

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

Filiz ÜNLÜ

**AŞAĞI SEYHAN OVASI TUZLU-SODYUMLU TOPRAKLARININ
ELEMENTEL KÜKÜRT UYGULAMASI İLE ISLAH OLANAKLARININ
ARAŞTIRILMASI**

TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA ANABİLİM DALI

ADANA, 2015

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AŞAĞI SEYHAN OVASI TUZLU-SODYUMLU TOPRAKLARININ
ELEMENTEL KÜKÜRT UYGULAMASI İLE ISLAH OLANAKLARININ
ARAŞTIRILMASI**

Filiz ÜNLÜ

DOKTORA TEZİ

TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA ANABİLİM DALI

Bu Tez / /2015 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği ile Kabul/Red Edilmiştir.

.....
Prof. Dr. Rıza KANBER
DANIŞMAN

.....
Prof. Dr. Bülent ÖZEKİCİ
ÜYE

.....
Prof. Dr. İdris BAHÇECİ
ÜYE

.....
Prof. Dr. Cafer GENÇOĞLAN
ÜYE

.....
Prof. Dr. Mustafa ÜNLÜ
ÜYE

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

**Prof. Dr. Mustafa GÖK
Enstitü Müdürü**

**Bu Çalışma Ç.Ü. Araştırma Fonu Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No : ZF2011D12**

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

ÖZ

DOKTORA TEZİ

AŞAĞI SEYHAN OVASI TUZLU-SODYUMLU TOPRAKLARININ ELEMENTEL KÜKÜRT UYGULAMASI İLE ISLAH OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI

Filiz ÜNLÜ

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ TARIMSAL YAPILAR VE SULAMA ANABİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. Rıza KANBER
Yıl : 2015, Sayfa : 112
Jüri : Prof. Dr. Rıza KANBER
: Prof. Dr. Bülent ÖZEKİCİ
: Prof. Dr. İdris BAHÇECİ
: Prof. Dr. Cafer GENÇOĞLAN
: Prof. Dr. Mustafa ÜNLÜ

Bu çalışma, farklı elementel kükürt miktarları ile farklı inkübasyon sürelerinin, tuzlu-sodyumlu toprakların iyileştirilmesinde kullanılma olanaklarının araştırılması amacıyla, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü laboratuvarında, denetimli koşullarda yapılmıştır.

Denemede, Aşağı Seyhan Ovası'nın tuzlu-sodyumlu toprakları kullanılmıştır. Aynı miktarlarda alınan hava kurusu bozulmuş toprak örnekleri, farklı kükürt miktarları (2, 4, 6, 8 g/kg) ile karıştırılarak 30 ve 60 gün sürelerle inkübatörde, 28 °C'de ve %50 su tutma kapasitesinde bekletilmiştir. Yıkama suları deneme konularına 3'er cm'lik miktarlar halinde uygulanmıştır. Her yıkama işlemi tamamlandıktan 48 saat sonra diğer yıkama işlemine geçilmiştir.

Denemede ele alınan kükürt miktarlarının, inkübasyon sürelerine bağlı olarak, tuz yıkanmasına farklı biçimde etki ettiği belirlenmiştir. Çalışmada, en fazla pH düşümü 30 günlük inkübasyon süresinden elde edilmiştir. 60 günlük inkübasyon süresindeki tüm kükürt düzeylerinde ortalama pH değerinin, 30 günlüklerden yaklaşık %13 daha büyük olduğu belirlenmiştir. Kükürt miktarlarının ve inkübasyon sürelerinin, değişebilir sodyum yüzdesi (ESP) azaltımındaki etkileri, istatistiksel olarak %99 güvenle birbirinden farklı bulunmuştur. Yapılan istatistiksel değerlendirmede 30 günlük inkübasyon süresinin ve 6.2 g/kg'lık kükürt miktarının ESP düşümünde daha etkin olduğu saptanmıştır.

Çalışmada, yıkanmanın başlangıcında, uzun inkübasyon süresinin topraklarda agregatlaşmaya neden olduğu, birçok elementin çözünürlüğünü azaltarak ECe değerini düşürdüğü; yıkanma sırasında anyon ve katyonların eriyebilirlikleri arttıkça ECe değerlerinin de yükseldiği ve buna bağlı olarak iyileştirme için gerekli yıkama suyunu artırdığı anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elementel Kükürt, Toprak Islahı, Tuzlu-Sodyumlu Topraklar, Aşağı Seyhan Ovası, Değişebilir Sodyum Yüzdesi

ABSTRACT

PhD. THESIS

THE USE OF ELEMENTAL SULFUR FOR RECLAMATION OF SALINE-SODIC SOILS IN THE LOWER SEYHAN PLAIN

Filiz ÜNLÜ

CUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF AGRICULTURAL STRUCTURES AND IRRIGATION

Supervisor : Prof. Dr. Rıza KANBER
Year : 2015, Pages : 112
Jury : Prof. Dr. Rıza KANBER
: Prof. Dr. Bülent ÖZEKİCİ
: Prof. Dr. İdris BAHÇECİ
: Prof. Dr. Cafer GENÇOĞLAN
: Prof. Dr. Mustafa ÜNLÜ

This study was carried out to investigate the possibilities of using elemental sulfur with different application rates and various incubation durations on the salt transport and exchangeable sodium percentage of the saline-sodic soils. The study was conducted under controlled conditions at the Agricultural Structures and Irrigation Laboratory.

In the experiment, the Lower Seyhan Plain saline-sodic soil were used. Air dry degraded soil samples of the same amount were mixed with different sulfur contents, (2, 4, 6, 8 g/kg). The mixtures were incubated for 30 and 60 days in an incubator at 28 °C and at water retention capacity of 50%. Leachings were carried out by applying 3 cm of water to each treatment. Leachings were repeated at every 48 hour time span.

It was determined that the tested elemental sulfur rates impacted the leaching of salts differently depending on the incubation duration. In this study, the maximum pH reduction was obtained at 30-day incubation period. The average pH level of all sulfur levels with 60-day incubation period was determined to be about 13% greater than that with 30-day incubation period. Impacts of sulfur rates and incubation durations on reduction in exchangeable sodium percentage (ESP) were found to be statistically different at the confidence level of 99%. The statistical analysis showed that a 30-day incubation period with 6.2 g/kg of sulfur was the most effective treatment in exchangeable sodium percentage reduction.

In the study, it was determined that, at the beginning of the leaching process, the longer incubation duration resulted in an aggregation in the soil structure and in a decrease in E_c values by reducing the solubility of several elements. During the leaching process, the E_c values increased as the solubility of the anions and cations were increased. As a result of this process, the amount of water necessary for the leaching were increased.

Keywords: Elemental Sulfur, Soil reclamation, Saline-sodic soils, Lower Seyhan Plain, Exchangeable Sodium Percentage

TEŞEKKÜR

Çalışmamın her aşamasında yardımlarını esirgemeyen ve bana “Aşağı Seyhan Ovası Tuzlu-Sodyumlu Topraklarının Elementel Kükürt Uygulaması İle Islah Olanaklarının Araştırılması” konulu doktora tezini veren yapıcı ve yönlendirici fikirleri ile bana daima yol gösteren danışman Hocam Sayın Prof. Dr. Rıza KANBER’e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Doktora Tez İzleme Komitesi üyeleri Sayın Prof. Dr. Bülent ÖZEKİCİ ve Sayın Prof. Dr. İdris BAHÇECİ’ye çalışmamın tüm aşamalarında yönlendirici ve olumlu katkılarından dolayı teşekkür ederim. Doktora tezi jüri üyelerinden Sayın Prof. Dr. Cafer GENÇOĞLAN’a ve Prof.Dr. Mustafa ÜNLÜ’ye çalışmalarım sırasında gösterdikleri destek ve katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Doktora tezim süresince laboratuvar çalışmalarındaki katkılarından dolayı bölümümüz laboratuvar sorumlusu Mine YILDIZ’a teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca sabır ve özveriyle beni her açıdan destekleyen aileme en içten şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER	SAYFA
ÖZ.....	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	IX
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	5
2.1. Sorunlu Topraklar ve Tanılanması.....	5
2.1.1. Tuzlu Toprakların Özellikleri.....	7
2.1.2. Sodyumlu ve Tuzlu-Sodyumlu Toprakların Özellikleri.....	8
2.1.3. Topraklarda Tuz Birikiminin Nedenleri.....	9
2.2. Tuzdan Etkilenmiş Toprakların İyileştirilmesi.....	9
2.2.1. Tuzlu Toprakların İyileştirilmesi.....	10
2.2.1.1. Yıkama Yöntemleri.....	11
2.2.2. Sodyumlu ve Tuzlu-Sodyumlu Toprakların İyileştirilmesi.....	12
2.2.2.1. Kullanılan İyileştirici Maddeler.....	12
2.3. Türkiye’de Sorunlu Toprakların İyileştirilmesiyle İlgili Yapılan Çalışmalar.....	17
3. MATERYAL VE METOD.....	21
3.1. Materyal.....	21
3.1.1. Deneme Yeri.....	21
3.1.2. Toprak Örneğinin Alındığı Yörenin Coğrafi Konumu ve İklim Özellikleri.....	21
3.1.3. Toprak Özellikleri	22
3.1.4. Kimyasal İyileştiriciler.....	25
3.1.5. Yıkama Suyu.....	25
3.2. Metod.....	25

3.2.1. Deneme Konuları.....	25
3.2.1.1. Kükürt Miktarlarının Hesaplanması.....	25
3.2.1.2. İnkübasyon Sürelerinin Belirlenmesi.....	29
3.2.2. Yıkama Kolonlarının Hazırlanması.....	30
3.2.3. Yıkamaların Yapılması.....	31
3.2.4. Süzük Suyuna İlişkin Ölçümler ve Hesaplamalar.....	31
3.2.5. Katyon Değişim Kapasitesinin (CEC) Hesaplanması.....	33
3.2.6. Deneme Konularının ESP Değerlerinin Hesaplanması.....	33
3.2.7. Deneme Konularının Stabilite İndeksi (SI) Değerlerinin Belirlenmesi.....	35
3.2.8. Yıkama Suyu Miktarının Belirlenmesi.....	35
3.2.9. Kimyasal Analizler.....	36
3.2.9.1. Çamur Süzüğü Tuz Derişimi (ECe)	36
3.2.9.2. Toprak Reaksiyonu (pH).....	36
3.2.9.3. Toprak Nem İçeriğı.....	37
3.2.9.4. Bünye.....	37
3.2.9.5. Tarla Kapasitesi (TK).....	37
3.2.9.6. Solma Noktası (SN).....	37
3.2.9.7. Hacim Ağırlığı.....	37
3.2.9.8. Katyon ve Anyonlar.....	37
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	39
4.1. Tuzluluk ve Sodyumluluğun Giderilmesi.....	39
4.1.1. Tuzluluk ve Sodyumluluk Belirteçlerinin Değişimi.....	39
4.1.1.1. ECe Değişimi.....	39
4.1.1.2. pH Değişimi.....	45
4.1.1.3. Değişebilir Sodyum (NaX) Değişimi.....	49
4.1.1.4. Sodyum Adsorbsiyon Oranı (SAR) Değişimi.....	52
4.1.1.5. Değişebilir Sodyum Yüzdesi (ESP) Değişimi.....	54
4.2. Sirkenli Serisi Tuzlu-Sodyumlu Toprakların İyileştirme Ölçütlerinin Belirlenmesi.....	59

4.2.1. Yıkama Suyu Miktarları.....	59
4.2.1.1. İnkübasyon Sürelerinin Etkisi.....	59
4.2.1.2. Kükürt Miktarlarının Etkisi.....	61
4.2.2. Gerçek ve Kuramsal ESP İlişkisi.....	64
4.2.3. Gerçek ve Kuramsal Kükürt Gereksinimleri İlişkisi.....	67
4.2.4. İyileştirme için Gerekli Yıkama Süresi.....	68
4.2.4.1. Kükürt Miktarlarının Etkisi.....	68
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	73
KAYNAKLAR.....	77
ÖZGEÇMİŞ.....	89
EKLER.....	90

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 2.1.	Tuzdan Etkilenen Toprakların Kıtasal Dağılımı (milyon ha) (Anonim, 2000).....	2
Çizelge 2.2.	Türkiye’de Sorunlu Toprakların Dağılımı (Sönmez, 2004).	7
Çizelge 2.3.	Kimi Toprak Örneklerinde Toprak pH’ını 6.5’e Düşürmek İçin Gerekli Kükürt Miktarı (kg/dekar).....	17
Çizelge 3.1.	Denemenin Yürütüldüğü Yöreye Ait Uzun Yıllık Ortalama İklim Verileri.....	23
Çizelge 3.2.	Sirkenli Yöresi Toprağının Kimi Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	24
Çizelge 3.3.	Deneme Konularının Şematik Gösterimi.....	27
Çizelge 3.4.	Tuzlu-Alkali Toprakların Yıkama Denemesinde Ele Alınan Konuların Üç Tekerrürlü Dağılımının Şematik Gösterimi.....	27
Çizelge 4.1.	Yıkama Periyodunun Başlangıç ve Son Dönemlerinde Süzük Sularında Ölçülen Kimi İyonların Bileşimleri (me/L).	41
Çizelge 4.2.	Tuzluluk ve Sodyumluluk Belirteçlerine İlişkin Varyans Analizi.....	44
Çizelge 4.3.	Deneme Konularında Yıkama Süresi Denklemleri, Yıkama Suyu Miktarları ve Yıkama Süreleri.....	71
Ek Çizelge 1a.	30 Günlük İnkübasyon Koşullarında (IN:30 gün) ve Farklı Kükürt Uygulamalarında Süzük Suyunda Ölçülen Tuz Değerleri (ECe, dS/m).....	92
Ek Çizelge 1b.	60 Günlük İnkübasyon Koşullarında (IN:60 gün) ve Farklı Kükürt Uygulamalarında Süzük Suyunda Ölçülen Tuz Değerleri (ECe, dS/m).....	93
Ek Çizelge 1c.	Deneme Konularında ECe (dS/m) Azalması.....	94
Ek Çizelge 2a.	Farklı İnkübasyon Süreleri ve Kükürt Miktarlarına İlişkin Süzük Sularında Ölçülen Katyon Derişimleri (me/L).....	95

Ek Çizelge 2b. Farklı İnkübasyon Süreleri ve Kükürt Miktarlarına İlişkin Süzük Sularında Ölçülen Anyon Derişimleri (me/L).....	98
Ek Çizelge 3a. 30 Günlük İnkübasyon Koşullarında (IN:30 gün) ve Farklı Kükürt Uygulamalarında Süzük Suyunda Ölçülen pH Değerleri.....	99
Ek Çizelge 3b. 60 Günlük İnkübasyon Koşullarında (IN:60 gün) ve Farklı Kükürt Uygulamalarında Süzük Suyunda Ölçülen pH Değerleri.....	100
Ek Çizelge 3c. Deneme Konularında pH Azalması.....	101
Ek Çizelge 4a. 30 Günlük İnkübasyon Koşullarında (IN:30 gün) ve Farklı Kükürt Uygulamalarında Süzük Suyunda Ölçülen NaX Değerleri (me/100 g).....	102
Ek Çizelge 4b. 60 Günlük İnkübasyon Koşullarında (IN:60 gün) ve Farklı Kükürt Uygulamalarında Süzük Suyunda Ölçülen NaX Değerleri (me/100 g).....	103
Ek Çizelge 4c. Deneme Konularında NaX (me/100 g) Azalması.....	104
Ek Çizelge 5a. 30 Günlük İnkübasyon Koşullarında (IN:30 gün) ve Farklı Kükürt Uygulamalarında Süzük Suyunda Ölçülen SAR Değerleri.....	105
Ek Çizelge 5b. 60 Günlük İnkübasyon Koşullarında (IN:60 gün) ve Farklı Kükürt Uygulamalarında Süzük Suyunda Ölçülen SAR Değerleri.....	106
Ek Çizelge 5c. Deneme Konularında SAR Azalması.....	107
Ek Çizelge 6a. 30 Günlük İnkübasyon Koşullarında (IN:30 gün) ve Farklı Kükürt Uygulamalarında Süzük Suyunda Ölçülen ESP Değerleri.....	108
Ek Çizelge 6b. 60 Günlük İnkübasyon Koşullarında (IN:60 gün) ve Farklı Kükürt Uygulamalarında Süzük Suyunda Ölçülen ESP Değerleri.....	109
Ek Çizelge 6c. Deneme Konularında ESP Azalması.....	110

Ek Çizelge 7a. 30 Günlük İnkübasyonda Farklı Kükürt Konularında İnfiltrasyon Süreleri (saat).....	111
Ek Çizelge 7b. 60 Günlük İnkübasyonda Farklı Kükürt Konularında İnfiltrasyon Süreleri (saat).....	112

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 3.1. Denemede kullanılan toprakların alındığı yer (Anonim, 2015a).....	21
Şekil 3.2. Deneme konularına elementel kükürt uygulanması.....	28
Şekil 3.3. Deneme konularının inkübatörde bekletilmek üzere hazırlanması..	29
Şekil 3.4. Yıkama düzeneğinin şematik görünümü.....	30
Şekil 3.5. Yıkama kolonlarının doygun hale getirilmesi ve yıkama düzeneğine alınması.....	31
Şekil 3.6. Yıkamaların bitirilmesi ve analizlerin yapılması.....	36
Şekil 4.1. Farklı inkübasyon süreleri ve kükürt uygulamalarında yıkama suyu miktarları ile süzükteki E _{Ce} değerleri arasındaki ilişkiler.....	42
Şekil 4.2. Farklı inkübasyon sürelerinde kükürt miktarları ile E _{Ce} azalışları arasındaki ilişkiler.....	45
Şekil 4.3. Farklı inkübasyon süreleri ve kükürt uygulamaları altında yıkama suyuna bağlı olarak çamur süzüğü pH değerlerinin değişimi.....	47
Şekil 4.4. Farklı inkübasyon sürelerinde kükürt miktarları ile pH azalışları arasındaki ilişkiler.....	48
Şekil 4.5. Farklı inkübasyon süreleri ve kükürt uygulamalarında yıkama suyu miktarları ile NaX değerleri arasındaki ilişkiler.....	51
Şekil 4.6. Farklı inkübasyon sürelerinde kükürt miktarları ile NaX azalışları arasındaki ilişkiler.....	52
Şekil 4.7. Farklı inkübasyon süreleri ve kükürt uygulamalarında yıkama suyu miktarları ile SAR değerleri arasındaki ilişkiler.....	55
Şekil 4.8. Farklı inkübasyon sürelerinde kükürt miktarları ile SAR azalışları arasındaki ilişkiler.....	56
Şekil 4.9. Farklı inkübasyon süreleri ve kükürt uygulamalarında yıkama suyu miktarları ile ESP değerleri arasındaki ilişkiler.....	58
Şekil 4.10. Farklı inkübasyon sürelerinde kükürt miktarları ile ESP azalışları arasındaki ilişkiler.....	59
Şekil 4.11. Farklı inkübasyon sürelerine ilişkin tuz yıkama eğrileri.....	60

Şekil 4.12. Farklı kükürt miktarlarına ilişkin tuz yıkama eğrileri.....	63
Şekil 4.13. Gerçek ve kuramsal ESP değerleri arasındaki ilişki.....	65
Şekil 4.14. Süzük SAR değerleri ile gerçek ESP değerleri arasındaki ilişki.....	66
Şekil 4.15. Gerçek ve kuramsal kükürt miktarları arasındaki ilişki.....	67
Şekil 4.16. Farklı inkübasyon sürelerinde kükürt dozlarına ilişkin yığışimli infiltrasyon (su alma derinliği) eğrileri.....	68
Şekil 4.17. Yıkama sürecinde birim yıkama suyuna karşı infiltrasyon hızlarının değişimi.....	70

SİMGELER VE KISALTMALAR

A	: Brim Alan, da
Ay	: Yıkama Katsayısı
As	: Toprağın Hacim Ağırlığı, g/cm ³
By	: Yıkama Katsayısı
C	: Tuz Derişimi, dS/m
Ca	: Kalsiyum, me/L
Ce	: Ekstrakte katyon konsantrasyonu, me/L
C _{ea}	: Amonyum asetatta ekstrakte edilebilir katyonlar, me/100g
CaCO ₃	: Kalsiyum Karbonat (Kireç), me/L
CaSO ₄	: Kalsiyum Sülfat, me/L
CEC	: Katyon Değişim Kapasitesi, me/100g
Cl	: Klor, me/L
CO ₃	: Karbonat, me/L
CR	: Elementel Kükürt Gereksinimi, ton/da
Cs	: Çözünebilir katyonlar, me/100g
C _{se}	: Saturasyon ekstraktında katyon konsantrasyonu, me/L
D _w	: Yıkama Suyu Miktarı, cm
D _s	: Yıkanacak Toprak Derinliği, cm
EA	: Kullanılan İyileştiricinin Eşdeğer Ağırlığı, g
ECe	: Çamur Süzüğü Elektriksel İletkenliği, dS/m
EC _e _i	: Yıkamadan Önceki Çamur Süzüğü Elektriksel İletkenliği, dS/m
EC _e _f	: Yıkamadan Sonraki Çamur Süzüğü Elektriksel İletkenliği, dS/m
ESP	: Değişebilir Sodyum Yüzdesi, %
ESPk	: Kuramsal ESP değeri, %
ESPg	: Gerçek ESP değeri, %
(ESP) _i	: Yıkamadan Önceki Değişebilir Sodyum Yüzdesi, %
(ESP) _f	: Yıkamadan Sonraki Değişebilir Sodyum Yüzdesi, %
ESR	: Değişebilir Sodyum Oranı

HCO ₃	: Bikarbonat, me/L
IN	: İnkübasyon
K	: Potasyum, me/L
LSD	: En Küçük Önemli Fark
Mg	: Magnezyum, me/L
Na	: Sodyum, me/L
NaX	: Değişebilir Sodyum Miktarı, me/100g
Sa	: Hava kurusu toprak ağırlığı, g
Sd	: Fırın kurusu toprak ağırlığı, g
St	: Saturasyon, %
Sw	: Hava kurusu toprağın içerdiği yüzde nem miktarı, %
SAR	: Sodyum Adsorbsiyon Oranı, (me/L) ^{0.5}
SAR _e	: Çamur Süzüğü SAR Değeri, (me/L) ^{0.5}
SAR _{1:5}	: Beşde Bir Oranında Sulandırılmış Çamur Süzüğü SAR Değeri, (me/L) ^{0.5}
SAY	: Stabil Agregat Yüzdesi, %
SD	: Serbestlik Derecesi
Sg	: Gerçek Kükürt Miktarı, ton/da
Sk	: Kuramsal Kükürt Miktarı, ton/da
SN	: Toprağın Hacim Yüzdesi Olarak Solma Noktası, cm ³ /cm ³
SO ₄	: Sülfat, me/L
SI	: Stabilite İndeksi
T	: Yıkama Süresi, h
TK	: Toprağın Hacim Yüzdesi Olarak Tarla Kapasitesi, cm ³ /cm ³
D _t	: Yıkamalar Arasında Bırakılan Süre
T _L	: Yıkama Aralıkları Nedeniyle Uzayan Yıkama Süresi, saat
TS _r	: Oransal Tuz Yıkama Değeri, %
W	: Eklenen su hacmi, ml;

1. GİRİŞ

Günümüze değin insanoğlu, doğayı ve doğal kaynakları sürekli olarak yanlış kullanmış ve hızla tüketmiştir. En önemli doğal kaynaklarımızdan olan suyun ve toprakların bir kısmı, yanlış ve bilinçsiz kullanımlar sonucunda verimsiz veya kullanılamaz hale gelmiş durumdadır. Bitki yetiştirilen potansiyel tarım topraklarının büyük bölümü, nüfusun ve tarımsal etkinliklerin yoğun olduğu, yüksek sıcaklık ve evapotranspirasyonla ilişkili olarak yetersiz yıkamanın çok fazla tuz yığışımına neden olduğu, düz-eğimsiz alanlarda yer almaktadır (Rhoades ve ark., 1992; De Pascale ve Barbieri, 1997). Küresel ölçekte, 397 milyon ha tuzlu, 434 milyon ha sodyumlu toprak vardır. Mevcut sulanan 230 milyon ha alanın 45 milyon ha'ı (%19.5) ve yaklaşık 1.5 milyar ha kuru tarım alanının ise 32 milyon ha'ı (%2.5) tuzdan etkilenmiştir (FAO, 2000). Bu rakamlar, insan etkinliğine bağlı olarak değışiklik göstermektedir.

Dünya'da tarımsal üretim yapılan toprakların yaklaşık %40'ı tuzluluk sorunu tehdidi altındadır (Esin, 2007). Dünya'da her yıl 10 milyon ha arazinin tuzluluk etkisiyle elden çıkması, sorunun boyutunu daha iyi göz önüne sermektedir (Kwiatowski, 1998). Bu durum, tarımsal üretimi önemli oranda etkilemektedir.

Türkiye topraklarının yaklaşık 28 milyon hektarı (%35.8) işlenebilir arazi durumundadır. Bu alanların %3.2'sinde tuzluluk ve 1.5 milyon hektarında çoraklık sorunu saptanmıştır (Topraksu, 1978).

Ülkemizdeki verimli tarım toprakları (Menderes Ovaları, Çukurova ve Konya Ovası) yanlış ve bilinçsiz sulamalar ve yetersiz drenaj nedeniyle önemli miktarlarda tuzlanmış ve tuzlanan bu topraklar zamanla çoraklaşarak üretim dışı kalmıştır. Kaynakların her geçen gün biraz daha azalması, sürdürülebilir tarımı tehdit eden en önemli unsurlardan biridir. Ülkemizde ve diğer Akdeniz ülkelerinde, su ve toprağın giderek kirlenmesi ve iklim değışiklikleri nedeniyle artan nüfusun beslenmesini sağlayacak oranda tarımsal üretim yapılamamaktadır. Ayrıca, doğal kaynakların nitelik ve nicelikleri, sulu tarımdan olumsuz şekilde etkilenmektedir (Tanji, 1990). Bu olumsuzluklar arasında tuzluluşma ve alkalileşme gibi olayların etkisiyle meydana gelen arazi bozulması, sulamadan dönen suların tuz ve nitrat içeriklerinin

yükselmesi, iklim değişikliği nedeniyle su kaynaklarının giderek azalması, en belirgin olanlarıdır. O nedenle günümüzde, anılan sınırlı su ve toprak kaynaklarının çevre ile bütünleşik yönetimi, yaşamsal önem taşımaktadır. Bu bağlamda, sulamada kullanılan su miktarının azaltılması ve tuzluluk-sodyumlulukla kirletilmiş alanların iyileştirilerek üretime açılması gibi yaklaşımlar, üzerinde düşünülmesi ve çalışılması gereken önemli konulardır.

Toprakta bulunan fosfor, potasyum, kalsiyum, magnezyum, sodyum, mangan, demir, bakır, klor ve diğer elementlerin artması ile oluşan sorunlu topraklar, bitki gelişimini olumsuz yönde etkiler.

Tuzluluk, yalnızca, bitki gelişimini ve verimi olumsuz etkilememekte aynı zamanda, toprağın ve tüm su kaynaklarının kirlenmesine neden olmaktadır (Feng ve ark., 2003).

Öte yandan, sodyum ve bor gibi elementlerin toprakta yüksek oranda bulunması bitkilerde zehir etkisi yapmaktadır. Topraklarda bulunan fazla miktarlardaki değişebilir sodyum, su geçirgenliği ve havalanmanın azalması gibi sorunlara neden olduğu için, bitki gelişimini olumsuz yönde etkilemektedir (Bresler ve Charter,1982; James ve ark., 1982).

Bu bağlamda yeni sulama yöntemlerinin veya yeni sulama teknolojilerinin dikkate alınması, geleneksel olmayan suların kullanımı ile ilgili olarak, toprak-bitki-tuzluluk ilişkilerini açıklayan, yeni yaklaşımların elde edilmesi gerekmektedir. Zira, tuzluluk ile ilgili temel bilgiler, örneğin, sorunlu toprakların sınıflanmasına ilişkin kimyasal analiz sonuçlarının yorumlanması, sulama sularının sınıflandırılması; tuzlu-sodyumlu toprakların ve geleneksel olmayan suların kullanılması ile ilgili olarak, yıkama gereksinimi gibi, tuz yıkama eşitliği gibi, tuzluluk eşik değeri gibi, tuzlu-sodyumlu toprakların iyileştirilme ilkeleri gibi, daha birçok bilimsel kavram ve ölçütler, geleneksel karık/tava yöntemleri ile sulanan orta ve hafif bünyeli topraklar üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda elde edilmiştir (Ayers, 1977; Bressler ve Hoffman, 1986; Ayers ve Westcot, 1985; Tanji, 1990; Hoffman ve ark. 1990; Kanber ve ark., 1992; Bauder ve Brock, 2001; Sönmez, 2004).

Sorunlu toprakların iyileştirilmesi, kök bölgesindeki çözünebilir tuzların yıkanarak, topraktan uzaklaştırılması temeline dayanır. İşlem, çözünebilir tuz kapsamı, bitkilerin zararlanmayacağı düzeye indiğinde tamamlanır. Tuzlu toprakların ıslahı için toprak yıkanması yeterli olurken sodyumlu toprakların ıslahında, kimyasal iyileştiricilerin ilave edilmesi gerekmektedir (Silveira ve ark., 2008).

Sodyumlu toprakların iyileştirilmesinde, kükürt, jips (alçı), sülfürik asit, kalsiyum klorür, kalsiyum karbonat gibi iyileştiriciler kullanılabilir. Bunlardan, en çok kükürt ve alçı iyileştirici madde olarak kullanılmaktadır. Anılan kimyasal maddelerin ülkemizde bol ve ekonomik olmaları, yaygın olarak kullanılmalarını özendirir. Örneğin, Türkiye'de yaklaşık 10 milyon ton kükürt rezervi bulunmaktadır. Ancak, inkübasyon süresine gereksinim göstermesi, saflık ve irilik sorunu, kükürdün kullanımını alçıya göre daha sınırlı hale getirmiştir. Bununla birlikte, özellikle kireç yönünden zengin sodyumlu toprakların iyileştirilmesinde kükürt kullanımı daha fazla tercih edilmektedir.

Bu çalışmada, Aşağı Seyhan Ovası'nda bulunan tuzlu sodyumlu toprakların elementel kükürt uygulamaları ile iyileştirme olanakları incelenmiştir. Laboratuvar gibi denetlenebilir koşullarda, sorunlu alanlardan alınan toprak örneklerine farklı miktarlarda elementel kükürt verilmiş ve farklı inkübasyon süreleri uygulanarak yıkamaya geçilmiştir. Deneme sonucunda, farklı inkübasyon sürelerinin ve elementel kükürt miktarlarının ıslah verimliliğine etkileri değerlendirilerek en uygun inkübasyon süresi ve elementel kükürt miktarı belirlenmeye çalışılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Sorunlu Topraklar ve Tanılanması

Gelişmekte olan birçok ülkede toprakla ilgili olarak karşı karşıya kalınan önemli tehditler, toprak aşınımı, toprak yapısının bozulması, bitki besin elementleri kaybı, tuzluluk ve sodyumluluğun (alkalilik) artması, toksik elementlerin yığılması, su birikimi ve çölleşme gibi sorunların tek tek veya bileşimleri şeklinde sıralanabilir (Gianfreda, 1996; Shidan, 2005). Bu sorunların nedenleri, kötü nitelikli suların kullanımı ve besin elementleri kaybıyla (Li, 2008) sonuçlanan aşırı su kullanılması (Wichern ve ark., 2006) gibi, iki genel grupta toplanabilir. Toprak yüzeyinde veya yüzeye yakın katmanlarda tuz derişimi, arazinin bozulup üretim dışı kalmasına, verimin düşmesine neden olur. O nedenle toprak tuzluluğu, sodyum, kalsiyum ve magnezyum gibi çözünebilir tuzların kök bölgesinde yığılması, şeklinde tanımlanır (Siyal ve ark., 2002).

Tuzdan etkilenmiş sorunlu topraklar çok değişik şekillerde tanımlanarak sınıflandırılır. Richards (1954) tarafından yapılan sınıflandırma, bugün için, en iyisi olarak kabul edilmektedir. Anılan sınıflandırmada, tuzdan etkilenmiş topraklar, tuz derişimi (EC), değişebilir sodyum yüzdesi (ESP) ve çamur süzüğü pH değerlerine bağlı olarak, tuzlu, sodyumlu ve tuzlu-sodyumlu olmak üzere üç farklı sınıfa ayrılarak, incelenmektedir (Richards, 1954; Siyal ve ark., 2002).

Tuzlu ve sodyumlu topraklar, genelde, kurak ve yarı kurak iklim bölgelerinde, daha çok sulamaya bağlı olarak meydana gelir ve çok önemli bir tarımsal sorun olarak kabul edilirler. Bu bölgelerde yıllık yağış miktarının, yıllık sıcaklık ortalamasına oranı 40 veya daha küçüktür (Anonim, 2000). Toprak suyu bileşimi, buharlaşma ve suyun bitkiler tarafından kullanılması nedeniyle daha derişik hale gelir; kalsiyum ve magnezyum, çözünlükleri daha düşük olan CaSO_4 , CaCO_3 ve MgCO_3 tuzları şeklinde çökülürler. Çözelti fazındaki derişimi artmış olan sodyum, kalsiyum ve magnezyumla yer değiştirerek, toprakların tuzlulaşmasına neden olur. Ancak, açıklanan oluşumun meydana gelmesi için toprak çözeltisindeki çözünebilir

katyonların yarısı veya daha fazlasının sodyum olması gerekmektedir (Richards, 1954; Kanber ve ark., 1992).

Toprakta yığılmış olarak bulunan çözünebilir tuzlar, çamur süzüğünün ozmotik basıncını artırarak, bitkinin su alım kapasitesini azaltır ve böylece verimi önemli ölçüde sınırlar (Siyal ve ark., 2002). Değinen zararlanmalar, gıda üretimini olumsuz şekilde etkilemektedir (Sharma ve ark., 1993).

Tuzluluk, bitki gelişimini ve verimini sınırlayan temel etmenlerden birisidir ve dünyadaki arazilerin toplam % 7'sini etkilemektedir (Flowers ve ark., 1997). Tarım yapılan alanların % 23'ü ve sulanan alanların % 20'si tuzluluktan etkilenmektedir. Bunun dışında her yıl dünyada % 10 düzeyinde tuzlulukta artış eğilimi görülmektedir (Ponnamieruma, 1984). Bitki yetiştirilen potansiyel tarım topraklarının büyük bölümü, nüfusun ve tarımsal etkinliklerin yoğun olduğu, yüksek sıcaklık ve evapotranspirasyonla ilişkili olarak yetersiz yıkamanın çok fazla tuz yığılmasına neden olduğu, düz-eğimsiz alanlarda yer almaktadır (Rhoades ve ark., 1992; De Pascale ve Barbieri, 1997). Dünya ölçeğinde tuzdan etkilenen alanların dağılımı, Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Tuzdan Etkilenen Toprakların Kıtasal Dağılımı (milyon ha) (Anonim, 2000)

Bölge	Toplam alan	Tuzlu topraklar	%	Sodyumlu topraklar	%
Afrika	1899.1	38.7	2.0	33.5	1.8
Asya, Pasifik ve Avustralya	3107.2	195.1	6.3	248.6	8.0
Avrupa	2010.8	6.7	0.3	72.7	3.6
Latin Amerika	2038.6	60.5	3.0	50.9	2.5
Yakın Doğu	1801.9	91.5	5.1	14.1	0.8
Kuzey Amerika	1923.7	4.6	0.2	14.5	0.8
Toplam	12781.3	397.1	3.1	434.3	3.4

Türkiye'de tuzdan etkilenen topraklar: Konya-Ereğli, Aksaray ve Malya Ovaları, Alüvyonlu Aşağı Seyhan Ovası, Iğdır, Menemen, Bafra, Söke, Acıpayam ve Salihli Ovaları'nda yer alırlar. Ülkemizde yapılan çalışmalara göre, Türkiye'de 1.5

milyon ha alanda belirli derecelerde tuzluluk ve sodyumluluk sorunu ve 2.8 milyon ha alanda ise hem tuzluluk hem de taban suyu sorunu vardır (Sönmez, 2004). Anılan incelemelere göre; 1.5 milyon ha alanın %41'i hafif tuzlu, %33'ü tuzlu, %0.5'i sodyumlu, %8'i hafif tuzlu-sodyumlu ve %17.5'i ise tuzlu-sodyumludur (Çizelge 2.2). Tuzdan etkilenen topraklarda ana bileşenler sodyum tuzları olmasına karşın, Denizli Acıpayam'da magnezyumlu topraklar, Niğde-Bor'da potasyum-alkali topraklar, Kayseri'de jipsli topraklar yaygındır (Anonim, 2000).

