.

HIRICH, A., CHOUKR-ALLAH, R., JACOBSEN, S-E., 2014c. Quinoa in Morocco-Effect of Sowing Dates on Development and Yield. Journal of Agronomy and Crop Science 200 (5), 371-377.

HIRICH, A., CHOUKR-ALLAH, R., RAGAB,R., JACOBSEN, S-E., EL YOUSSFI, L., EL OMARI, H., 2012. The SALTMED Model Calibration and Validation Using Field Data from Morocco. J. Mater. Environ. Sci. 3 (2), 342-359.

HIRICH, A., EL OMARI H., LAMADDELANA N., HAMDY A., JACOBSEN, S–E., JELLOUL A., CHOUKR-ALLAH, R., 2013. Quinoa and Chickpea Responses to Irrigation Water Salinity. SWUP-MED Project Final Conference. 10-15 March 2013. Morocco. Proceeding eBook. 417-440.

HIRICH, A., RAGAB, R., CHOUKR-ALLAH, R., RAMI, A., 2014b. The Effect of Deficit Irrigation with Treated Wastewater on Sweet Corn: Experimental and Modelling Study Using SALTMED Model. Irrigation Science 32, 205-219.

HIROSE, Y., FUJITA, T., ISHII, T., UENO, N., 2010. Antioxidative Properties and Flavonoid Composition of Chenopodium Quinoa Seeds Cultivated in Japan. Food Chemistry, 119, 1300-1306.

HOOGHOUDT, S.B., 1940. General Consideration of the Problem of Field Drainage by Parallel Drains, Ditches, Watercourses, and Channels. In: Contribution to the Knowledge of Some Physical Parameters of the Soil 7. Bodemkundig Instituut, Groningen, The Netherlands.

HORST, G.L., O'TOOLE, J.C., FAVER, K.L., 1989. Seasonal and Species Variation in Baseline Functions for Determining Crop Water Stress Indices in Turfgrass. Crop Sci. 29, 1227-1232.

HOWELL, T.A., MUSICK, J.T., TOLK, J.A., 1986. Canopy Temperature of Irrigated Winter Wheat. Transactions of the ASAE, Vol. 29(6), 1692-1699.

HOWELL, T.A., YAZAR, A., SCHNEIDER, A.D., DUSEK, D.A., COPELAND, K.S., 1994. Yield and Water Use Efficiency of Corn in Response to LEPA Irrigation. ASAE Transactions of the ASAE, 38(6), 1737-1747.

http://www.fao.org/docrep/018/t0646e/t0646e.pdf

IDSO, S.B., 1982. Non-water-stressed Baselines: A Key to Measuring and Interpreting Plant Water Stress. Agricultural Meteorology, 27, 59-70.

IDSO, S.B., JACKSON, R.D., PINTER, P.J., REGINATO, R.J. HATFIELD, J.L., 1981. Normalizing the Stress-Degree-Day Parameter for Environmental Variability, Agricultural Meteorology, 24, 45-55.

İNCE KAYA, Ç., YAZAR, A., 2009. Su ve Tuz Stresinin Quinoa Bitkisinin Verimine Etkileri ve SALTMED Modelinin Test Edilmesi. I. Ulusal Sulama ve Tarımsal Yapılar Sempozyumu. 27-29 Mayıs 2009, Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş.

İNCE KAYA, Ç., YAZAR, A., 2014. SALTMED Modeli Performansının Farklı Tuz Düzeyleri ve Sulama Suyu Stratejileri Kullanılarak Sulanan Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Bitkisi için Değerlendirilmesi. 12. Ulusal Kültürteknik Sempozyumu, 21-23 Mayıs 2014, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ.

IPCC, 2014. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 688s.

JACKSON, R.D., IDSO, S.B., REGINATO, R.J., PITER, P.J., 1981. Canopy Temperature as a Crop Water Stress Indicator. Water Resource Research, 7, 1133-1138.

JACOBSEN, S.E., 2003. The Worldwide Potential for Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Food Reviews International, 19, 167-177.

JACOBSEN, S.-E., JØRGENSEN, I., STØLEN, O., 1994. Cultivation of Quinoa (*Chenopodium quinoa*) under Temperate Climatic Conditions in Denmark. The Journal of Agricultural Science, 122, 47-52.

JACOBSEN, S.-E., LIU, F., JENSEN, C. R., 2009. Does Root-Sourced ABA Play a Role for Regulation of Stomata under Drought in Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Scientia Horticulturae, 122, 281-287.

JACOBSEN, S.E., MONTEROS, C., CHRISTIANSEN, J.L., BRAVO, L.A., CORCUERA, L.J., MUJICA, A., 2005. Plant Responses of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to Frost at Various Phenological Stages. European Journal of Agronomy 22, 131-139.

JACOBSEN, S.E., MUJICA, A., JENSEN C.R., 2003. The Resistance of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to Adverse Abiotic Factors. Food Reviews International, 19, 99-109.

JACOBSEN, S.-E., STØLEN, O., 1993. Quinoa-Morphology, Phenology and Prospects for Its Production as a New Crop in Europe. European Journal of Agronomy 2, 19-26.

JENSEN, C. R., JACOBSEN, S.-E., ANDERSEN, M. N., NUNEZ, N., ANDERSEN, S. D., RASMUSSEN, L., MOGENSEN, V. O.,2000. Leaf Gas Exchange and Water Relations of Field Quinoa *(Chenopodium quinoa* Willd.) During Soil Drying. European Journal of Agronomy, 13,11–25.

JOHNSON D.L., 1990. New Grains and Pseudo Grains. Advances in New Crops, Proc. of the First National Symposium New Crops: Research, Development, Economics. Portland, Oregon, 122-127.

JOHNSON, R. ve AGUILERA R., 1980. Processing Varieties of Oilseeds (Lupine and Quinoa). Report to Natural Fibers and Foods Commission of Texas, 1978-1980.

JOSHI, R.C., SAN MARTIN, R., SAEZ-NAVARRETE, C., ALARCON, J., SAINZ, J., ANTOLIN, M.M., MARTIN, A.R., SEBASTIAN, L.S., 2008. Efficacy of Quinoa (*Chenopodium quinoa*) Saponins Against Golden Apple Snail (*Pomacea canaliculata*) in the Philippines under Laboratory Conditions. Crop Prot. 27, 553–557.

