

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KİREÇLİ TOPRAKLARDA SUYLA DOYGUN KOŞULLARDA
YARAYIŞLI FOSFOR MİKTARI VE FOSFOR
FRAKSİYONLARINDAKİ DEĞİŞİMLERİN BELİRLENMESİ**

Mehmet KARAGÖKTAŞ

**Danışman
Doç. Dr. Veli UYGUR**

**DOKTORA TEZİ
TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI
ISPARTA – 2018**



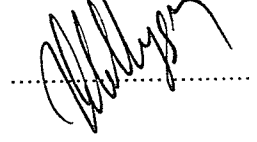
© 2018 [Mehmet KARAGÖKTAŞ]

TEZ ONAYI

Mehmet KARAGÖKTAŞ tarafından hazırlanan "Kireçli Topraklarda Suyula Doygun Koşullarda Yarayışlı Fosfor Miktarı ve Fosfor Fraksiyonlarındaki Değişimlerin Belirlenmesi" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı'nda DOKTORA TEZİ olarak başarı ile savunulmuştur.

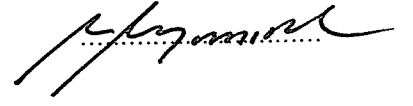
Danışman

Doç. Dr. Veli UYGUR
Süleyman Demirel Üniversitesi



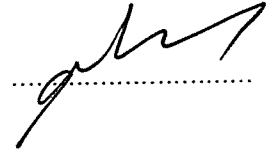
Jüri Üyesi

Prof. Dr. Levent BAŞAYİĞİT
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Prof. Dr. Recep GÜNDOĞAN
Harran Üniversitesi



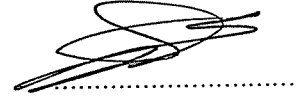
Jüri Üyesi

Prof. Dr. Ali Rıza DEMİRKIRAN
Bingöl Üniversitesi



Jüri Üyesi

Prof. Dr. Sadık USTA
Ankara Üniversitesi



Enstitü Müdürü

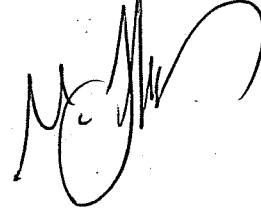
Prof. Dr. Yasin TUNCER



TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Mehmet KARAGÖKTAŞ



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	7
3. MATERYAL VE YÖNTEM	13
3.1. Materyal	13
3.1.1. Araştırmada kullanılan topraklarının genel özellikleri	13
3.1.2. Araştırma sahasının iklimi	13
3.1.3. Araştırma sahasında taban suyu ve oluşma süreçleri	13
3.1.4. Toprak numunelerinin alındığı noktalar	14
3.2. Metot	14
3.2.1. Toprak örnekleme ve ön hazırlıklar	14
3.2.2. Toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi	15
3.2.2.1. Toprak pH'sı ve EC'si	15
3.2.2.2. Organik madde	16
3.2.2.3. Kireç	16
3.2.2.5. Olsen P (Yarayışlı fosfor)	16
3.2.2.6. Amonyum asetat ile ekstrakte edilebilir katyonlar (Ca, Mg, Na, K)	16
3.2.2.7. Katyon değişim kapasitesi	16
3.2.2.8. DTPA ile ekstrakte edilebilir Fe, Mn, Cu, Zn	17
3.2.2.9. Toprak tekstürü	17
3.2.2.10. Tarla kapasitesi ve solma noktası	17
3.2.2.11. Toplam demir, alüminyum, mangan ve fosfor	17
3.2.2.12. Sitrat dithionit bikarbonat ile çözülebilir demir	17
3.2.2.13. Aktif (Amorf) demirin belirlenmesi	17
3.2.2.14. Kristalin demirin belirlenmesi	18
3.2.2.15. Kil fraksiyonlarının belirlenmesi	18
3.2.2.16. Fosfor fraksiyonlarının belirlenmesi	18
3.2.3. İnkübasyon denemesinin kurulması ve yönetilmesi	19
3.2.4. Saksı denemesinin kurulması ve yönetilmesi	21
3.2.4.1. Bitki yaprak numunelerinin alınması ve analiz edilmesi	22
3.2.4.2. Saksı denemesi sonunda toprak analizi	22
3.3. İstatistiksel Değerlendirmeler	23
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	24
4.1. İnkübasyon Denemesi Bulguları	24
4.1.1. İnkübasyon denemesinde kullanılan toprakların özellikleri	24
4.1.2. Suyla doymuş şartlarda inkübasyona bırakılan topraklarda meydana gelen değişimler	26
4.1.2.1. İnkübasyon sıvısı pH değerindeki değişimler	26
4.1.2.2. İnkübasyon sıvısı EC değerleri	28
4.1.2.3. İnkübasyon sıvısı Eh değerleri	31
4.1.2.4. İnkübasyon Denge Çözeltisi P konsantrasyonları	34
4.1.2.5. Suyla doymuş şartlarda inkübasyona bırakılan toprakların fosfor fraksiyonları	39
4.1.2.5.1. İndirgenmiş toprakların NaOH ile ekstrakte edilen P konsantrasyonları	39