Çizelge 2.2. Türkiye'de Sorunlu Toprakların Dağılımı (Sönmez, 2004)

Sorunun Niteliği	Alan (ha)	Sorunlu Alanlara Göre %
Hafif Tuzlu	614617	41.0
Tuzlu	505603	33.0
Alkali	8641	0.5
Hafif Tuzlu-Alkali	125863	8.0
Tuzlu-Alkali	264958	17.5
Toplam	1518722	100.0

Nemli iklim bölgelerinde yağış fazla olduğundan, eriyebilir tuzlar yıkanır ve akarsularla denizlere taşınırlar. Bu nedenle nehir ağzlarında görülen delta ovaları dışında, nemli iklim bölgelerinde tuzlu topraklara pek rastlanılmaz (FAO, 2000).

İnsan etkisiyle meydana gelen tuzluluk, doğal tuzlu topraklardan ayırmak amacıyla, ikincil tuzluluk olarak tanımlanır ve bilinir. Anılan sorun, dünyanın kurak bölgelerindeki çölleşmenin temel nedeni olarak kabul edilir (Ghollarata ve Fayeze, 2007).

2.1.1. Tuzlu Toprakların Özellikleri

Tuzlu topraklar çamur süzüğü tuz derişiminin (EC), 25 °C'de 4 dS/m'den büyük veya 2600 ppm, ESP değerinin %15'ten küçük ve pH'larının 8.5'den düşük

olduğu topraklar diye tanımlanır (Richards, 1954). Bu topraklarda en fazla bulunan anyonlar klor, sülfat, karbonat ve bazı durumlarda nitratlardır. Ancak, doğada en çok rastlanılan tuz formu sodyum klorür (NaCl)'dür (Kanber ve Ünlü, 2010). Anılan toprakların bünyesindeki çözünebilir tuzlar, toprak suyunun bitki tarafından alınabilirliğini azaltırlar. Tuzlu topraklar yüzeyde beyaz tuz kabuklarının varlığı ile tanınırlar. Bu topraklarda, killi, genellikle yumaklaşmıştır; o nedenle su geçirgenlikleri yüksek, toprak yapısı, işleme özellikleri, normal topraklardan daha iyidir. Bitkisel verim, yüksek ozmotik basınçtan dolayı, düşüktür. En fazla kalsiyum ve magnezyum katyonları bulunur. Sodyum, fazla adsorbe edilmemiştir. Anyonlardan Cl, SO₄ ve bazı durumlarda NO₃ fazla bulunabilir. HCO₃ anyonu çok az, CO₃ ise genellikle hiç bulunmaz (Siyal ve ark, 2002).

2.1.2. Sodyumlu ve Tuzlu-Sodyumlu Toprakların Özellikleri

Sodyumlu topraklarda EC değeri, 25 °C'de 4 dS/m'den küçük; ESP ve pH değerleri ise, sırasıyla %15'den, 8.5'den büyüktür. Bu topraklarda en fazla bulunan katyon sodyum; anyon ise klor, sülfat ve bikarbonattır (Bower ve Fineman, 1957). Sodyumlu toprakların bünyesindeki sodyum iyonları, mineral kolloidlerin dağılmasını sağladığından güçlü bir toprak yapısına neden olur. Sodyum çevresine çok su toplaması nedeniyle toprak taneciklerinin birbirlerine tutunmalarını engeller ve toprak dispers hale gelerek balçıklaşır (Siyal ve ark, 2002). Çamur süzüğündeki sodyum karbonat, bazı durumlarda toprakta bulunan organik maddeyi çözer. Toprak kurudukça yüzeyinde siyah bir renk oluşur. Geçirgenlik çok düşer. Anılan topraklar ıslakken yağlı görünüşte, plastik ve yapışkan olmalarına karşın; kuruduklarında sertleşirler, zamanla büyük kesek, çatlaklar ve kalın kabuklar oluştururlar. Toprak yapısı önemli ölçüde bozuktur ve işlenmeleri güçtür (Kanber ve Ünlü, 2010).

Tuzlu-sodyumlu topraklar, tuzlulaşma ve alkalileşme olaylarının genellikle, birlikte gelişmesi nedeni ile görünüşleri ve özellikleri yönünden, tuzlu topraklara benzerler (James ve ark., 1982). Tuzların fazla olduğu durumlarda toprak parçacıkları yumaklaşmış (floküle) durumdadır. Tuzlu-sodyumlu topraklar, kültür bitkilerinin olağan büyüme ve gelişmelerini engelleyecek düzeyde, hem tuz hem de

sodyum içeren topraklar olarak tanımlanmaktadır. Konu edinilen topraklarda, EC değeri, 4 dS/m'den yüksek, ESP değeri, % 15'ten fazla ve pH'ları bazen 8.5'ten büyük olabilmektedir (Richards, 1954).

2.1.3. Topraklarda Tuz Birikiminin Nedenleri

Topraklarda tuz birikiminin temel nedenleri; arazilerin sulanması için tuzlu suların kullanılması, kanallardan sızma, kurak iklim, toprağın bünyesindeki bazı tuzların ayrışarak birikmesi, taban sularının hareketi sonucu yüzeye çıkmaları veya topoğrafik yapı nedeniyle taban suyunun yükselmesi, tuzlu toprak suyunun toprak yüzeyinden buharlaşması, hatalı gübreleme ve kötü drenaj koşullarıdır. Tüm bu etmenler, tek başlarına veya birlikte, dünyada tuzdan etkilenmiş toprakların oluşumundan sorumludur (Temel ve Şimşek, 2011).

Öte yandan, yağışlı alanlarda, toprağın üst katmanındaki tuzlar, yağıştan kaynaklanan sızma ile toprağın alt katmanlarına, yüzey akışları ile de okyanuslara taşınırlar. Buna karşı, evaporasyonun yağıştan fazla olduğu kurak bölgelerde toprak yüzeyindeki tuzlar, yetersiz yağıştan dolayı taşınmazlar. Artan sıcaklık ve azalan yağışın etkisi sonucu tuzlar yıkanamayarak üst toprakta birikirler. Hatta, sıcak mevsimlerde yıkanarak yeraltı suyuna karışan çözünebilir tuzlar, yüksek taban sularıyla birlikte kılcal yükseliş (kapillarite) yoluyla toprak yüzeyine geri dönerler (Ekmekçi ve ark., 2005; Ergene 1982).

2.2. Tuzdan Etkilenmiş Toprakların İyileştirilmesi

Tuzdan etkilenmiş topraklar, iyileştirilmeden önce doğru biçimde tanınmalıdırlar. Tanınma için, önce arazi gözlemleri yapılır; daha sonra gözlemler, laboratuvarında yapılacak toprak ve su analiz ölçümleri ile pekiştirilir. Arazi gözlemlerinde, toprakların görünümleri ile üzerinde yetişen bitki örtüsünün özellikleri dikkate alınır (Kanber ve ark., 1992).

Tuzdan etkilenmiş toprakların, verimli koşullara getirilmesiyle ilişkili olarak yapılan işlem ve uygulamalar, iyileştirme çalışmaları olarak bilinir. Tuzdan

etkilenmiş toprakların iyileştirilmesi terimi, çözünebilir tuzların kök bölgesinden uzaklaştırılması için kullanılan yöntemleri kapsar. Böylesi topraklarda bitki gelişmesini iyileştirmek için fazla tuzların kök bölgesinden uzaklaştırılması zorunludur. Bu konuda çok sayıda yöntem geliştirilmiş ve çok sayıda deneysel çalışma yapılmış olmasına karşın, benzer koşullarda bile elde edilen sonuçlar, birbirleriyle tutarlı değildir.

Belirtilen olumsuz koşulların giderilmesi için, taban suyunun kök bölgesinin dışında ve belli bir derinlikte tutulması gereklidir. Değinilen derinlik uygun şekilde planlanmış ve inşa edilmiş bir drenaj sistemi ile olanaklıdır. Suyun türdeş dağılımını sağlamak için gerekli görülmesi halinde arazi yüzeyi düzeltimi (tesviye) yapılır. Tuzlu topraklar, genellikle, yıkanarak; sodyumlu ve tuzlu-sodyumlu topraklar ise kimyasal iyileştiricilerin uygulanmasıyla birlikte yıkanarak iyileştirilir. Yıkama suyunun iyi nitelikli ve bol bulunur olması gerekir (Kanber ve ark., 2008).

2.2.1. Tuzlu Toprakların İyileştirilmesi

Eğer, iyi bir drenaj ve yeterli miktarda iyi nitelikli sulama suyu varsa veya yağış yeterli ise tuzlu toprakların, bitkisel verim için, iyileştirilmesi kolaydır. Tuzlu toprakların iyileştirilmesi, fazla miktarda bulunan ve bitkiler için zararlı olan çözünebilir tuzların, toprak profilinde yukarıdan aşağıya doğru yıkama yoluyla uzaklaştırılarak bitki için zararlı olmayan düzeylere düşürülmesi temeline dayanır. Tuz oranı yüksek olan topraklarda yüzeyde beyaz film oluşturan tuz tabakası da yıkama yoluyla giderilmektedir. Yıkama verimliliğinin artırılması için toprağın drenaj sisteminin iyileştirilmesi gerekir. İyileştirme için gerekli olan su miktarının belirlenmesine toprağın başlangıçtaki tuz içeriği, düşürülecek tuz düzeyi, sulama suyu niteliği, iyileştirilecek toprak derinliği ve uygulanacak yıkama yöntemi etki etmektedir (Lamond ve Whitney, 1992).

Organik iyileştiricilerin toprak tuzluluğunun iyileştirilmesinde etkisinin az olduğunun bilinmesine karşın, toprağın diğer fiziksel ve biyolojik özellikleri üzerine olumlu etki yaptıkları, suya dayanıklı agregatları, su tutma kapasitesini, katyon değiştirme kapasitesini ve bitki besin elementlerini artırdıkları belirlenmiştir (Hanay

ve ark., 2004). Ayrıca, organik iyileştiriciler, topraktan tuzun yıkanmasını sağlayacak şekilde, suyun hareketine yardımcı olur. Toprak yüzeyinden suyun evaporasyonunu da yavaşlattığından dolayı yüzeyde tuz birikimini azaltmaktadır (Henry ve ark., 2008).

2.2.1.1. Yıkama Yöntemleri

Tuzlu bir toprağın yıkanması için gerekli su miktarı, tuz kapsamına ve düşürülmesi istenilen tuz düzeyine bağlıdır. Pratik olarak, 30 cm derinlikte bir toprak aynı derinlikte su ile yıkandığında tuzluluk düzeyi, yaklaşık olarak, yüzde 80 azalır. Yıkanacak toprak derinliği arttıkça gerekli yıkama suyu da artar. Yıkama derinliği bitki kök derinliğine göre belirlenir. Bu tarla bitkileri için 0.8-1.0 m; bahçe bitkileri için 1.2-1.5 m dolaylarındadır (Anonim, 2010). Ayrıca, yıkama işleminin uygulanabilmesi için çok iyi bir drenaj sisteminin olması gerekir.

Tuzlu topraklarda yıkama suyunun toprağa uygulama şekli; suyu belirli aralıklarla göllendirme, fazla miktardaki su ile toprak yüzeyini devamlı göllendirme ve suyu toprağa salarak yıkama şeklinde sınıflandırılabilir (Temel ve Şimşek, 2011).

Aralıklı yıkamada göllendirme yöntemine göre hem daha az su kullanılmakta, hem de daha verimli ve etkili bir yıkama yapılabilmektedir. Ancak, yıkama için daha uzun zamana gerek vardır. Toprak nem içeriğine bağlı olarak yıkama için verilen suyun düşük hızda sızmasının sağlanması yani aralıklı yıkama yapılması, yıkamanın tarla kapasitesi dolaylarında olmasını sağladığından, daha etkili olarak tuzların alt katlara taşınabilmesine olanak vermektedir. Göllendirmede ise büyük hacimde suyun topraktan hızlı bir biçimde süzülmesi sırasında, suyun bir bölümü geniş gözeneklerden baypas şeklinde drene olmaktadır. Bu durumda, küçük gözeneklerden daha az yıkama olduğundan dolayı, tuzların bir bölümü topraktan yıkanmamaktadır. Bu nedenle yağmurlama sulama yöntemi ile uygulanan yıkama suyu, daha az miktarda toprağa verildiğinden dolayı, etkin bir yıkamaya olanak sağlamaktadır (Ayers ve Westcot, 1985).

2.2.2. Sodyumlu ve Tuzlu-Sodyumlu Toprakların İyileştirilmesi

Toprakta tuzluluğun yıkama yoluyla giderilmesi ve değişebilir sodyum yüzdesinin, iyon değişimi yoluyla düşürülmesi amacıyla kimyasal iyileştiriciler kullanılmaktadır.

Sodyumlu bir toprağı iyileştirmek için toprak parçacıkları tarafından tutulmuş sodyum iyonunun, iki değerlikli bir katyonla yer değiştirmesi gerekmektedir. Anılan iki değerlikli katyonlar, genellikle, kalsiyum ve magnezyum iyonlarıdır. İyileştirici olarak, daha çok, kalsiyum kullanılır. Diğer bir ifadeyle sodyumlu topraktaki değişebilir sodyumun yerini kalsiyumun alması, iyileştirmenin ana amacıdır (Mahmoodabadi ve ark., 2013). Toprakta benzer etkiyi, magnezyum da gösterir. Kalsiyumun doğal koşullardaki kaynağı, ya sulama suyu ya da toprağın kendisidir. Dünyadaki kurak ve yarı kurak alanlarda sıklıkla CaCO_3 içeren tuzlu sodyumlu topraklar görülmektedir (Oster ve ark., 1996). Ancak, CaCO_3 'ün yeterli miktarda kalsiyum iyonu sağlamak için topraktaki çözünürlüğü çok düşüktür. Bu yüzden toprağa bir asit veya asit meydana getiren iyileştiricinin uygulanması gerekir (Keren, 1996).

2.2.2.1. Kullanılan İyileştirici Maddeler

Sodyumlu ve tuzlu-sodyumlu toprakların iyileştirilmesinde en çok kullanılan kimyasallar; jips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), kalsiyum klorür (CaCl_2), hidroklor (HCl), sülfirik asit (H_2SO_4) ve çiftlik gübresidir (Ryan ve Tabbara, 1989). Öte yandan, organik iyileştiricilere örnek olarak, kentsel atık çamuru (Anjos ve Mattiazzo, 1998), tarımsal ve endüstriyel atıklar (Dubey ve Mondal, 1993) ve kül verilebilir.

Ticari olarak satılan kimyasalların (polialkoller ve hümik asitlerden elde edilen kimi maddeler) kullanılması, ümit verir niteliktedir ancak fiyatları çok yüksektir (Herrero ve Snyder, 1997).

İyileştirme amacıyla kullanılan kimyasallardan en önemlileri, yüksek tepkime hızı ile sülfürik asit ve kalsiyum klorürdür. Yıllardan beri sülfür ve sülfürik asit, alkali toprakların iyileştirilmesi için kullanılmaktadır (Hilal ve Abd-Elfattah, 1987).

Malç, çiftlik gübresi ve kompost gibi bir çok organik iyileştirici, tuzlu-sodyumlu toprakların iyileştirilmesindeki etkinliklerini belirlemek amacıyla incelenmiştir (Madejon ve ark., 2001). Çiftçiler tarafından kullanılan çiftlik gübresi uygulamaları, genellikle, hidrolik iletkenliği iyileştirir. Yapılan çalışmalarda, değinilen organik iyileştiricilerin yalnız uygulandıklarında, toprak tuzluluğunu ve sodyumluluğunu iyileştirmede çok düşük oranda etkiye sahip oldukları anlaşılmıştır. Öte yandan, anılan organik maddelerin, birçok toprak özelliklerini iyileştirdiklerine ilişkin çok sayıda çalışma vardır. Hatta çok küçük miktarda uygulansa bile, organik iyileştiricilerin, toprağın fiziksel ve biyolojik özellikleri üzerine olumlu etki ettikleri, suya dayanıklı agregat miktarını, su tutma ve katyon değiştirme kapasiteleri ile bitki besin elementlerini artırdıkları belirlenmiştir (Hanay ve ark., 2004).

Tuzlu sodyumlu toprakların atık sularla sulanması ve bu yolla bitkilerin organik madde gereksinimlerinin sağlanması ile ilgili çok sayıda çalışma yapılmıştır. Örneğin, Çin'de tuzlu-alkali çayır toprakları bir kağıt fabrikasından elde edilen atık suyu ile sulanarak ıslah etkinliği araştırılmıştır. Bir buçuk yıllık sulama süresi sonunda, mikrobiyal biyokütle ve topraktaki enzimatik faaliyetlerde önemli gelişmeler elde edilmiştir. Toprağın dehidrogenaz aktivitesi artmıştır (Yan ve ark., 2010). Benzer şekilde, Karaca ve Haktanır (2000), tarafından İzmit Alikahya Köyü'nden alınan tarım toprağının iyileştirilmesi üzerine yapılan bir çalışmada, iplik, kağıt ve selüloz fabrikalarının atık su arıtma tesislerinde oluşan arıtma çamurlarının, toprakların dehidrogenaz enzim aktivitesini önemli ölçüde yükselttiği belirlenmiştir. Ancak, çamur örneklerinin, topraklara ilavesi sonucu toprakta kurşun birikimine neden olabileceği ve bu birikimin çamurun uzun yıllar eklenmesi ile birlikte artacağı, bunun da bitki, hayvan ve insanlar için tehlike oluşturabileceği sonucuna varılmıştır.

Çok yaygın olarak kullanılmamakla birlikte, uygun plantasyonlar ile ağaçlandırma yapılarak tuzlu sodyumlu toprakların üretime açılacağı konusunda da çalışmalar yapılmıştır. Çin'de, pH'ı 8.5-9.6 aralığında, %0.1-0.3 oranında tuzlanma olan, iyonize sodyum oranı %16-51 dolaylarındaki, sodanın başat olduğu,

tuzlu-sodyumlu bir araziye *Populus simonigra*, *Salix matsudana*, *Ulmus pumila*, *Populus nigra*, *Acer negundo*, *Fraxinus mandshurica*, *Tamarix chinensis*, *Hippophae rhamnoides*, *Syringa onlata* ağaç türleri ekilerek, sorunlu topraklarda yetiştirme verimliliği incelenmiştir. Bu çalışmada Simonigranın en yüksek yetiştirme verimine sahip ağaç türü olduğu saptanmıştır (Li ve ark., 1994).

Tuzlu sodyumlu toprakların iyileştirilmesinde kullanılan diğer bir iyileştirici madde ise küldür. Külün toprakta düzenleyici etkisinin olduğu ve bitki besin elementi olarak kullanıldığı bilinmektedir. Kömürün bünyesindeki C ve N, yanma sırasında okside olmaktadır. Buna ek olarak, K, Ca, Mg, S ve P gibi temel bitki besin elementleri, uçucu külün bünyesinde önemli miktarlarda bulunmaktadır. Uçucu kül ile birlikte C ve N kaynağı olarak örneğin, N ve P içeriği zengin olan kanalizasyon çamuru; kümes hayvanları ve sığır gübresi veya çiftlik gübresi gibi organik asit oluşturuçuların (Adriano ve ark., 1980), şeker kamışı sanayi atığı, kireç, jips, kırmızı çamur gibi diğer iyileştiricilerin kullanılması, uçucu külün toprak ıslahındaki verimliliğini artırdığı belirlenmiştir (Haynes, 2009; Belyaeva ve Haynes, 2012).

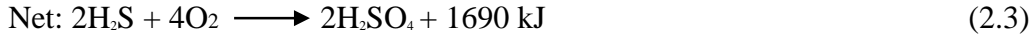
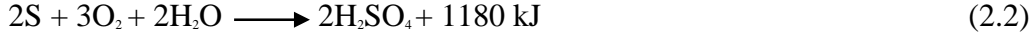
Sodyumlu toprakların ıslahı için jips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) kullanımına ilişkin olarak birçok ülkede yapılan çalışmalarda jipsin çözünürlüğünün düşük olmasının verimliliğini etkilediği, daha yüksek oranda su kullanıldığı ve su ile reaksiyona girmesi için diğer kimyasallara göre daha uzun zaman gerektiği belirlenmiştir (Bahtiyar, 1974; Çınar, 1978; Shainberg ve ark, 1982; Koç, 2011). Silveria ve ark. (2008), tarafından Brezilya'nın kuzeydoğusunda alüviyal bir alandan alınan tuzlu sodyumlu ve sodyumlu toprak örneklerinde yıkama suyuna jips ilave edilerek toprak verimliliğinin nasıl etkilendiği incelenmiştir. Bu çalışmada, toprak kolonunun 20 ve 50 cm derinliklerinden alınan örneklerin fiziksel ve kimyasal analizleri sonunda, jips içeriği fazla olan yıkamada, değişebilir kalsiyum ve potasyum miktarının arttığı, toprağın elektriksel iletkenliğinin, değişebilir sodyum yüzdesinin ve pH'ının düştüğü belirlenmiştir.

Hussain ve ark. (2001), alkali toprağın ıslahı için jips, çiftlik gübresi ve sülfürik asit kombinasyonlarının etkilerini incelemiştir. Bu çalışmada, yalnız çiftlik gübresi kullanıldığında toprak pH'ında önemli bir değişimin olmadığı saptanmıştır. Yine değişebilir sodyum yüzdesinin (ESP) düşürülmesinde sülfürik asit

uygulamasının, jips kullanımına göre, daha etkili olduğu; çiftlik gübresi uygulamasında ise ESP'de önemli bir farklılığın olmadığı belirlenmiştir. Konu edinilen çalışma sonucunda, jips + çiftlik gübresi + sülfürik asit kombinasyonun, toprağın hacim ağırlığını düşürdüğü; gözenekliliği, infiltrasyon hızını, su geçirgenliğini ve hidrolik iletkenliği, diğer tüm kombinasyonlardan daha fazla arttığı tespit edilmiştir. Ancak, değinilen kimyasalların, özellikle sülfürik asidin, hem pahalı olması hem de uygulama aşamasında karşılaşılan bazı güçlükler nedeniyle kullanımlarının sınırlı olduğu açıklanmıştır.

Sorunlu topraklara elementel toz kükürt uygulanması, giderek artmaktadır. Elementel toz kükürt normal tarım alanlarında kullanıldığı gibi, toprak tavında iken saçılıp toprağa karıştırmak suretiyle de kullanılmaktadır (Bahtiyar, 1974; Çınar, 1978). Özellikle, toprakların pH'sının düşürülmesinde kullanılan en etkili madde kükürttür. Son yıllarda dünyada ve ülkemizde yaygınlaşan organik tarımda, gerek tarımsal ilaç kapsamında ve gerekse toprak iyileştirilmesinde izin verilen ender kimyasal maddelerden birisidir. Literatür verileri, elementel kükürt kullanımının toprak ıslahında etkili bir yöntem olduğunu göstermektedir. Kükürt kullanımında gerekli olan inkübasyon süresi, doğru bir ıslah programı ile etkin bir düzeye indirilebilir. Uygulanan ve okside olan her bir molekül S için 2 mol H üretilir; bu üretilen H iyonları toprak pH'sını düşürürler (Yener, 1997; Güneri ve ark., 2010).

Elementel kükürt inkübasyon sürecinde sülfata dönüşmekte ve su uygulaması ile mikrobiyolojik oksidasyona uğrayıp H_2SO_4 oluşturarak ortamın pH'sını düşürmektedir (Eşitlik 2.1-2.4). Oluşan sülfürik asit toprak suyunda hidrojen (H^+) iyonuna ve sülfat (SO_4) iyonuna ayrışır. Sülfatın bir kısmı bitki besin maddesi olarak kökler tarafından alınır, bir kısmı toprakta tutulur ve bir kısmı da yağış veya sulama suları ile toprak derinliklerine yıkanır. Toprakta kalan hidrojen iyonu bitki tarafından alınmaz ve toprak pH değerinin düşmesini sağlar. Yener (1997) ve Mullin (1969), yaptıkları çalışmalarda sülfürik asit ile asitlendirilmiş sulama suyu ile elementel kükürdün, toprağın pH'sını düşürme verimlerini karşılaştırmışlar ve kükürdün çok daha etkili olduğunu saptamışlardır.



Toprağın pH değeri, toprak verimliliği açısından sadece topraktaki veya uygulanan gübredeki besin elementlerinin alınabilirliği üzerine etkili değildir. Toprağın pH değeri, genel olarak, toprağın fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri üzerine de etkilidir. Bu nedenle bitkisel üretimde, gübreleme yönünden, birim alandan yüksek ve kaliteli ürün elde etmek için, bitkinin kılcak kök bölgesindeki toprak katmanının pH değerinin, bitkinin iyi geliştiği pH değerinde olması gerekir. Üretim alanlarında, bitki için yüksek olan pH değerinin düşürülmesi gerekir. Bunun en ucuz ve etkili yöntemlerinden birisi, ekim öncesi toprağa toz elementel kükürt uygulanmasıdır (Bahtiyar, 1974). Yapılan arazi çalışmalarında elde edilen verilere göre, toprak pH'sını düşürmek amacıyla kullanılacak toz kükürt miktarı Çizelge 2.3'de verilmiştir (Anonim, 2013).

Mikrobiyal oksidasyon tepkimesinin, özellikle soğuk ve alkali topraklarda yavaş olması nedeniyle, ince olarak öğütülmüş S, ekimden birkaç ay önce tarlaya serpme yoluyla uygulanarak toprağa karıştırılmaktadır. Kimi koşullarda, suyun süzülmesini ve mikro element yarıyışlılığını artırmak için, kök bölgesinin yakınında bir toprak bandını asitlendirmek önerilmektedir. Elementel kükürtün granüler ya da dispers veya süspansiyon formlarında da banda uygulanarak pH'nın düşürüldüğü savunulmaktadır. Elementel S banda uygulandığında, kullanılacak dozun, serpme yöntemi ile uygulanması gerekli olan dozdan daha az olduğu rapor edilmiştir (Güzel ve ark., 2002).

Çizelge 2.3. Kimi Toprak Örneklerinde Toprak pH'ını 6.5'e Düşürmek İçin Gerekli Kükürt Miktarı (kg/dekar) (Anonim, 2013)

Başlangıç Toprak pH'ı	Farklı Toprak Bünyeleri için Kükürt Miktarları (kg/dekar)		
	Kumlu	Tınlı	Killi
8.5	220	280	340
8.0	130	170	220
7.5	60	90	110
7.0	30	70	90

2.3. Türkiye'de Sorunlu Toprakların İyileştirilmesiyle İlgili Yapılan Çalışmalar

Sorunlu toprakların iyileştirilmesinde, ülkemizde genel olarak yalnızca, tava sulama yöntemi ile sürekli/aralıklı yıkama yaklaşımı kullanılmaktadır. Yıkamanın ancak, iyi nitelikli suyla yapılabileceği, temel koşul olarak kabul edilmektedir (Van der Molen ve Van Hoorn, 1976; Kanber ve ark., 1992; Bauder ve Brock, 2001).

Türkiye'de tuzlu toprakların iyileştirilmesiyle ilgili çalışmalara Sulu Ziraat Deneme İstasyonlarında başlanmıştır (Beyce, 1974). İlk araştırmalarda, çoraklığın giderilmesi için gerekli ölçütlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmalarda, yıkama suyu ve kimyasal iyileştirici (türü ve miktarı) gereksiniminin saptanması için, toprakların yıkanması çeltik gibi bitkilerin yetiştirilmesi ile sağlanmıştır. Daha sonraki yıllarda, o zamanki adıyla TOPRAKSU Genel Müdürlüğüne bağlı araştırma enstitülerinde ve Ziraat Fakültelerinin Toprak ve Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümlerinde (eski adıyla Kültürteknik Bölümü) konu ile ilgili çok sayıda çalışma yapılmıştır.

Öte yandan, tuzluluk konusunun farklı alanlarında da kimi çalışmalar yapılmıştır. Örneğin, Sönmez ve ark. (1996), aralıklı göllendirme ile daha az yıkama suyu kullanıldığını açıklamışlardır. Dorsan (1988), Gediz Havzasında başlangıç tuzluluk değerinin %70'inin giderilebilmesi için toprak derinliğinin iki katı yıkama suyu verilmesi gerektiğini rapor etmiştir. Ayrıca, iyileştirmede toprakta bulunan doğal jipsin etkinliği (Saatçılar, 1991) ve kademeli jips uygulaması (Anapalı, 1991) gibi çalışmalarda dikkate değer sonuçlar alınmıştır.

Çorak toprakların iyileştirilmesi uzun zaman alan, zor ve maliyeti yüksek olan bir dizi işlemi gerektirir. Ayrıca, iyileştirme sonrası alınacak önlemler, başarıyı sürekli kılar; karşıt durumda, konu edinilen topraklar marjinal nitelikli olduklarından çok çabuk yeniden çoraklaşabilirler.

Özellikle jips, ülkemizde bu amaçla en fazla kullanılan materyaldir. Akbay ve Yıldırım (1976)'ın Alpu Ovası'nda, Yılmaz (1978)'in Yazıköy-Burdur Ovası'nda, Yılmaz (1980)'in Konya Ovası'nda, Bahçeci (1984)'nin Aksaray Ovası'nda, Yarpuzlu ve Doğan (1986)'in Aşağı Seyhan Ovası'nda, Uzunoğlu ve Ağar (1992)'in Ankara-Sarayköy'de, Bahçeci (2009)'nin Ereğli Ovası'nda tuzlu-alkali toprakların iyileştirilmesi için gerekli ölçütlerin saptanmasına dönük çalışmaları bulunmaktadır. Ayrıca, Köy Hizmetleri Araştırma Enstitüleri tarafından farklı bölgelerde yürütülen birçok çalışma vardır. Toprağın ıslahı üzerine yapılan bütün bu çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre, Türkiye'de sodyumluluğun iyileştirilmesi için gerekli jips miktarı, 4-17 ton/ha, yıkama suyu ise 90-300 cm arasında değişmektedir. Tuzlu toprakların iyileştirilmesi için gerekli yıkama suyu miktarları ise 170-300 cm olarak saptanmıştır. Yıkamalarda, aralıklı göllendirme; kimyasalın ise tümünün bir defada, başlangıçta verilmesi önerilmektedir (Kanber ve ark., 2008).

Aşağı Seyhan Ovası'nda yaygın olarak bulunan tuzlu-sodyumlu toprakların iyileştirilmesi için de bir çalışma yapılmıştır. Koç (2011)'in Aşağı Seyhan Ovası Sirkenli bölgesinden alınan tuzlu-sodyumlu (0-40 cm katman derinliğinde EC'si ortalama 8.79 dS/m, pH 8.60) özelliğe sahip toprak örneğinin iyileştirilmesi için jips kullanılmış, yıkamada damla ve aralıklı göllendirme yöntemlerinin verimlilik düzeyleri kıyaslanmıştır. Bu çalışmada tüm toprak profilinin üst katmanı ile bozulmuş üst toprak katmanı karşılaştırıldığında her ikisinde de 20 kg/m² jips düzeyinde tuz yıkanmasının etkin olduğu ve en fazla EC_e azalmasının, damla yıkama biçiminin kullanıldığı uygulamada olduğu görülmüştür.

Sodyumlu toprakların ıslahı için kullanılması gereken jips miktarının yüksek olması diğer kimyasallar ile topraktaki çözünebilir sodyum yüzdesini düşürmeye yönelik çalışmaların yapılmasına neden olmuştur. Saatçılar (1989), Bandırma Gübre Sanayi atığı jipsli materyalin, Uzunoğlu ve Ağar (1992), kükürt, jips, fosfojips ve çiftlik gübresinin değişik dozlarının; Sönmez ve ark. (1995) ise amonyum sülfat ile

fosfojipsin iyileştirmedeki etkilerini araştırmışlardır. Ulaşılan sonuçlar, Sönmez ve ark. (1996) tarafından bir rehber halinde hazırlanarak yayınlanmıştır.

Bu çalışmalardan anlaşıldığına göre, yalnızca tava yöntemi kullanılmış; yıkama suyu aralıklı göllendirilerek iyileştirilme ilkeleri saptanmaya çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, yıkama için çok büyük miktarlarda iyi nitelikli yıkama suyu ve kimyasal iyileştiriciye gereksinim olduğu ortaya koyulmuştur. Ancak, benzer sorunlara karşın farklı sonuçlar elde edilmiştir. Herhangi bir koşulda etkin olan bir madde benzer bir başka durumda çok farklı sonuç vermiş; yıkama suyu miktarları birbirinden oldukça farklı bulunmuştur. O nedenle, herhangi bir kimyasal maddenin etkisinin genelleştirilmesi yapılamamaktadır.

3. MATERYAL VE METOD

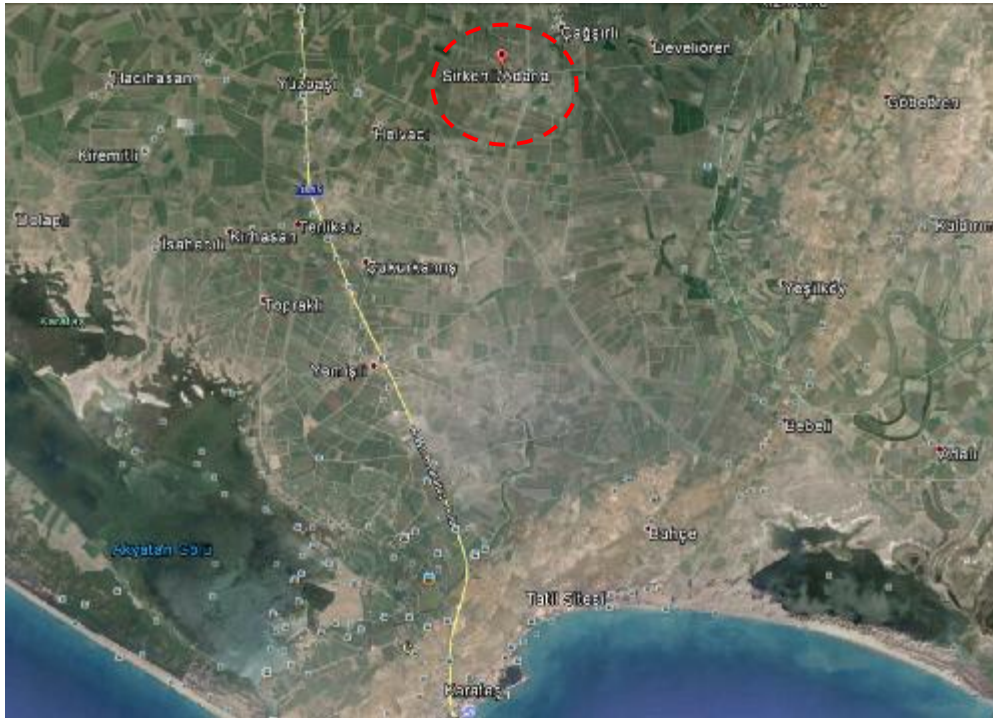
3.1. Materyal

3.1.1. Deneme Yeri

Çalışma, Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama bölümünde araştırma laboratuvarında yapılmıştır. Denetimli koşulların sağlandığı yıkama düzeneği, anılan laboratuvarda kurulmuştur.