KANEMASU, E.T., TANNER, C.B., 1969. Stomatal Diffusion Resistance of Snap Beans. I. Influence of Leaf-Water Potential. Plant Physiol., 44, 1547-1552.

KANG, S., LIANG, Z., HU, W., ZHANG, J., 1998. Water Use Efficiency of Controlled Alternate Irrigation on Root-Divided Maize Plants. Agricultural Water Management, 38, 69-76.

KANG, S., ZHANG, J., 2004. Controlled Alternate Partial Root-Zone Irrigation: Its Physiological Consequences and Impact on Water Use Efficiency. Journal of Experimental Botany, 55, 2437–2446.

KOYRO, H.W., EISA, S.S., 2008. Effect of Salinity on Composition, Viability and Germination of Seeds of Chenopodium quinoa Willd. Plant Soil, 302,79-90.

KOZIOL, M., 1992. Chemical Composition and Nutritional Evaluation of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Journal of Food Composition and Analysis, 5, 35-68.

KULJANABHAGAVAD T., WINK M., 2009. Biological Activities and Chemistry of Saponins from Chenopodium quinoa Willd. Phytochemistry Reviews, 8 (2), 473-490.

LAVINI, A., PULVENTO, C., D'ANDRIA, R., RICCARDI, M., CHOUKR-ALLAH, R., BELHABIB, O., YAZAR, A., INCE KAYA, Ç., SEZEN, S. M., QADIR, M., JACOBSEN, S.-E., 2014. Quinoa's Potential in the Mediterranean Region. Journal of Agronomy and Crop Science, 200 (5), 344-360.

LETEY, J., HOFFMAN, G. J., HOPMANS, J. W., GRATTAN, S. R., SUAREZ, D., CORWIN, D. L., OSTER, J. D., WU, L., AMRHEIN, C., 2011. Evaluation of Soil Salinity Leaching Requirement Guidelines. Agricultural Water Management, 98, 502–506.

LOAGUE K., GREEN R. E., 1991. Statistical and Graphical Methods for Evaluating Solute Transport Models: Overview and Application. Journal of Contaminant Hydrology 7, 51-73.

LYNN, B.H., CARLSON, T.B., 1990. A Stomatal Resistance Model Illustrating Plant vs. External Control of Transpiration. Agricultural and Forest Meteorology, 52, 5-43.

MA, W.J., MAO, Z.Q., YU, Z.R., VAN MENSVOORT, M.E.F., DRIESSEN, P.M., 2008. Effects of Saline Water Irrigation on Soil Salinity and Yield of Winter Wheat–Maize in North China Plain. Irrigation and Drainage Systems, 22, 3-18.

MALASH, N., FLOWERS, T.J., RAGAB, R., 2005. Effect of Irrigation Systems and Water Management Practices Using Saline and Non-Saline Water on Tomato Production. International Journal of Agricultural Water Management 78, 25–38.

MANTELL, A., FRENKEL, H., MEIRI, A., 1985. Drip Irrigation of Cotton with Saline-Sodic Water. Irrigation Science 6, 95-106.

MARTINEZ, E.A., VEAS, E., JORQUERA, C., SAN MARTIN, R., JARA, P., 2009. Re-Introduction of Quinoa into Arid Chile: Cultivation of Two Lowland Races under Extremely Low Irrigation. Journal of Agronomy and Crop Science, 195, 1-10.

MIZRAHI, Y., PASTERNAK, D., 1985. Effect of Salinity on Quality of Various Agricultural Crops. Plant and Soil, 89, 301-307.

MOLDEN, D., 2007. Water for Food Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture (Edited by Molden D.). International Water Management Institute, Earthscane , London, 688s.

MONTENEGRO, S.G., MONTENEGRO, A., RAGAB,R., 2010. Improving Agricultural Water Management in the Semi-Arid Region of Brazil: Experimental and Modeling Study. Irrigation Science, 28, 301-316.

MORALES, A. J., BAJGAIN, P., GARVER, Z., MAUGHAN, P.J., UDALL, J.A., 2011. Physiological Responses of Chenopodium quinoa to Salt Stress. International Journal of Plant Physiology and Biochemistry, 3, (13), 219-232.

NASH, J. E., SUTCLIFFE, J.V., 1970. River Flow Forecasting Through Conceptual Models Part I-A Discussion of Principles. Journal of Hydrology, 10 (3), 282-290.

NIELSEN, D.C., 1990. Scheduling Irrigations for Soybeans with the Crop Water Stress Index (CWSI). Field Crops Research, 23, 103-116.

O'TOOLE, J.C., REAL, J.G., 1986. Estimation of Aerodynamic and Crop Resistances from Canopy Temperature. Agronomy Journal, 78, 305–310.

OELKE, E. A., PUTNAM, D. H., TEYNOR, T.M., OPLINGER, E. S., 1992. Alternative Field Crops Manual. http://www.hort.purdue.edu/newcrop/afcm/quinoa.html

OOSTERBAAN, R.J., PISSARRA, A., VAN ALPHEN, J.G., 1989. Hydraulic Head and Discharge Relations of Pipe Drainage Systems with Entrance Resistance. Proceedings 15th European Regional Conference on Agricultural Water Management Vol. III: Installation and Maintenance of Drainage and Irrigation Systems, 86-98, ICID, Dubrovnik, Yugoslavia.

ORSINI, F., ACCORSI, M., GIANQUINTO, G. DINELLI, G., ANTOGNONI, F., CARRASCO, K.B.R., MARTINEZ, E.A., ALNAYEF, M., MAROTTI, I., BOSI, S., BIONDI, S., 2011. Beyond the Ionic and Osmotic Response to Salinity in Chenopodium quinoa: Functional Elements of Successful Halophytism. Functional Plant Biology, 38, 818-831.

OSTER, J.D., LETEY, J., VAUGHAN, P., WU, L., QADIR, M., 2012. Comparison of Transient State Models that Include Salinity and Matric Stress Effects on Plant Yield. Agricultural Water Management, 103, 167-175.