4.1.2.5.2. İndirgenmiş toprakların CDB ile ekstrate edilen P konsantrasyonları.....	43
4.1.2.5.3. İndirgenmiş toprakların HCl ile ekstrate edilen P konsantrasyonları.....	46
4.1.3. Tarla kapasitesinde inkübasyona bırakılan toprakların fosfor fraksiyonları	50
4.1.3.1. Tarla kapasitesindeki toprakların NaOH ile ekstrate edilen P konsantrasyonları	50
4.1.3.2. Tarla kapasitesindeki toprakların CDB ile ekstrate edilen P konsantrasyonları	54
4.1.3.3. Tarla kapasitesindeki toprakların HCl ile ekstrate edilen P konsantrasyonları	57
4.2. Saksı Denemesi Bulguları	60
4.2.1. Saksı denemesinde kullanılan toprakların özellikleri	60
4.2.2. Saksı denemesinde kullanılan sulama suyunun özellikleri	62
4.2.3. Su altında kalan saksı topraklarının drenaj suyu kalite parametreleri ve besin maddesi içerikleri	62
4.2.4. Su baskını altında kalan pamuğun besin maddesi alımı	79
4.2.5. Su altında kalan saksı topraklarının fosfor fraksiyonları	95
4.2.5.1. Saksı topraklarının NaOH ile ekstrate edilen P fraksiyonları	95
4.2.5.2. Saksı topraklarının CDB ile ekstrate edilen P fraksiyonları	97
4.2.5.3. Saksı topraklarının HCl ile ekstrate edilen P fraksiyonları	99
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	102
KAYNAKLAR.....	105
EKLER.....	115
Ek A: Korelasyonlar	115
ÖZGEÇMİŞ	125

ÖZET

DOKTORA TEZİ

KİREÇLİ TOPRAKLARDA SUYLA DOYGUN KOŞULLARDA YARAYIŞLI FOSFOR MİKTARI VE FOSFOR FRAKSİYONLARINDAKİ DEĞİŞİMLERİN BELİRLENMESİ

Mehmet KARAGÖKTAŞ

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Veli UYGUR

Su altında kalan tarım toprakları bitki yetiştiriciliğinde kullanılmadığı gibi aynı zamanda tuzlulaşarak verimsiz topraklar haline dönemektedirler. Ülkemizin farklı yerlerinde bu topraklara rastlanılmakta ve yapısı bozulan bu toprakların ıslahı için bu alanlara özgü çalışmaların yapılması gerekmektedir. Harran Ovası 1990'lı yıllara kadar kuru tarım sistemiyle kullanılmış ve 1995'te sulu tarıma açılmıştır. Sulu tarım sistemiyle birlikte, kısa zaman içerisinde, aşırı sulama ve çiftçilerin sulama bilgilerinin eksik olmasından kaynaklanan taban suyu problemi meydana gelmiştir. Suyu doymuş koşullarda fosfor mineralleri değişen redoks koşulları ve pH nedeniyle ilave çökme ve çözünme reaksiyonları göstermektedir. Önemli tarımsal girdilerden olan fosforun çözünürlüğü indirgen koşullarda artarken, yükseltgen koşullarda demir bileşikleri olarak çökmesi ya da seskioksitlerce adsorpsiyonu nedeniyle azalmaktadır. Bu çalışmada, yüksek taban suyu nedeniyle oluşan indirgen koşullarda fosforun yarayışlılığı ve fraksiyonları arasındaki hareketlilik incelenmiştir.

Çalışma Harran Ovası'nda su baskını/yüksek taban suyu problemi bulunan üç toprak serisinde iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. Birinci aşama laboratuvar koşullarında inkübasyon çalışması ile zamana bağlı olarak 0.1 N NaOH (NaOH-P), sitrat-bikarbonat-dithionit (CDB-P) ve 0.5 N HCl (HCl-P) ile ekstrakte edilebilen P fraksiyonlarındaki değişimler incelenirken; ikinci aşamada ise, sera koşullarında 0 – 7 – 14 – 21 ve 28 gün su altında bırakılan saksıların pamuk bitkisinin beslenmesi, drenaj suyunun içeriği, topraktaki fosfor fraksiyonları ve redoks ile ilişkili bazı toprak özellikleri üzerine olan etkisi araştırılmıştır.