3.1.2. Toprak Örneğinin Alındığı Yörenin Coğrafi Konumu ve İklim Özellikleri

Çalışmada kullanılan toprak örnekleri, Aşağı Seyhan Ovası'nda yer alan Sirkenli Köyü yakınlarından alınmıştır. Sirkenli Köyü konumu itibariyle Adana iline 35 km, Karataş ilçesine 22 km mesafededir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Denemede kullanılan toprakların alındığı yer (Anonim, 2015)

Aşağı Seyhan Ovası kuzeyde 61 m kota sahip, batıda Berdan Nehri, güneyde Akdeniz ve doğuda ise Ceyhan Nehri ile çevrelenmekte olup 210.000 ha genişliğe sahiptir (Demir ve Antepli, 2004). Örnekleme yerinin koordinatları GPS aleti yardımıyla belirlenmiştir. Buna göre, toprak örnekleri 36° 03' 26" kuzey; 35° 24' 21" doğu enlem ve boylamlarının sınırladığı alandan alınmıştır.

Toprağın alındığı yöre Akdeniz İkliminin etkisi altındadır. Bölgede uzun dönem gözlem sonuçlarına göre elde edilen iklim verileri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

3.1.3. Toprak Özellikleri

Sirkenli toprakları; Helvacı serisi içerisinde yer alır. Anılan seri toprakları delta tabanı çukurlarında depolanan alüviyal materyaller üzerinde oluşmuştur ve ABC horizonludur. İnce bünyeli ve kil kapsamı yüksektir. Yüzey horizonları grimsi kahve, alt horizonları ise zeytuni gri renkli olan bu toprakların, tüm profilleri kireçlidir. Fena drenajlı, şiddetli tuzlu, % 0.1-0.2 eğime sahiptir. Doğal bitki örtüsüne terk edilen arazi; yabani üçgül, karışık çayır ve salicarna türünden çeşitli tuzcul bitkilerle kaplıdır (Ağca, 1985, Pekmezci, 1988).

Sirkenli yöresinden 0-20 cm derinliğinden alınan toprak örnekleri bir hafta süre ile açık havada gölgelenmiş koşullarda kurutulmuştur. Daha sonra laboratuvara getirilen toprak örnekleri, merdanelenmiş ve 2 mm elekten geçirilmiştir. Toprak örnekleri, saf su ile doygun hale getirilmiş ve vakum yardımı ile çamur süzüğü elde edilmiştir. Sirkenli Bölgesi toprak örneklerinin fiziksel ve kimyasal analizleri, değinilen çamur süzüğü kullanılarak yapılmıştır.

Kimi çözünebilen iyonların konsantrasyonunu belirlemek için toprak süzüğü 2 nolu Whatman filtre kağıdından geçirilmiştir ve titrasyon ile Ca, Mg, Cl ve CO₃, flame fotometre ile Na, K, türbidite ile SO₄ konsantrasyonları belirlenmiştir. Ayrıca, her bir örnek için pH ve EC ölçümleri yapılmıştır (Richards, 1954).

Toprağın hacim yüzdesi olarak tarla kapasitesi, solma noktası, pH, hacim ağırlığı, elektriksel iletkenlik, ESP, kireç yüzdesi ve suda çözünebilen iyon derişimleri belirlenmiştir (Çizelge 3.2) (Richards, 1954). Analiz sonuçlarında görüldüğü gibi yöre toprağı yüksek oranda tuzlu-sodyumlu bir toprak niteliğindedir.

Çizelge 3.1. Denemenin Yürütüldüğü Yöre Ait Uzun Yıllık Ortalama İklim Verileri

Yıl	İklim Ögeleni	A Y L A R											
		Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haz.	Tem.	Ağust.	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Uzun Yıllık	Sıcaklık, °C (1930-2007)	9.4	10.4	13.2	17.2	21.5	25.3	27.9	28.2	25.6	21.2	15.7	11.1
	Oransal Nem, % (1930-2008)	64.4	64.5	63.9	65.4	64.2	63.4	65.9	65.2	60.2	58.1	60.1	65.4
	Rüzgar Hızı, m/s (1930-2007)	1.7	1.7	1.8	1.8	1.8	1.9	2.0	1.9	1.6	1.3	1.3	1.5
	Yağış, mm (1932-2007)	108.8	90.9	63.2	51.4	45.8	19.0	6.2	5.5	15.4	43.5	74.1	121.1
	Güneşlenme Süresi, h (1969-2002)	4.8	5.4	5.8	6.9	9.1	10.5	10.6	10.3	8.8	7.2	5.8	4.5
	Güneşlenme Şid. MJ/m ² gün (1969-2002)	9.3	11.1	14.8	20.1	19.8	24.6	26.3	22.2	19.9	13.5	9.4	8.3
	Buharlaştırma, mm (Class A-Pan), (1975-2007)	45.1	54.6	81.1	112.8	162.8	206.7	235.1	220.7	177.4	117.1	65.4	45.8
	Buhar Basıncı Açığı, mb (1930-2007)	4.2	4.5	5.5	6.8	9.2	11.8	12.8	13.3	13.1	10.5	7.1	4.6

Çizelge 3.2. Sirkemli Yöresi Toprağının Kimi Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Bünye Sınıfı	TK cm ³ /cm ³	SN cm ³ /cm ³	As g/cm ³	ECe dS/m	ESP	pH	CaCO ₃ %	Suda Çözünebilen İyonlar								
								Ca	Mg	Na	K	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	SAR
Kil	52.86	28.88	1.28	9.67	71.52	8.60	18.80	0.63	1.06	51.08	0.79	-	4.30	29.40	19.86	56.30

3.1.4. Kimyasal İyileştiriciler

Denemede, kimyasal iyileştirici olarak elementel kükürt (S) kullanılmıştır. Elementel kükürt sarı renkte 45-53 µm tanecik boyutunda, homojen yapıda, % 95 saflık derecesindedir.

Elementel kükürdün kimyasal sembolü S'dir. Atom ağırlığı 16'dır. Kimyasal bileşiklerde -2'den + 6 ya kadar değerler alır ve oksijenle, özellikle metallere bileşik oluşturma eğilimindedir.

3.1.5. Yıkama Suyu

Bu çalışmada, toprakların yıkanması denetimli koşullarda saf su ile yapılmıştır. Denemede, şehir şebeke suyunun bünyesinde bulunan tuz ve kalsiyum içeriğinin ıslah sürecine etkisini elimine etmek için saf su kullanılmıştır.

3.2. Metod

3.2.1. Deneme Konuları

Araştırmada, iyileştirici olarak farklı kükürt miktarları ile inkübasyon süreleri ele alınmıştır. Her konu üç kez yinelenmiştir. Konular, faktöriyel tesadüf parselleri deneme desenine göre laboratuvarında düzenlenmiştir.

3.2.1.1. Kükürt Miktarlarının Hesaplanması

İyileştirici miktarları, Kovda eşitliği ile hesaplanmıştır (Eşitlik 3.1). Bu amaçla toprağın 20 cm derinliğindeki değişebilir sodyum yüzdesini 15'e düşürmek için gereken elementel kükürt miktarı; toprağın iyileştirilecek derinliği, hacim ağırlığı, başlangıç ve ulaşılması planlanan ESP_f değerleri ile CEC dikkate alınmıştır (Kovda, 1967). Değinen eşitlik aracılığı ile kestirilen elementel kükürt miktarları, toprak örneklerine uygulanmıştır (Kovda 1961 ve 1967).

$$CR = (EA \cdot 10^{-5}) (A \cdot D_s \cdot A_s) \frac{ESP_i - ESP_f}{100} \cdot CEC \quad (3.1)$$

Kovda Eşitliğinde; CR , kimyasal madde gereksinimi, ton/da; EA , kullanılacak iyileştiricinin eşdeğer ağırlığı (kükürt için 16); A , birim alan (1 dekar: 1.000 m²), m²; D_s , iyileştirilmek istenen toprak derinliği, m; A_s , toprağın hacim ağırlığı, ton/m³ (Sirkenli yöresi toprağının hacim ağırlığı 1.28 ton/m³), ESP_i , yıkamadan önceki değişebilir sodyum yüzdesi, %; ESP_f , yıkamadan sonraki değişebilir sodyum yüzdesi, %; CEC toprağın katyon değiştirme kapasitesi (toprağın tutabileceği yer değiştirebilir katyonların toplam sayısı), me/100g'dır.

$$CR(\text{ton/da}) = (16 \cdot 10^{-5}) (1000 \cdot (20 \cdot 10^{-2}) \cdot 1.28) \frac{1.52 - 15}{100} \cdot 33$$

$CR = 0.927 \text{ ton/da}$ olarak hesaplanmıştır.

Birim hacimdeki (256 ton/da) Sirkenli toprağının sodyum içeriğinin iyileştirilmesi için gereken iyileştirici madde (elementel kükürt, 45-53 µm) miktarı;

$$CR = 3.62 \text{ g/kg} @ 4 \text{ g/kg}$$
 olarak hesaplanmıştır.

Çalışmada ele alınan konular, hesaplanan kuramsal kükürt miktarının azalan ve çoğalan değerlerini kapsayacak şekilde düzenlenmiştir. Kükürt miktarları, 2 g/kg aralıklarla değiştirilmiş ve birbirinden farklı 4 konu seçilmiştir (Çizelge 3.3). Buna göre, S_2 simgesi hesaplanan kuramsal iyileştirici miktarını kapsayan konuyu; S_1 bundan daha az kükürt içeren araştırma konusunu; S_3 ve S_4 simgeleri ise daha yüksek değerlerdeki kükürt miktarlarını içeren konuları göstermektedir. Her konu üç 3 yinelemeli olarak ele alınmıştır (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.3. Deneme Konularının Şematik Gösterimi

Deneme Konuları	Toprağa Uygulanacak Elementel Kükürt Miktarı (g/kg)
S1	2
S2	4
S3	6
S4	8

Çizelge 3.4. Tuzlu-Alkali Toprakların Yıkama Denemesinde Ele Alınan Konuların Üç Tekerrürlü Dağılımının Şematik Gösterimi

			S1	S2	S3	S4
Sirkenli Bölgesi Toprağı	Birinci tekerrür	IN:30 Gün İnkübasyon	S1-1	S2-1	S3-1	S4-1
	İkinci tekerrür		S1-2	S2-2	S3-2	S4-2
	Üçüncü tekerrür		S1-3	S2-3	S3-3	S4-3
	Birinci tekerrür	IN:60 Gün İnkübasyon	S1-1	S2-1	S3-1	S4-1
	İkinci tekerrür		S1-2	S2-2	S3-2	S4-2
	Üçüncü tekerrür		S1-3	S2-3	S3-3	S4-3

Çalışmada, $0.35 \times 0.30 \times 0.40 = 0.042 \text{ m}^3$ ölçülerinde, et kalınlığı ($\theta=5\text{mm}$) olan metal kaplar kullanılmıştır. Kaplara ıslah edilecek toprak örneğinden 20'şer kg koyulmuş ve her birine 40, 80, 120 ve 160 g elementel kükürt eklenerek, deneme konuları oluşturulmuştur. Mikrobiyolojik oksidasyonun etkin biçimde sağlanması için kükürdün uygulanması sırasında toprağın homojen olarak karışmasına özen gösterilmiştir (Şekil 3.2).



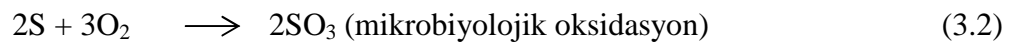
Şekil 3.2. Deneme konularına elementel kükürt uygulanması

Bu çalışmada elementel kükürdün toprak örnekleri içerisinde sülfata dönüşebilmesi için deneme konularına %50 su tutma kapasitesinde saf su eklenmiştir. Metal kap içerisindeki toprak örneklerinin derinliği yaklaşık 15 cm ve anılan derinlikteki toprağın hacmi $15'30'35 = 15750 \text{ cm}^3$ olarak hesaplanmıştır. Sirkenli yöresi toprağının 0-20 cm derinliğindeki su içeriği tarla kapasitesi düzeyinde hacim yüzdesi olarak 52.86 olduğundan bünyesinde bulunduracağı su miktarı;

$$15750 \cdot 0.5286 = 8325 \text{ cm}^3 = 8.325 \text{ L'dir.}$$

Bu su düzeyinin %50'si oranında, yani her konu için 20 kg toprağa 4.16 L hesaplanan değerden yola çıkılarak 4.5 L saf su eklenmiştir.

Deneme konularının bünyesinde bulunan elementel kükürdün su varlığında mikrobiyolojik oksidasyonla sülfürik aside dönüşebilmesi için aşağıdaki tepkimelerin gerçekleşeceği öngörülmüştür.



Alkali karbonatları bulunduran topraklar için X: Toprak Değiştirme Kompleksi olmak üzere sülfürik asit ile aşağıdaki tepkimeleri verir.





Alkali karbonatları buldurmeyan topraklarda ortamdaki değişebilir sodyumun sülfürik asit ile tepkimesi aşağıdaki gibidir.



3.2.1.2. İnkübasyon Sürelerinin Belirlenmesi

Toprağa elementel kükürt uygulanması sonrası denetimli koşullarda kükürdün okside olması için gerekli inkübasyon süresi ile ilgili olarak literatürde 25 ile 50 gün aralığında farklı inkübasyon sürelerinin uygulandığı çalışmalar bulunmaktadır (Lopez ve ark., 2007; Kanber ve Ünlü, 2010). Kanalizasyon çamurunun ve atık jipsin kükürt kaynağı olarak kullanılarak elementel kükürdün oksidasyonla sülfata dönüşüm veriminin incelendiği diğer bir çalışmada, 12 haftalık bir inkübasyon süresi sonunda sülfat salınımı incelenmiştir (Sulewski, 1996).

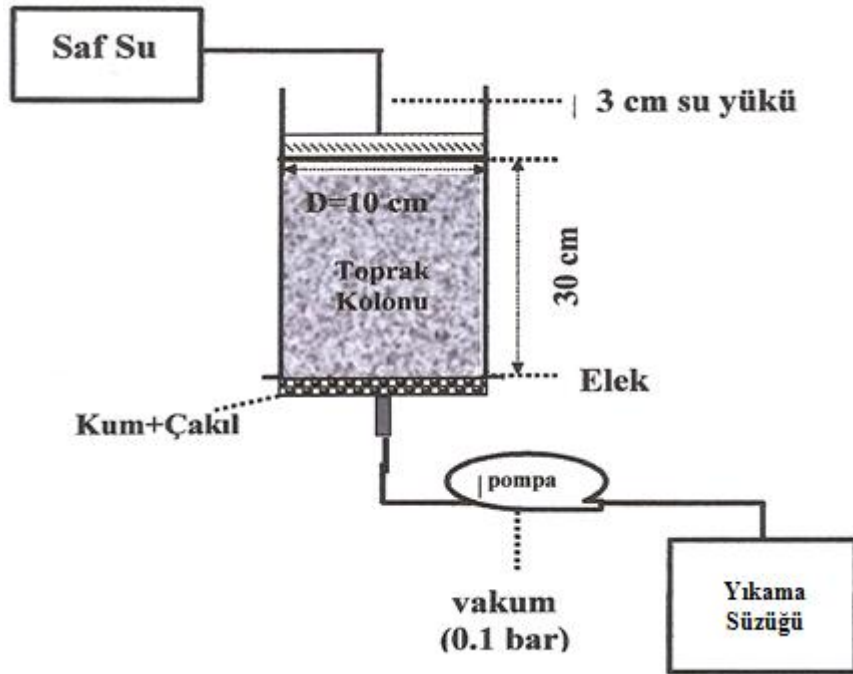
Çalışmada, iyileştirme için 30 gün ve 60 günlük inkübasyon süreleri seçilmiştir. Deneme konularını içeren toprak örnekleri, inkübatörde 28 °C ve % 50 su tutma kapasitesinde, sırasıyla 30 gün ve 60 gün sürelerle bekletilmiştir. İnkübatörden çıkan toprak örnekleri gölgede kurutularak yıkamaya hazır hale getirilmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Deneme konularının inkübatörde bekletilmek üzere hazırlanması

3.2.2. Yıkama Kolonlarının Hazırlanması

Yıkama düzeneği, her bir inkübasyon süresi için ayrı ayrı çalıştırılmıştır. Farklı iyileştirici miktarlarını kapsayan deneme konuları 3 yinelemeli olarak kolonlara yerleştirilmiştir (Şekil 3.4). Kolonlar, 10x40 cm (çap x yükseklik) PVC borularından oluşturulmuştur. Kolonların tabanlarına 5 cm kalınlığında kum-çakıl karışımı serilmiş, üzerine elek teli konulmuştur. İnkübatörden alınan toprak örneklerinin her birinden 2'şer kg toprak tartılmış ve kolonlara doğal hacim ağırlığına gelecek şekilde, yerleştirilmiştir. Toprak örnekleri, kolonlara, serbest düşüler yapılarak, sarsılarak, yerleştirilmeye çalışılmıştır. Oluşturulan toprak katmanında suyun serbest iletimini engelleyebilecek, herhangi bir oluşumdan kaçınılmaya çalışılmıştır. Böylece kolon içerisinde yaklaşık 25-30 cm yüksekliğinde bir toprak katmanı meydana getirilmiştir. Yıkama sırasında siltasyonun önlenmesi için toprak yüzeyine filtre kağıdı koyularak yıkamaya hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3.4. Yıkama düzeneğinin şematik görünümü

3.2.3. Yıkamaların Yapılması

Yıkamaya hazır hale getirilen toprak kolonları, önce saf su havuzunda 24 saat bekletilmiş; ters yıkama ile doygun hale getirilmiştir. Doygun haldeki toprak kolonları faktöriyel tesadüf parselleri deneme desenine göre, yıkama düzeneğine alınmıştır (Şekil 3.5). Toprak kolonlarının yıkanmasında, aralıklı göllendirme tekniği uygulanmıştır. Yıkamalarda saf su kullanılmıştır.



Şekil 3.5. Yıkama kolonlarının doygun hale getirilmesi ve yıkama düzeneğine alınması

Yıkama düzeneğinde kolonlara her yıkama için 3 cm @ 250 ml yıkama suyu uygulanmıştır. Yıkama boyunca, sürekli olarak, suyun kolon içerisinde, doğal koşullara benzer şekilde geçişinin sağlanması için, kolonun alt kısmına 10 cb vakum uygulanmıştır. Uygulanan yıkama suyu kolon yüzeyinden kaybolduktan 48 saat sonra diğer yıkama işlemi uygulanmıştır. Her yıkama sonunda, kolonların altlarına yerleştirilen beherlerde biriken süzük miktarları ölçülmüş ve örneklenmiştir.

3.2.4. Süzük Suyuna İlişkin Ölçümler ve Hesaplamalar

Yıkama sularının toprak kolonları yüzeyünde kaldığı süreler (saat) ölçülerek infiltrasyon hızları ve denklemleri saptanmış, net yıkama süreleri belirlenmiştir.

Her yıkamadan sonra elde edilen yıkama süzüğünden alınan örneklerde, anyon ve katyon analizleri yapılmış, Sodyum Adsorbsiyon Oranı (SAR) değeri hesaplanmıştır (Eşitlik 3.7).

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}} \quad (3.7)$$

Eşitlikte; SAR, sodyum adsorbsiyon oranı, (me/L)^{0.5}; Na, sodyum, me/L; Ca, kalsiyum, me/L; Mg, magnezyum, me/L'dir.

Toprakların değişebilir sodyum yüzdesi (ESP) ile SAR değerleri arasındaki ilişkiyi yararlanılarak toprağın ESP değerleri belirlenmiştir (Richards, 1954) (Eşitlik 3.8).

$$ESP = \frac{100 \cdot (-0.0126 + 0.0145SAR)}{1 + (-0.0126 + 0.0145SAR)} \quad (3.8)$$

Genellikle sodyumlu topraklar için değişebilir sodyumun %10-15 değeri güvenli, en üst sınır olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle yıkama işlemine $ESP \leq 15$ oluncaya kadar devam edilmiştir.

Yıkama işlemi tamamlandıktan sonra deneme konularından alınan 100 g topraktan *me* olarak uzaklaştırılan sodyum miktarları aşağıdaki eşitlik ile belirlenmiştir (Richards, 1954).

$$NaX = \frac{(ESP_i - ESP_f)}{100} \cdot CEC \quad (3.9)$$

3.2.5. Katyon Değişim Kapasitesinin (CEC) Hesaplanması

Katyon değişim kapasitesi sodyum asetat metodu ile belirlenmiştir. Bunun için, toprak örnekleri 1 N sodyum asetat çözeltisi ile çalkalanarak sodyum ile doyurulmuş, sonra toprak tarafından tutulan sodyum 1 N amonyum asetat çözeltisi ile yıkanarak çözeltiliye alınmıştır. Bu çözeltinin içindeki Na konsantrasyonu flame fotometre ile okunarak belirlenmiştir (Tüzüner, 1990).

3.2.6. Deneme Konularının ESP Değerlerinin Hesaplanması

İyileştirme işleminden sonra toprak örneklerinin, laboratuvar koşullarında amonyum asetat muamelesi ile ESP değerleri belirlenmiş ve SAR değerlerinden hesaplanan ESP değerleri ile kıyaslanmıştır. Bu amaçla 4'er gram toprak örnekleri tartılarak 1 N amonyum asetat çözeltisi ile çalkalanmak suretiyle, toprakların bünyelerindeki sodyum çözeltiliye alınmıştır. Çözeltideki ekstrakte edilebilen sodyum miktarı, flame fotometre ile ölçülmüştür. Ekstrakte edilebilen katyon derişiminden suda çözünen katyon derişimi çıkartılarak değişebilir sodyum derişimi elde edilmiştir (Tüzüner, 1990). Bunu için aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır.

$$C_{ea} = \frac{C_e}{S_d} \cdot 100 \quad (3.10)$$

$$C_s = \frac{C_{se}}{1000} \cdot St \quad (3.11)$$

Eşitliklerde; C_{ea} , amonyum asetatta ekstrakte edilebilir katyonlar, (me/100g); C_e , ekstrakte katyon konsantrasyonu, me/L; S_d , fırın kurusu toprak ağırlığı, g; C_s , çözünebilir katyonlar, (me/100g); C_{se} , saturasyon ekstraktında katyon konsantrasyonu, me/L; St , saturasyon, %'dir.

Saturasyon yüzdesi, toprağın doygun hale gelmesi için eklenen su hacmine göre hesaplanmıştır. Bu hesaplamada hava kurusu toprağın içerdiği yüzde nem

miktarı da belirlenerek dikkate alınmıştır. Bu amaçla deneme sonunda yıkama kolanlarından alınan ve gölgede kurumaya bırakılan toprak örnekleri 2 mm'lik elekten geçirildikten sonra 100 g alınarak saturasyon çamurunun eldesinde kullanılmıştır. Örneklerin doyma yüzdeleri, aşağıda verilen Eşitlik 3.12 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$St = \frac{W \cdot (100 + Sw)}{Sa} + Sw \quad (3.12)$$

Eşitlikte; St, saturasyon, %; W, eklenen su hacmi, ml; Sw, hava kurusu toprağın içerdiği yüzde nem miktarı, %; Sa, hava kurusu toprak ağırlığı, g'dır.

Toprak örneklerinin değişebilir katyon (sodyum) miktarları NaX, aşağıdaki Eşitlik 3.13 ile belirlenmiştir. Anılan eşitlik, daha önce kullanılan Eşitlik 3.10 ile 3.11 arasındaki farktan elde edilmiştir.

$$\text{Değişebilir katyon (sodyum) miktarı (me/100g)} = (C_{ca} - C_s) \quad (3.13)$$

Araştırmada, deneme konularının ESP değerleri, aşağıda verilen Eşitlik 3.14 yardımıyla hesaplanmıştır (Kovda, 1967).

$$ESP = \frac{NaX}{CEC} \cdot 100 \quad (3.14)$$

Eşitlikte; ESP, değişebilir sodyum yüzdesini, %; NaX değişebilir sodyum miktarını, me/100g; CEC ise katyon değiştirme kapasitesini, me/100g ifade etmektedir.

3.2.7. Deneme Konularının Stabilite İndeksi (SI) Değerlerinin Belirlenmesi

Çalışmada, yıkama uygulamalarına başlamadan önce deneme konularının strüktür stabilite indeksi değerleri saptanmıştır. Bu amaçla Tüzüner (1990) tarafından verilen yaklaşımlar kullanılmıştır.

3.2.8. Yıkama Suyu Miktarının Belirlenmesi

Denemede, konulara uygulanan yıkama suyu miktarları ile başlangıç ve yıkama sonrası E_{Ce} değerleri kullanılarak yıkama denklemleri elde edilmiştir. Bu amaçla Reeve ve ark. (1955) tarafından verilen eşitlik kullanılmıştır (Eşitlik 3.15).

$$\frac{C}{C_o} = B_y - A_y \ln\left(\frac{D_{lw}}{D_s}\right) \quad (3.15)$$

Eşitlikte; D_{lw}: yıkama suyu miktarı (cm), D_s: yıkanacak toprak derinliği (cm), C: yıkamadan sonraki ortalama toprak tuz derişimi (dS/m), C_o: yıkamadan önceki ortalama toprak tuz derişimi (dS/m), A_y ve B_y: katsayılarıdır.

Her yıkama işlemi sonrasında toprakta kalan tuz miktarı aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır.

$$TS_r = \frac{100 \cdot (ECe)_f}{(ECe)_i} \quad (3.16)$$

Yıkama eğrisini toprak derinliğinden bağımsız kılmak için, yıkama suyu miktarının (D_{lw}), toprak derinliğine (D_s) oranları hesaplanmıştır. D_{lw}/ D_s oranı, (100(ECe)_f/(ECe)_i) değerlerine karşı noktalanarak yıkama eğrisi ve buna bağlı olarak da yıkama eşitliği elde edilmiştir.

Yıkama işlemi sonunda toprağın iyileştirilmesi için kullanılan toplam su miktarı belirlenmiş ve kuramsal olarak kestirilen yıkama değerleri ile kıyaslanmıştır.

3.2.9. Kimyasal Analizler

Çalışmada, gerekli kimyasal analizler, toprak örneklerine (kükürt ilavesinden önce ve sonra) ve yıkamalardan sonra kolonlardan çıkan süzük sularından alınan örneklere uygulanmıştır (Şekil 3.6). Uygulanan analizler, aşağıda özetlenerek verilmiştir.



Şekil 3.6. Yıkamaların bitirilmesi ve analizlerin yapılması

3.2.9.1. Çamur Süzüğü Tuz Derişimi (EC_e)

Çamur süzüğünün elektriksel iletkenliği (dS/m 25 °C'de) ölçülerek belirlenmiştir. Deneme boyunca, yıkama uygulamalarından sonra elde edilen süzüklerin elektriksel iletkenliklerinin ölçülmesinde EC metre aleti kullanılmıştır (Richards, 1954).

3.2.9.2. Toprak Reaksiyonu (pH)

Saturasyon ekstaktında ve çamurunda pH metre ile ölçülmüştür (Hindistan ve İnceoğlu, 1962).

3.2.9.3. Toprak Nem İçeriği

Belli bir miktar toprak örneğinin 105 °C'de sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulup tekrar tartılması esasına göre belirlenmiştir (Richards, 1954).

3.2.9.4. Bünye

Toprakların kum, kil ve silt yüzdeleri Day (1965) tarafından bildirildiği şekilde hidrometre yöntemine göre belirlenmiştir.

3.2.9.5. Tarla Kapasitesi (TK)

Toprakların 1/3 atmosfer basınç altında tutabildikleri su miktarı, bu basınca dayanıklı seramik levha kullanılarak tayin edilmiştir (Richards, 1954).

3.2.9.6. Solma Noktası (SN)

Toprakların 15 atmosfer basınç altında tutabildikleri su miktarı, bu basınca karşı dayanıklı seramik levha kullanarak belirlenmiştir (Richards, 1954).

3.2.9.7. Hacim Ağırlığı

Bozulmamış toprak örneklerinde silindir metodu kullanılarak Richards (1954) tarafından verilen esaslara göre belirlenmiştir.

3.2.9.8. Katyon ve Anyonlar

Deneme başlangıcında topraktaki çözünebilir katyon ve anyonlar belirlenmiştir. Bunun için araziden alınan toprak örnekleri, gölgede kurutulduktan sonra, dövülerek 2 mm'lik elekten geçirilip analizlerde kullanılmıştır. Saf su kullanılarak hazırlanan doymuş toprak çamurundan vakumla elde edilen süzüklerde

anyon ve katyonlar Richards (1954) tarafından belirtilen metodlar ile belirlenmiştir. Ayrıca, deneme boyunca yıkama uygulamalarından sonra elde edilen süzüklerde Na ve Ca+Mg analizleri yapılmıştır. Denemede sodyum derişimi, Richards (1954) tarafından belirtilen yöntemler ile flame fotometre aleti kullanılarak ölçülmüştür.

Ca+Mg analizinde, süzük örneklerinden 1 ml alınmış ve bunun üzerine 24 ml saf su eklenmiştir. Üzerine 10 damla amonyum klorür-amonyum hidroksit tampon eriyiğı ve bir ölçek eriochrome black indikatörü koyulmuştur. Sonra versenatla titre edilerek rengin pembe renkten mavi renge dönmesi sağlanmış ve harcanan versenat miktarından me/l olarak Ca+Mg belirlenmiştir (Tüzüner, 1990).

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Tuzluluk ve Sodyumluluğun Giderilmesi

Çalışmada, Sirkenli serisi tuzlu-sodyumlu topraklarının iyileştirilmesinde kullanılan farklı uygulamaların etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla deneme konularında yıkama sürecinde EC, pH, SAR, NaX ve ESP değerlerindeki azalma miktarları belirlenmiştir.

4.1.1. Tuzluluk ve Sodyumluluk Belirteçlerinin Değişimi

4.1.1.1. ECe Değişimi

Çalışmada, farklı inkübasyon süreleri ve kükürt miktarlarında yığışlı yıkama suyu miktarlarına karşı süzük suyunda ölçülen ECe değerlerinin değişimleri, Ek Çizelge 1a ve 1b'de verilmiştir. Ek çizelgelerde görüldüğü gibi, yinelemelerde elde edilen rakamlar arasında kimi farklılıklar bulunmaktadır. Anılan farklılıkların, Hindistan (1974) ve Koç (2011) tarafından açıklandığı gibi, toprakların tanklara koyulması sırasında uygulanan işlemlerin bir sonucu olarak ortaya çıktığı söylenebilir. Konu edinilen çizelgelerde yinelemelerin ortalamaları kullanılarak yıkama suyu ile ECe değişimleri arasındaki ilişkiler saptanmış ve ulaşılan sonuçlar, Şekil 4.1'de gösterilmiştir.

Şekil 4.1'in incelenmesinden, kükürt uygulamalarının, inkübasyon sürelerine bağlı olarak, tuz yıkanmasına farklı biçimde etki ettiği anlaşılmaktadır. İnkübasyon süresinin 30 gün olduğu koşullarda tüm kükürt dozlarında süzük ECe değerleri ile yığışlı yıkama suyu miktarları arasında ikinci dereceden polinomial; 60 günlük inkübasyon süresindeki kükürt dozlarında ise anılan değişkenler arasında üçüncü dereceden polinomial ilişkilerin olduğu belirlenmiştir. Her iki inkübasyon süresinde, dikkate alınan değişkenler arasında istatistiksel olarak 0.99 güvenle önemli ilişkilerin olduğu saptanmıştır. 30 günlük inkübasyon süresinde, yıkama suyu ile ECe değişimleri arasındaki ilişkilerin önem düzeyini gösteren determinasyon katsayıları,

$R^2=0.91-0.98$; 60 günlük inkübasyon süresinde ise anılan katsayılar, $R^2=0.91-0.97$ arasında değişmiştir (n:12; $R^2_{C0.05}$: 0.574; $R^2_{C0.01}$:0.707; $p\leq 0.01$). 30 günlük inkübasyon süresinde, özellikle S1 kükürt dozunda ECe değerleri, 9 cm yıkama suyu uygulamasından sonra başlamıştır. Diğer kükürt miktarlarında değinilen durum, fazla belirgin değildir. Konu edinilen kükürt dozlarında, yıkanmanın başlangıcında süzük suyu tuz kapsamaları, 17.5-25.0 dS/m ile tepe değerlere ulaşmış; bu düzeyden sonra ECe değerleri hızla düşmüştür. Yığışımly yıkama suyu 45 cm'ye ulaştığında, ECe değerleri, S3 ve S4 kükürt dozlarında güvenli düzeylere inmiştir. Değinilen uygulamalarda, ECe değerleri, sırasıyla 3.92 ve 3.10 dS/m olarak ölçülmüştür. Konu edinilen inkübasyon süresinde, başlangıç tuz değerine göre, S3 dozunun %59, S4 dozunun ise %68 oranında tuz yıkadığı hesaplanmıştır. Diğer S1 ve S2 kükürt dozları ise sırasıyla %45 ve %54 oranında tuz yıkayabilmişlerdir. Değinilen kükürt düzeyleri, yıkamada fazla etkin olamamışlardır.