OWEIS, T.Y., HACHUM, A. Y., 2003. Improving Water Productivity in the Dry Areas of West Asia and North Africa. In: Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement (Edited by: Kijne J.W., Barker, R., Molden, D.). CABI Publishing, 328 s.

ÖZBEK, H., DINÇ, U., KAPUR, S., 1974. Çukurova Üniversitesi Yerleşim Sahası Topraklarının Detaylı Etüt ve Haritası. Ç.Ü. Zir. Fak. Yay. Adana, 23 (8), 149s.

PAYERO, J.O., MELVIN, S.R., IRMAK, S., TARKALSON, D., 2006. Yield Response of Corn to Deficit Irrigation in a Semiarid Climate. Agricultural Water Management, 84, 101–112.

PEARSALL, D.M., 1992. The Origins of Plant Cultivation in South America. In: Cowan, C.W., Watson, P.J. (Eds.), The Origins of Agriculture. Smithsonian Institute Press, Washington, DC, 173–205.

PEREIRA, L.S., OWEIS, T., ZAIRI, A., 2002. Irrigation Management under Water Scarcity. Agricultural Water Management, 57, 175-206.

PETERSEN, R.G., CALVIN, L.D., 1965. Sampling Methods of Soil Analysis (C:A: Black et. al. Edit.), Part 1, Agronomy Series No:9, Am. Soc. Of Agr. Inc. Pub., Madison Wisconsin, USA, 54-72.

PULVENTO, C., LAVINI, A., RICCARDI, M., D'ANDRIA, R., RAGAB, R., 2015b. Assesing Amaranth Adaptability in a Mediterranean Area of South Italy under Different Climatic Scenarios. Irrigation and Drainage, 64, 50-58.

PULVENTO, C., RICCARDI, M., LAVINI A., D'ANDRIA R., RAGAB, R., 2013. SALTMED Model to Simulate Yield and Dry Matter for Quinoa Crop and Soil Moisture Content under Different Irrigation Strategies in South Italy. Irrigation and Drainage 62, 229-238.

PULVENTO, C., RICCARDI, M., LAVINI A., D'ANDRIA, R., IAFELICE, G., MARCONI, E., 2010. Field Trial Evaluation of Two *Chenopodium quinoa* Genotypes Grown Under Rain-Fed Conditions in a Typical Mediterranean Environment in South Italy. Journal of Agronomy and Crop Science, 196 (6), 407-411.

PULVENTO, C., RICCARDI, M., LAVINI A., IAFELICE G., MARCONI E., D'ANDRIA, R., 2012. Yield and Quality Characteristics of Quinoa Grown in Open Field Under Different Saline and Non-Saline Irrigation Regimes. Journal of Agronomy and Crop Science, 198 (4), 254-263.

PULVENTO, C., RICCARDI, M., LAVINI, A., D'ANDRIA, R., RAGAB, R., 2015a. Parameterization and Field Validation of SALTMED Model for Grain Amaranth Tested in South Italy. Irrigation and Drainage, 64, 59-68.

QADIR, M., OSTER, J.D., 2004. Crop and Irrigation Management Strategies for Salinesodic Soils and Waters Aimed at Environmentally Sustainable Agriculture. Science of the Total Environment, 323, 1–19.

RAGAB, R., 2002. A Holistic Generic Integrated Approach for Irrigation, Crop and Field Management: The SALTMED Model. Environmental Modelling and Software, 17, 345-361.

RAGAB, R., 2010. SALTMED Model as an Integrated Management Tool for Water, Crop, Soil and Fertilizers. In: Gheyi HR, Dias Nildo da S, de Lacerda Claudivan F. (eds.) *Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Basicos e Aplicado.* Instituto Nacional de Ciencia e Technologia em Salinidade, 320-336.

RAGAB, R., 2015. Integrated Management Tool for Water, Crop, Soil and N-Fertilizers: The SALTMED Model. Irrigation and Drainage, 64,1-12.

RAGAB, R., BATTILANI, A., MATOVIC, G., STIKIC, R., PSARRAS, G., CHARTZOULAKIS, K., 2015. SALTMED Model as an Integrated Management Tool for Water, Crop, Soil and N-Fertilizer Water Management Strategies and Productivity: Field and Simulation Study. Irrigation and Drainage, 64, 13-28.

RAGAB, R., FEYEN, J., HILLEL, D., 1984. Simulating Infiltration into Sand from a Trickle Line Source Using the Matric Flux Potential Concept. Soil Science, 137, 120-127.

RAGAB, R., MALASH, N., ABDEL GAWAD, G., ARSLAN, A., GHAIBEH A., 2005b. A Holistic Generic Integrated Approach for Irrigation, Crop and Field Management 2. The SALTMED Model Validation Using Field Data of Five Growing Seasons from Egypt and Syria. Agricultural Water Management, 78, 89-107.

RAGAB, R., MALASH, N., ABDEL GAWAD,G.,ARSLAN, A., GHAIBEH A., 2005a. A Holistic Generic Integrated Approach for Irrigation, Crop and Field Management 1. The SALTMED Model and Its Calibration Using Field Data From Egypt And Syria. Agricultural Water Management, 78, 67-88.

RAMESHWARAN, P., TEPE, A., YAZAR, A., RAGAB, R., 2015. The Effect of Saline Irrigation Water on the Yield of Pepper: Experimental and Modelling Study. Irrigation and Drainage, 64, 41-49.

RAWLS, W.J., BRAKENSIEK, D.L., 1989. Estimation of Soil Water Retention and Hydraulic Properties. In: Unsaturated Flow in Hydrological Modeling. Morel-Seytoux, H. (Ed.), NATO ASI Series, 275, 275-300.

RAZZAGHI, F., 2011. Acclimatization and Agronomic Performance of Quinoa Exposed to Salinity, Drought and Soil-related Abiotic Stress. PhD Thesis. Aarhus University, Department of Agroecology Science and Technology. Denmark.

RAZZAGHI, F., AHMADI, S. H., ADOLF, V. I., JENSEN, C. R., JACOBSEN, S.-E., ANDERSEN, M. N., 2011a. Water Relations and Transpiration of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Under Salinity and Soil Drying. Journal of Agronomy and Crop Science, 197 (5), 348-360.