Araştırma sonuçlarına göre; toprakların saf su ve gübreli su ile tarla kapasitesinde (inkübatörde) artan inkübasyon süresine göre NaOH-P ve CDB-P fraksiyonunda artışlar meydana gelirken, HCl-P fraksiyonunda önemli değişim meydana gelmemiştir.

Saf su ile 28°C sabit sıcaklıkta su altında bırakılan topraklarda (1:10 toprak: su karışımı) gerek toprak pH'sında düşmeye bağlı Ca-P bileşenlerinin çözülmesi gerekse indirgen koşullar nedeniyle Fe-P bileşenlerinin çözünmesi nedeniyle sıvı fazdaki P konsantrasyonunda artış belirlenmiştir. Bu artış NaOH-P ve CDB-P fraksiyonlarında önemli artışlara neden olmuştur. Toprakların 2 mg L⁻¹ fosfor içeren gübreli su ile (1:10 toprak:çözelti) inkübasyonu sonucunda, eklenen fosfor su altında kalma süresinin artmasıyla her üç fraksiyondaki fosfor miktarını yükseltmiş ve eklenen fosforun %70 – 80'i ilk 7 gün içerisinde adsorpsiyon ve/veya çökme reaksiyonlarıyla çözelti fazından uzaklaşmıştır.

Ekimden 60 gün sonra pamuk yetiştirilen saksıların su altında bırakılması sonucunda; su altında kalma süresine bağlı olarak pH değerinde azalma; EC değerinde artma meydana gelmiştir. Pamuk yetiştirilen toprakların su altında kalma süresinin artmasıyla drenaj sularının Fe, Mn, P, Na, Mg, B, Cl, HCO₃ ve CO₃ konsantrasyonlarında artışlar meydana gelirken; Ca, K, Cu, NO₃ ve SO₄ konsantrasyonlarında azalmalar meydana gelmiştir. Saksıda yetiştirilen pamukların su altında kalma süresinin artmasıyla yaprak Ca, Mg, Na, S, Fe ve Mn içeriklerinde artışlar meydana gelirken; K, P, Zn ve N içeriklerinde azalmalar meydana gelmiştir. Su altında bırakılan saksı topraklarının hasat sonrasında kurutulması sonucunda NaOH-P ve CDB-P fraksiyonlarındaki fosfor miktarı artarken; HCl-P fraksiyonunda fosforun azaldığı gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak toprakların su altında kalmasıyla gerek topraktaki var olan fosfor bileşenleri gerekse gübre fosforu son derece dinamik bir durum arz etmektedir. Dolayısıyla bu gibi topraklarda çevreye duyarlı fosfor idaresinde bu hareketliliğin göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Anahtar kelimeler: Su baskını, redoks, fosfor fraksiyonları, yarayışlı fosfor, kireçli topraklar

2018, 125 sayfa

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

DETERMINATION OF ALTERATION IN AVAILABLE PHOSPHORUS AMOUNT AND PHOSPHORUS FRACTIONS UNDER WATERLOGGED CONDITION IN CALCAREOUS SOILS

Mehmet KARAGÖKTAŞ

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Soil Science and Plant Nutrition**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Veli UYGUR

Waterlogged agricultural soils are not only used for plant production but also alter saline soils which are unfertile. These soils can be met some part of country and special research needs for these degraded soils. Rain-fed agriculture system had been used in Harran Plain until the mid-1990s and then, irrigation was begun in 1995. After starting irrigation, in short time, ground water problem has occurred due to over irrigation and lack of irrigation knowledge of farmer. In waterlogged condition, while some phosphorus minerals (Ca-P) are precipitated, some phosphorus minerals (Fe-P) are dissolved due to high redox susceptibility and changed soil pH. The solubility of phosphorus, which is an important agricultural input, increases due to waterlogging induced reducing environment whereas it decreases due to higher redox potential and precipitation as iron compounds or adsorption by sesquioxides. In this study, we investigate availability of phosphorus and movement of phosphorus fractions each other under reduced conditions which are take placed high water table.

This study, availability of phosphorus and inter-fraction changes in P fraction will be determined in 3 soil series of Harran Plain under temporary high level ground water/waterlogging. The study had been conducted in two consecutive steps. Firstly, soils had been incubated in laboratory and time-dependent changes in P fraction had been investigated 0.1 M NaOH (NaOH-P), citrate bicarbonate dithionite (CDB-P) and 0.5 N HCl extractable (HCl-P); in second step; the effect of 0 – 7 – 14 – 21 – 28 days of waterlogging on nutrient uptake of cotton plant, content of drainage water, phosphorus fractions and soil properties which are related with redox in a greenhouse study had been investigated.

According to result of study; result of incubation of soil with distilled water and phosphorus solution in field capacity, according to increasing incubation time; while NaOH-P and CDB-P fractions increase, in HCl-P fractions didn't take place any important changes.