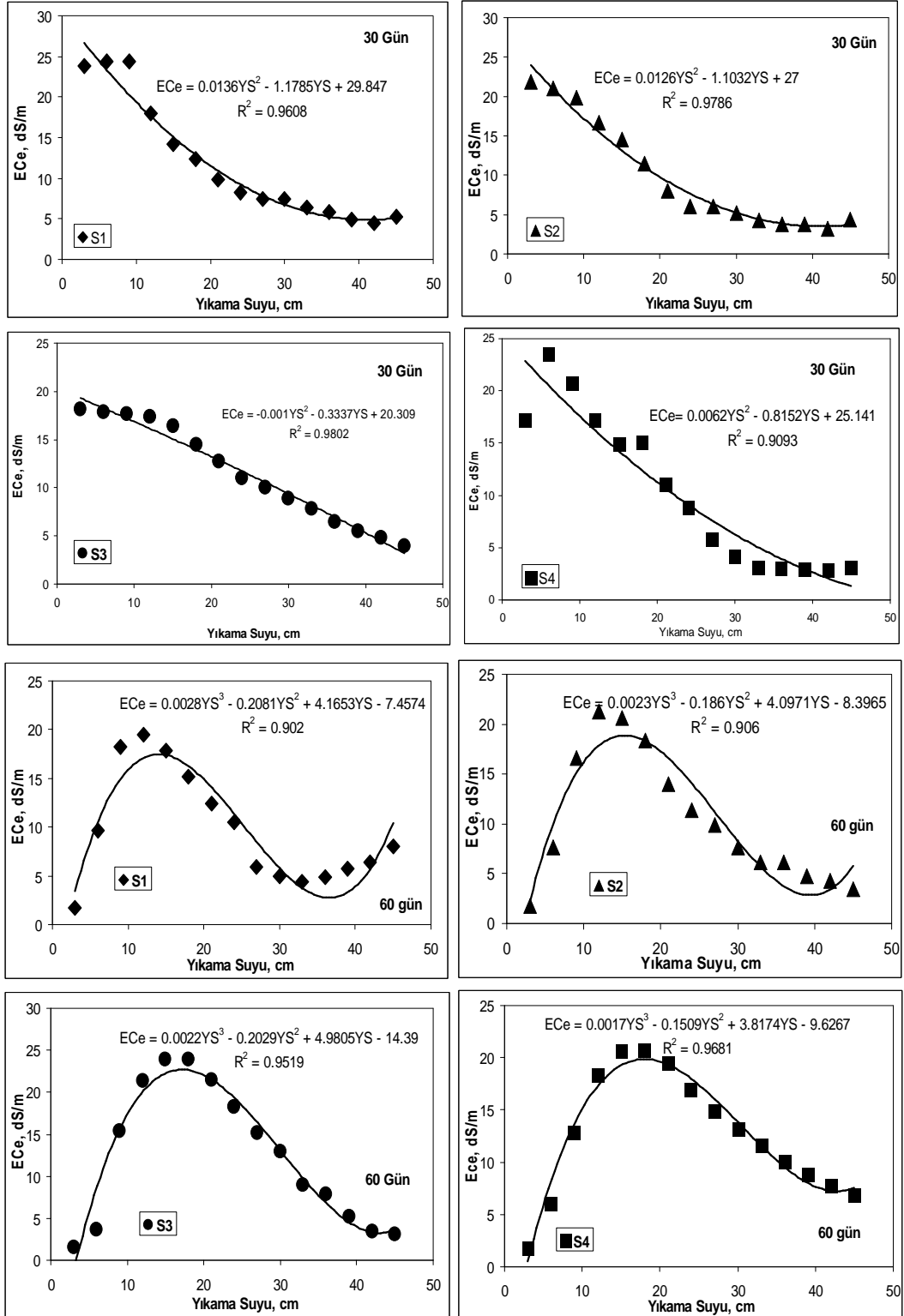
İnkübasyon süresinin 60 gün olduğu koşullarda ise, süzük ECe değerleri, yaklaşık 2.0 dS/m düzeyinden başlayarak, kükürt dozlarına bağlı olarak, farklı tepe değerlere ulaşmıştır (Şekil 4.1). Değinilen tepe değerleri, S1 dozunda 12 cm yıkama suyu ile 19 dS/m, S2 dozunda yine 12 cm yıkama suyu ile 21 dS/m, S3 ve S4 konularında ise 18 cm yıkama suyu ile sırasıyla 24 ve 21 dS/m arasında değişmiştir. Açıklanan tepe değerlerinden sonra tüm konularda ECe değerleri, hızla düşmüştür. Denemenin başlangıcında Sirkenli Serisi topraklarına ilişkin çamur süzüğü ECe değerinin, 9.67 dS/m olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3.1). Buna karşı, ilk birkaç yıkama uygulamasında süzük ECe değerlerinin bu değerden daha küçük çıkması, tam yıkanmanın gerçekleşmediğini göstermektedir. Yıkama uygulamaları başlamadan önce, Tüzüner, (1990) tarafından verilen yaklaşımlar kullanılarak, toprakların stabilite indeksi (SI) değerleri saptanmıştır. Değinilen analiz sonuçlarına göre, stabilite indeksi değerleri, 30 günlük inkübasyon süresinde S3 dozunda 30, S4 dozunda ise 44; 60 günlük inkübasyon süresinde ise S3 dozunda 51, S4 dozunda ise 46 olarak elde edilmiştir. Bu durumda, 60 günlük inkübasyon süresinde, stabil agregat yüzdesi (SAY), 30 günlük inkübasyon süresine göre daha yüksektir. Uzun inkübasyon sürelerinin, bir çok elementin toprak kolloidleri tarafından tutulumlarını arttırdığı, eriyebilirliklerini azalttığı, böylece topraklarda agregalaşmayı özendirdiği,

yapılan laboratuvar ve tarla çalışmalarından anlaşılmıştır (Sabir ve ark., 2008; Kaloi ve ark., 2011; Ara ve ark., 2013). İnkübasyon süresinin 60 gün olduğu koşullarda, yıkanmanın başlangıç dönemlerinde, çok küçük ECe değerleri ölçülmesi, Lopes-Aquirre ve ark. (2007) tarafından belirtildiği gibi, kükürtün uzun inkübasyonu sonucu, anyon ve katyonların eriyebilirliklerinin azalmış olmasına bağlanabilir. Yıkama süreci içerisinde anyon ve katyonların eriyebilirlikleri arttıkça, ECe değerleri de yükselmiştir. Açıklanan durum, yıkanma uygulamalarına bağlı olarak süzük suyunun kimyasal bileşimini gösteren Ek Çizelge 2a ve 2b ve değinilen çizelgelerden yararlanılarak hazırlanan Çizelge 4.1’de verilen sonuçlardan da anlaşılmaktadır.

Çizelge 4.1. Yıkama Periyodunun Başlangıç ve Son Dönemlerinde Süzük Sularında Ölçülen Kimi İyonların Bileşimleri (me/L)

Yıkamalar	İnkübasyon Süreleri	Na	Ca+Mg	SO ₄	Cl	CO ₃ +HCO ₃
1. Yıkama	30 Gün	172	35.71	105	98	5.26
	60 Gün	12	7.70	5	7	7.24
2. Yıkama	30 Gün	199	39.75	146	88	5.78
	60 Gün	62	15.08	45	29	4.98
3. Yıkama	30 Gün	212	38.67	175	69	6.87
	60 Gün	163	39.25	184	13	4.73
4. Yıkama	30 Gün	157	38.04	136	58	7.66
	60 Gün	190	43.52	148	81	4.47
15. Yıkama	30 Gün	24	10.89	26	4	5.92
	60 Gün	48	10.50	43	4	11.80

Çizelge 4.1’de inkübasyon sürelerindeki farklı kükürt uygulamalarından elde edilen değerlerin ortalamaları kullanılmıştır. Anılan çizelgede ilk 4 yıkama uygulaması ile son yıkamaya ilişkin sonuçlar verilmiştir. Konu edinilen çizelgeden görüldüğü gibi, 30 günlük inkübasyon süresinde ilk yıkamalarda Na iyonu önemli ölçüde yıkanırken (172, 199, 212 me/L), 60 günlük inkübasyonda anılan elementle ilgili çok küçük düzeylerde yıkanmalar meydana gelmiştir. Bu inkübasyon süresinde Na yıkanması, ancak üçüncü yıkanmada meydana gelmeye başlamıştır (163 me/L). Aynı şekilde, 30 günlük inkübasyon süresinde SO₄ ve Cl iyonları daha fazla yıkanmıştır (105 ve 98 me/L). 60 günlük inkübasyon süresinde anılan elementler, sırasıyla, 5 ve 7 me/L düzeyinde yıkanmışlardır.



Şekil 4.1 Farklı inkübasyon süreleri ve kükürt uygulamalarında yıkama suyu miktarları ile süzükteki ECe değerleri arasındaki ilişkiler

Konu edinilen elementler, ancak üçüncü yıkanmada tepe değerlere ulaşmıştır. Diğer elementlerin, özellikle, Ca+Mg ile CO₃+HCO₃ derişimlerinin fazla değişmediği dikkate alındığında, sodyumun daha çok, Na₂SO₄ ve NaCl şeklinde yıkandığı anlaşılmaktadır.

Öte yandan, aynı 60 günlük inkübasyon süresinde, yıkanma sırasında, özellikle S1 konusunda, süzük ECe değerlerinde dalgalanmalar meydana gelmiş, 33 cm yıkama suyunda 2.38 dS/m değerine düşmüş, daha sonra yeniden yükselerek, 45 cm yıkama suyunda 7.10 dS/m değerine ulaşmıştır. Diğer kükürt dozlarında ise tedrici azalmalar gözlenmiştir. Ele alınan kükürt dozlarında yalnızca, S2 ve S3 dozlarında, güvenli tuz düzeylerine ulaşılmıştır (S2: 3.44 ve S3: 3.14 dS/m). S1 kükürt düzeyinde açıklanan durumun, yıkanma sırasında, elementlerin çözünme ve tutulumlarının ardı ardına meydana gelmesinin bir sonucu olarak ortaya çıktığı düşünülebilir. 60 günlük inkübasyon süresinde başlangıç tuz değerine göre, S1 dozunun %17, S2 dozunun %64, S3 dozunun %67 ve S4 kükürt dozunun ise %30 oranında tuzu yıkadığı hesaplanmıştır.

Yıkamanın başlangıç dönemlerinde, her iki inkübasyon süresindeki tüm kükürt miktarlarındaki ECe değerlerinde görülen artışların, Lopes-Aquirre ve ark. (2007) ve Velarde ve ark. (2005) tarafından da belirtildiği gibi, kükürtün oksidasyonu ve anyon ve katyonların eriyebilirliklerini artırması sonucu, ortaya çıktığı söylenebilir.

Ele alınan farklı inkübasyon süresi ve kükürt miktarlarının tuz yıkanmasına etkileri, istatistiksel olarak test edilmiştir. Bu amaçla Ek Çizelge 1c'de verilen değerler kullanılmıştır. Yapılan varyans analizi sonuçlarına göre (Çizelge 4.2), kükürt miktarları, inkübasyon süreleri ve inkübasyon süresi' kükürt miktarı etkileşimi (intreaksiyon), ECe düşümünü, istatistiksel olarak, %99 güvenle farklı etkilemişlerdir. Bu durumda, yalnızca, İnkübasyon süresi x kükürt miktarları etkileşimini oluşturan öğelerin ortalamaları arasındaki farkın, istatistiksel olarak, önemli olup olmadığı LSD testi ile değerlendirilmiştir ($\bar{S}_x=0.31$; $t_{14, 0.05}=2.145$; $LSD=0.95$). LSD testi sonuçlarına göre, kombinasyonlar birbirinden farklı 6 grup oluşturmuştur. Bir kg toprağa 8 g kükürt verilip 30 gün inkübasyona bırakılan uygulama ile bir kg toprağa 4 ve 6 g kükürt karıştırılıp 60 gün inkübasyona bırakılan

uygulamaların birlikte, birinci gruba girdikleri ve tuz yıkanmasında daha etkili oldukları saptanmıştır. Buradan, 30 günlük inkübasyon süresinin seçilmesinde S4 kükürt uygulanmasının, 60 günlük inkübasyon süresinin seçiminde ise S2 kükürt dozunun önerilebileceği söylenebilir. Son iki istatistiksel grubu ise, 60 günlük inkübasyon süresinde S4 (8 g/kg) ve S1 (2 g/kg) kükürt verilen konular oluşturmuştur. İnkübasyon süresi uzadıkça, az ve çok fazla kükürt uygulamalarının, tuz yıkanmasında fazla etkili olmadığı düşünülebilir.

Çizelge 4.2. Tuzluluk ve Sodyumluluk Belirteçlerine İlişkin Varyans Analizi

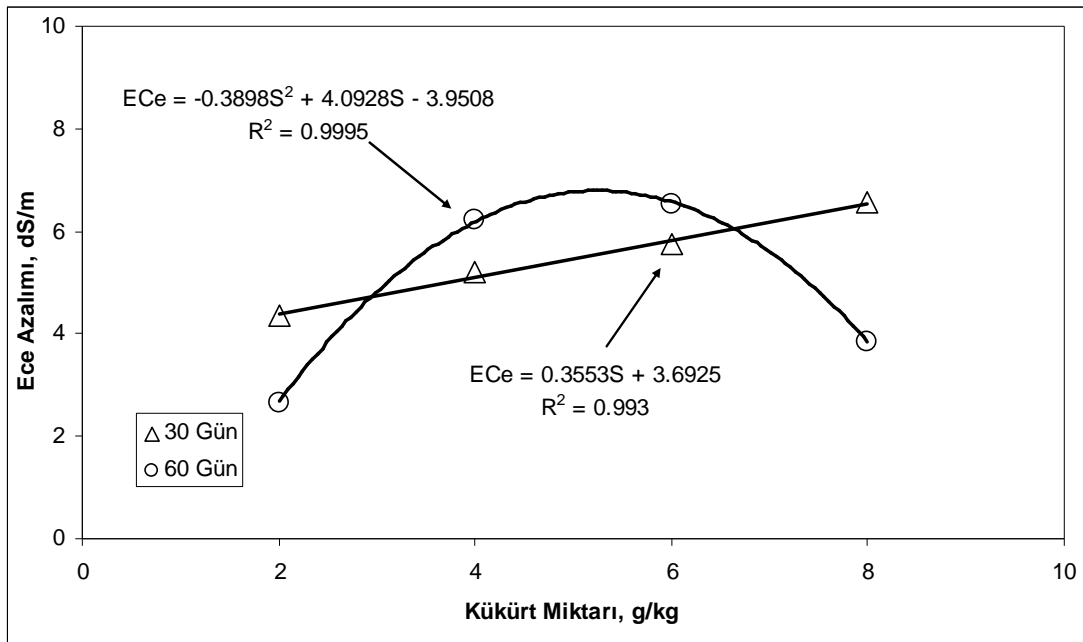
VK	ECe	pH	NaX	SAR	ESP
	Kareler Ortalaması				
Yineleme	0.46	0.01	1.01	7.58	3.15
Kombinasyon	9.81	2.51	1.08	8.05	3.37
Kükürt	11.63**	0.0036	1.84*	13.84*	5.74*
İnkübasyon	7.92**	2.44**	0.56	4.06	1.72
Ink x Kükürt İnteraks.	8.62**	0.06	0.50	3.59	1.55
Hata	0.30	0.17	0.36	2.57	1.11

* $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$ düzeyinde önemli.

Farklı inkübasyon sürelerindeki kükürt düzeylerinde ECe azalışları, Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Anılan şekilden, inkübasyon sürelerine göre, kükürt miktarları ile ECe azalmaları arasındaki ilişkilerin, birbirinden farklı olduğu anlaşılmaktadır. 30 günlük inkübasyon süresinde kükürt uygulamaları ile ECe azalmaları arasında çok yakın doğrusal ($R^2=0.99$); 60 günlük inkübasyon süresinde ise ikinci dereceden polinomial bir ilişkinin ($R^2=0.99$) olduğu saptanmıştır. Buradan, yalnızca ECe düşümü bağlamında, 30 günlük inkübasyon süresi için kükürt dozlarının biraz daha artırılması, 60 günlük inkübasyon süresinde ise S4 dozunun gereksiz olduğu söylenebilir.

İyileştirilmesi için kullanılan farklı kimyasal maddelerin, yıkanma işlevinin sonunda toprak ECe değerlerini düşürdüğü çok sayıda araştırmacı tarafından rapor edilmiştir. Örneğin Hussain ve ark. (2001) tarafından yapılan bir çalışmada, ahır gübresinin dışında uygulanan tüm diğer iyileştiriciler, sülfirik asit ve jips, ECe değerini düşürmüştür. Benzer şekilde, Makoi ve Verplancke (2010) ile Suhayda ve ark. (1997) ve Rasouli ve ark. (2013), Kahlon ve ark. (2012) jipsin, Abdelhamid ve

ark. (2013) kükürtün, Stamford ve ark. (2002) Thibacillus bakterisi ile inokule edilmiş kükürtün Ece değerlerini önemli ölçüde düşürdüğünü saptamışlardır. Benzer sonuç, aynı topraklarda jips miktarı, uygulama biçimi, ve yıkama yöntemlerini test eden Koç (2011) tarafından alınmıştır. Ayrıca, Bahtiyar (1974), ve Çınar (1978) tarafından da benzer sonuçların alındığı açıklanmıştır. Sunulan çalışmada, yıkanma işlevinin sonunda kükürt uygulamaları ve inkübasyon sürelerinin, toprak Ece değerlerini, güvenli düzeylere düşürdüğü saptanmıştır.



Şekil 4.2. Farklı inkübasyon sürelerinde kükürt miktarları ile Ece azalışları arasındaki ilişkiler

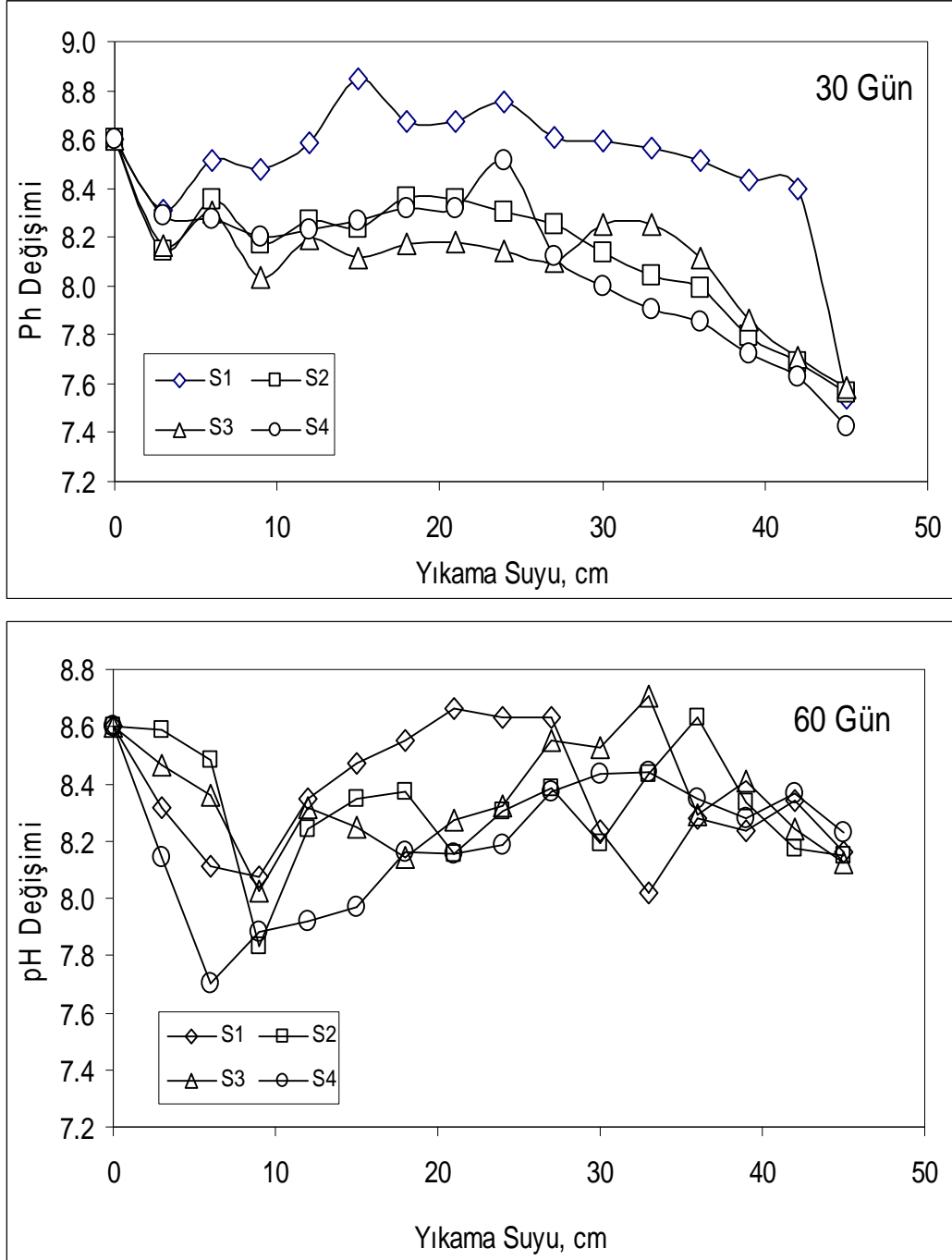
4.1.1.2. pH Değişimi

Deneme konularında yığılımlı yıkama suyu miktarlarının pH değişimine etkileri, Ek Çizelge 3a ve 3b'de verilmiştir. Değinilen çizelgelerdeki yineleme ortalamaları kullanılarak, yıkama suyu miktarları ile pH değerleri arasındaki ilişkiler elde edilmiş ve Şekil 4.3'de gösterilmiştir. Anılan şeklin incelenmesinden, en fazla pH düşümünün, istatistiksel olmamakla birlikte, 30 günlük inkübasyon süresinde elde edildiği anlaşılmaktadır. Yıkanma süresi boyunca en az pH düşümü, S1 kükürt

düzeyinde; en fazla ise S3 ve S4 konularında elde edilmiştir. Kükürt uygulamalarına göre pH düşüşleri, %12 (S1) ile %14 (S4) arasında değişmiştir.

60 günlük inkübasyon süresindeki tüm kükürt uygulamalarında, pH değerleri fazla azalma göstermemiştir. Değinilen inkübasyon süresinde uygulanan kükürt düzeylerinde, ortalama %5 dolayında pH azaltımı sağlanmıştır. İnkübasyon sürelerine göre, 30 günlük inkübasyon süresindeki ortalama pH değeri, 60 günlük inkübasyon süresindeki ortalama değerden yaklaşık %13 daha küçüktür. Uzun inkübasyon sürelerinin, toprak kolloidleri tarafından elementlerin tutulumunu arttırdığı, yapılan laboratuvar ve tarla çalışmalarından anlaşılmıştır. Örneğin, farklı inkübasyon sürelerinde tutulan demir curufunun, toprak özelliklerine etkisini araştıran Ara ve ark. (2013), inkübasyon periyodu uzadıkça, E_{Ce} ve pH değerlerinin arttığını saptamışlardır. Benzer şekilde, 30 ve 60 günlük inkübasyon sürelerinde farklı organik iyileştiricilerin, Ni, Cu, Zn, Mn, Cd gibi ağır metallerin çözünürlüklerine etkisini araştıran Sabir ve ark. (2008), inkübasyon süresi uzadıkça, değinilen elementlerin çözünürlüklerinin azaldığını belirlemişlerdir. Fosforun çözünürlüğünün, kısa inkübasyon sürelerinde arttığı, bir başka araştırmada rapor edilmiştir (Kaloi ve ark., 2011). Aynı topraklarda çalışan Koç (2011) 20 kg/m² jipsin tüm toprak profiline karıştırılması durumunda pH düşümünün daha fazla olduğunu açıklamıştır. Güneri ve ark. (2010), Ege Üniversitesi'nde yaptığı çalışmada, kükürt uygulamalarının pH değerini önemli ölçüde düşürdüğünü açıklamışlardır. Sunulan çalışmada, 60 günlük inkübasyon süresinde pH değerlerinin fazla değişmemesi, yukarıda değinilen çalışmalarda olduğu gibi, konu edinilen özelliği artırıcı bir çok elementin toprak kolloidleri tarafından tutulmuş olabileceğine bağlanabilir.

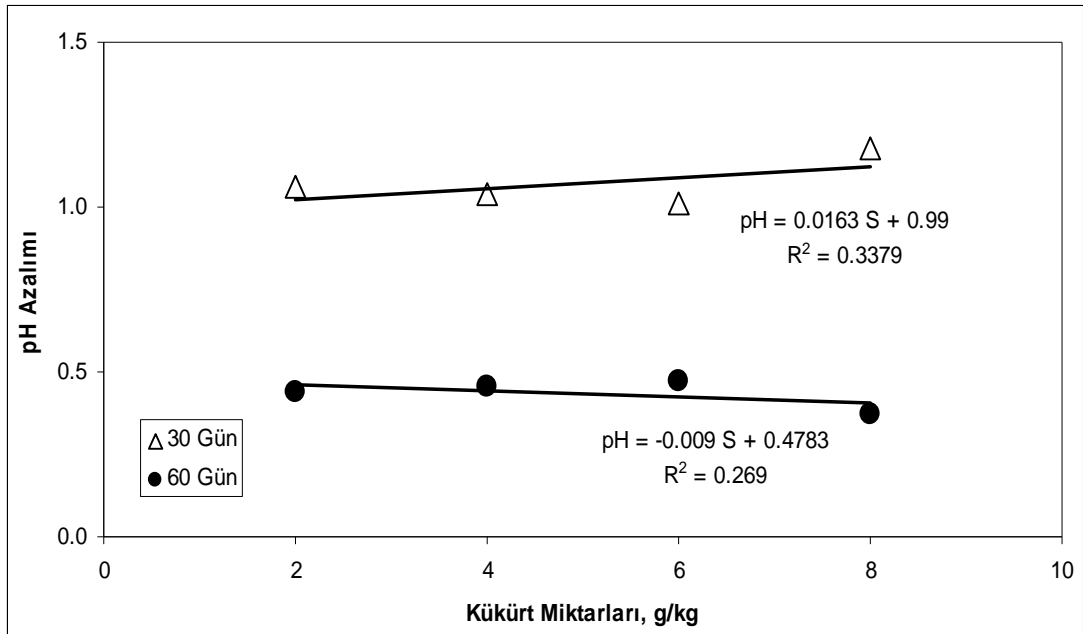
Farklı inkübasyon süreleri ve kükürt uygulamalarının pH düşümlerine etkilerinin, istatistiksel olarak önemli olup olmadığı, Ek Çizelge 3c'de verilen değerler kullanılarak, incelenmiştir. Yapılan varyans analizi sonuçlarından anlaşılacağı gibi (Çizelge 4.2), inkübasyon sürelerinin, %99 güvenle istatistiksel olarak, birbirinden farklı olduğu anlaşılmıştır. İnkübasyon sürelerinin ortalamaları arasındaki farklar, LSD yöntemiyle karşılaştırılmıştır ($\bar{S}x=0.06$; $LSD=0.19$).



Şekil 4.3. Farklı inkübasyon süreleri ve kükürt uygulamalarında yıkama suyu miktarlarına bağlı olarak süzükteki pH değerlerinin değişimi

Yapılan test sonunda, 30 günlük inkübasyon süresinde pH düşümünün, 60 günlük inkübasyon süresindekinden, istatistiksel olarak 0.05 düzeyinde daha fazla olduğu saptanmıştır.

Çalışmada ele alınan farklı inkübasyon sürelerindeki kükürt dozlarının, pH azalışlarına etkileri, Şekil 4.4'te daha açık olarak görülmektedir. Herbir inkübasyon süresinde pH düşümü ile kükürt miktarları arasındaki ilişkiler, istatistiksel olarak önemli değildir ($SD:2$, $R^2=0.950_{0.05}$; $R^2=0.990_{0.01}$). Ayrıca, inkübasyon sürelerindeki kükürt ve pH düşümleri arasındaki regresyon hatlarının eğimleri, istatistiksel olarak, %99 güvenle homojen değildir ($t_H=68.212$; $SD: 4$; $p \leq 0.01$). Buradan, inkübasyon sürelerinin, pH azaltımına etkilerinin birbirinden bağımsız olduğu; herbir inkübasyon süresi içerisindeki kükürt miktarlarının benzer etkiler yaptığı söylenebilir.



Şekil 4.4. Farklı inkübasyon sürelerinde kükürt miktarları ile pH azalışları arasındaki ilişkiler

Kükürt ve diğer kimyasal iyileştiricilerin pH düşümü üzerine etkileri konusunda farklı araştırma sonuçları bulunmaktadır. Örneğin, Velarde ve ark. (2005), kükürt uygulamaları ile 0.3 dolaylarında, çok önemli olmayan pH azalışları elde edildiğini belirtmişlerdir. Abdelhamid ve ark. (2013) ise kükürt uygulamasıyla sorunlu topraklarda pH değerlerinde önemli ölçüde azalışlar olduğunu açıklamışlardır. Aynı şekilde Chun ve ark. (2001), sıvı gaz desülfürizasyonu ile pH değerinin 9.0'dan 7.7 düştüğünü saptamışlardır. Buna karşı, Hussain ve ark. (2001), ahır gübresinin pH düşümünde pek etkin olmadığını rapor etmiştir.

4.1.1.3. Değişebilir Sodyum (NaX) Değişimi

Denemede ele alınan konularda, yığışlı yıkama suyuna karşı elde edilen NaX değerlerinin değişimleri, Ek Çizelge 4a ve 4b’de verilmiştir. Değinen çizelgelerdeki yineleme ortalamaları kullanılarak yığışlı yıkama suyu ile NaX değerleri arasındaki ilişkiler saptanmış ve Şekil 4.5’de gösterilmiştir.

Şekil 4.5’de kükürt uygulamalarının, inkübasyon sürelerine bağlı olarak, tuz yıkanmasına farklı biçimde etki ettiği görülmektedir. İnkübasyon süresinin 30 gün olduğu koşullarda tüm kükürt dozlarında NaX değerleri ile yığışlı yıkama suyu arasında logaritmik; 60 günlük inkübasyon süresinde ise kükürt dozları ile yıkama suyu arasında ikinci dereceden polinomial (eğrisel) ilişkilerin olduğu saptanmıştır. Her iki inkübasyon süresinde, dikkate alınan değişkenler arasında 0.99 güvenle istatistiksel olarak önemli, çok yakın ilişkilerin olduğu belirlenmiştir. Konu edinilen ilişkilerin önem düzeyini gösteren determinasyon katsayıları, R^2 , 0.84 ile 0.94 (30 günlük inkübasyon süresi); ve 0.94 ile 0.99 (60 günlük inkübasyon süresi) arasında değişmiştir (n:12; $R_{C0.05}^2$: 0.574; $R_{C0.01}^2$:0.707; $p \leq 0.01$).

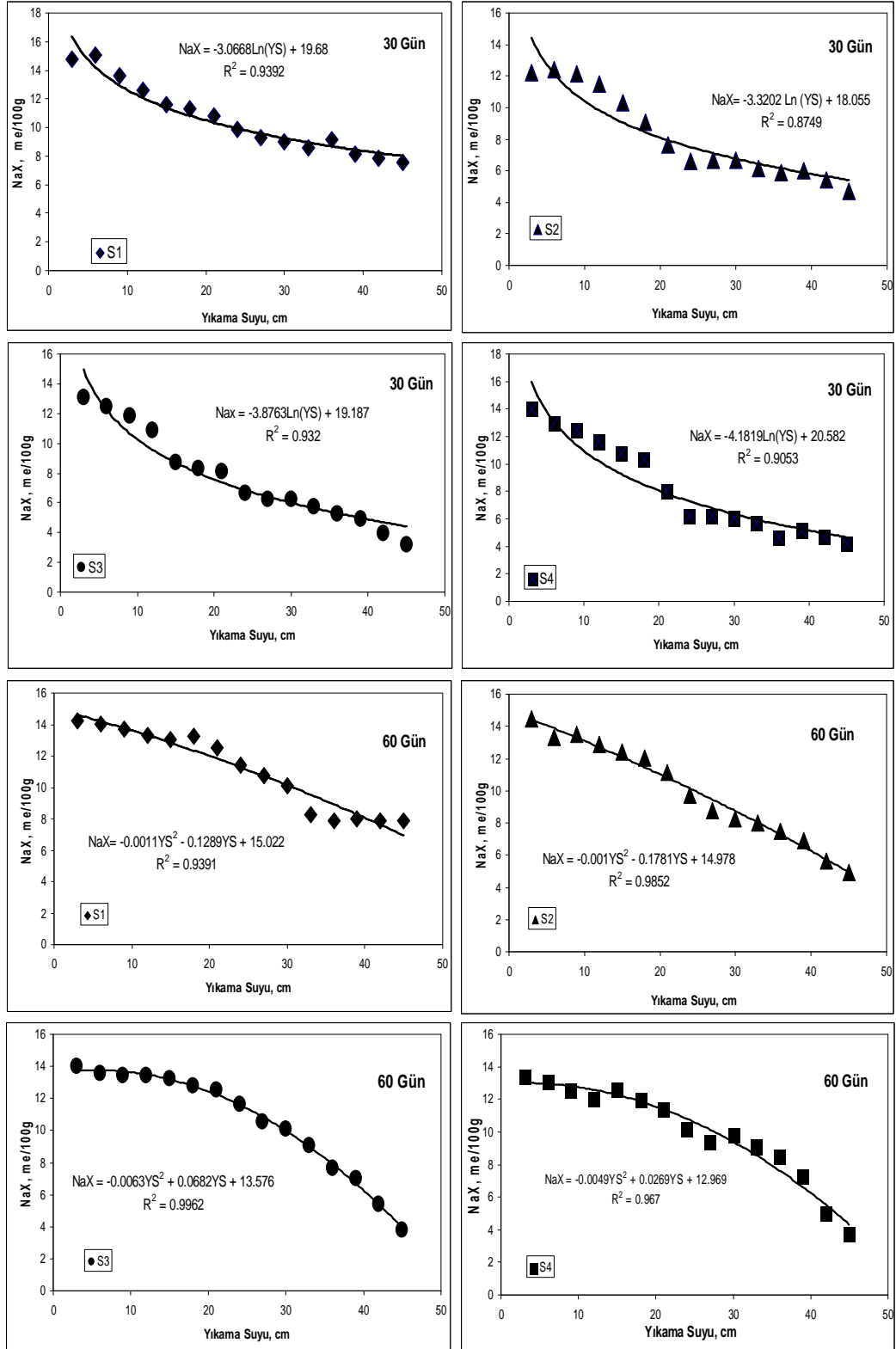
Özellikle, 45 cm yıkama suyunda, 30 günlük inkübasyon süresinde tüm kükürt dozlarındaki NaX değerleri, 60 günlük inkübasyon süresinde ölçülenlerden daha küçüktür. Değinen inkübasyon süresinde S1 dozunda 7.90, S2’de 4.93, S3’ de 3.82 ve S4 dozunda ise 3.76 me/100g NaX değerlerine ulaşılmıştır. NaX azaltımları, %44 (S1) ile %73 (S3) arasında değişmiştir. Buna karşı 60 günlük inkübasyon süresinde ise tüm kükürt dozlarında anılan değerler, 15.79-19.84 me/100g arasında değişmiş; hatta başlangıç NaX değerlerine göre belli oranlarda artışlar meydana gelmiştir. Buradan, 60 günlük inkübasyon süresinin, NaX değerlerinin düşürülmesinde, 30 günlük süreye göre fazla etkin olmadığı söylenebilir. Bu durumun, Ara ve ark. (2013), Kaloi ve ark. (2011) ve Gülser ve ark. (2010) tarafında yapılan çalışmalarda da gösterildiği gibi, uzun inkübasyon süresinin, sodyum tuzlarının eriyebilirliklerini azaltması, bu tuzların kolloidler tarafından tutulması sonucu ortaya çıktığı, söylenebilir.

Ek Çizelge 4c’de verilen değerler kullanılarak, farklı inkübasyon süreleri ve kükürt uygulamalarının NaX azalışlarına etkileri istatistiksel değerlendirilmiştir.

Yapılan varyans analizi sonuçlarına göre (Çizelge 4.2), kükürt miktarlarının NaX azaltımına etkileri, istatistiksel olarak, %95 güvenle önemli bulunmuştur (F: 186.67; $p \leq 0.01$). Buna karşı, inkübasyon süreleri ve her iki değişkenin etkileşimleri arasında, istatistiksel olarak önemli, farklar bulunamamıştır. Kükürt miktarlarının ortalamaları arasındaki farkların istatistiksel olarak önem dereceleri, LSD yöntemiyle karşılaştırılmıştır ($S\bar{x} = 0.20$; $t_{14, 0.05}$: 2.145; $LSD = 0.59$). Yapılan test sonunda, kükürt miktarları, birbirinden farklı 3 istatistiksel grup oluşturmuştur. S3 ve S4 kükürt dozları, birlikte, birinci gruba girmiştir. S2 ve S1 dozları ise 2. ve 3. grupları oluşturmuştur. Buradan, NaX azaltımında, en etkin kükürt dozu olarak, S3 uygulamasının önerilebileceği, söylenebilir.