RAZZAGHI, F., AHMADI, S. H., JACOBSEN S-E., JENSEN C.R., ANDERSEN M. N., 2012. Effects of Salinity and Soil-Drying on Radiation Use Efficiency, Water Productivity and Yield of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Journal of Agronomy and Crop Science, 198 (3), 173-184.

RAZZAGHI, F., PLAUBORG F., AHMADI, S. H., JACOBSEN S-E., ANDERSEN M. N., RAGAB, R., 2011c. Simulation of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Response to Soil Salinity Using the SALTMED Model. ICID 21st International Congress on Irrigation and Drainage, 15-23 October 2011. International Comission on Irrigation and Drainage. Tehran, Iran.

RAZZAGHI, F., PLAUBORG F., JACOBSEN S.-E., JENSEN C. R., ANDERSEN M. N., 2011b. Effect of Nitrogen and Water Availability of Three Soil Types on Yield, Radiation Use Efficiency and Evapotranspiration in Field-Grown Quinoa. Agricultural Water Management, 109, 20-29.

RENGASAMY, P. 2010. Soil Processes Affecting Crop Production in Salt-Affected Soils. Functional Plant Biology, 37, 613-620.

REPO-CARRASCO, R., ESPINOZA, C., JACOBSEN, S.E., 2003. Nutritional Value and Use of the Andean Crops Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) and Kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*). Food Reviews International, 19, 179-189.

RHODES, J., KANDIAH, A., MASHALI, A.M., 1992. The Use of Saline Waters for Crop Production. Irrigation and Drainage Paper No. 48. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy, 150s.

RISI, J., GALWEY, N.W., 1984. The Chenopodium Grains of the Andes: Inca Crops for Modern Agriculture. Advances in Applied Biology, 10, 166-169.

ROJAS, W., PINTO, M., ALANOCA, C., PANDO, L.G., LEÓN-LOBOS, P., ALERCIA, A., DIULGHEROFF, S., PADULOSI, S., BAZILE, D., 2014. Estado de La Conservacion ex Situ de Los Recursos Geneticos de Quinoa. Capítulo 1.5 IN: Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013. FAO (Santiago de Chile) y CIRAD, 65-94.

RUALES, J., NAIR, B.M., 1993. Content of Fat, Vitamins and Minerals in Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Seeds. Food Chemistry, 48, 131-136.

RUIZ, K.B., BIONDI, S., OSES, R., ACUÑA-RODRÍGUEZ, I.S., ANTOGNONI, F., MARTINEZ-MOSQUEIRA, E.A., COULIBALY, A., CANAHUA-MURILLO, A., PINTO, M., ZURITA-SILVA, A., BAZILE D., JACOBSEN S.E., MOLINA- MONTENEGRO, M. A., 2014. Quinoa Biodiversity and Sustainability for Food Security under Climate Change. A Review. Agronomy for Sustainable Development, 34 (2), 349-359.

SARIYEV, A., POLAT, V., MÜJDECİ, M., YUSUFOVA M., AKÇA, E., 2007. Mathematical Modelling of Soil Hydraulic Properties and Numerical Analyses of Moisture Dynamic. Asian Journal of Chemistry, 19 (4), 3125-3131.

SCHOUPS, G., HOPMANS, J. W., YOUNG, C. A., VRUGT, J. A., WALLENDER, W. W., TANJI, K.K., PANDAY, S., 2005. Sustainability of Irrigated Agriculture in the San Joaquin Valley, California. Proceedings of the National Academy of Sciences, USA 102, 15352–15356.

SHALHEVET, J., 1994. Using Water of Marginal Quality for Crop Production: Major Issues. Agricultural Water Management, 25 (3), 233-269.

SILVA, L.L., RAGAB, R., DURANTE, I., LOURENÇO, E., SIMÕES, N., CHAVES, M.M., 2013. Calibration and Validation of SALTMED Model under Dry and Wet Conditions Using Chickpea Field Data from Southern Portugal. Irrigation Science, 31 (4), 651-659.

SILVESTRI, V., GIL, F., 2000. Alogamia en Quinua. Tasa en Mendoza (Argentina). Revista de la facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo 32 (1), 71-76.

SIMŮNEK, J., SUAREZ, D.L., 1994. Two-Dimensional Transport Model for Variably Saturated Porous Media with Major Chemistry. Water Resources Research, 30, 1115-1133.

SOMANI, L. L., 1991. Crop production with saline water. Agro Botanical Publishers, India, ISBN 81-85031-42-8, 308s.

STEGMAN, E.C., 1981. Corn Grain Yield as Influenced by Timing of Evapotranspiration Deficits. Irrigation Science, 3, 75-87.

TAIZ, L., ZEIGER, E., 2008. Bitki Fizyolojisi. (Çeviri Editörü: İ. Türkan). Palme Yayıncılık, 690s.

TANWAR, B.S., 2003. Saline Water Manegement for Irrigation. Work Team on Use of Poor Quality Water for Irrigation (WT-PQW). International Commission on Irrigation and Drainage (ICID), New Delhi, India, 123 s.

TOPÇU, S., 2011. Water for Agriculture: A Major and Inefficient Consumer. In: Turkey's Water Policy National Frameworks and International Cooperation. Edited by: Kramer, A., Kibaroglu, A., Scheumann, W., DOI: 10.1007/978-3-642-19636-2, Springer Berlin Heidelberg, 93-115.

TOPÇU, S., KIRDA, C., DAŞGAN, Y., KAMAN H., ÇETİN, M., YAZICI, A., BACON, M.A., 2007. Yield Response and N-Fertiliser Recovery of Tomato Grown under Deficit Irrigation. European Journal of Agronomy, 26 (1), 64-70.

UN, 2013. World Population Prospects: The 2012 Revision, Key Findings and Advance Tables. Working Paper No:ESA/P/WP.227. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division.

USSL, 1954. United States Salinity Laboratory Staff, 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils, Agriculture Handbook No: 60. USDA, 160s.

VACHER, J. J., 1998. Response of Two Main Andean Crops, Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) and Papa Amarga (*Solanum juzepczukii Buk*.) to Drought on the Bolivian Altiplano: Significance of Local Adaptation. Agric. Ecosyst. Environ. 68, 99-108.

VAN DAM, J.C., STRICKER, J.N.M., DROOGERS, P., 1994. Inverse Method to Determine Soil Hydraulic Functions from Multistep Outflow Experiments. Soil Science Society of America Journal, 58, 647-652.

VAN GENUCHTEN, M.T., 1980. A Closed-Form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils. Soil Science Society of America Journal, 44, 892-898.

VEGA-GALVEZ, A., MIRANDA, M., VERGARA, J., URIBE, E., PUENTE, L., MARTINEZ, E.A., 2010. Nutrition Facts and Functional Potential of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), and Ancient Andean Grain: A Review. Journal of the Science of Food and Agriculture, 90, 2541-2547.

WARD, S.M., 2000. Response to Selection for Reduced Grain Saponin Content in Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Field Crop. Res. 68, 157-163.

WELLES, J.M., NORMAN, J. M., 1991. Instrument for Indirect Measurement of Canopy Architecture Agron. J., 83, 818-825.

WESSELING, J., 1973. Subsurface Flow into Drains. Drainage Principles and Applications Vol. II: Theories of Field Drainage and Watershed Runoff. 1-56.

WHITE, S., 2003. Regulated Deficit Irrigation and Partial Root Zone Drying. National Centre for Engineering in Agriculture, Toowoombai.

WILLIAMS, W. D., 1999. Salinization: A Major Threat to Water Resources in the Arid and Semi-Arid Regions of the World. Lakes and Reservoirs: Research and Management, 4 (3-4), 85-91.

WILLMOT, C. J., 1984. On the Evaluation of Model Performance in Physical Geography. In: Spatial Statistics and Models, Edited by: Gaile, G. L. and Willmot, C. J., D. Reidel, Dordrecht, 443-460.

WILLMOTT, C. J., 1981. On the Validation of Models. Physical Geography 2, 184-194.

WILSON, C., READ, J.J., ABO-KASSEM, E., 2002. Effect of Mixed-Salt Salinity on Growth And Ion Relations of a Quinoa and a Wheat Variety. Journal of Plant Nutrition, 25 (12), 2689-2704.

WRIGHT, K. H., PIKE, O. A., FAIRBANKS, D. J., HUBER, C. S., 2002. Composition of Atriplex hortensis, Sweet and Bitter Chenopodium Quinoa Seeds. Journal of Food Science, 67, 1383-1385.

WWAP (World Water Assessment Programme), 2012. The United Nations World Water Development Report 4: Managing Water under Uncertainty and Risk. Paris, UNESCO, 866 s.

YAZAR, A., 1990. Utilization of Infrared Thermometry Technique for Assessing Crop Water Stress and Irrigation Scheduling for Soybean. Doğa Tr. Journal of Agriculture and Forestry. 14, 517-533.

YAZAR, A., HOWELL, T.A., DUSEK, D.A., COPELAND, K.S., 1999. Evaluation of Crop Water Stress Index for LEPA Irrigated Corn. Irrigation Science, 18, 171-180.

YAZAR, A., İNCE KAYA, Ç., S. M. SEZEN., 2012. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Bitkisinin Damla Sistemiyle Tatlı ve Tuzlu Su Kullanılarak Uygulanan Farklı Sulama Stratejilerine Verim Tepkisi ve Toprakta Tuz Birikimi. II. Ulusal Sulama ve Tarımsal Yapılar Sempozyumu, 24-25 Mayıs 2012, E.Ü. Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, İzmir.

YAZAR, A., SEZEN, M., GENÇEL, B., ŞENGÜL, H., ÖZEKİCİ, B., ÜLGER, A.C., 2002. Harran Ovasında Düşük Basınçlı LEPA ve Damla Sistemleriyle Pamuk ve Mısır Bitkilerinin Sulanma İlkelerinin Oluşturulması. Proje No:TOGTAG-1856. TÜBİTAK,71s.

ZHANG, H., OWEIS, T., 1999. Water-Yield Relations and Optimal Irrigation Scheduling of Wheat in the Mediterranean Region. Agricultural Water Management, 38, 195–211.

ZWART S.J., BASTIAANSSEN W.G.M., 2004. Review of Measured Crop Water Productivity Values for Irrigated Wheat, Rice, Cotton and Maize. Agricultural Water Management, 69, 115-133.

ÖZGEÇMİŞ

1977 yılında Niğde'de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Mersin'de; lise öğrenimini ise Trabzon'da tamamladı. 1999 yılında Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü'nden Ziraat Mühendisi olarak mezun oldu. Halen Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Adana İl Müdürlüğü'nde Ziraat Mühendisi olarak görev yapmaktadır. Evli ve bir çocuk sahibidir.

EKLER

Ek Çizelge 1. Araştırma Konularına Göre Quinoa Bitkisinin Yaprak Alan İndekslerinin Zamansal Değişimi

Tarih	FI 100	FI67	FI33	PRD	SI10-100	SI10-67	SI10-33	SI20-100	SI20-67	SI20-33	SI30-100	SI30-67	SI30-33	KURU
25.03.2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18.05.2012	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
29.05.2012	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22	1.22
06.06.2012	1.58	1.56	1.50	1.49	1.50	1.36	1.44	1.51	1.43	1.41	1.56	1.42	1.40	1.37
14.06.2012	2.5	2.3	1.96	2.1	2.1	1.69	1.53	2.2	1.7	1.79	2.4	1.8	1.56	1.59
21.06.2012	2.3	1.9	1.88	1.9	1.9	1.56	1.4	2.1	1.5	1.68	2.2	1.6	1.5	1.5

Ek Çizelge 2. Araştırma Konularına Göre Quinoa Bitki Boylarının Zamansal Değişimi

Tarih	FI100	FI67	FI33	PRD	SI10-100	SI10-67	SI10-33	SI20-100	SI20-67	SI20-33	SI30-100	SI30-67	SI30-33	KURU
25.03.2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11.04.2012	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
15.04.2012	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
29.05.2012	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41
06.06.2012	52	47	45	52	49	45	43	45	44	43	47	45	42	44
14.06.2012	59	53	48	58	55	51	50	54	47	44	56	51	49	49
22.06.2012	59	53	48	58	55	51	50	54	47	44	56	51	49	49

Ek Çizelge 3. Deneme Konularında 4 Haziran 2012 Tarihinde Ölçülen Quinoa Bitkisi Stoma Direnci Değerlerine İlişkin Varyans Analizi