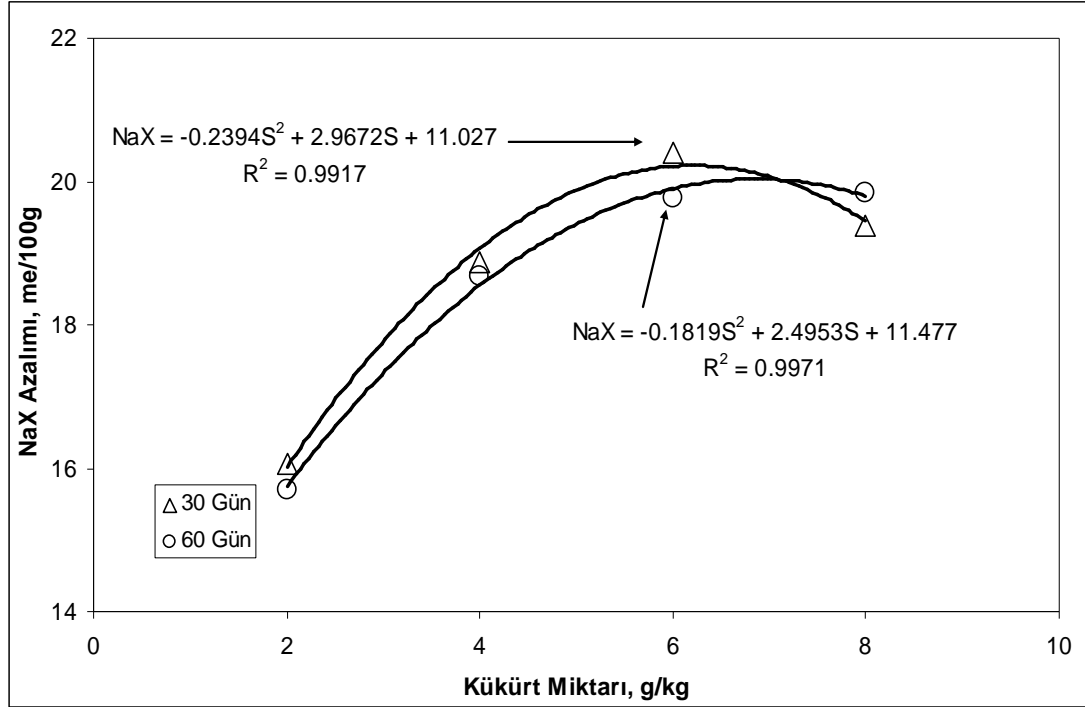
Çalışmada ele alınan farklı inkübasyon sürelerindeki kükürt dozları ile azalan NaX miktarları arasındaki ilişkiler, Şekil 4.6'da gösterilmiştir. İnkübasyon sürelerinde NaX değerleri ile kükürt miktarları arasında istatistiksel olarak önemli, ikinci dereceden polinomial ilişkilerin olduğu saptanmıştır ($SD: 2$, $R^2 = 0.950_{0.05}$; $R^2 = 0.990_{0.01}$). Dikkate alınan inkübasyon sürelerinde, kükürt dozlarına bağlı olarak, NaX düşümleri, S3 uygulamasında tepe değerlere ulaşılmıştır. Elde edilen eşitliklerin türevleri alınarak sıfıra eşitlendiğinde en fazla NaX azalmasını sağlayan kükürt miktarının, 30 günlük inkübasyon süresi için 6.2 g/kg, 60 günlük inkübasyon süresi için ise 6.8 g/kg olduğu belirlenmiştir.

Sorunlu topraklarda farklı iyileştiricilerin, değişebilir sodyumun azaltılması üzerine etkileri konusunda yapılan çalışmalarda, benzer sonuçlar alınmıştır. Stamford ve ark. (2002), Thiobacillus ile inokule edilmiş kükürtün, NaX azaltımında jipsten daha etkin olduğunu, Abdelhamid ve ark. (2013) kükürt uygulamaları ile NaX miktarının güvenli düzeylere düştüğünü, Chun ve ark. (2001) sıvı gaz desulfürizasyonunun, değişebilir sodyumu azalttığını saptamışlardır.



Şekil 4.5. Farklı inkübasyon süreleri ve kükürt uygulamalarında yıkama suyu miktarları ile NaX değerleri arasındaki ilişkiler

Benzer biçimde, aynı topraklar üzerine çalışan Koç (2011), 20 kg/m² jipsin tüm toprak profiline karıştırılması ile en fazla NaX azaltımı sağlandığını belirtmiştir.



Şekil 4.6. Farklı inkübasyon sürelerinde kükürt miktarları ile NaX azalışları arasındaki ilişkiler

4.1.1.4. Sodyum Adsorbsiyon Oranı (SAR) Değişimi

Deneme konularında, yığışlı yıkama suyuna karşı elde edilen SAR değerlerinin değişimleri, Ek Çizelge 5a ve 5b'de verilmiştir. Yinelemelerinin ortalama değerleri kullanılarak yığışlı yıkama suyu ile SAR değerleri arasındaki ilişkiler hesaplanmış ve Şekil 4.7'de gösterilmiştir.

Şekil 4.7'de görüldüğü gibi, her iki inkübasyon süresinde de yığışlı yıkama suyu miktarları ile SAR değerleri arasında %99 güvenle istatistiksel olarak önemli, çok yakın ilişkilerin olduğu belirlenmiştir. Konu edinilen ilişkilerin önem düzeyini gösteren determinasyon katsayıları, R², 0.93 ile 0.98 (30 günlük inkübasyon süresi); ve 0.97 ile 0.99 (60 günlük inkübasyon süresi) arasında değişmiştir (n:12; R²_{C0.05}:0.574; R²_{C0.01}:0.707; p≤0.01). Özellikle, 45 cm yıkama suyunda, 30 günlük

inkübasyon süresinde tüm kükürt dozlarında ölçülen SAR değerleri, 60 günlük inkübasyon süresinde ölçülenlerden daha küçüktür. Benzer sonuç, NaX değerlerinde de alınmıştır. Değinilen inkübasyon süresinde S1 dozunda 21.3, S2’de 12.4, S3’ de 8.3 ve S4 dozunda ise 11.0 (me/L)^{0.5} SAR değerlerine ulaşılmıştır. SAR azaltımı, başlangıca göre, %64 (S1) ile %76 (S4) arasında değişmiştir. Buna karşı, 60 günlük inkübasyon süresinde ise tüm kükürt dozlarında anılan değerler, 9.8-21.2 (me/L)^{0.5}; SAR azalımı, %60 (S1) ile %80 (S4) arasında değişmiştir. Kükürt konularındaki SAR değerinde oluşan azalma miktarları, başlangıçtaki SAR değerlerine göre farklı bulunmuştur. Ancak, 30 günlük inkübasyon süresindeki kükürt dozlarında, birim yıkama suyuna karşı SAR azalması, 60 günlük inkübasyon süresindekilerden daha büyüktür. Bu durumun, uzun inkübasyon süresinin tuz ve diğer elementlerin çözünebilirliklerini azaltması, onların tutulumunu artırması sonunda ortaya çıktığı söylenebilir (Kaloi ve ark., 2011 ve Sabir ve ark., 2008).

Ek Çizelge 5c’de verilen değerler kullanılarak, farklı inkübasyon süreleri ve kükürt uygulamalarının SAR azalışlarına etkileri, istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Yapılan varyans analizi sonuçlarına göre (Çizelge 4.2), kükürt miktarlarının SAR azaltımına etkileri, istatistiksel olarak, %95 güvenle önemli bulunmuştur (F: 224.24; $p \leq 0.01$). Buna karşı, inkübasyon süreleri ve kükürt miktarları x inkübasyon süreleri etkileşimi arasında istatistiksel olarak önemli farklar bulunamamıştır. Kükürt miktarlarının ortalamaları arasındaki farkların istatistiksel olarak önem dereceleri, LSD yöntemiyle karşılaştırılarak saptanmıştır ($\bar{S}x = 0.50$; $t_{14, 0.05}$: 2.145; LSD=1.66). Yapılan test sonunda, kükürt miktarları, birbirinden farklı 3 istatistiksel grup oluşturmuştur. S3 ve S4 kükürt dozları, birlikte, birinci gruba; S2 ve S1 dozları ise sırasıyla 2. ve 3. gruplara girmişlerdir. Buradan, SAR azaltımında, en etkin kükürt dozu olarak, S3 uygulamasının önerilebileceği, söylenebilir.

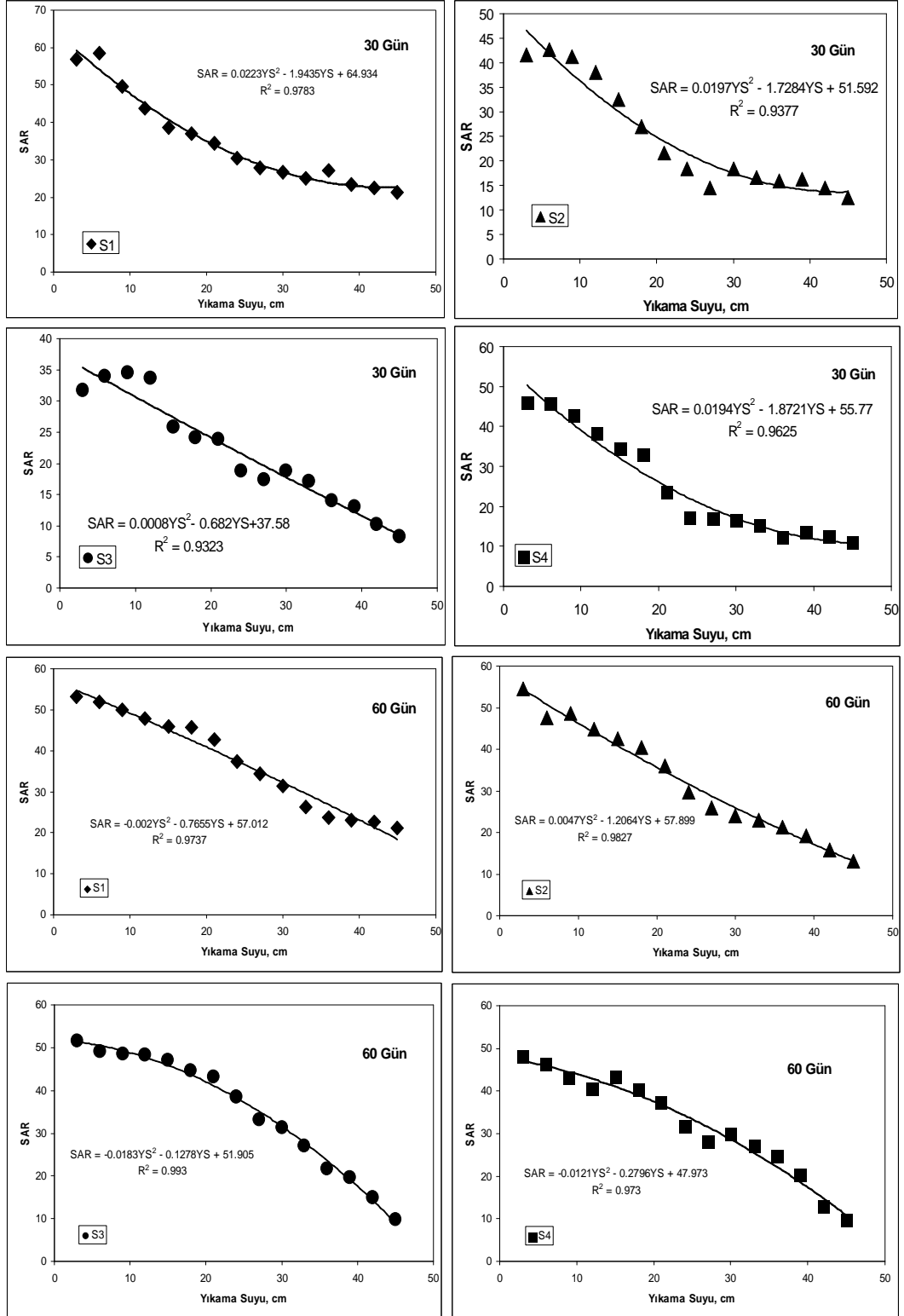
Farklı inkübasyon sürelerindeki kükürt dozları ile azalan SAR miktarları arasındaki ilişkiler, Şekil 4.8’de gösterilmiştir. Anılan değişkenler arasında %95 güvenle istatistiksel olarak önemli, ikinci dereceden polinomial ilişkiler olduğu saptanmıştır (SD:2, $R^2=0.950_{0.05}$; $R^2=0.990_{0.01}$). Ele alınan inkübasyon sürelerinde, kükürt dozlarına bağlı olarak, SAR düşümleri, S3 uygulamasında tepe değerlere ulaşılmıştır.

Kükürt miktarları ile SAR değerleri arasındaki ilişkilerden, 30 günlük inkübasyon süresi için en uygun kükürt dozunun, 6.3 g/kg; 60 günlük inkübasyon süresi için ise 6.4 g/kg olduğu saptanmıştır.

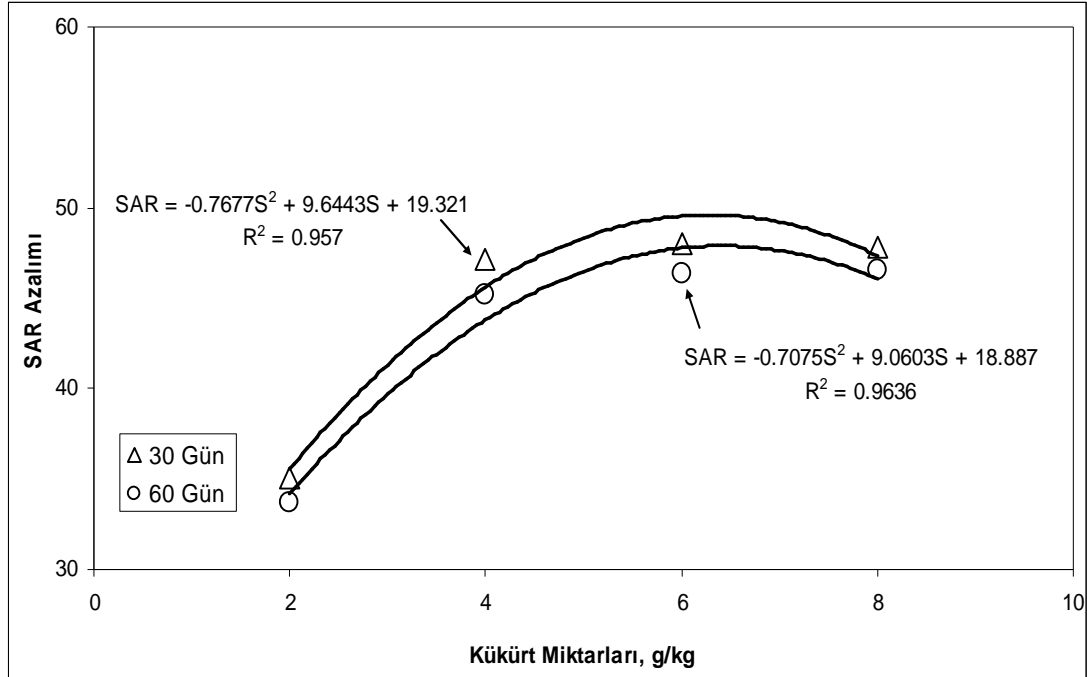
Yapılan bir çok çalışmada benzer sonuçlar alınmıştır. Hussain ve ark. (2001), H₂SO₄, ahır gübresi ve jips uygulamaları ile toprak SAR değerinin önemli ölçüde düştüğünü, Makoi ve Verplancke (2010), farklı jips miktarları ve uygulama biçimlerinin test ettikleri çalışmada, SAR değerlerinde önemli ölçüde iyileştirme sağlandığını; benzer sonuçların Rasouli ve ark. (2013) ve Kahlon ve ark. (2012) tarafından alındığını, Abdelhamid ve ark. (2013) ile Stamford ve ark. (2002) kükürt uygulamaları ile SAR değerinin düştüğünü açıklamışlardır. Öte yandan, Sirkenli Serisi toprakları üzerinde çalışan Koç (2011), jipsin toprak profiline karıştırılması ve damla yöntemiyle yıkanması durumunda SAR değerinin daha etkin biçimde düşürülebileceğini belirtmiştir.

4.1.1.5. Değişebilir Sodyum Yüzdesi (ESP) Değişimi

Denemede ele alınan farklı inkübasyon süreleri ve kükürt miktarlarında, yıgışımly yıkama suyuna karşı elde edilen ESP değerlerinin değışimleri, Ek Çizelge 6a ve 6b'de verilmiştir. Konulara ilişkin yinelemelerinin ortalama değeri kullanarak, yıgışımly yıkama suyu ile ESP değeri arasındaki ilişkiler kestirilmiş ve ulaşılan sonuçlar ve Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Anılan şekilden görüleceği gibi, her iki inkübasyon süresinde de yıgışımly yıkama suyu miktarları ile ESP değeri arasında %99 güvenle istatistiksel olarak önemli polinomial ilişkilerin olduğu belirlenmiştir. Değinilen ilişkilerin determinasyon katsayıları, R², 0.92 ile 0.98 (30 günlük inkübasyon süresi); ve 0.93 ile 0.99 (60 günlük inkübasyon süresi) arasında değişmiştir (n:12; R²_{C0.05}: 0.574; R²_{C0.01}:0.707; p≤0.01).



Şekil 4.7. Farklı inkübasyon süreleri ve kükürt uygulamalarında yıkama suyu miktarları ile SAR değerleri arasındaki ilişkiler



Şekil 4.8. Farklı inkübasyon sürelerinde kükürt miktarları ile SAR azalışları arasındaki ilişkiler

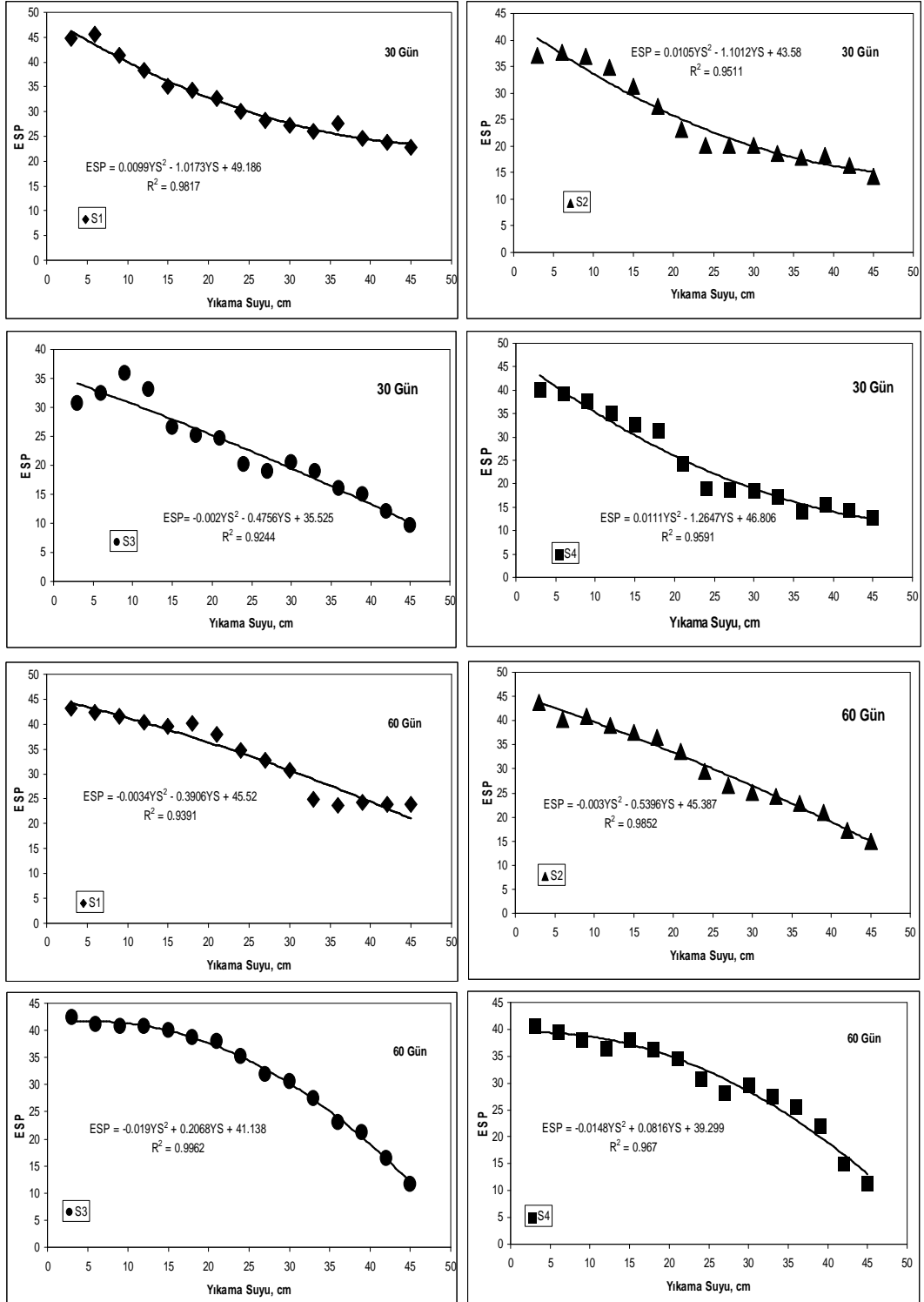
Daha önce değinilen NaX ve SAR değerlerinde olduğu gibi, 45 cm yıkama suyunda, 30 günlük inkübasyon süresinde tüm kükürt dozlarında ölçülen ESP değerleri, S4 dışında, 60 günlük inkübasyon süresinde ölçülenlerden daha küçüktür. Değinilen inkübasyon süresinde S1 dozunda 22.8, S2'de 14.24, S3' de 9.67 ve S4 dozunda ise 12.78 ESP değerlerine ulaşılmıştır. ESP azaltımı, başlangıca göre, %68 (S1) ile %86 (S3) arasında değişmiştir. Buna karşı 60 günlük inkübasyon süresinde ise tüm kükürt dozlarında anılan değerler, 11.4 (S4) ile 23.94 (S1) arasında değişmiş; ESP azalımı, %67 (S1) ile %84 (S3 ve S4) arasında değişmiştir. Kükürt konularına göre, her iki inkübasyon süresinde de, S1 dozunda ESP azalması, en küçük düzeyde gerçekleşmiştir.

Ek Çizelge 6c'de verilen değerler kullanılarak, farklı inkübasyon süreleri ve kükürt uygulamalarının ESP azalışlarına etkileri, istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Yapılan varyans analizi sonuçlarına göre (Çizelge 4.2), kükürt miktarlar, ESP azaltımına, %95 güvenle istatistiksel olarak farklı etki etmiştir (F: 181.27, $p \leq 0.01$). İnkübasyon süreleri ve kükürt miktarları ile inkübasyon süreleri etkileşiminin ESP azaltımına etkileri, istatistiksel olarak, önemsiz bulunmuştur.

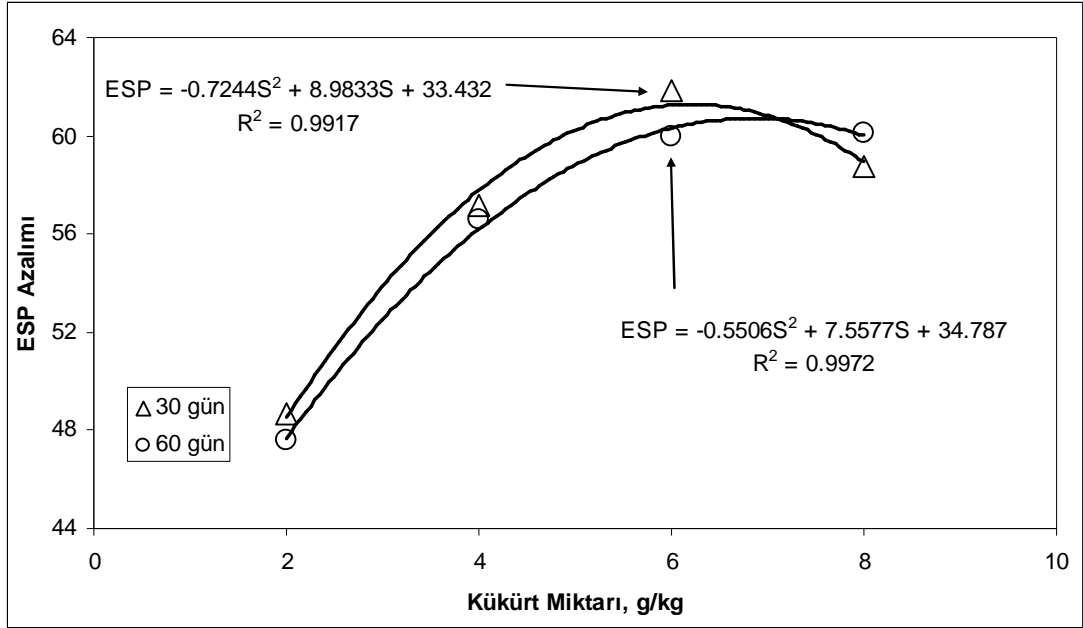
Kükürt miktarlarının ESP azaltımı üzerindeki etkisinin anlaşılması için konu ortalamaları arasındaki farklar, LSD yöntemiyle karşılaştırılmıştır ($S\bar{x}=0.35$; $t_{14, 0.05}$: 2.145; $LSD=1.05$). Yapılan test sonunda, kükürt miktarları, birbirinden farklı 3 istatistiksel grup oluşturmuştur. S3 ve S4 kükürt dozları, birlikte, birinci gruba; S2 ve S1 dozları ise sırasıyla 2. ve 3. gruplara girmişlerdir. Buradan, ESP azaltımında, en etkin kükürt dozu olarak, S3 uygulamasının önerilebileceği, söylenebilir.

Farklı inkübasyon sürelerindeki kükürt dozları ile ESP azalışları arasındaki ilişkiler, Şekil 4.10'da gösterilmiştir. İnkübasyon sürelerinde ESP değerleri ile kükürt miktarları arasında %99 güvenle istatistiksel olarak önemli, ikinci dereceden polinomial ilişkiler olduğu saptanmıştır ($SD:2$, $R^2=0.950_{0.05}$; $R^2=0.990_{0.01}$). Ele alınan inkübasyon sürelerinde, kükürt dozlarına bağlı olarak, ESP düşümleri, S3 uygulamasında tepe değerlere ulaşmıştır. Ulaşılan denklemlerden, ESP düşümü için en uygun kükürt dozunun, 30 günlük inkübasyon süresinde 6.2 g/kg; 60 günlük inkübasyon süresinde ise 6.9 g/kg olduğu hesaplanmıştır.

Sorunlu toprakların iyileştirilmesi konusunda yapılan çalışmalarda, benzer sonuçlar alınmıştır. Makoi ve Verplacke (2010), farklı jips miktarları ve uygulama biçimlerinin, doğal yağış koşullarında, E_{Ce}, SAR ve ESP değerlerini önemli ölçüde iyileştirdiğini rapor etmişlerdir. Chun ve ark. (2001), sıvı gaz desulfürizasyonu ile sorunlu topraklarda, ESP, pH, kil dispersiyonu ve değişebilir sodyumun azaldığını; Abdelhamid ve ark. (2013) kükürt uygulamasıyla ESP değerinin güvenli sınırlara düştüğünü açıklamışlardır. Aynı topraklar üzerinde çalışan Koç (2011), 20 kg/m² jipsin toprak profiline karıştırılması ve yıkanmanın göllendirme yöntemiyle yapılması durumunda, ESP değerinin daha etkin biçimde düşürüldüğünü rapor etmiştir.



Şekil 4.9. Farklı inkübasyon süreleri ve kükürt uygulamalarında yıkama suyu miktarları ile ESP değerleri arasındaki ilişkiler



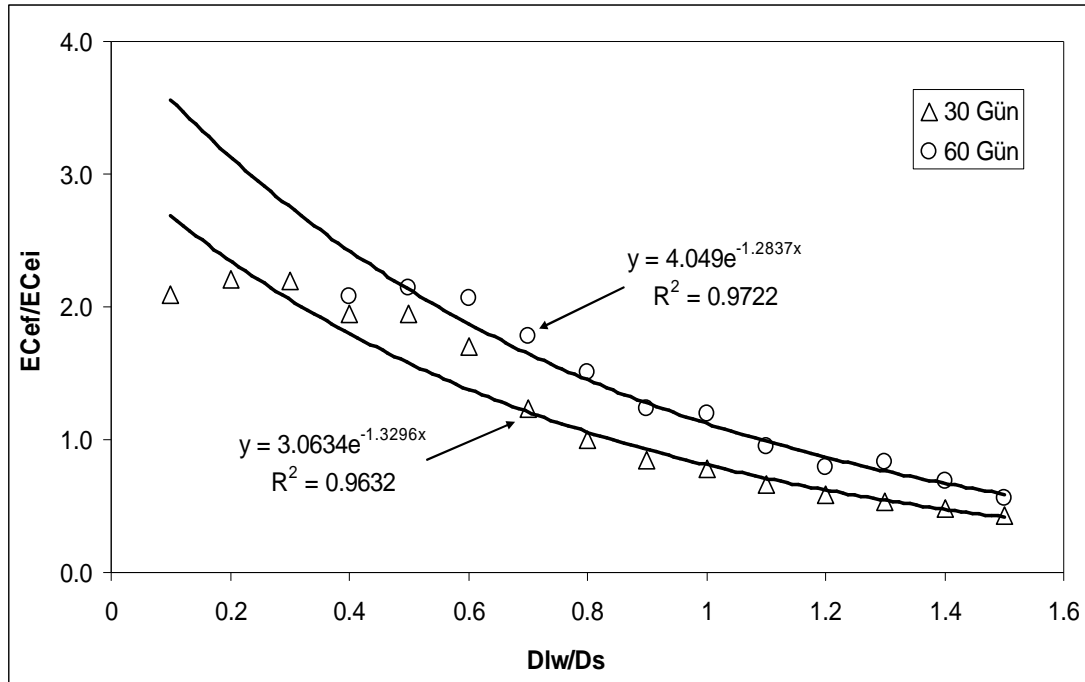
Şekil 4.10. Farklı inkübasyon sürelerinde kükürt miktarları ile ESP azalışları arasındaki ilişkiler

4.2. Sirkenli Serisi Tuzlu-Sodyumlu Toprakların İyileştirme Ölçütlerinin Belirlenmesi

4.2.1. Yıkama Suyu Miktarları

4.2.1.1. İnkübasyon Sürelerinin Etkisi

Deneme konularında farklı inkübasyon sürelerinde uygulanan kükürt miktarlarına ilişkin süzük sularında ölçülen E_{ce} değerlerinin genel ortalamaları, sorunlu toprağın başlangıç tuz değeri ile toprak örneğinin derinliği kullanılarak yıkama denklemleri elde edilmiştir (Reeve ve ark., 1955). Konu edinilen değişkenlerin oranları arasında, istatistiksel olarak %99 güvenle eksponansiyel ilişkilerin olduğu saptanmıştır. 60 günlük inkübasyon süresine ilişkin yıkama denklemi çıkarılırken, ilk üç yıkama uygulaması ile ilgili sonuçlar, tam çözünme oluşmadığından dolayı, kullanılmamıştır. İnkübasyon sürelerine ilişkin yıkama denklemleri, Şekil 4.11'de gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Farklı inkübasyon sürelerine ilişkin tuz yıkama eğrileri

Her iki inkübasyon süresine ilişkin regresyon hatlarının eğimlerinin istatistiksel olarak birbirinden farklılıkları, homojenlik analizi ile test edilmiştir. Test sonuçlarına göre, 30 ve 60 günlük inkübasyon sürelerine ilişkin eğriler arasındaki fark, %99 güvenle önemli bulunmuştur ($t_{h}=3.07$, $SD=23$, $p \leq 0.01$). Eğrilerin eğimleri, istatistiksel olarak farklıdır. Konu edinilen Şekil 4.11'den, 30 günlük inkübasyon süresinin, 60 günlük süreye göre, tuz yıkanmasında daha etkili olduğu ve iyileştirme için daha az yıkama suyuna gereksinim olduğu anlaşılmaktadır. Örneğin, iyileştirilmesi istenen toprak derinliğinin 1.5 katı yıkama suyu uygulandığında, 30 günlük inkübasyon süresinde tuzun %57'si yıkanırken, 60 günlük inkübasyon süresinde %45'i yıkanmıştır. Öte yandan, toprak tuzluluğunu güvenli sayılan 4.0 dS/m değerine düşürmek için gerekli su miktarları, 30 günlük inkübasyon süresinde 46 cm iken 60 günlük inkübasyon süresinde 54 cm dolayındadır.

İnkübasyon süreleri ile ilgili yapılan çalışmalarda, elementel kükürt ve diğer başka iyileştiricilerin uygulanmasının sorunlu toprakların iyileştirilmesi yanında kimi besin elementlerinin yararlılığı üzerine etkileri de incelenmiştir. Değinilen konularda farklı sonuçlar elde edilmiştir. Örneğin, Ara ve ark. (2013), sulfatlı topraklarda demir curufunun uzun süre inkübe edilmesinin, pH ve ECe değerlerini artırdığını rapor

etmişlerdir. Soaud ve ark. (2011), kireçli topraklarda, elementel kükürt ve diğer başka iyileştiricilerin farklı miktarlarda ve $40\pm 2^{\circ}\text{C}$ tutulan farklı inkübasyon sürelerinde uygulanmasının etkilerini araştırdıkları çalışmada, uzun inkübasyon sürelerinin kimi topraklarda ECe değerini artırırken, kimi topraklarda ise azalttığını saptamışlardır. Gülser ve ark. (2010) topraklara tütün atıklarının farklı sürelerde inkübe edildikten sonra uygulanmasının kimi toprak özelliklerine etkilerinin araştırıldığı çalışmalarında, inkübasyon süresi arttıkça ECe değerinin yükseldiğini belirtmişler ve bunun toprak mikroorganizmalarının belkide daha fazla besin maddesine gereksinim duymalarından kaynaklanmış olabileceğine bağlamışlardır. Fosfor elementinin elverişliliği üzerinde çalışan Kaloi ve ark. (2011), inkübasyon süresi ve kil içeriği arttıkça fosforun elverişliliğinin azaldığını açıklamışlardır. Benzer sonuç daha önceleri, Sardi ve ark. (2006) tarafından alınmıştır. Buna karşı, Al-Oud (2011) kükürt miktarı ve inkübasyon süresi arttıkça fosforun yararlılığının da arttığını belirtmiştir. Sunulan çalışmada, uzun inkübasyon süresinin birçok elementin çözünürlüğünü azaltarak, ECe değerlerini yükselttiği ve buna bağlı olarak da iyileştirme için gerekli yıkama suyunu artırdığı anlaşılmıştır.

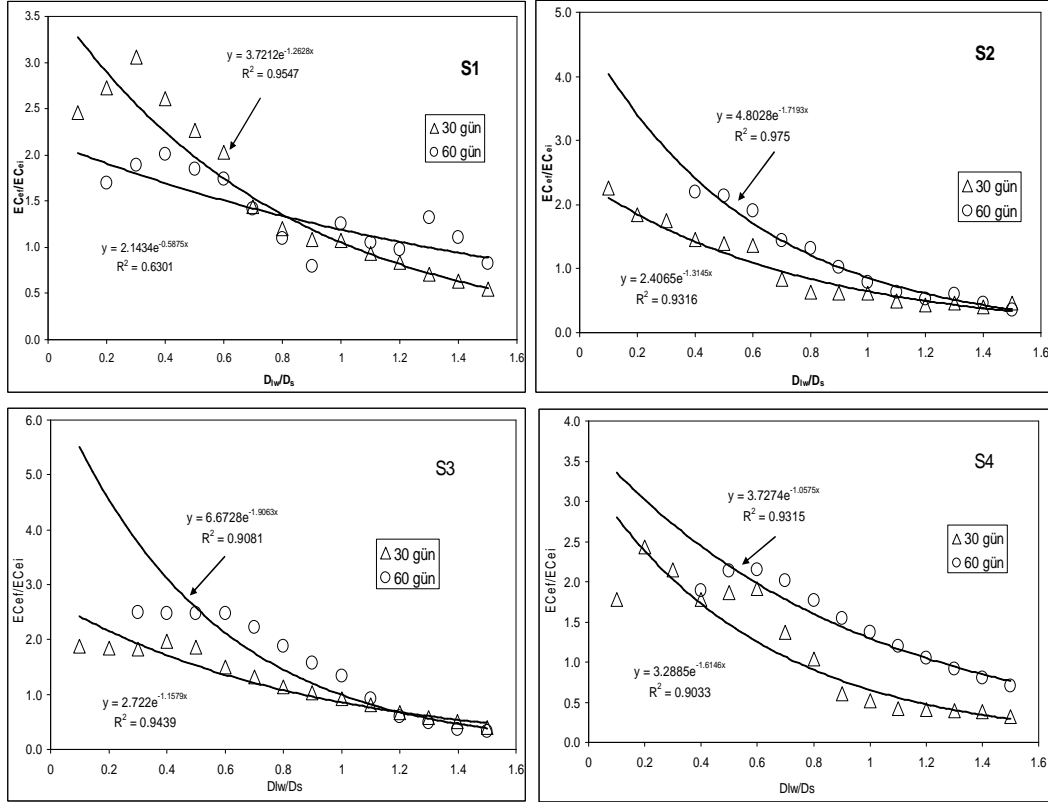
4.2.1.2. Kükürt Miktarlarının Etkisi

Denemede ele alınan kükürt miktarları, inkübasyon sürelerine göre ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Toprak derinliği ile yıkama suyu derinliği arasındaki oran ile başlangıç tuzluluğu ile yıkama sonu ulaşılan tuzluluk arasındaki oran kullanılarak yıkama denklemleri elde edilmiştir (Reeve ve ark., 1955). Ele alınan değişkenler arasında %99 güvenle istatistiksel olarak eksponansiyel ilişkilerin olduğu saptanmıştır. Ulaşılan sonuçlar, toplu olarak, Şekil 4.12’de gösterilmiştir. Farklı inkübasyon sürelerindeki, S1, S2, S3 ve S4 kükürt dozlarında regresyon hatlarının eğimlerinin, istatistiksel olarak, birbirilerinden farklı olup olmadıkları, homojenlik testleri ile denetlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, eğriler arasındaki fark, S1 dozunda ($t_h=12.12$, $SD=23$, $p\leq 0.01$); S2 dozunda ($t_h=10.87$, $SD=23$, $p\leq 0.01$); S3 dozunda ($t_h=32.31$, $SD=23$, $p\leq 0.01$); ve S4 dozunda ($t_h=2.95$, $SD=23$, $p\leq 0.01$) %99

güvenle önemli bulunmuştur. Hatların eğimleri birbirinden, istatistiksel olarak farklı çıkmıştır.