	S.D.	K.T.	K.O.	F	Olasılık
Yineleme	2	68.762	34.381	0.102	0.0001
Sulama	13	43012.119	3308,624	9.812	
Hata	26	8767,238	337.20		
Toplam	41	51848,119			

CV = %13.73

Ek Çizelge 4. Deneme Konularında 4 Haziran 2012 Tarihinde Ölçülen Quinoa Bitkisi Stoma Direnci Değerlerine İlişkin Duncan Gruplaması

Konular	Ortalama Stoma Direnci
SI30-33	179a
SI20-33	177a
KURU	168ab
SI20-67	158abc
FI-33	153abcd
SI10-33	141bcd
SI30-100	136cd
SI30-67	134cd
SI10-67	127de
FI-67	124de
SI20-100	123def
PRD	97ef
SI10-100	92fg
FI-100	64g
LSD	**30.82**

Ek Çizelge 5. Deneme Konularında 5 Haziran 2012 Tarihinde Ölçülen Quinoa Bitkisi Stoma Direnci Değerlerine İlişkin Varyans Analizi

	S.D.	K.T.	K.O.	F	Olasılık
Yineleme	2	394.333	197.167	0.640	0.0001
Sulama	13	97845.905	7526.608	24.426	
Hata	26	8011.67	308.14		
Toplam	41	106251.90			

CV = %10.07

Ek Çizelge 6. Deneme Konularında 5 Haziran 2012 Tarihinde Ölçülen Quinoa Bitkisi Stoma Direnci Değerlerine İlişkin Duncan Gruplaması

Konular	Ortalama Stoma Direnci
KURU	260a
SI20-33	232ab
SI30-100	223bc
SI30-33	220bc
SI10-33	194cd
FI-33	184de
SI20-100	175de
SI20-67	171def
FI-67	167def
SI30-67	157efg
SI10-67	142fg
PRD	130gh
SI10-100	102hi
FI-100	83i
LSD	**29.46**

Ek Çizelge 7. Deneme Konularında 7 Haziran 2012 Tarihinde Ölçülen Quinoa Bitkisi Stoma Direnci Değerlerine İlişkin Varyans Analizi

	S.D.	K.T.	K.O.	F	Olasılık
Yineleme	2	14.333	7.167	0.028	
Sulama	13	99024.405	7617.261	29.846	0.0001
Hata	26	6635.67	255.22		
Toplam	41	105674.40			

CV = %6.87

Ek Çizelge 8. Deneme Konularında 7 Haziran 2012 Tarihinde Ölçülen Quinoa Bitkisi Stoma Direnci Değerlerine İlişkin Duncan Gruplaması

Konular	Ortalama Stoma Direnci
KURU	331a
SI30-33	308a
SI20-33	280b
SI20-67	264b
SI10-33	259b
FI-33	229c
SI30-100	228c
SI30-67	222c
SI20-100	216c
PRD	210cd
SI10-67	188de
FI-67	183e
SI10-100	169e
FI-100	167e
LSD	**26.81**

Ek Çizelge 9. Deneme Konularında 8 Haziran 2012 Tarihinde Ölçülen Quinoa Bitkisi Stoma Direnci Değerlerine İlişkin Varyans Analizi

	S.D.	K.T.	K.O.	F	Olasılık
Yineleme	2	161.71	85.855	0.492	
Sulama	13	153164.31	11781.87	71.612	0.0001
Hata	26	4277.62	164.5		
Toplam	41	157603.64			

CV = %4.36

Ek Çizelge 10. Deneme Konularında 8 Haziran 2012 Tarihinde Ölçülen Quinoa Bitkisi Stoma Direnci Değerlerine İlişkin Duncan Gruplaması

Konular	Ortalama Stoma Direnci
KURU	416a
SI20-67	365b
SI30-67	365b
SI30-33	332c
SI20-33	315cd
SI10-33	309d
FI-33	302d
SI30-100	294de
SI10-67	274ef
SI20-100	260fg
FI-67	251g
PRD	228h
SI10-100	215hi
FI-100	195i
LSD	**21.53**

Ek Çizelge 11. Deneme Konularında 4 Haziran 2012 Tarihinde Ölçülen Quinoa Bitkisi Yaprak Su Potansiyeli Değerlerine İlişkin Varyans Analizi

	S.D.	K.T.	K.O.	F	Olasılık
Yineleme	2	2.535	1.268	0.857	
Sulama	13	140.691	10.822	7.314	0.0001
Hata	26	38.475	1.480		
Toplam	41	181.701			

CV = %5.74

Ek Çizelge 12. Deneme Konularında 4 Haziran 2012 Tarihinde Ölçülen Quinoa Bitkisi Yaprak Su Potansiyeli Değerlerine İlişkin Duncan Gruplaması

Konular	Ortalama Yaprak Su Potansiyeli, (bar)
FI-100	-17.00a
PRD	-18.50ab
SI10-100	-19.75bc
FI-67	-19.80bc
SI10-67	-20.25bcd
SI20-100	-21.00cde
FI-33	-21.50cdef
KURU	-22.00def
SI10-33	-22.30ef
SI20-67	-22.50ef
SI30-100	-22.75ef
SI20-33	-22.75ef
SI30-67	-23.00ef
SI30-33	-23.50f
LSD	**2.04**

Ek Çizelge 13. Deneme Konularında 6 Haziran 2012 Tarihinde Ölçülen Quinoa Bitkisi Yaprak Su Potansiyeli Değerlerine İlişkin Varyans Analizi

	S.D.	K.T.	K.O.	F	Olasılık
Yineleme	2	0.107	0.053	0.292	
Sulama	13	109.875	8.452	46.090	0.0001
Hata	26	4.768	0.183		
Toplam	41				

CV = %19.25

Ek Çizelge 14. Deneme Konularında 6 Haziran 2012 Tarihinde Ölçülen Quinoa Bitkisi Yaprak Su Potansiyeli Değerlerine İlişkin Duncan Gruplaması