Söz konusu Şekil 4.12'den tuz yıkanmasında, 30 günlük inkübasyon süresinde uygulanan tüm kükürt dozlarının, 60 günlük inkübasyon süresinde uygulanan kükürt dozlarından daha etkin olduğu anlaşılmaktadır. Örneğin, S1 kükürt dozunda, toprak derinliğinin 1.5 katı yıkama suyu uygulandığı zaman, 30 günlük inkübasyonda tuzun %45'i, 60 günlük sürede ise yalnızca %17'si yıkanmıştır. Benzer şekilde, S3 dozunda, sırasıyla %59 ve %67 oranlarında tuz yıkandığı halde, S4 dozunda anılan değerler, inkübasyon sürelerine göre, %68 ile %30 oranlarında gerçekleşmiştir. Toprak tuzluluğunu güvenli düzeylere düşürmek için gereki yıkama suyu miktarları da aynı kükürt dozunda, inkübasyon sürelerine bağlı olarak, farklılıklar göstermiştir. Örneğin, S1 kükürt dozunda 30 günlük inkübasyon süresi için 53 cm yıkama suyu gerekirken; 60 günlük sürede 86 cm yıkama suyuna gerek olduğu kestirilmiştir. S4 dozunda ise anılan değerler, sırasıyla 39 ve 63 cm olarak hesaplanmıştır.

Elementel kükürt uygulamalarının, tuzlu-sodyumlu toprakların iyileştirilmesi konusunda yapılan çalışmalar, Türkiye'de oldukça sınırlıdır. Bahtiyar (1974) tarafından Erzincan Ada çorak topraklarının iyileştirilmesi için yapılan bir çalışmada, toprak kirecini çözücü, pH'yı düşürücü özellikleri olan farklı miktarlarda jips ve elementel kükürt uygulanmıştır. Deneme sonunda, 1 ton/dekar kükürt miktarı ve 258 cm yıkama suyu uygulanması ile tuz ve değişebilir sodyumun güvenilir sınırlara düştüğü açıklanmıştır. Bir başka çalışma ise, Hindistan (1974) tarafından yapılmıştır. Bor-Pınarbaşı çorak topraklarının iyileştirilmesi için jips, elementel kükürt, ve ahır gübresi kullanılmıştır. Toprağın ilk 40 cm derinliğinin iyileştirilmesi için en iyi sonucun jips uygulamasından elde edildiği, bunu kükürtün izlediği; ahır gübresinin değişebilir sodyumun yıkanması için etkili olmadığı belirtilmiştir. Öte yandan, Abdelhamid ve ark. (2013), çorak toprakların iyileştirilmesi için 300 kg/ha kükürt atılmasının ve 188 cm yıkama suyu uygulanmasının yeterli olduğunu açıklamıştır. Aynı konuda çalışan Stamford ve ark. (2002) Thiobacillus bakterisi ile inokule edilmiş 300 kg/ha kükürt uygulamaları ile tuzlu-sodik toprakların iyileştirilebileceğini göstermiştir.



Şekil 4.12. Farklı kükürt miktarlarına ilişkin tuz yıkama eğrileri

Kükürt uygulamaları dışında diğer iyileştiricilerle ilgili olarak yapılan çalışmalardan, Hussain ve ark. (2001) çorak toprakların iyileştirilmesinde ahır gübresi, jips ve sülfürik asit'in eşit miktarlarda karışımlarının en iyi sonucu verdiğini, değinilen iyileştiricilerin eriyebilir CO_3 ve HCO_3 in eşdeğer miktarlarında küçük dozlarda verilmesi gerektiğini yazmıştır. Makoi ve Verplancke (2010) farklı jips miktarı ve uygulama biçimlerinin test edildiği çalışmada, sodik toprakların iyileştirilmesi için doğal yağış koşullarında 1.1 ton/ha jipsin 20 cm derinliğine karıştırılmasını önermişlerdir. Buna karşı, Suhayda ve ark. (1997), tuzlu-sodyumlu toprakların iyileştirilmesi için 14-19 ton/ha jipsin atılması gerektiğini; Rasouli ve ark. (2013), çorak toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin iyileştirilmesi için iri daneli jipsin ve ampirik olarak kestirilen gereksinimin tümünün verilmesinin uygun olduğunu açıklamışlardır. Türkiye'de Kazova sodik topraklarının iyileştirilmesi üzerinde çalışan Çınar (1978), sorunun giderilmesi için 1.65 ton/dekar jips, 162 cm yıkama suyu ve 415 saat yıkama süresine gerek olduğunu rapor etmiştir. Sirkenli

serisi topraklarının iyileştirilmesi üzerinde çalışan Koç (2011), 20 ton/dekar jipsin toprak profiline karıştırılması ve yıkamanın damla yöntemiyle yapılması durumunda değinilen toprakların güvenle iyileştirilebileceğini açıklamıştır.

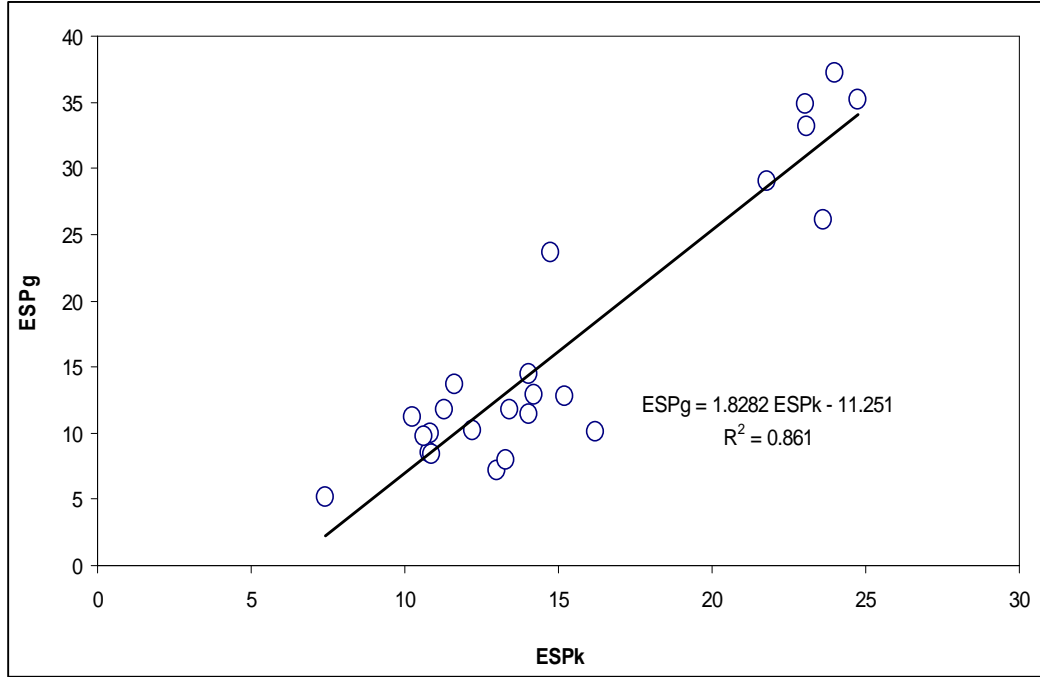
4.2.2. Gerçek ve Kuramsal ESP İlişkisi

Süzük sularının kimyasal analizlerinden hesaplanan SAR değerleri ile süzüğün elde edildiği toprağın değişebilir sodyum yüzdesi (ESP) değerleri arasındaki ilişkiler irdelenmiştir. Bu amaçla, son yıkamadan elde edilen süzük sularının SAR değerlerinden Eşitlik 3.9 kullanılarak kestirilen kuramsal değişebilir sodyum yüzdesi (ESPk) değerleri ile toprak kolonlarından alınan toprak örneklerinde elde edilen gerçek (deneysel) değişebilir sodyum yüzdesi (ESPg) değerleri (24 toprak örneği) arasındaki ilişkiler, istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen doğrusal eşitlik Şekil 4.13'te gösterilmiştir.

Şekil 4.13'den görüldüğü gibi, gerçek ve kuramsal ESP değerleri arasında, istatistiksel olarak, %99 güvenle oldukça yakın ilişkiler bulunmaktadır ($R^2=0.861$; $p \leq 0.001$). Gerçek ESP ile kuramsal ESP değerleri arasındaki bağıntı, SAR bağlantılı ESP eşitliği ile birleştirilerek, aşağıda verilen doğrusal eşitlik elde edilmiştir

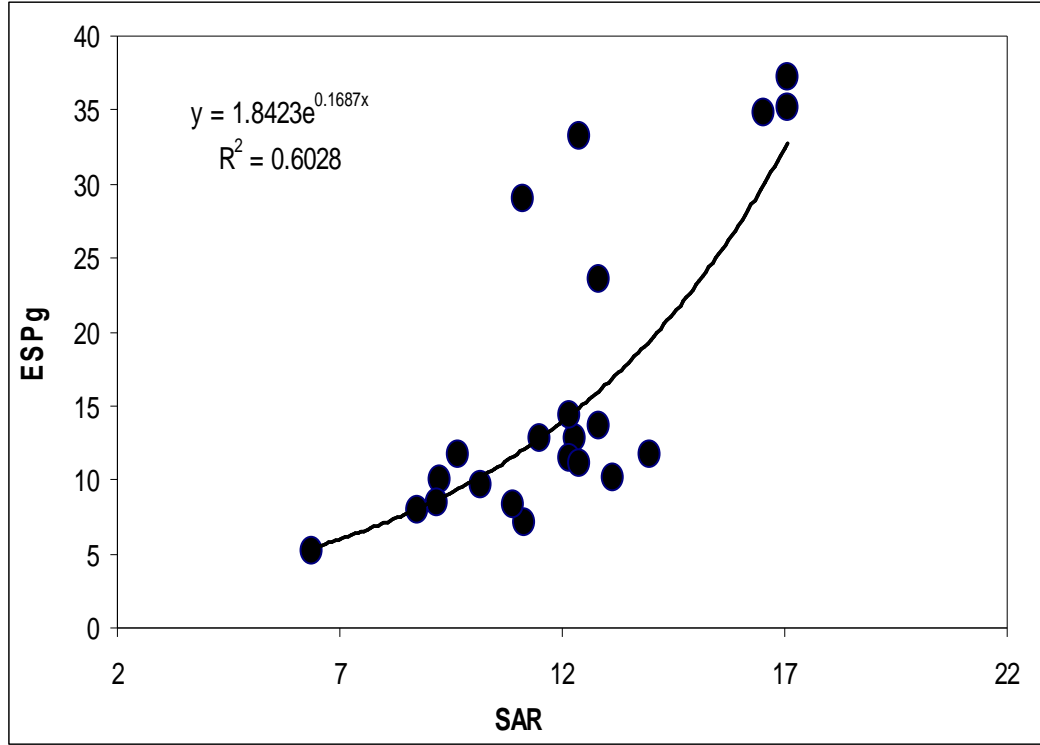
$$ESPg = \frac{182.82(-0.0126 + 0.0145 SAR)}{1 + (-0.0126 + 0.0145 SAR)} - 11.25 \quad (4.1)$$

Öte yandan, deneme onunda toprak analizlerinden elde edilen gerçek ESP değerleri ile süzük SAR değerleri arasında, istatistiksel olarak önemli ($SD=20$, $R^2=0.6028$; $p \leq 0.01$), logaritmik bir ilişkinin olduğu saptanmıştır (Şekil 4.14). Ancak, değinilen regresyon denkleminin belirleme katsayısı küçüktür. Bunun örnek sayısının azlığından kaynakladığı söylenebilir.



Şekil 4.13. Gerçek ve kuramsal ESP değerleri arasındaki ilişki

Farklı yıkama yöntemleri, jips miktarları ve uygulama biçimlerinin Sirkenli serisi tuzlu-sodyumlu topraklarının iyileştirilmesine etkileri konusunda çalışan Koç (2011), benzer sonuçlara ulaşmıştır. Araştırmacı, gerçek ve kuramsal ESP değerleri arasında oldukça yakın, doğrusal ilişkilerin bulunduğunu açıklamıştır ($ESP_g = 1.454ESP_k - 16.93$, $R^2 = 0.814$). Her iki denklem, gerek eğimleri, gerekse kesişim noktaları ve belirleme katsayıları yönünden, birbirlerine oldukça benzerdir. Buradan, ESP'nin SAR aracılığı ile kestiriminde kullanılan temel eşitliğin, güvenle kullanılabilceği söylenebilir. Ancak, değinilen ilişkinin, gerçek ESP'nin 0-40 değerleri arasında değiştiği koşullar için geçerli olduğunu, bir kısıt olarak açıklayan Richards (1954), savı, gerek sunulan çalışmadan elde edilen gerekse Koç (2011) tarafından verilen sonuçlarla doğrulanmaktadır. Açıklanan konuda, çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bunlardan, Chun-Ming ve ark. (2011), çamur süzümü SAR_e ve 1:5 oranında sulandırılmış çamur süzümü $SAR_{1:5}$ değerlerinin ESP ile ilişkilerini araştırmışlardır. Çalışma sonunda, heriki SAR değerleri ile ESP arasında, $ESP = 10.72 \ln(SAR_e) - 15.36$ ve $ESP = 11.44 \ln(SAR_{1:5}) + 5.48$ regresyon eşitlikleri ile gösterilen, istatistiksel olarak önemli ($R^2 = 0.76$; $p \leq 0.001$) logaritmik ilişkilerin olduğunu saptamışlardır.



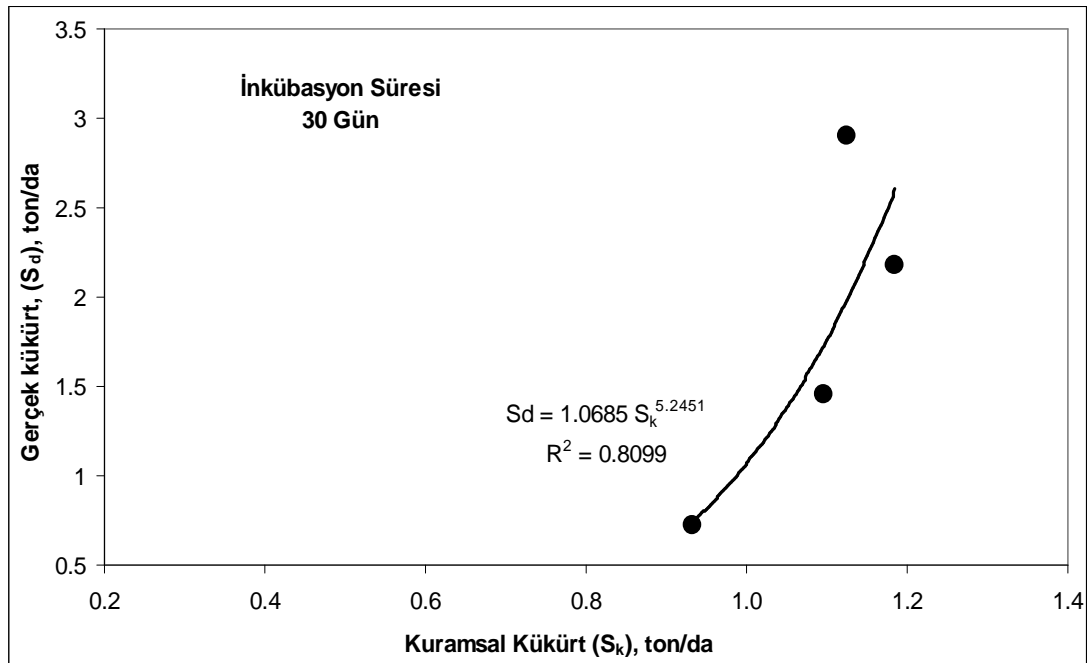
Şekil 4.14. Süzük SAR değerleri ile gerçek ESP değerleri arasındaki ilişki

Bir başka çalışmada, Seilsepour ve ark. (2009), ESP değerleri ile SAR değerleri arasında $ESP=1.95+1.03SAR$ ile gösterilen istatistiksel olarak önemli ($R^2=0.92$, $p\leq 0.001$) doğrusal bir ilişkinin olduğunu rapor etmişlerdir. Bir başka çalışma ise Harron ve ark. (1983) tarafından Kanada'nın solonetz topraklarında yapılmıştır. Arştırmadada, iki farklı toprak horizonunda SAR değerleri ile değişebilir sodyum oranı (ESR) arasındaki ilişkiler irdelenmiştir. Araştırmacılar, ESR ile SAR arasında, birinci horizon için $ESR=0.0076+0.0058SAR$ ve ikinci horizon için $ESR=-0.0180+0.0173SAR$ ile gösterilen istatistiksel olarak önemli ($R^2=0.904$, $p\leq 0.001$) doğrusal ilişkilerin olduğunu; göstermişlerdir. Gerek sunulan, gerekse sonuçları özetlenerek verilen diğer çalışmalardan elde edilen bulguların ışığında, ESP ile SAR arasında birbirlerini tanımlayan çok yakın ve farklı matematisel yapılarda ilişkilerin olduğu, anlaşılmaktadır. Buradan, pratik amaçlar için ESP değerlerinin, zaman alıcı, zor ve pahalı laboratuvar yöntemleri yerine konu edinilen eşitliklerden elde edilebileceği, söylenebilir.

4.2.3. Gerçek ve Kuramsal Kükürt Gereksinimleri İlişkisi

Kovda Eşitliği'nin deneysel koşullarda kalibre edilmesi için gerçek kükürt miktarları ile kuramsal kükürt miktarları arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Bu amaçla gerçek kükürt miktarları ile Kovda Eşitliği (Eşitlik 3.1) kullanılarak kestirilen kuramsal kükürt miktarları kullanılmıştır. Her iki değişken arasında, üstel bir fonksiyonla gösterilen ilişkilerin olduğu saptanmıştır (Şekil 4.15). Kuramsal değerlerin eldesinde, 30 günlük inkübasyon süresinde ele alınan kükürt konularında düşürülen ESP değerleri kullanılmıştır.

İki değişken arasındaki ilişkinin belirleme (R^2) katsayısı yüksek olmakla birlikte, kullanılan nokta sayısının yetersiz oluşu, istatistiksel olarak önem düzeyini düşürmüştür. Şekil 4.15'de verilen eşitlik kullanılarak, arazi koşullarında, 5.6 g/kg (2.03 ton/da) dolayında kükürt uygulanması ile Sirkenli Serisi tuzlu-alkali topraklarının, ESP değerini yaklaşık 10-15 dolaylarına düşürerek, iyileştirilebileceği söylenebilir.

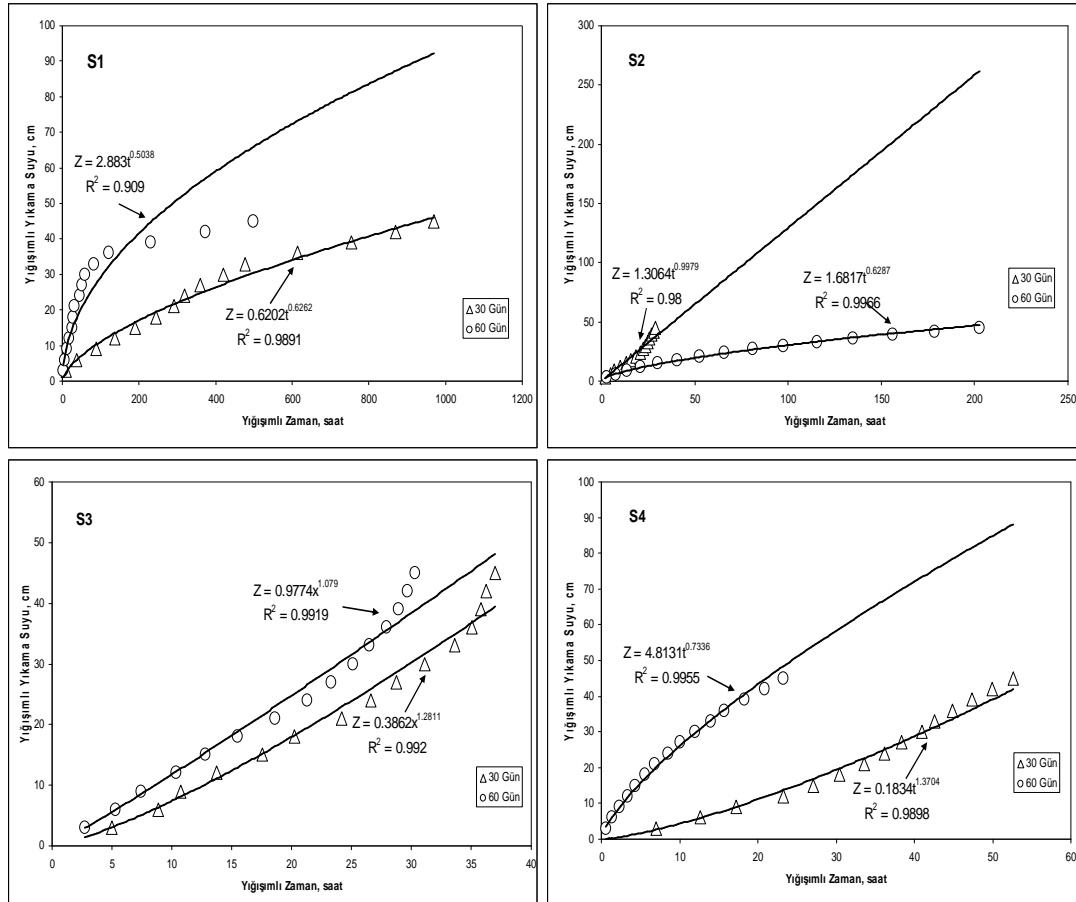


Şekil 4.15. Gerçek ve kuramsal kükürt miktarları arasındaki ilişki

4.2.4. İyileştirme için Gerekli Yıkama Süresi

4.2.4.1. Kükürt Miktarlarının Etkisi

Çalışmada konulara uygulanan birim yıkama suyu derinlikleri (cm) ile suların toprak yüzeyinde kalma süreleri (saat) kullanılarak, yıkama için gerekli sürelerini veren eşitlikler kestirilmiştir (Şekil 4.16). Ele alınan inkübasyon sürelerinde kükürt miktarlarına ilişkin infiltrasyon değerleri arasında çok önemli düzeyde varyasyon bulunmaktadır. O nedenle farklı inkübasyon süreleri için infiltrasyon eşitlikleri saptanamamıştır (Ek Çizelge 7a ve 7b). Çalışmada, yalnızca, her bir inkübasyon süresinde farklı kükürt miktarlarına ilişkin infiltrasyon eşitlikleri geliştirilmiştir (Şekil 4.16).

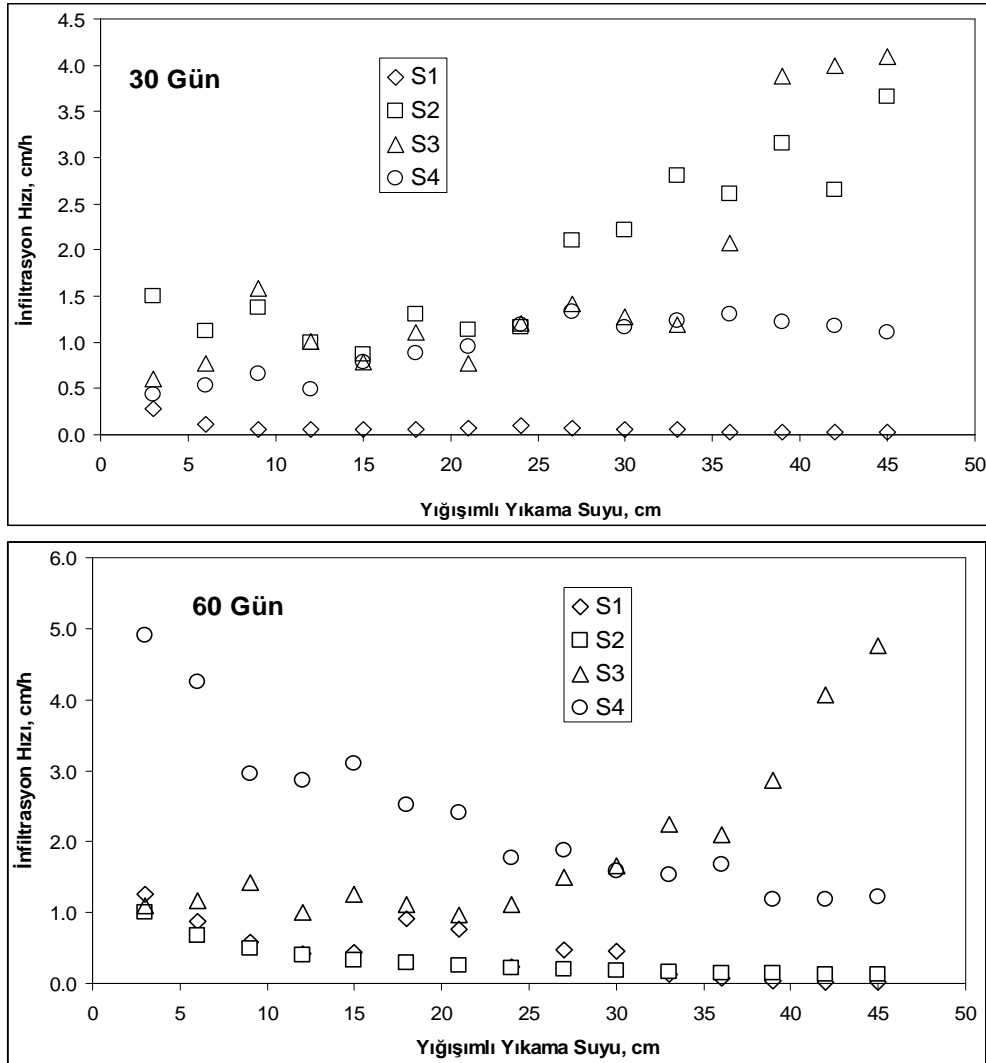


Şekil 4.16. Farklı inkübasyon sürelerinde kükürt dozlarına ilişkin yığışlı infiltrasyon (su alma derinliği) eğrileri

Şekil 4.16'da görüldüğü gibi, 60 günlük inkübasyon süresinde tüm kükürt dozlarında, 30 günlük inkübasyon süresindeki S2 kükürt dozu dışında, infiltrasyon hızı daha yüksek bulunmuştur. Değinilen uygulamalarda yıkama suyu, toprak kolonundan daha hızlı geçtiğinden, yıkama kısa sürede gerçekleşmiştir. Toplam yıkama suyunun (45 cm) toprak kolonundan geçmesi için gerekli yığışımli zaman, kükürt uygulamalarına göre, 970 saat (30 gün S1) ile 23 saat (60 gün S4) arasında değişmiştir. Değinilen durumun bir sonucu olarak, ortalama infiltrasyon hızı, 30 günlük inkübasyon süresindeki S1 dozunda 0.046 cm/h ile en düşük, 60 günlük inkübasyon süresinde S4 kükürt dozunda ise 1.96 cm/h ile en yüksek değerler arasında değişmiştir. Deneme konularının tümünde, yığışımli yıkama suyu ile infiltrasyon süreleri arasında, 0.99 güvenle istatistiksel olarak önemli, üstel bir ilişki olduğu saptanmıştır. Bu durumda, toprak içerisine giren su miktarı, tüm konularda, zamanın bir fonksiyonu olarak, önce artmış, daha sonra, yaklaşık sabit bir değere ulaşarak kalmıştır.

Yıkama sürecinde birim yıkama suyuna ilişkin infiltrasyon hızlarının değişim tavrı, konulara göre, farklılıklar göstermiştir. Şekil 4.17'de 30 günlük inkübasyon süresinde S2 ve S3 kükürt dozlarında infiltrasyon hızları, yıkanmanın başında yavaş, yıkanmanın sonunda ise 3.66 cm/h (S2) ve 4.09 cm/h (S3) ile tepe değerlere ulaşmıştır. Değinilen kükürt dozlarında infiltrasyon hızları, S2 de başlangıca göre 2, S3 te ise 6 kat artmıştır. Bu durum, konu edinilen kükürt dozlarında, iyileşme ile birlikte infiltrasyonun hızlandığını, yıkama suyunun toprağa daha hızlı girdiğini göstermektedir. Diğer S1 ve S4 kükürt dozlarında ise infiltrasyon hızlarının, yıkanma süresince fazla değişmediği, çok küçük düzeylerde kaldığı; özellikle S1 dozunda infiltrasyonun çok küçük olduğu saptanmıştır. Buradan, S1 ve S4 dozlarının iyileştirme için fazla etkili olmadığı söylenebilir. 60 günlük inkübasyon süresindeki kükürt dozlarında, birim yıkama suyuna ilişkin infiltrasyonların değişim tavrı, 30 günlük inkübasyon süresindeki aynı kükürt dozlarında gözlenenlerden çok farklıdır. Anılan inkübasyon süresindeki S1 ve S2 kükürt dozlarında çok küçük infiltrasyon hızları elde edilmiştir. Anılan dozlarda yıkanmanın sonunda, sırasıyla 0.02 ile 0.13 cm/h düzeyinde çok küçük hızlara ulaşılmıştır. S3 kükürt dozunda, infiltrasyon hızı, iyileşme ile birlikte, giderek artmış ve 4.76 cm/h değerine ulaşmıştır. Başlangıca

göre infiltrasyon hızı 3 kat artmıştır. S4 kükürt dozu, ilginç olarak, normal, sorunsuz toprak tavrı göstermiştir. Başlangıçta yüksek olan infiltrasyon hızı, yıkanmanın sonuna doğru azalmıştır. Bu durumun, Kanber ve Ünlü (2010) tarafından açıklandığı gibi, tuz yıkanmasının, yapı dayanıklılığını azaltmasının bir sonucu olarak ortaya çıktığı söylenebilir.



Şekil 4.17. Yıkama sürecinde birim yıkama suyuna karşı infiltrasyon hızlarının değişimi

Deneme konularına ilişkin yıkama süresi ile ilgili eşitlikler, yıkama suyu miktarları ve yıkama süreleri Çizelge 4.3’de verilmiştir. Toplam yıkama süresi, yıkama suyunun, yıkama süresi eşitliğinde kullanılması ile elde edilen değere,

yıkamalar arasında bırakılan süreler eklenerek kestirilmiştir (Kanber ve Ünlü, 2010). Yıkamalar arasında bırakılan toplam süre, 720 saat olarak hesaplanmıştır. Her iki inkübasyon süresindeki S1 dozlarında, diğer kükürt dozlarına göre, oldukça uzun yıkanma süreleri elde edilmiştir. Anılan süreler, 30 günlük inkübasyon süresinde 1937 saat ve 60 günlük inkübasyon süresinde ise 1560 saat olarak saptanmıştır. En kısa süre ise 751 saat ile yine 30 günlük inkübasyon süresinde S2 dozunda ve 753 saat ile 60 günlük inkübasyon süresinde S4 dozunda elde edilmiştir. Benzer bir çalışma, Koç (2011) tarafından aynı topraklarda yapılmış ve farklı yıkama yöntemi, alçı miktarı ve uygulama biçimleri test edilmiştir. Çalışma sonunda, ele alınan etmenlere bağlı olarak, 80 cm derinliğindeki toprağın iyileştirilmesi için 5000-9000 saat arasında değişen yıkama sürelerine gerek olduğu saptanmıştır. Her iki deneme sonuçları arasındaki farkın, iyileştirilmek istenen toprak derinliklerinin ve iyileştirme için kullanılan kimyasalların farklı olmasından kaynaklandığı düşünülebilir.

Öte yandan, Kazova Sodik toprakları üzerinde çalışan Çınar (1978), 60 cm derinliğindeki toprağın jips uygulanması yoluyla iyileştirilmesi için 415 saat yıkama süresinin gerektiğini hesaplamıştır. Özetlenen sonuçlar arasında saptanan farklılıkların, iyileştirmede dikkate alınan toprak derinliği, toprakların kimyasal bileşimi ve yıkamada kullanılan sulama yönteminden kaynaklandığı düşünülebilir.

Çizelge 4.3. Deneme Konularında Yıkama Süresi Denklemleri, Yıkama Suyu Miktarları ve Yıkama Süreleri

İnkübasyon Süreleri	Kükürt Miktarları	Yıkama Süresi Denklemleri	Toplam Yıkama Suyu, cm	Toplam Yıkama Süresi, saat
30 Gün	S1	$T=2.146 (YS)^{1.597}$	53	1937
	S2	$T=0.765 (YS)^{1.002}$	41	751
	S3	$T=2.102 (YS)^{0.781}$	50	765
	S4	$T=3.45 (YS)^{0.730}$	39	770
60 Gün	S1	$T=0.122 (YS)^{1.984}$	86	1560
	S2	$T=0.438 (YS)^{1.589}$	57	990
	S3	$T=1.022 (YS)^{0.927}$	44	754
	S4	$T=0.117 (YS)^{1.362}$	63	753

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, farklı inkübasyon süreleri ile kükürt miktarlarının, Sirkenli Serisi tuzlu-sodyumlu topraklarının iyileştirilmesinde kullanım olanakları araştırılmıştır. Bu amaçla ele alınan değişkenlerin, toprakların ECe, pH, SAR, NaX ve ESP değerleri üzerine etkileri incelenmiştir. Araştırma laboratuvar koşullarında toprak tanklarında yapılmıştır. Denemede kullanılan toprak örnekleri, inkübatörde 28 °C ve % 50 su tutma kapasitesinde, 30 gün ve 60 gün sürelerle bekletilmiştir. Kükürt konuları, 2, 4, 6, ve 8 g/kg olarak düzenlenmiştir. Yıkama suları, deneme konularına, 3 cm'lik porsiyonlar halinde uygulanmış, 48 saat sonra yinelenmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, aşağıda özetlenerek verilmiştir:

Denemede ele alınan kükürt miktarlarının, inkübasyon sürelerine bağlı olarak, tuz yıkanmasına farklı biçimde etki ettiği belirlenmiştir. LSD testi sonuçlarına göre, istatistiksel olarak %99 güvenle, 30 günlük inkübasyon süresinde 8 g/kg (S4) kükürt uygulanmasının, 60 günlük inkübasyon süresinde ise 4 g/kg kükürt (S2) dozlarının daha etkin olduğu saptanmıştır.