Konular	Ortalama Yaprak Su Potansiyeli, (bar)
FI-100	-18.25a
FI-67	-20.25b
SI10-100	-21.25c
SI10-67	-21.50c
PRD	-21.50c
FI-33	-21.75cd
SI20-100	-22.25de
SI10-33	-22.50ef
SI30-100	-23.00fg
SI20-67	-23.25gh
SI30-67	-23.75hi
SI20-33	-23.75hi
KURU	-24.00ij
SI30-33	-24.50j
LSD	**0.72**

Ek Çizelge 15. Deneme Konularında 8 Haziran 2012 Tarihinde Ölçülen Quinoa Bitkisi Yaprak Su Potansiyeli Değerlerine İlişkin Varyans Analizi

	S.D.	K.T.	K.O.	F	Olasılık
Yineleme	2	1.723	0.862	2.383	0.0001
Sulama	13	115.875	8,913	24.650	
Hata	26	9.402	0.362		
Toplam	41	127.000			

CV = %2,56

Ek Çizelge 16. Deneme Konularında 8 Haziran 2012 Tarihinde Ölçülen Quinoa Bitkisi Yaprak Su Potansiyeli Değerlerine İlişkin Duncan Gruplaması

Konular	Ortalama Yaprak Su Potansiyeli, (bar)
FI-100	-20.50a
SI10-100	-21.50ab
FI-67	21.50ab
SI10-67	-22.00bc
PRD	22.50bcd
SI20-100	-23.00cd
FI-33	-23.50de
SI30-100	-24.25ef
SI30-67	-24.50efg
SI20-67	-24.50efg
SI10-33	-24.50efg
SI20-33	-24.75fg
SI30-33	-25.50gh
KURU	-26.50h
LSD	**1.01**

Ek Çizelge 17. Deneme Konularında Quinoa Bitkisi için 4 Haziran 2012 Tarihinde Ölçülen Tc-Ta Değerlerine İlişkin Varyans Analizi

	S.D.	K.T.	K.O.	F	Olasılık
Yineleme	2	0.897	0.449	0.716	0.0004
Sulama	13	38.733	2,979	4.756	
Hata	26	16.290	0.627		
Toplam	41	55.920			

CV = %65.96

Ek Çizelge 18. Deneme Konularında 4 Haziran 2012 Tarihinde Ölçülen Tc-Ta Değerlerine İlişkin Duncan Gruplaması

Konular	Ortalama Tc-Ta
KURU	1.3a
SI20-33	-0.4b
SI30-33	-0.4b
SI30-67	-0.7bc
SI20-67	-0.7bcd
SI30-100	-1.2bcde
SI10-33	-1.2bcde
SI20-100	-1.3bcdef
SI10-67	-1.5bcdef
PRD	-1.6bcdef
FI-33	-1.8cdef
SI10-100	-2.0def
FI-67	-2.5ef
FI-100	-2.6f
LSD	**1.42**

Ek Çizelge 19. Deneme Konularında Quinoa Bitkisi için 5 Haziran 2012 Tarihinde Ölçülen Tc-Ta Değerlerine İlişkin Varyans Analizi

	S.D.	K.T.	K.O.	F	Olasılık
Yineleme	2	0.370	0.185	0.628	
Sulama	13	46.883	3.606	12.236	0.0001
Hata	26	7.663	0.295		
Toplam	41	54.916			

CV = %58.02

Ek Çizelge 20. Deneme Konularında 5 Haziran 2012 Tarihinde Ölçülen Tc-Ta Değerlerine İlişkin Duncan Gruplaması

Konular	Ortalama Tc-Ta
KURU	2.9a
SI20-33	2.1ab
SI30-33	1.9b
SI20-67	1.7b
SI10-33	1.5b
SI10-67	1.4b
SI30-67	1.4b
SI20-100	0.5c
PRD	0.4c
FI-33	0.4c
SI10-100	0.4c
SI30-100	0.3c
FI-67	-0.8d
FI-100	-1.0d
LSD	**0.91**

Ek Çizelge 21. Deneme Konularında Quinoa Bitkisi için 6 Haziran 2012 Tarihinde Ölçülen Tc-Ta Değerlerine İlişkin Varyans Analizi

	S.D.	K.T.	K.O.	F	Olasılık
Yineleme	2	0.032	0.016	0.151	0.0001
Sulama	13	31.061	2.389	22.606	
Hata	26	2.748	0.106		
Toplam	41	33.841			

CV = %15.05

Ek Çizelge 22. Deneme Konularında 6 Haziran 2012 Tarihinde Ölçülen Tc-Ta Değerlerine İlişkin Duncan Gruplaması

Konular	Ortalama Tc-Ta
KURU	3.8a
SI30-33	3.4ab
SI20-33	3.2b
SI30-67	2.7c
SI20-67	2.5c
SI30-100	2.2cd
SI10-67	2.2cd
SI10-33	2.2cd
SI20-100	1.7de
FI-33	1.6ef
SI10-100	1.4efg
FI-67	1.3efg
PRD	1.1fg
FI-100	0.9g
LSD	**0.55**

Ek Çizelge 23. Deneme Konularında Quinoa Bitkisi için 7 Haziran 2012 Tarihinde Ölçülen Tc-Ta Değerlerine İlişkin Varyans Analizi

	S.D.	K.T.	K.O.	F	Olasılık
Yineleme	2	0.323	0.162	0.854	
Sulama	13	28.514	2.193	11.583	0.0001
Hata	26	4.923	0.189		
Toplam	41	33.760			

CV = %16.57

Ek Çizelge 24. Deneme Konularında 7 Haziran 2012 Tarihinde Ölçülen Tc-Ta Değerlerine İlişkin Duncan Gruplaması

Konular	Ortalama Tc-Ta
KURU	4.0a
SI30-33	3.9a
SI20-33	3.5ab
SI30-67	3.1bc
SI10-33	3.0bc
SI30-100	3.0bc
SI20-67	2.7cd
FI-33	2.4cde
SI10-67	2.2def
PRD	2.2def
SI20-100	2.1def
FI-67	1.9efg
SI10-100	1.5fg
FI-100	1.2g
LSD	**0.73**

Ek Çizelge 25. Deneme Konularında Quinoa Bitkisi için 8 Haziran 2012 Tarihinde Ölçülen Tc-Ta Değerlerine İlişkin Varyans Analizi