Deneme konularının pH düşümüne etkileri, inkübasyon sürelerine göre değişmiştir. En fazla pH düşümü, istatistiksel olmamakla birlikte, 30 günlük inkübasyon süresinde elde edilmiştir. 60 günlük inkübasyon süresindeki tüm kükürt düzeylerinde ortalama pH değerlerinin, 30 günlük inkübasyon süresindeki ortalama değerden yaklaşık %13 daha büyük olduğu belirlenmiştir. Yapılan varyans analizinde yalnızca inkübasyon sürelerinin, %99 güvenle birbirinden farklı olduğu ve 30 günlük inkübasyon süresinin pH düşümüne etkisinin, 0.05 düzeyinde daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Değişebilir sodyum miktarının (NaX) azaltılmasında, kükürt miktarlarının istatistiksel olarak, %95 güvenle daha etkin oldukları saptanmıştır. Özellikle 6 g/kg (S3) ve 8 g/kg (S4) kükürt dozları birlikte birinci istatistiksel grubu oluşturmuştur. NaX değerinin düşürülmesinde 30 günlük inkübasyon süresinde 6.2 g/kg kükürt kullanılabileceği belirlenmiştir. Anılan değer, arazi ölçeğinde 20 cm derinliğindeki toprak katmanı için, dekara 1.5 ton kükürte eşdeğerdir. Ayrıca, belirtilen miktarda

kükürt uygulaması ile yapılan iyileştirme için toplam yıkama suyu miktarının 50 cm ve toplam yıkama süresinin ise yaklaşık 765 saat olduğu saptanmıştır.

Kükürt miktarları, SAR azaltımını, %95 güvenle farklı etkilemişlerdir. Uygulanan 6 g/kg (S3) ve 8 g/kg (S4) kükürt dozlarının, birlikte, SAR azaltımında en etkin uygulamalar olduğu anlaşılmıştır. Kükürt miktarları ile SAR değerleri arasındaki ilişkilerden, 30 günlük inkübasyon süresi için en uygun kükürt dozunun, 6.3 g/kg; 60 günlük inkübasyon süresi için ise 6.4 g/kg olduğu belirlenmiştir.

NaX ve SAR değerlerinde olduğu gibi, kükürt miktarlarının, ESP azaltımındaki etkileri, istatistiksel olarak %95 güvenle birbirinden farklı bulunmuştur. Yapılan test sonunda, 6 g/kg (S3) ve 8 g/kg (S4) kükürt düzeyleri, birinci gruba girmişlerdir. Buradan, ESP düşümü için en uygun kükürt dozunun, 30 günlük inkübasyon süresinde 6.2 g/kg olduğu hesaplanmıştır.

Tuzların yıkanmasında, 30 günlük inkübasyon süresinin, 60 günlük süreye göre, daha etkili ve iyileştirme için daha az yıkama suyuna gereksinim olduğu anlaşılmıştır. 45 cm'lik yıkama suyu uygulandığında, 30 günlük inkübasyon süresinde tuzun %57'si yıkanırken, 60 günlük inkübasyon süresinde %45'i yıkanmıştır. Uzun inkübasyon sürelerinin bir çok elementin yarayışlılığını azaltarak, toprak kolloidlerine bağladığı, bu nedenle tuz yıkanmasında fazla etkili olmadığı belirlenmiştir. Öte yandan, toprak tuzluluğunu güvenli düzeylere düşürmek için gerekli yıkama suyu miktarları, aynı kükürt dozunda, inkübasyon sürelerine bağlı olarak, farklılıklar göstermiştir. Bu bağlamda, S1 kükürt düzeyinde 30 günlük inkübasyon süresi için 53 cm yıkama suyu gerekirken; 60 günlük sürede 86 cm yıkama suyuna gerek olduğu kestirilmiştir. S4 dozunda ise anılan değerler, sırasıyla 39 ve 63 cm olarak belirlenmiştir.

Deneme konularında, kükürt düzeylerinin yıkama sürelerine etkileri incelendiğinde farklı inkübasyon sürelerinde yaklaşık birbirine benzer sonuçlar elde edilmiştir. S3 ve S4 kükürt düzeylerinde, 30 günlük inkübasyon süresinde, yıkama süreleri, yaklaşık 765 ve 770 saat iken, aynı kükürt dozlarında 60 günlük inkübasyon süresinde 754 ve 753 saat yıkama süreleri hesaplanmıştır. Genellikle, kükürt miktarındaki artışa bağlı olarak, daha kısa zamanda iyileştirme sağlandığı ve daha az yıkama suyuna gereksinim duyulduğu saptanmıştır.

Araştırma sonuçlarına göre, kükürt uygulanmasıyla sorunlu toprakların iyileştirilmesi konusu, gerek Türkiye’de gerekse Çukurova yöresinde fazla uygulanma alanı bulmuş bir yaklaşım değildir. Değınilen yaklaşımın uygulanmasında kullanılan teknik ayrıntılar, örneğın, kükürt uygulama zamanı, miktarı, karıştırma derinliğı ve sülfat oluşumu ile ilgili aşamaların açığa çıkarılması konularında ayrıntılı araştırmalar yapılmalıdır.

Kükürtün toprağı karıştırıldıktan sonra, uygun inkübasyon süresinin saptanması için laboratuvar ve tarla denemeleri ele alınmalıdır. Kükürtün toprağı karıştırılması ile ilgili çalışmalar yapılmalı; bu amaçla yeni teknoloji ve ekipmanlar geliştirilmelidir.

KAYNAKLAR

- ABDELHAMID, M., ELDARDIRY, E., ABD EL-HADY, M., 2013. Ameliorate salinity effect through sulphur application and its effect on some soil and plant charecters under different water quantities. *Agric. Sci.*, 4(1):39-47.
- ADRIANO, D.C., PAGE, A.L., ELSEEWI, A.A., CHANG, A., STRAUGHAN, I.A., 1980. Utilization and disposal of fly ash and other coal residues in terrestrial ecosystem: a review. *J. Environ. Qual.* 9, 333–344.
- AĞCA, N., 1985. Seyhan-Berdan Ovası topraklarının oluşu, önemli fiziksel kimyasal özellikleri ve sınıflandırılması. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Anabilimdalı, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 58-62.
- AKBAY, Ş., YILDIRIM, B., 1976. Alpu Ovası'nda tuz, sodyum ve borun etkilemiş olduğu toprakların ıslahı için gerekli yıkama suyu, jips miktarı ve ıslah süresi. Bölge TOPRAKSU Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları. Genel Yayın No:131, Rapor Seri No:90, Eskişehir.
- AL-OUUD, S.S., 2011. Improving phosphorus avability from phosphate rock in calcareous soils by amending with organic acid, sulfur, and/or organic manure. *Ozean Journal of Applied Sciences*, 4(3): 227-235.
- ANAPALI, Ö., 1991. Iğdır Ovası tuzlu sodyumlu ve borlu topraklarının kademeli jips uygulaması ve yıkama ile ıslahı. Köy Hizmetleri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları. Genel Yayın No: 31, Rapor Seri No: 28, Erzurum.
- ANJOS, A.R.M., MATTIAZZO, M.E., 1998. Evaluation of the leaching of magnesium, calcium and potassium in soils treated with sewage sludge. XV International Congress of Soils Science, Scientific Presentation No. 2214, Symposium No. 40, Montpellier, France.
- ANONİM, 2000. <http://www.fao.org/docrep/x5871e/x5871e00.htm>.
- ANONİM, 2010. <http://www.khgm.gov.tr/kutuphane/trcoraklik/9.htm>.
- ANONİM, 2013. <http://mikrotekkimya.com.tr/elit-elementel-toz-kukurt.asp>.
- ANONİM, 2015. Uydu görüntüsü, Google Earth.

- ARA, M.F., KHAN, H.R., NESSA, A., PARVEEN, Z., 2013. Assessment of long-term effects of basic slag in reclaiming acid sulfate soil. *Bangladesh J. Sci. Res.* 26(1-2):1-9.
- AYERS, R.S., 1977. Quality of water for irrigation. *Journal of Irrigation and Drainage Divisions, ASCE* 103:135-154.
- AYERS, R.S., WESCOT, D.W., 1985. Water quality for agriculture. *Irr. and Drain. paper. FAO, United Nation, 29. Rev.1. Rome, 173 s.*
- BAHÇECİ, İ., 1984. Aksaray Ovası tuzlu, sodyumlu, bor'lu topraklarının ıslahı için gerekli yıkama suyu ve ıslah maddesi miktarı ile ıslah süresi. T.C. Tarım Orman ve Köy İşleri Bakanlığı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Konya Bölge Toprak Su Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, Genel Yayın No: 97, Rapor Seri No: 79, Konya, 45 s.
- BAHÇECİ, İ., 2009. Determination of salt leaching and gypsum requirements with field tests of saline-sodic soils in central Turkey. *Irrigation and Drainage*, 58: 332-345.
- BAHTIYAR, M., 1974. Erzincan ada çorak topraklarında ıslahın toprak özelliklerine etkisi, ıslah sonrası kültür bitkilerinin yetiştirilmesi, ve drenaj ihtiyaçlarının tesbiti üzerine araştırmalar. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, Cilt 5, Sayı 1, Erzurum, 1-20 s.
- BAUDER, J.W., BROCK, T.A., 2001. Irrigation water quality, soil amendment and crop effects on sodium leaching. *Arid Land Research and Management*. 15:101-113.
- BELYAEVA, O.N., HAYNES, R.J., 2012. Comparison of the effects of conventional organic amendments and biochar on the chemical, physical and microbial properties of coal fly ash as a plant growth medium. *Environ. Earth Sci.* 66, 1987–1997.
- BEYCE, Ö., 1974. Experiences in the reclamation of saline and alkali soils and irrigation water qualities in Turkey, *FAO Irrigation and Drainage Paper*, Rome.

- BOWER, C. A., FINEMAN, M., 1957. Saline and alkali soils. U.S. Dep. of Agric. Book of Agriculture. 2819: 282-290.
- BRESLER, E., CHARTER, D. L., 1982. Saline and sodic soils. Springer Verlag. Principles-Dynamics-Modelling. Berlin Heidelberg, New York. 227s.
- BRESSLER, E., HOFFMAN, G.J., 1986. Irrigation management for soil salinity control: Theories and tests. Soil Sci. Soc. Amer. J. 50: 1552-1560.
- CHUN, S., NISHIYAMA, M., MATSUMOTO, S., 2001. Sodic soils reclaimed with by-product from flue gas desulfurization: Corn production and soil quality. Environmental Pollution, 114:453-459.
- CHUN-MING, C., CHANG-WEI, Z., XIAO-JING, S., ZHI-CHUN, W., 2011. Estimating exchangeable sodium percentage from sodium adsorption ratio of salt-affected soil in the Songnen Plain of Northeast China. Pedosphere, 21(2):271-276.
- ÇINAR, A.İ., 1978. Kazova Sodik topraklarının ıslahı için verilmesi gerekli jips ve yıkama suyu miktarlarıyla yıkama süresinin saptanması. Köyişleri ve Kooperatifler Bakanlığı, TOPRAKSU Genel Müdürlüğü, Bölge TOPRAKSU Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, Genel Yay. No. 18, Rapor yay. No. 11, Tokat, 54 s.
- DAY, P.R., 1965. Particle fractional and particle size analysis Part I. Am.Soc. Agr. 9:562-564.
- DE PASCALE, S., BARBIERI, G., 1997. Effects of soil salinity and top removal on growth and yield of broad bean as a green vegetable. Scientia Hort 71(3-4): 147-165
- DEMİR, N., ANTEPLİ, S., 2004. Aşağı Seyhan Ovası sulaması taban suyu ve tuzluluk problemleri değerlendirme çalışması. Sulanan Alanlarda Tuzluluk Yönetimi Sempozyumu. 20-21 Mayıs, Ankara.
- DORSAN, F., 1988. Gediz Havzasının tuzlu, tuzlu-alkali topraklarının ıslahı ve tarımsal üretim gücünün yükseltilmesi için alınması gereken kültürteknik önlemler üzerinde bir araştırma. Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Kültürteknik Bölümü, Doktora Tezi, Bornova, İzmir.

- DUBEY, S.K., MONDAL, R.C., 1993. Sodic soil reclamation with saline water in conjunction with organic and inorganic amendments. *Arid Soil Res. Reha.*, 7: 219-231.
- EKMEKÇİ, E., APAN, M., KARA, T. 2005. Tuzluluğun bitki gelişimine etkisi. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20(3):118-125.
- ERGENE, A., 1982. Toprak bilgisi. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No:267, Ders Kitapları Serisi No:42, Erzurum.
- ESİN, F., 2007. Bazı çilek çeşitlerinde NaCl uygulamasının bitki gelişimi ve iyon içeriği üzerine etkisi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Van, 31 s.
- FAO., 2000. Crops and drops. Making the best use of water for agriculture: Production and food Security. Agrifor. U.K.
- FENG, G. L. A. MEİRİ, J. LETEY, 2003. Evaluation a model for irrigation management under saline conditions: II. Salt distribution and rooting pattern effects. *Soil Science Soc. Am. Jour.*, 67: 77-80.
- FLOWERS, T.J., GARCÍA, A., KOYAMA, M., YEO, A.R., 1997. Breeding for salt tolerance in crop plants.the role of molecular biology. *Acta Physiol. Plant.* 19(4): 427-433.
- GHOLLARATA, M., FAYEZ, R., 2007. The adverse effects of soil salinization on the growth of *Trifolium alexandrinum* L. and associated microbial and biochemical properties in a soil from Iran, *Soil Biology and Biochemistry*, 39(7): 1699-1702.
- GIANFREDA, L., BOLLAG, J.M., 1996. Influence of natural and anthropogenic factors on enzyme activity in soil. *Soil Biochemistry*, 9: 123-193.
- GÜLSER, C., DEMİR, Z., 2010. Changes in some soil properties at different incubation periods after tobacco waste application. *Journal of Environmental Biology*, 31(5) 671-675.
- GÜNERİ, M., MISIRLI, A., YOKAŞ., 2010. İnderdonat limon çeşidinde kükürt, jips ve amonyum sülfat uygulamalarının toprak reaksiyonu, meyve gelişmesi ve meyve özellikleri üzerine etkileri. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 47(1): 1-9.

- GÜZEL, N., GÜLÜT, K.Y., BÜYÜK, G. 2002. Toprak verimliliği ve gübreler. Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakültesi. Genel Yayın No:246, Ders Kitapları Yayın No:A-80, Adana, 89-94.
- HANAY, A., BÜYÜKSÖNMEZ, F., KIZILOĞLU, F. M., CANBOLAT, M.Y., 2004. Reclamation of saline-sodic soils with gypsum and MSW compost. *Compost Science and Utilization*, 12(2): 175-179.
- HARRON, W.R.A., WEBSTER, G.R., CAIRNS, R.R., 1983. Relationship between exchangeable sodium and sodium absorption ratio in a solonchic soil association. *Can. J. Soil Sci.*, 63: 461-467.
- HAYNES, R.J., 2009. Reclamation and revegetation of fly ash disposal sites- challenges and research needs. *J. Environ. Manag.* 90: 43-53.
- HENRY, J. L., HARRON, B., FLATEN, D., REVIEWED, 2008. The Nature and Management of Salt-Affected Land In Saskatchewan. Agriculture Knowledge Centre, 21 s.
- HERRERO, J., SNYDER, R.L., 1997. Aridity and irrigation in Aragon, Spain. *J. Arid Environ.*, 35: 535-547.
- HİLAL, M.H., ABD-ELFATTAH, A., 1987. Effect of CaCO and clay content of alkaline soils in their response to added sulphur. *Sulphur in Agric.*, 11: 15-19.
- HİNDİSTAN, M., 1974. Niğde Bor Pınarbaşı topraklarında tuz, sodyum, potasyum ve borun yıkanması. Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları. Genel Yayın No:52, Rapor Seri No:37, Ankara.
- HİNDİSTAN, M., İNCEOĞLU, İ., 1962. Toprakta pH tayini. Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları. Teknik Yayın No:10, Ankara, 25s.
- HOFFMAN, G., J., HOWELL, T.A. ve SOLOMON, K., H. 1990. Management of Farm Irrigation Systems. American Society of Agricultural Engineers, 149 s.
- HUSSAIN, N., HASSAN, G., ARHADULLAH, M., MUJEEB, F., 2001. Evaluation of amendments for the improvement of physical properties of sodic soil. *Int. J. of Agric. And Biology*, 3(3):318-322.
- JAMES, D. W., HANKS, R. J., JURİNAK, J. J.,1982. Salt-effected soil. Modern irrigated soils. Chapter 9, Dept. of Soil Science and Biometeorology, Utah State University, John Willey and Sons, New York, s. 136-169.

- KAHLON, U.Z., MURTAZA, G., GHAFOR, A., MURTAZA, B., 2012. Amelioration of saline-sodic soil with amendments using brakish water, canal water and their combination. *Int. J. Agric. And Biol.*, 14:38-46.
- KALOI, G.M., BHUGHIO, N., PANHWAR, R.N., JUNEJO, S., MARI, A.H., BHUTTO, M.A., 2011. Influence of incubation period on phosphat release in two soils of district hyderabat. *The Journal of Animal and Plant Sciences*, 21(4): 665-670
- KANBER, R., KIRDA, C, TEKİNEL, O., 1992. Sulama suyu niteliği ve sulamada tuzluluk sorunları. Ç.Ü. Ziraat Fakóltesi Genel Yay. No. 21, Ders Kitapları Yay. No. 6, Adana, 341s.
- KANBER, R., ÖZEKİCİ B., ÇETİN, M., 2008. Beşinci dünya su forumu bölgesel hazırlık süreci. DSİ Yurtiçi Bölgesel Su Toplantıları Sulama-Drenaj Konferansı Bildiri Kitabı, Adana, s. 31-32.
- KANBER, R., ÜNLÜ M., 2010. Tarımda su ve toprak tuzluluğu. Çukurova Üniversitesi, Ziraat Fakóltesi Genel Yay. No. 281, Kitap Yay. No. A-87, Adana, 307 s.
- KARACA, A., HAKTANIR, K., 2000. Arıtma çamurlarının toprakta alınabilir kurşun ve dehidrogenaz enzim aktivitesi üzerine etkileri. *Tarım Bilimleri Dergisi*. 6(3):13-19.
- KEREN, R., 1996. Reclamation of sodic-affected soils. In: Agassi, M. (Ed.), *Soil erosion, conservation and rehabilitation*. Marcel Dekker Inc, New York, s. 353-374.
- KOÇ, D.L., 2011. Aşağı Seyhan Ovası tuzlu-sodyumlu topraklarının farklı yöntemlerle iyileştirilmesi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilimdalı, Doktora Tezi, Adana, 178 s.
- KOVDA, V.A., 1961. Principles of the theory and practices of reclamation and utilization of saline soils in the arid zones. *Arid Zones Research* 14, Proc. Teheran Symp. UNESCO, Paris, s. 201-213.
- KOVDA, V.A., 1967. Land scapes in relation to irrigation, drainage and salinity. *International Source Book of Arid Lands in Relation to Salinity and Alkalinity (Draft Ed.)*. FAO, UNESCO, Rome, s. 218-241.

- KWIATOWSKY, J., 1998. Salinity classification mapping and management in Alberta. Her Majesty the Queen in the Right of Alberta.
- LAMOND, R.E., WHITNEY, D.A., 1992. Management of saline and drainage soils. MF-1022. Cooperative Extension Service, Kansas State University, Manhattan, Kansas, 4 s.
- LI, C.S., LI, M., YU-JIANG, Z., B. Q., 1994. Planting tree species on soda-saline-alkali soil. Depósito legal pp. 76-0010 ISSN 0378-1844. *Interciencia* 19(6): 379-381
- LI, J., 2008. Research on the effect of saline wetland from pulp wastewater irrigation in yellow river delta, doctoral dissertation. Ocean University of China.
- LOPEZ-AGUIRRE, J.G., FARIAS-LARIOS, J., JAIME MOLINA-OCHOA, J., AGUILAR-ESPINOSA, S., FLORES-BELLO, M.R., GONZÁLEZ-RAMÍREZ, M., 2007. Salt leaching process in an alkaline soil treated with elemental sulphur under dry tropic conditions. *World Journal of Agricultural Sciences* 3 (3): 356-362.
- MADEJON, E., LOPES, R., MURILLO, Y.M., CABRERA, F., 2001. Agricultural use of three (sugar-beet) vinasse compost: Effect on crops and chemical properties of a cambisol soil in the Guadalquivir River Valley (SW Spain). *Agric. Ecosystems and Environ.*, 84: 55-65.
- MAHMOODABADÍ, M., YAZDANPANA, N., RODRÍGUEZ SÍNOBAS, L., PAZIRA, E., NESHAT, A., 2013. Reclamation of calcareous saline sodic soil with different amendments (I): Redistribution of soluble cations within the soil profile. *Agricultural Water Management*, 120: 30-38.
- MAKOI, J.H.J.R., VERPLANCKE, H., 2010. Effect of gypsum placement on the physical chemical properties of a saline sandy loam soil. *Australian Journal of Crop Science*, 4(7): 556-563.
- MULLIN, R.E. 1969. Soil acidification with sulphur effect on soil pH, soil acidification with sulphur in a Forest tree Nursery, TSI, Washington, USA, 2s.

- OSTER, J.D., SHAINBERG, I., ABROL, I.P., 1996. Reclamation of salt-affected soil. In: Agassi, M. (Ed.), Soil Erosion, Conservation and Rehabilitation. Marcel Dekker Inc, New York, s. 315–352.
- PEKMEZCİ, A., 1988. Endüstri atıklarının çorak toprakların ıslahında kullanılma olanakları. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Kültürteknik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Adana.
- PONNAMIERUMA, P.N., 1984. Role of cultivars tolerance in increasing rice production on saline land. In: Staples R.C. Toenniessen G.H. (Eds.) Salinity tolerance in plant strategies for crop improvement. Wiley New York, s. 255-71.
- RASOULI, F., POUYO, A.K., KARIMIAN, N., 2013. Wheat yield and physico-chemical properties of a sodic soil from semi-arid area of Iran as affected by applied gypsum. *Geoderma*, s. 193-255.
- REEVE, R.C., PILLSBURY, A.F., WILCOX, L.V., 1955. Reclamation of a saline and high boron soil in the Coachella Valley of California. *Univ. of Hilgardia*. 24 (4): 69-91.
- RHOADES, J.D., KANDIAH, A., MASHALI, A.M., 1992. The use of saline waters for crop production. In: FAO Irrigation and Drainage Paper 48, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, s. 133.
- RICHARDS, L.A., 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils, *Agriculture Handbook*, No:60, USA, 160 s.
- RYAN, J., TABBARA H., 1989. Urea effects on infiltration and sodium parameters of a calcareous sodic soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53: 1531-1536.
- SAATÇILAR, H.M., 1989. Salihli ve Söke Ovalarında Bandırma gübre sanayi atığı jipsli materyalin çorak toprakların ıslahında kullanılma olanakları. Köy Hizmetleri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları. Genel Yayın No:152, Rapor Seri No: 96, Menemen.
- SAATÇILAR, H.M., 1991. Denizli Sarayköy Ovasında Doğal jips içeren tuzlu sodyumlu toprakların ıslahı için gerekli yıkama suyu miktarı ve yıkama süresi. Köy Hizmetleri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları. Genel Yayın No: 175, Rapor Seri No: 116, Menemen.

- SABİR, M., GHAFOOR, A., ZİA-NUR RAHMAN, S.M., MURTAZA, G., 2008. Effect of organic amendments and incubation time on extractability of Ni and other metals from contaminated soil. *Pak. J Agric. Science*, Vol. 45(1): 18-24.
- SARDI, K., CSATHO, P., SISAK, I., OSZTOICS, E., SZUCS P., BALAZSY, A., 2006. Effects of laboratory incubation on the available phosphorus content of soil, *Agrokemia Es Talajtan*, 55 s.
- SEILSEPOUR, M., RASHIDI, M., KHABBAZ, B.G., 2009. Prediction of soil exchangeable sodium percentage based on soil sodium adsorption ratio. *American-Eurasian J. Agric. And Environ. Sci.*, 5(1):1-4.
- SHAINBERG, I., KEREN, R., FRENKEL, H. 1982. Response of sodic soils to gypsum and calcium chloride application. *Soil Science Society of America Journal*, 46:113-137.
- SHARMA, D.P., RAO, K.V.G.K., SINGH, K.N., KUMBHARE, P.S., 1993. Management of subsurface saline drainage water. *Indian Farming* 43:15-19.
- SHIDAN, B., 2005. *Soil Agriculturalization Analysis*, China Agricultural Press, 103-150.
- SILVEIRA, K.R., RIBEIRO, M.R., OLIVEIRA, L.B., HECK R.J., SILVEIRA R.R. 2008. Gypsum-saturated water to reclaim alluvial saline sodic and sodic soils. *Sci. Agric. Piracicaba, Sao Paulo*, 65:1.
- SIYAL, A.A., SIYAL, A.G., ABRO, Z.A., 2002. Salt affected soils, their identification and reclamation. *Pakistan Jour. of Applied Sciences* 2(5):537-540.
- SOAUD, A.A., AL-DARVİSH, F.H., SALEH, M.E., EL-TARABİLY, K.A., SOFİAN-AZİRUN, M., RAHMAN, M.M., 2011. Effects of elemental sulfur, phosphorus, micronutrients and paracoccus versutus on nutrient availability of calcareous soils. *AJCS* 5(5): 554-561.
- SÖNMEZ, B., 2004. Türkiye’de çorak ıslahı araştırmaları ve tuzlu toprakların yönetimi. *Sulanan alanlarda Tuzluluk Yönetimi Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 20-21 Mayıs, 2004, Ankara, s.157-162.

- SÖNMEZ, B., AĞAR, A., GÜMÜŞ, A.M., 1995. Tuzlu-sodyumlu topraklara uygulanan azotlu gübre ile jipsin toprak ıslahına ve şekerpancarı verimine etkileri. Köy Hizmetleri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları. Genel Yayın No: 204, Rapor Seri No: 121, Ankara.
- SÖNMEZ, B., AĞAR, A., BAHÇECİ, İ., MAVİ, A., YARPUZLU, A., 1996. Türkiye çorak ıslah rehberi. APK Daire Başkanlığı Toprak ve Su Kaynakları Şube Müdürlüğü Yayın No:93, Ankara.
- STAMFORD, N.P., SILVA, A.J.N., FREITAS, A.D.S., ARAUJO FILHO, J.T., 2002. Effect of sulphur inoculated with Thiobacillus on soil salinity and growth of tropical tree legumes. Bioresource Technology, 81:53-59.
- SUHAYDA, C.G., YIN, L., REDMAN, R.E., LI, J., 1997. Gypsum amendment improves native grass establishment on saline-alkali soils in Northeast China. Soil Use and Manage., 13:43-47.
- SULEWSKI, G.D., 1996. An evaluation of elemental sulfur-sewage sludge combinations and waste gypsum as sulfur sources. A Thesis Submitted to the College of Graduate Studies and Research in Partial Fulfillment of the Equirements for the Degree of Master of Science in the Department of Soil Science University of Saskatchewan, Canada, 116 s.
- TANJI, K.K., 1990. Agricultural salinity assessment and management. Irrigation and Drainage Division, American Society of Civil Engineers, NY, USA
- TEMEL, S., ŞİMŞEK U., 2011. Iğdır Ovası toprakların çoraklaşma süreci ve çözüm önerileri, Alinteri Dergisi, 2011, ISSN:1307-3311, s. 53-59.
- TOPRAKSU, 1978. Türkiye arazi varlığı. Köy İşleri ve Kooperatifler Bakanlığı. Toprak Su Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.
- TÜZÜNER, A., 1990. Toprak ve su analizleri el kitabı. T.C. Tarım Orman ve Köy İşleri Bakanlığı, Köy Hizmetleri Genel Müd., Toprak ve Gübre Araştırma Ens., Ankara, 374 s.
- UZUNOĞLU, S., AĞAR, A., 1992. Tuzlu sodyumlu topraklarda kullanılan çeşitli ıslah maddelerinin toprağın fiziksel özelliklerine etkisi. Köy Hizmetleri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları. Genel Yayın No: 180, Rapor Seri No: 100, Ankara.

- VAN DER MOLEN, W. H., VAN HOORN, J.W., 1976. The salt balance and leaching requirement irrigated soils. Int. Inst. For land Recl. and Imp.Wageningen, 45 s.
- VELARDE, M., FELKER, P., GARDİNER, D., 2005. Influence of elementel sulfur, micronutrients, phosphorus, magnezyum and potassium on growth of *Prosopis alba* on high pH soils in Argentina. Journal of Arid Environments, 62: 525-539.
- WICHERN, J., WICHERN, F., JOERGENSEN, R.G., 2006. Impact of salinity on soil microbial communities and the decomposition of maize in acidic soils. Geoderma, 137:100-108.
- YAN, Y., ZHIMEI, L., YING, M., YE, Y., CHUNMENG, L., ZHAOHUA, L., 2010. Biological properties and enzymatic activities of saline soil irrigated with treated papermaking effluent. Crown, 978 s.
- YARPUZLU, A., DOĞAN, D., 1986. Aşağı Seyhan Ovası tuzlu sodyumlu topraklarının ıslahı için gerekli jips, yıkama suyu miktarı ve yıkama süresi. Köy Hizmetleri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları. Genel Yayın No: 116, Rapor Seri No: 66, Tarsus.
- YENER, H. 1997. Gediz Ovası alluvial topraklarında kükürt uygulamasının bitkilerde gelişme, besin maddesi alınımına ve verime etkisi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Bornova, İzmir.
- YILMAZ, T., 1978. Yazıköy-Burdur tuzlu sodik ve borlu topraklarının ıslahı için gerekli jips ve yıkama suyu miktarı ile yıkama süresinin saptanması. Bölge TOPRAKSU Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları. Genel Yayın No:57, Rapor Seri No: 43, Konya.
- YILMAZ, T., 1980. Konya ovası tuzlu ve alüviyal topraklarının ıslahı için gerekli yıkama suyu miktarı ve yıkama süresinin saptanması. Bölge TOPRAKSU Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları. Genel Yayın No:63, Rapor Seri No:49, Konya.

ÖZGEÇMİŞ

Niğde ilinde 1974 yılında doğdu. İlk, Orta ve Lise öğrenimini İzmir’de tamamladı. Ege Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümünden Haziran/1996 döneminde mezun oldu. Eylül/2005’de Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalında Yüksek Lisans programına başladı. Eylül/2008 döneminde Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalında Yüksek Lisansını tamamladı. Şubat/2010 döneminde Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalında Doktora programına başladı.

EKLER

Ek Çizelge 1a. 30 Günlük İnkübasyon Koşullarında (IN:30 gün) ve Farklı Kükürt Uygulamalarında Süzük Suyunda Ölçülen Tuz Değerleri (EC_e, dS/m)

Deneme Konuları	Yıkama Suyu, D _{1w} (cm)														
	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45
S1-1	26.02	25.20	27.40	25.26	21.91	19.60	11.04	10.25	9.56	9.55	8.81	7.94	6.24	5.31	5.2
S1-2	25.50	26.40	29.55	22.73	19.53	17.21	13.93	11.58	10.53	10.37	9.01	8.09	6.82	6.15	5.31
S1-3	19.95	27.60	31.70	27.80	24.30	22.00	16.81	12.91	11.50	11.18	9.20	8.24	7.40	6.98	5.42
S2-1	20.40	18.97	17.41	15.86	14.25	12.74	9.17	6.87	5.53	7.35	4.70	4.61	4.10	3.75	4.10
S2-2	24.00	17.85	16.91	14.00	18.46	11.90	7.84	5.44	7.17	5.95	4.82	4.14	4.46	3.89	4.46
S2-3	21.20	16.73	16.41	12.13	19.43	15.05	7.15	5.93	5.43	4.55	4.93	3.66	4.81	4.03	4.81
S3-1	16.46	20.30	21.90	22.10	20.40	18.19	16.20	14.29	12.09	10.48	9.08	7.16	5.13	4.58	3.84
S3-2	17.08	13.37	14.14	19.10	17.97	10.94	9.68	9.65	8.74	8.20	7.31	6.80	6.34	5.50	4.23
S3-3	20.80	19.86	17.07	16.10	15.53	14.18	12.37	8.96	9.19	7.97	7.09	5.43	5.12	4.39	3.69
S4-1	13.78	16.45	14.40	10.08	17.97	18.53	13.21	10.08	6.29	5.57	5.09	4.60	4.35	4.34	3.59
S4-2	16.41	26.80	25.10	19.73	19.90	17.25	13.04	10.31	6.29	4.40	3.00	3.24	3.33	3.17	2.65
S4-3	21.40	27.20	22.70	21.80	16.04	19.80	13.38	9.85	4.89	4.99	4.05	3.92	3.84	3.76	3.12

Ek Çizelge 1b. 60 Günlük İnkübasyon Koşullarında (IN:60 gün) ve Farklı Kükürt Uygulamalarında Süzük Suyunda Ölçülen Tuz Değerleri (ECe, dS/m)

Deneme Konuları	Yıkama Suyu, D _{1w} (cm)														
	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45
S1-1	1.56	9.8	15.45	16.82	16.57	15.84	14.14	12.02	7.04	12.17	10.14	7.57	15.21	11.86	8.51
S1-2	2.06	13.9	26	20.4	15.63	16.84	13.73	9.51	8.42	7.81	6.21	11.23	10.29	9.53	7.50
S1-3	1.56	5.17	13.3	21.07	21.3	17.84	13.32	10.1	7.73	16.54	14.06	9.40	12.75	10.69	8.01
S2-1	1.77	6.56	14.92	19.68	19.64	17.51	13.1	12.05	9.55	8.13	6.13	4.24	5.88	5.70	4.47
S2-2	1.64	9.47	18.76	23.6	21.9	18.22	12.87	12.68	8.58	6.64	5.2	5.11	6.77	4.52	3.7
S2-3	1.84	7	16.15	20.6	20.4	19.3	15.95	13.31	11.63	8.21	7.01	5.97	4.98	3.34	2.15
S3-1	1.63	3.1	10.72	18.53	20.9	22.2	20.8	17.34	14.1	12.72	9.49	5.41	5.1	3.59	3.37
S3-2	1.61	4.83	17.38	23	25.5	25	22.2	18.62	15.16	12.16	9.11	6.25	4.35	2.53	2.6
S3-3	1.56	3.05	18.17	22.6	25.3	24.5	21.4	18.81	16.26	14.13	8.34	5.83	4.73	4.31	3.46
S4-1	1.75	5.55	13.07	18.67	19.57	19.3	18.55	16.65	15.01	13.72	12.04	10.37	9.16	8.26	7.34
S4-2	1.68	5.44	12.84	18.35	21.3	21.7	20.1	17.11	14.78	12.88	11.38	10.24	8.82	7.57	6.64
S4-3	2.01	7.08	12.6	17.86	21	21.3	19.79	17.31	15.01	12.99	11.49	9.67	8.52	7.34	6.45

Çizelge 1c. Deneme Konularında ECe (dS/m) Azalması

Konular	30 gün				60 gün			
	Denemede EC Değişimi, dS/m		EC Azalması, dS/m	Başlangıca Göre Azalma, %	Denemede EC Değişimi, dS/m		EC Azalması, dS/m	Başlangıca Göre Azalma, %
	Başlangıç	Bitiş			Başlangıç	Bitiş		
S1-1	9.67	5.2	4.47	46	9.67	8.51	1.16	12
S1-2	9.67	5.31	4.36	45	9.67	7.50	2.17	22
S1-3	9.67	5.42	4.25	44	9.67	8.01	1.66	17
S2-1	9.67	4.10	5.57	75	9.67	4.47	5.2	54
S2-2	9.67	4.46	5.22	71	9.67	3.7	5.97	62
S2-3	9.67	4.81	4.86	67	9.67	2.15	7.52	78
S3-1	9.67	3.84	5.83	60	9.67	3.37	6.3	65
S3-2	9.67	4.23	5.44	56	9.67	2.6	7.07	73
S3-3	9.67	3.69	5.98	62	9.67	3.46	6.21	64
S4-1	9.67	3.59	6.08	63	9.67	7.34	2.33	24
S4-2	9.67	2.65	7.02	73	9.67	6.64	3.03	31
S4-3	9.67	3.12	6.55	68	9.67	6.45	3.22	33

Ek Çizelge 2a. Farklı İnkübasyon Süreleri ve Kükürt Miktarlarına İlişkin Süzük Sularında Ölçülen Katyon Derişimleri (me/L)

Yıkama Say.	İnk. Süre.	S1				S2				S3				S4			
		Ca	Mg	Na	K	Ca	Mg	Na	K	Ca	Mg	Na	K	Ca	Mg	Na	K
1.	30	9.4	19.9	217.6	0.3	16.2	24.9	188.4	0.3	17.8	23.2	142.5	0.3	10.4	21.2	140.9	0.3
	60	1.0	4.7	13.8	0.1	1.1	5.6	13.4	0.1	0.8	6.8	10.5	0.1	1.0	9.8	9.4	0.1
2.	30	6.0	26.5	236.2	0.4	13.3	27.0	190.9	0.3	15.1	27.3	155.1	0.3	14.3	29.5	213.8	0.3
	60	4.0	10.6	100.2	0.2	6.3	6.9	75.2	0.1	1.7	7.6	31.7	0.1	9.6	13.7	42.8	0.2
3.	30	3.2	30.8	264.4	0.4	11.1	26.7	206.2	0.3	15.8	26.8	183.6	0.3	11.1	29.2	192.5	0.3
	60	8.7	17.1	206.4	0.3	12.3	17.4	175.7	0.2	12.4	40.1	162.3	0.3	16.4	32.7	107.6	0.3
4.	30	2.8	24.8	159.1	0.3	7.9	24.1	152.5	0.2	13.4	26.6	157.8	0.2	8.8	25.7	159.3	0.3
	60	8.7	18.4	192.3	0.3	14.1	25.6	206.1	0.3	16.1	32.9	204.7	0.3	13.4	44.9	157.3	0.3
5.	30	1.0	27.2	132.9	0.2	8.5	19.4	123.1	0.2	12.0	28.2	143.2	0.2	5.8	24.0	132.9	0.2
	60	7.5	17.1	182.6	0.3	11.9	23.2	210.6	0.3	17.9	36.1	248.8	0.3	22.6	34.3	189.0	0.3
6.	30	0.7	23.3	111.8	0.2	3.1	18.3	87.9	0.2	8.9	39.4	114.7	0.2	4.3	25.8	128.1	0.2
	60	5.2	14.2	154.3	0.2	10.0	20.4	185.3	0.2	16.6	37.1	260.7	0.3	16.8	37.4	190.6	0.3
7.	30	0.8	19.4	90.0	0.1	2.7	10.4	49.0	0.1	8.2	22.9	89.9	0.2	2.7	17.5	72.6	0.1
	60	3.2	12.1	132.9	0.2	8.6	14.9	153.1	0.2	13.7	30.1	242.5	0.3	15.3	32.0	207.0	0.3
8.	30	0.6	15.5	70.9	0.1	0.6	15.5	70.9	0.1	8.8	18.2	76.2	0.1	2.4	13.2	67.2	0.1
	60	2.8	11.0	101.8	0.2	6.0	9.5	120.1	0.2	8.1	24.4	200.4	0.3	10.3	24.6	177.1	0.2
9.	30	0.8	17.6	69.4	0.1	2.1	8.7	27.8	0.1	8.1	22.1	44.4	0.1	4.1	8.6	26.2	0.1
	60	2.3	4.5	56.2	0.1	4.9	8.2	92.4	0.2	7.2	16.9	159.5	0.2	8.7	21.4	153.3	0.2

Ek Çizelge 2a. (Devam)

10.	30	0.7	19.0	70.6	0.1	1.6	8.5	24.6	0.1	7.8	20.1	39.8	0.1	3.5	5.8	22.4	0.1
	60	1.1	3.5	26.5	0.1	3.7	5.9	65.2	0.1	5.1	14.4	119.9	0.2	6.7	19.3	111.5	0.2
11.	30	0.7	15.8	61.8	0.1	1.6	6.1	36.2	0.0	6.4	18.9	61.4	0.1	2.5	8.2	39.2	0.0
	60	0.8	4.0	22.0	0.1	2.1	5.0	47.1	0.1	1.7	10.4	81.4	0.1	6.5	15.9	93.7	0.1
12.	30	0.6	17.0	70.0	0.1	1.2	5.8	31.0	0.0	8.4	16.3	49.1	0.1	2.6	7.4	34.2	0.0
	60	0.6	4.2	27.4	0.1	1.4	6.3	46.4	0.1	1.7	9.4	72.9	0.1	5.5	13.3	91.8	0.1
13.	30	0.4	15.0	52.8	0.1	1.1	6.5	31.5	0.0	8.2	15.3	38.7	0.1	2.6	8.9	28.9	0.1
	60	1.1	9.2	52.0	0.1	1.3	4.6	40.4	0.1	1.4	5.2	49.0	0.1	4.9	11.9	78.1	0.1
14.	30	0.4	1.5	8.3	0.0	1.6	4.8	29.1	0.1	9.6	14.9	34.1	0.1	3.0	6.5	29.5	0.1
	60	0.9	13.9	56.8	0.1	1.7	3.3	37.9	0.1	1.4	2.8	31.1	0.0	4.0	10.5	65.6	0.1
15.	30	0.2	1.9	6.8	0.0	1.4	4.0	33.3	0.0	10.0	15.9	29.6	0.1	4.3	5.8	29.6	0.1
	60	0.2	20.4	80.8	0.1	1.3	2.2	29.3	0.1	1.9	2.5	28.9	0.0	3.8	9.6	52.3	0.1

Ek Çizelge 2b. Farklı İnkübasyon Süreleri ve Kükürt Miktarlarına İlişkin Süzük Sularında Ölçülen Anyon Derişimleri (me/L)

Yıkama Say.	İnk. Süre.	S1				S2				S3				S4			
		CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄
1.	30	1.2	5.1	146.8	94.1	0.3	4.7	99.8	125.0	0.6	3.9	69.8	109.5	1.2	4.0	74.6	93.0
	60	4.1	3.2	7.3	5.1	3.4	4.2	7.2	5.2	3.8	3.5	6.2	4.7	5.3	1.3	7.8	5.9
2.	30	2.7	4.8	108.4	153.2	1.0	4.6	84.8	141.2	0.8	4.1	59.1	133.7	0.6	4.6	98.2	154.7
	60	1.8	3.5	43.7	65.9	1.2	3.8	27.1	56.5	2.7	3.9	13.1	21.4	0.2	2.8	27.6	35.5
3.	30	3.4	7.1	88.1	200.1	1.2	4.5	63.4	175.3	1.0	4.4	49.5	171.6	1.0	4.9	75.0	152.3
	60	1.8	3.5	31.1	196.0	1.2	3.9	7.9	192.6	1.6	4.4	8.5	200.6	0.4	2.1	6.0	148.5
4.	30	3.8	7.7	63.8	111.6	1.4	5.4	42.0	135.9	0.9	5.4	39.0	152.8	1.2	4.9	45.6	142.4
	60	1.1	4.3	82.3	131.9	1.5	3.8	83.5	157.4	1.2	3.3	79.2	170.2	0.6	2.1	79.0	134.3
5.	30	5.9	5.9	36.4	113.1	1.4	6.1	29.6	114.3	1.2	6.9	32.3	143.3	1.6	5.2	27.1	129.0
	60	1.9	3.9	87.1	114.5	1.7	3.9	67.6	172.9	1.1	3.7	82.6	215.7	0.8	2.7	80.4	162.3
6.	30	7.5	5.8	27.8	94.8	2.2	6.3	16.3	84.6	1.7	5.9	21.3	134.4	1.6	6.7	26.2	123.9
	60	1.7	4.6	48.1	119.4	1.5	5.5	47.1	161.9	0.8	3.9	68.9	241.0	0.6	2.7	69.6	172.2
7.	30	7.6	5.2	19.7	77.9	2.6	7.9	10.1	41.6	1.7	5.2	12.8	101.5	2.4	5.5	10.5	74.6
	60	2.7	4.5	36.1	105.1	1.6	5.7	22.1	147.3	1.3	5.0	45.3	235.0	0.9	4.3	44.6	204.8
8.	30	6.4	8.1	11.7	60.9	2.8	8.1	6.1	34.9	1.6	5.5	5.4	90.8	2.9	5.3	6.6	68.1
	60	4.0	4.7	25.2	81.9	1.5	7.3	14.7	112.3	1.5	5.2	22.4	204.0	0.9	5.0	21.6	184.7
9.	30	6.5	7.5	8.9	65.0	2.6	9.0	3.5	23.6	1.8	4.5	3.9	64.6	1.5	8.4	4.5	24.5
	60	2.8	4.2	11.2	44.8	0.3	9.1	13.1	83.1	1.5	5.3	12.7	164.3	1.1	5.1	10.2	167.2

Ek Çizelge 2b. (Devam)

10.	30	8.8	8.6	31.9	41.2	2.2	8.3	3.9	20.3	1.3	6.2	3.4	56.9	1.0	7.1	3.5	20.1
	60	1.8	3.7	7.6	18.1	1.8	8.0	8.7	56.3	2.2	5.3	6.3	125.8	1.3	4.4	4.4	127.5
11.	30	8.4	10.5	6.3	53.3	2.1	10.2	3.1	28.6	1.8	5.6	2.2	77.1	1.9	6.9	3.9	37.1
	60	2.1	4.2	4.7	15.9	2.3	7.7	7.3	37.0	3.1	5.6	3.1	81.8	1.6	3.9	2.2	108.6
12.	30	11.6	8.9	6.7	60.4	2.5	7.9	3.6	24.0	2.0	6.4	1.2	64.3	2.6	6.7	2.3	32.6
	60	4.3	5.9	2.8	19.3	2.9	6.9	6.3	38.2	3.3	6.4	2.3	72.0	1.0	4.5	2.0	103.3
13.	30	9.3	8.1	3.6	47.3	3.0	7.3	2.0	26.8	2.0	6.1	2.5	51.8	2.0	6.6	2.6	29.3
	60	6.2	9.0	9.3	37.8	2.9	6.2	4.5	32.8	3.3	7.0	1.9	43.5	1.5	3.3	2.2	88.0
14.	30	0.8	0.5	0.4	8.4	2.7	9.4	2.2	21.3	2.4	4.7	2.8	48.8	2.0	5.5	4.8	26.7
	60	9.1	10.1	9.2	43.3	2.7	8.0	4.5	27.7	3.4	5.8	1.9	24.3	1.6	3.3	2.2	73.1
15.	30	0.4	1.1	2.6	4.8	2.3	7.1	4.4	25.0	1.5	5.1	1.0	47.9	1.4	4.7	7.4	26.2
	60	13.5	10.9	7.7	69.4	4.2	5.2	3.2	20.3	3.0	6.3	1.9	22.2	1.6	2.5	2.2	59.7

Ek Çizelge 3a. 30 Günlük İnkübasyon Koşullarında (IN:30 gün) ve Farklı Kükürt Uygulamalarında Süzük Suyunda Ölçülen pH Değerleri

Deneme Konuları	pH Değerleri														
	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45
S1-1	8.31	8.44	8.56	8.49	8.80	8.97	8.86	9.03	8.88	9.00	8.92	8.78	8.68	8.75	7.62
S1-2	8.14	8.35	8.21	8.45	8.75	8.05	8.25	8.42	7.98	7.89	7.85	7.90	7.80	7.75	7.59
S1-3	8.48	8.75	8.67	8.81	8.99	9.00	8.92	8.82	8.97	8.89	8.92	8.86	8.83	8.69	7.41
S2-1	8.04	8.34	8.13	8.22	8.33	8.36	8.38	8.40	8.18	8.04	7.95	7.83	7.69	7.67	7.61
S2-2	8.33	8.35	8.35	8.41	8.31	8.71	8.71	8.66	8.68	8.51	8.39	8.41	8.05	7.69	7.52
S2-3	8.07	8.37	8.03	8.17	8.08	8.01	7.98	7.86	7.89	7.85	7.79	7.74	7.65	7.69	7.56
S3-1	8.22	8.23	8.11	8.37	8.02	8.32	8.28	8.23	8.19	8.42	8.49	8.33	7.91	7.68	7.59
S3-2	8.13	8.32	7.79	8.09	7.91	7.89	7.91	8.05	7.82	7.91	7.89	7.78	7.64	7.59	7.54
S3-3	8.14	8.35	8.21	8.12	8.42	8.30	8.36	8.16	8.30	8.43	8.37	8.23	8.04	7.86	7.63
S4-1	8.16	8.24	8.13	8.18	8.14	8.14	7.85	8.07	7.99	7.91	7.86	7.79	7.65	7.59	7.51
S4-2	8.46	8.31	8.18	8.16	8.10	8.47	8.47	8.65	8.17	8.16	8.00	7.96	7.74	7.65	7.32
S4-3	8.25	8.28	8.29	8.36	8.56	8.35	8.64	8.82	8.20	7.92	7.86	7.81	7.78	7.65	7.44

Ek Çizelge 3b. 60 Günlük İnkübasyon Koşullarında (IN:60 gün) ve Farklı Kükürt Uygulamalarında Süzük Suyunda Ölçülen pH Değerleri

Deneme Konuları	pH Değerleri														
	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45
S1-1	8.65	7.65	7.56	8.20	8.54	8.35	8.49	8.28	8.45	8.04	7.88	7.90	8.68	8.87	8.12
S1-2	8.34	7.85	8.06	8.32	8.44	8.53	8.58	8.76	9.00	8.88	8.07	8.14	8.02	8.08	8.15
S1-3	7.95	8.83	8.61	8.53	8.43	8.78	8.93	8.85	8.45	7.78	8.11	8.80	8.00	8.07	8.22
S2-1	8.52	8.06	7.88	8.31	8.43	8.39	8.13	8.33	8.28	8.39	8.47	8.41	8.03	8.13	8.18
S2-2	8.22	7.60	7.84	8.11	8.21	8.47	8.13	8.29	8.40	8.48	8.41	8.78	8.38	8.14	8.12
S2-3	9.02	9.80	7.78	8.30	8.41	8.26	8.21	8.29	8.47	7.70	8.42	8.71	8.60	8.26	8.14
S3-1	8.57	8.47	7.75	8.35	8.37	8.43	8.24	8.29	8.53	8.44	8.54	8.07	8.01	8.25	7.97
S3-2	8.19	8.50	8.17	8.37	8.25	7.80	8.29	8.45	8.48	8.71	8.74	8.12	8.22	8.22	8.35
S3-3	8.64	8.10	8.15	8.22	8.13	8.19	8.28	8.22	8.64	8.43	8.84	8.69	8.99	8.25	8.06
S4-1	8.07	7.88	7.82	7.87	8.16	8.17	8.11	8.05	8.41	8.46	8.40	8.39	8.26	8.29	8.20
S4-2	8.19	7.63	7.81	7.86	7.74	8.20	8.18	8.25	8.34	8.39	8.34	8.28	8.17	8.35	8.38
S4-3	8.17	7.60	8.02	8.03	8.00	8.11	8.18	8.26	8.37	8.46	8.58	8.37	8.41	8.46	8.11

Çizelge 3c. Deneme Konularında pH Azalması

Konular	30 gün				60 gün			
	Denemede pH Değişimi		pH Azalması	Başlangıca Göre Azalma, %	Denemede pH Değişimi		pH Azalması	Başlangıca Göre Azalma, %
	Başlangıç	Bitiş			Başlangıç	Bitiş		
S1-1	8.60	7.62	0.98	11	8.60	8.12	0.48	6
S1-2	8.60	7.59	1.01	12	8.60	8.15	0.45	5
S1-3	8.60	7.41	1.19	14	8.60	8.22	0.38	4
S2-1	8.60	7.61	0.99	12	8.60	8.18	0.42	5
S2-2	8.60	7.52	1.08	13	8.60	8.12	0.48	6
S2-3	8.60	7.56	1.04	12	8.60	8.14	0.46	5
S3-1	8.60	7.59	1.01	12	8.60	7.97	0.63	7
S3-2	8.60	7.54	1.06	12	8.60	8.35	0.25	3
S3-3	8.60	7.63	0.97	11	8.60	8.06	0.54	6
S4-1	8.60	7.51	1.09	13	8.60	8.20	0.40	5
S4-2	8.60	7.32	1.28	15	8.60	8.38	0.22	3
S4-3	8.60	7.44	1.16	13	8.60	8.11	0.49	6

Ek Çizelge 4a. 30 Günlük İnkübasyon Koşullarında (IN:30 gün) ve Farklı Kükürt Uygulamalarında Süzük Suyunda Ölçülen NaX Değerleri (mc/100 g)

Deneme Konuları	Yıkama Suyu, D _{1w} (cm)														
	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45
S1-1	15.40	15.52	14.18	13.01	10.08	9.76	10.65	9.65	9.21	9.14	8.53	9.24	7.84	7.78	7.61
S1-2	14.78	14.24	11.99	11.54	10.99	11.24	10.76	9.83	9.17	8.83	8.40	8.69	8.49	8.23	7.79
S1-3	14.15	15.30	14.65	13.35	13.68	12.86	10.98	10.19	9.49	9.06	8.75	9.41	8.05	7.62	7.19
S2-1	11.45	12.03	11.56	11.03	8.20	9.13	7.86	7.43	4.71	6.85	6.46	6.27	5.55	5.01	4.87
S2-2	12.89	13.20	13.00	12.68	4.18	8.54	7.73	7.37	7.04	5.67	5.40	4.86	5.37	5.23	4.68
S2-3	12.37	12.05	11.92	10.87	7.86	9.51	7.25	5.08	4.30	7.43	6.52	6.60	7.10	6.05	4.64
S3-1	8.52	10.27	11.24	11.99	9.75	8.04	10.30	8.60	8.25	7.69	6.82	6.41	5.98	4.31	3.57
S3-2	10.02	9.90	9.83	9.93	9.11	8.45	8.07	7.43	6.65	6.46	6.22	4.23	4.07	3.99	3.56
S3-3	11.84	11.85	14.41	10.79	7.37	8.49	5.99	3.91	3.87	6.23	5.78	5.17	4.78	3.57	2.44
S4-1	10.49	11.76	11.41	10.32	9.44	8.84	5.46	5.05	4.47	6.19	5.50	5.30	5.54	5.19	4.29
S4-2	10.06	12.82	13.23	12.23	11.09	10.85	9.43	6.79	3.97	4.67	4.82	4.90	4.64	4.60	4.64
S4-3	12.34	14.25	12.71	12.22	11.79	11.44	9.24	6.93	3.56	7.45	6.72	3.73	5.26	4.41	3.73

Ek Çizelge 4b. 60 Günlük İnkübasyon Koşullarında (IN:60 gün) ve Farklı Kükürt Uygulamalarında Süzük Suyunda Ölçülen NaX Değerleri (mc/100 g)

Deneme Konuları	Yıkama Suyu, D_{1w} (cm)														
	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45
S1-1	14.09	13.49	13.49	12.56	12.98	12.46	12.57	11.12	10.09	9.04	8.02	7.76	8.05	8.05	8.17
S1-2	14.56	14.34	14.08	13.47	13.26	13.71	12.37	11.53	11.17	10.57	8.73	7.74	8.55	8.01	7.60
S1-3	13.99	14.21	13.57	13.99	12.89	13.50	12.71	11.65	11.07	10.73	7.98	8.03	7.47	7.61	7.92
S2-1	14.52	13.48	13.06	12.66	12.18	11.97	11.44	10.32	8.54	8.06	7.56	7.08	6.74	6.52	5.02
S2-2	14.26	13.71	13.04	12.44	12.07	11.40	10.07	9.57	9.05	8.75	8.17	7.97	6.91	5.01	5.35
S2-3	14.54	12.71	14.37	13.45	13.03	12.68	11.80	9.33	8.80	7.98	8.24	7.48	7.07	5.46	4.43
S3-1	13.92	13.71	13.46	13.18	13.00	12.56	12.17	11.16	9.56	9.35	8.86	8.26	6.32	5.60	3.59
S3-2	13.69	13.30	12.84	13.48	12.61	12.30	12.59	11.66	11.16	10.00	8.48	6.64	6.23	5.64	4.03
S3-3	14.34	13.74	14.08	13.67	14.04	13.49	12.90	12.08	10.83	10.97	9.81	7.98	8.45	5.04	3.84
S4-1	13.58	13.31	12.54	11.95	12.18	11.46	10.57	10.19	9.38	9.50	8.51	7.95	6.54	4.53	4.39
S4-2	13.23	12.61	12.20	10.98	12.70	11.82	12.25	9.93	9.11	9.73	9.36	8.42	7.33	5.19	3.50
S4-3	13.42	13.37	12.91	13.05	12.80	12.66	11.40	10.48	9.49	10.19	9.45	8.97	7.96	5.19	3.39

Ek Çizelge 4c. Deneme Konularında NaX (me/100 g) Azalması

30 Gün					60 Gün				
Konular	Denemede NaX Değişimi, me/100 g		NaX Azalması, me/100 g	Başlangıca Göre Azalma, %	Konular	Denemede NaX Değişimi, me/100 g		NaX Azalması, me/100 g	Başlangıca Göre Azalma, %
	Başlangıç	Bitiş				Başlangıç	Bitiş		
S1-1	23.6	7.61	15.99	67.74	S1-1	23.6	8.17	15.43	65.37
S1-2	23.6	7.79	15.81	66.99	S1-2	23.6	7.60	16.00	67.78
S1-3	23.6	7.19	16.41	69.54	S1-3	23.6	7.92	15.68	66.44
S2-1	23.6	4.87	18.73	79.36	S2-1	23.6	5.02	18.58	78.73
S2-2	23.6	4.68	18.92	80.17	S2-2	23.6	5.35	18.25	77.33
S2-3	23.6	4.64	18.96	80.34	S2-3	23.6	4.43	19.17	81.23
S3-1	23.6	3.57	20.03	84.87	S3-1	23.6	3.59	20.01	84.79
S3-2	23.6	3.56	20.04	84.92	S3-2	23.6	4.03	19.57	82.92
S3-3	23.6	2.44	21.16	89.66	S3-3	23.6	3.84	19.76	83.73
S4-1	23.6	4.29	19.31	81.82	S4-1	23.6	4.39	19.21	81.40
S4-2	23.6	4.64	18.96	80.34	S4-2	23.6	3.5	20.1	85.17
S4-3	23.6	3.73	19.87	84.19	S4-3	23.6	3.39	20.21	85.64

Ek Çizelge 5a. 30 Günlük İnkübasyon Koşullarında (IN:30 gün) ve Farklı Kükürt Uygulamalarında Süzük Suyunda Ölçülen SAR Değerleri

Deneme Konuları	Yıkama Suyu, D_{1w} (cm)														
	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45
S1-1	61.18	62.09	52.82	45.76	31.20	29.82	33.71	29.38	27.57	27.28	24.90	27.67	22.37	22.15	21.55
S1-2	56.85	53.19	40.23	37.97	35.30	36.51	34.23	30.12	27.41	26.05	24.41	25.53	24.74	23.78	22.18
S1-3	52.64	60.49	55.96	47.72	49.69	44.92	35.24	31.67	28.70	26.99	25.76	28.37	23.11	21.56	20.08
S2-1	37.50	40.44	38.03	35.48	23.69	27.24	22.43	20.90	12.35	18.94	17.66	17.04	14.82	13.21	12.82
S2-2	45.08	46.87	45.70	43.88	10.88	24.95	21.98	20.71	19.58	15.19	14.35	12.78	14.28	13.86	12.28
S2-3	42.24	40.53	39.86	34.74	22.42	28.79	20.29	13.43	11.21	20.90	17.84	18.11	19.79	16.35	12.15
S3-1	24.89	32.03	36.48	40.25	29.81	23.09	32.14	25.17	23.86	21.81	18.84	17.51	16.13	11.22	9.25
S3-2	30.95	30.42	30.13	30.54	27.17	24.61	23.19	20.91	18.26	17.66	16.88	11.01	10.57	10.35	9.20
S3-3	39.47	39.52	54.36	34.38	20.70	24.74	16.16	10.15	10.04	16.93	15.51	13.67	12.55	9.23	6.38
S4-1	33.03	39.05	37.31	32.24	28.49	26.12	14.54	13.34	11.68	16.80	14.67	14.06	14.79	13.75	11.16
S4-2	31.10	44.67	47.00	41.47	35.77	34.66	28.46	18.73	10.30	12.25	12.66	12.89	12.15	12.05	12.15
S4-3	42.08	53.28	44.05	41.41	39.18	37.47	27.68	19.19	9.20	20.98	18.50	9.66	13.96	11.52	9.66

Ek Çizelge 5b. 60 Günlük İnkübasyon Koşullarında (IN:60 gün) ve Farklı Kükürt Uygulamalarında Süzük Suyunda Ölçülen SAR Değerleri

Deneme Konuları	Yıkama Suyu, D_{1w} (cm)														
	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45
S1-1	52.24	48.56	48.56	43.24	45.59	42.72	43.32	35.92	31.26	26.90	23.02	22.06	23.12	23.13	23.57
S1-2	55.34	53.86	52.21	48.42	47.21	49.89	42.21	37.90	36.14	33.36	25.67	22.01	24.99	22.99	21.52
S1-3	51.64	53.05	49.05	51.61	45.10	48.61	44.08	38.49	35.67	34.09	22.88	23.06	21.05	21.52	22.65
S2-1	55.07	48.52	46.01	43.81	41.22	40.14	37.46	32.26	24.96	23.15	21.36	19.72	18.56	16.58	13.24
S2-2	53.34	49.89	45.95	42.58	40.62	37.29	31.17	29.04	26.92	25.75	23.56	22.84	19.13	17.85	14.21
S2-3	55.21	44.04	54.05	48.31	45.88	43.89	39.27	28.05	25.96	22.86	23.83	21.08	19.69	13.21	11.56
S3-1	51.21	49.89	48.37	46.75	45.71	43.25	41.17	36.09	28.99	28.15	26.18	23.88	17.20	14.53	9.28
S3-2	49.76	47.41	44.79	48.52	43.53	41.86	43.39	38.56	36.12	30.86	24.74	18.26	16.91	14.96	10.45
S3-3	53.90	50.04	52.17	49.63	51.96	48.56	45.16	40.69	34.54	35.20	30.06	22.88	24.59	15.09	9.95
S4-1	49.12	47.51	43.14	40.03	41.22	37.56	33.39	31.66	28.26	28.76	24.84	22.76	17.92	13.29	11.45
S4-2	47.01	43.52	41.30	35.27	44.02	39.37	41.56	30.54	27.18	29.72	28.19	24.50	20.56	11.85	9.05
S4-3	48.12	47.82	45.21	46.01	44.56	43.82	37.25	32.96	28.72	31.68	28.56	26.61	22.79	13.74	8.76

Ek Çizelge 5c. Deneme Konularında SAR Azalması

30 Gün					60 Gün				
Konular	Denemede SAR Değişimi		SAR Azalması	Başlangıca Göre Azalma, %	Konular	Denemede SAR Değişimi		SAR Azalması	Başlangıca Göre Azalma, %
	Başlangıç	Bitiş				Başlangıç	Bitiş		
S1-1	56.30	21.55	34.75	62	S1-1	56.30	23.57	32.73	58
S1-2	56.30	22.18	34.12	61	S1-2	56.30	21.52	34.78	62
S1-3	56.30	20.08	36.22	64	S1-3	56.30	22.65	33.65	60
S2-1	56.30	12.82	43.48	77	S2-1	56.30	13.24	43.06	76
S2-2	56.30	12.28	44.02	78	S2-2	56.30	14.21	42.09	75
S2-3	56.30	12.15	44.15	78	S2-3	56.30	11.56	44.74	79
S3-1	56.30	9.25	47.05	84	S3-1	56.30	9.28	47.02	84
S3-2	56.30	9.20	47.10	84	S3-2	56.30	10.45	45.85	81
S3-3	56.30	6.38	49.92	89	S3-3	56.30	9.95	46.35	82
S4-1	56.30	11.16	45.14	80	S4-1	56.30	11.45	44.85	80
S4-2	56.30	12.15	44.15	78	S4-2	56.30	9.05	47.25	84
S4-3	56.30	9.66	46.64	83	S4-3	56.30	8.76	47.54	84

Ek Çizelge 6a. 30 Günlük İnkübasyon Koşullarında (IN:30 gün) ve Farklı Kükürt Uygulamalarında Süzük Suyunda Ölçülen ESP Değerleri

Deneme Konuları	Yıkama Suyu, D _{1w} (cm)														
	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45
S1-1	46.65	47.03	42.96	39.43	30.55	29.57	32.26	29.25	27.91	27.70	25.84	27.99	23.76	23.58	23.07
S1-2	44.80	43.14	36.34	34.98	33.30	34.07	32.60	29.78	27.79	26.75	25.45	26.34	25.71	24.94	23.61
S1-3	42.88	46.36	44.41	40.45	41.45	38.98	33.26	30.87	28.75	27.47	26.52	28.51	24.39	23.08	21.79
S2-1	34.69	36.46	35.02	33.42	24.86	27.66	23.82	22.51	14.27	20.76	19.58	18.99	16.83	15.18	14.77
S2-2	39.06	40.01	39.40	38.41	12.68	25.88	23.44	22.34	21.34	17.19	16.35	14.73	16.28	15.85	14.20
S2-3	37.50	36.51	36.12	32.94	23.81	28.82	21.97	15.41	13.04	22.51	19.75	20.00	21.53	18.33	14.06
S3-1	25.83	31.12	34.05	36.35	29.56	24.37	31.20	26.06	25.00	23.29	20.67	19.44	18.12	13.05	10.83
S3-2	30.37	30.00	29.79	30.08	27.61	25.61	24.45	22.52	20.14	19.58	18.84	12.82	12.33	12.09	10.78
S3-3	35.89	35.92	43.68	32.70	22.33	25.71	18.15	11.86	11.74	18.89	17.51	15.66	14.48	10.81	7.40
S4-1	31.80	35.63	34.57	31.27	28.60	26.80	16.54	15.31	13.55	18.77	16.67	16.06	16.80	15.74	12.98
S4-2	30.48	38.84	40.08	37.06	33.60	32.88	28.57	20.57	12.03	14.16	14.60	14.84	14.06	13.95	14.06
S4-3	37.40	43.18	38.50	37.02	35.71	34.67	27.99	20.99	10.78	22.58	20.36	11.31	15.95	13.38	11.30

Ek Çizelge 6b. 60 Günlük İnkübasyon Koşullarında (IN:60 gün) ve Farklı Kükürt Uygulamalarında Süzük Suyunda Ölçülen ESP Değerleri

Deneme Konuları	Yıkama Suyu, D_{1w} (cm)														
	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45
S1-1	42.69	40.88	40.88	38.06	39.34	37.77	38.10	33.70	30.58	27.40	24.31	23.51	24.39	24.40	24.76
S1-2	44.13	43.45	42.68	40.81	40.19	41.55	37.48	34.94	33.84	32.02	26.45	23.46	25.91	24.29	23.04
S1-3	42.40	43.07	41.13	42.39	39.07	40.91	38.52	35.30	33.54	32.51	24.19	24.34	22.64	23.05	24.00
S2-1	44.01	40.86	39.56	38.37	36.91	36.28	34.66	31.28	25.89	24.42	22.91	21.47	20.42	19.76	15.21
S2-2	43.21	41.55	39.53	37.69	36.56	34.56	30.52	29.00	27.42	26.51	24.76	24.16	20.94	15.18	16.21
S2-3	44.07	38.50	43.54	40.75	39.49	38.42	35.76	28.27	26.68	24.18	24.98	22.66	21.44	16.53	13.42
S3-1	42.19	41.55	40.79	39.95	39.40	38.06	36.88	33.81	28.96	28.34	26.85	25.02	19.15	16.97	10.87
S3-2	41.48	40.29	38.91	40.86	38.22	37.28	38.14	35.34	33.83	30.31	25.71	20.13	18.87	17.10	12.20
S3-3	43.47	41.62	42.66	41.42	42.56	40.88	39.10	36.60	32.81	33.24	29.74	24.20	25.59	15.27	11.64
S4-1	41.16	40.34	38.00	36.22	36.91	34.73	32.04	30.87	28.43	28.80	25.79	24.10	19.82	13.74	13.30
S4-2	40.09	38.21	36.96	33.28	38.49	35.82	37.11	30.08	27.62	29.49	28.37	25.52	22.21	15.73	10.60
S4-3	40.66	40.50	39.13	39.56	38.79	38.38	34.53	31.76	28.77	30.88	28.65	27.18	24.12	15.73	10.27

Ek Çizelge 6c. Deneme Konularında ESP Azalması

30 Gün					60 Gün				
Konular	Denemede ESP Değişimi		ESP Azalması	Başlangıca Göre Azalma, %	Konular	Denemede ESP Değişimi		ESP Azalması	Başlangıca Göre Azalma, %
	Başlangıç	Bitiş				Başlangıç	Bitiş		
S1-1	71.52	23.07	48.45	67.74	S1-1	71.52	24.76	46.76	65.37
S1-2	71.52	23.61	47.91	66.99	S1-2	71.52	23.04	48.48	67.78
S1-3	71.52	21.79	49.73	69.54	S1-3	71.52	24.00	47.52	66.44
S2-1	71.52	14.77	56.75	79.35	S2-1	71.52	15.21	56.31	78.73
S2-2	71.52	14.2	57.32	80.15	S2-2	71.52	16.21	55.31	77.34
S2-3	71.52	14.06	57.46	80.34	S2-3	71.52	13.42	58.1	81.24
S3-1	71.52	10.83	60.69	84.86	S3-1	71.52	10.87	60.65	84.80
S3-2	71.52	10.78	60.74	84.93	S3-2	71.52	12.2	59.32	82.94
S3-3	71.52	7.4	64.12	89.65	S3-3	71.52	11.64	59.88	83.72
S4-1	71.52	12.98	58.54	81.85	S4-1	71.52	13.3	58.22	81.40
S4-2	71.52	14.06	57.46	80.34	S4-2	71.52	10.6	60.92	85.18
S4-3	71.52	11.3	60.22	84.20	S4-3	71.52	10.27	61.25	85.64

Ek Çizelge 7a. 30 Günlük İnkübasyonda Farklı Kükürt Konularında İnfiltrasyon Süreleri (saat)

Kükürt Konuları	Yıkama Suları, cm														
	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45
S1	10.5	36.3	88.8	136.6	189.9	244.1	290.2	319.5	360.6	419.3	477.0	613.5	755.3	869.1	970.0
S2	2.0	4.7	6.9	9.9	13.4	15.7	18.3	20.9	22.3	23.7	24.7	25.9	26.8	28.0	28.8
S3	5.0	8.9	10.8	13.8	17.6	20.3	24.2	26.6	28.8	31.1	33.6	35.1	35.8	36.3	37.0
S4	7.0	12.7	17.3	23.3	27.1	30.5	33.6	36.1	38.4	41.0	42.6	44.9	47.4	49.9	52.7
Ortalama	6.1	15.6	30.9	45.9	62.0	77.6	91.6	100.8	112.5	128.8	144.5	179.8	216.3	245.8	272.1

Ek Çizelge 7b. 60 Günlük İnkübasyonda Farklı Kükürt Konularında İnfiltrasyon Süreleri (saat)

Kükürt Konuları	Yıkama Suları, cm														
	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45
S1	2.4	5.8	11.0	18.3	25.0	28.3	32.2	44.9	51.2	57.8	81.9	122.0	231.6	374.2	499.3
S2	3.0	7.5	13.5	21.0	30.0	40.5	52.5	66.0	81.0	97.5	115.5	135.0	156.0	178.5	202.5
S3	2.8	5.3	7.4	10.4	12.8	15.5	18.6	21.3	23.3	25.1	26.5	27.9	29.0	29.7	30.3
S4	0.6	1.3	2.3	3.4	4.4	5.6	6.8	8.5	10.1	12.0	14.0	15.7	18.3	20.8	23.3
Ortalama	2.2	5.0	8.6	13.3	18.0	22.5	27.5	35.2	41.4	48.1	59.4	75.2	108.7	150.8	188.9