	S.D.	K.T.	K.O.	F	Olasılık
Yineleme	2	0.323	0.162	1.214	
Sulama	13	20.837	1.603	12.033	0.0001
Hata	26	3.463	0.133		
Toplam	41	24.624			

CV = %12.39

Ek Çizelge 26. Deneme Konularında 8 Haziran 2012 Tarihinde Ölçülen Tc-Ta Değerlerine İlişkin Duncan Gruplaması

Konular	Ortalama Tc-Ta
KURU	4.2a
SI30-33	4.0a
SI20-33	3.7ab
SI10-33	3.3bc
SI20-67	3.3bc
SI30-67	3.2bcd
SI30-100	3.1cde
FI-33	2.8cdef
SI20-100	2.6defg
PRD	2.5efg
SI10-67	2.5fg
FI-67	2.3fg
SI10-100	2.2gh
FI-100	1.6h
LSD	**0.61**

Ek Çizelge 27. Deneme Konularında Quinoa Bitkisi için 4 Haziran 2012 Tarihinde Hesaplanan CWSI Değerlerine İlişkin Varyans Analizi

	S.D.	K.T.	K.O.	F	Olasılık
Yineleme	2	0.018	0.009	0.735	
Sulama	13	0.742	0.077	4.781	0.0003
Hata	26	0.310	0.012		
Toplam	41	1.070			

CV = %51.85

Ek Çizelge 28. Deneme Konularında 4 Haziran 2012 Tarihinde Hesaplanan CWSI Değerlerine İlişkin Duncan Gruplaması

Konular	Ortalama CWSI
KURU	0.56a
SI20-33	0.32b
SI30-33	0.32b
SI30-67	0.28bc
SI20-67	0.28bc
SI30-100	0.21bcd
SI10-33	0.21bcd
SI20-100	0.20bcde
SI10-67	0.17bcde
PRD	0.16bcde
FI-33	0.13cde
SI10-100	0.10cde
FI-67	0.03de
FI-100	0.02e
LSD	**0.18**

Ek Çizelge 29. Deneme Konularında Quinoa Bitkisi için 5 Haziran 2012 Tarihinde Hesaplanan CWSI Değerlerine İlişkin Varyans Analizi

	S.D.	K.T.	K.O.	F	Olasılık
Yineleme	2	0.012	0.006	0.655	
Sulama	13	1.491	0.115	12.168	0.0001
Hata	26	0.245	0.009		
Toplam	41	1.749			

CV = %26.48

Ek Çizelge 30. Deneme Konularında 5 Haziran 2012 Tarihinde Hesaplanan CWSI Değerlerine İlişkin Duncan Gruplaması

Konular	Ortalama CWSI
KURU	0.72a
SI20-33	0.57ab
SI30-33	0.54b
SI20-67	0.51b
SI10-33	0.47b
SI10-67	0.45b
SI30-67	0.45b
SI20-100	0.28c
PRD	0.28c
FI-33	0.27c
SI10-100	0.26c
SI30-100	0.26c
FI-67	0.06d
FI-100	0.02d
LSD	**0.16**

Ek Çizelge 31. Deneme Konularında Quinoa Bitkisi için 6 Haziran 2012 Tarihinde Hesaplanan CWSI Değerlerine İlişkin Varyans Analizi

	S.D.	K.T.	K.O.	F	Olasılık
Yineleme	2	0.001	0.0005	0.155	
Sulama	13	1.125	0.087	22.769	0.0001
Hata	26	0.099	0.004		
Toplam	41	1.225			

CV = %11.10

Ek Çizelge 32. Deneme Konularında 6 Haziran 2012 Tarihinde Hesaplanan CWSI Değerlerine İlişkin Duncan Gruplaması

Konular	Ortalama CWSI
KURU	0.87a
SI30-33	0.79ab
SI20-33	0.75b
SI30-67	0.66c
SI20-67	0.62c
SI30-100	0.56cd
SI10-67	0.56cd
SI10-33	0.56cd
SI20-100	0.47de
FI-33	0.45ef
SI10-100	0.41efg
FI-67	0.39efg
PRD	0.35fg
FI-100	0.32g
LSD	**0.10**

Ek Çizelge 33. Deneme Konularında Quinoa Bitkisi için 7 Haziran 2012 Tarihinde Hesaplanan CWSI Değerlerine İlişkin Varyans Analizi

	S.D.	K.T.	K.O.	F	Olasılık
Yineleme	2	0.009	0.005	0.903	
Sulama	13	0.775	0.060	11.576	0.0001
Hata	26	0.134	0.005		
Toplam	41	0.918			

CV = %10.39

Ek Çizelge 34. Deneme Konularında 7 Haziran 2012 Tarihinde Hesaplanan CWSI Değerlerine İlişkin Duncan Gruplaması

Konular	Ortalama CWSI
KURU	0.92a
SI30-33	0.90a
SI20-33	0.83ab
SI30-67	0.77bc
SI30-100	0.75bc
SI10-33	0.75bc
SI20-67	0.70cd
FI-33	0.65cde
SI10-67	0.62def
PRD	0.62def
SI20-100	0.60def
FI-67	0.57efg
SI10-100	0.50fg
FI-100	0.45g
LSD	**0.12**

Ek Çizelge 35. Deneme Konularında Quinoa Bitkisi için 8 Haziran 2012 Tarihinde Hesaplanan CWSI Değerlerine İlişkin Varyans Analizi

	S.D.	K.T.	K.O.	F	Olasılık
Yineleme	2	0.007	0.004	1.209	0.0001
Sulama	13	0.441	0.034	11.822	
Hata	26	0.075	0.003		
Toplam	41	0.523			

CV = %6.91

Ek Çizelge 36. Deneme Konularında 8 Haziran 2012 Tarihinde Hesaplanan CWSI Değerlerine İlişkin Duncan Gruplaması

Konular	Ortalama CWSI
KURU	0.96a
SI30-33	0.93a
SI20-33	0.88ab
SI10-33	0.83bc
SI20-67	0.83bc
SI30-67	0.81bcd
SI30-100	0.80cde
FI-33	0.75cdef
SI20-100	0.72defg
PRD	0.71efg
SI10-67	0.70fg
FI-67	0.68fg
SI10-100	0.67g
FI-100	0.58h
LSD	**0.09**