As a result of waterlogging of soil with distilled water in incubator (1:10 soil: water mix); both solubilization of Ca-P compounds due to decreasing soil pH because of increasing waterlogging time and reduction of Fe-P compounds in reduced conditions raise P concentration of incubation solution. Increased amount of P in soil solution take placed important increments in NaOH-P and CDB-P fractions. Result of incubation of soils with 2 mg L⁻¹ P solution (1:10 soil:solution), added phosphorus increased NaOH-P, CDB-P and HCl-P fractions according to raised incubation time

and 70 – 80 % of added phosphorus sorbed by soil particles in 7 days of incubation as sorption or adsorption reactions.

Waterlogging of cotton plant 60 days after sowing, according to the waterlogging time while pH values of soils decreased, EC values increased. While Fe, Mn, P, Na, Mg, B, Cl, HCO_3^- and CO_3^{2-} concentration of soil solution of waterlogged pots raised during increasing waterlogging time, Ca, K, Cu, NO_3^- and SO_4^{2-} concentrations decreased. Leaf Ca, Mg, Na, S, Fe and Mn content of cotton plants raised during increasing waterlogging time and K, P, Zn and N content decreased. At the end of pot experiment, drying of soils after draining of waterlogged water; while NaOH-P and CDB-P fractions increasing, HCl-P fractions decreased.

To conclude, when soil waterlogged, not only soil phosphorus but also fertilizer phosphorus behave dynamically. So that, we consider that soils dynamic characters to environment friendly phosphorus management.

Key Words: Waterlogging, redox, phosphorus fractions, available phosphorus, calcareous soils

2018, 125 pages

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim boyunca hem ders hem de tez döneminde yardımlarını benden esirgemeyen değerli danışmanım Doç. Dr. Veli UYGUR'a, laboratuvar çalışmalarında birlikte çalıştığım eski mesai arkadaşlarım Dr. Hatice KARA, Tek. Satı TÜRKİSAL ve Tek. Osman ALTAY'a teşekkür ederim.

Bu çalışmanın yapıldığı **"Kireçli Topraklarda Su Altında Kalma Süresinin Fosfor Fraksiyonları ve Fosfor Yarıyışlılığı Üzerine Etkisi"** isimli ve **214O357**'nolu projeyi finansal olarak destekleyen TÜBİTAK TOVAG'a teşekkür ederim.

Mehmet KARAGÖKTAŞ

ISPARTA, 2018



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Fosforun toprak pH'sına göre topraktaki mineral formları	1
Şekil 3.1. Harran ovasının kuzey – güney doğrultusundaki kesiti	14
Şekil 3.2. Toprak örneklerinin alındığı noktalar ve Harran Ovası seri haritası	15
Şekil 3.3. İnkübasyon çalışmasında bir toprak için kullanılandeneme deseni	20
Şekil 3.4. İnkübasyonda kullanılan toprak – su mikrokosmu	20
Şekil 3.5. Saksı ile kurulan deneme deseni	21
Şekil 3.6. Saksıda yetiştirilen bitkilerin su altında bırakılması ve drenajı	22
Şekil 4.1. Gübresiz olarak inkübasyona bırakılan toprakların pH'sının zamanla değişimi	27
Şekil 4.2. Gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların pH'sının zamanla değişimi	28
Şekil 4.3. Gübresiz olarak inkübasyona bırakılan toprakların EC'sinin zamanla değişimi	30
Şekil 4.4. Gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların EC'sinin zamanla değişimi	30
Şekil 4.5. Gübresiz olarak inkübasyona bırakılan toprakların Eh'sinin zamanla değişimi	32
Şekil 4.6. Gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların Eh'sinin zamanla değişimi	33
Şekil 4.7. Gübresiz olarak inkübasyona bırakılan toprakların inkübasyon sıvısı P konsantrasyonunun zamanla değişimi	35
Şekil 4.8. Gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların inkübasyon sıvısı P konsantrasyonunun zamanla değişimi	37
Şekil 4.9. Gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların P sorpsiyonunun zamanla değişimi	38
Şekil 4.10. Gübresiz olarak inkübasyona bırakılan toprakların redüksiyon sonrası NaOH-P fraksiyonunun zamanla değişimi	40
Şekil 4.11. Gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların redüksiyon sonrası NaOH-P fraksiyonunun zamanla değişimi	41
Şekil 4.12. Gübresiz olarak inkübasyona bırakılan toprakların redüksiyon sonrası CDB-P fraksiyonunun zamanla değişimi	43
Şekil 4.13. Gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların redüksiyon sonrası CDB -P fraksiyonunun zamanla değişimi	45
Şekil 4.14. Gübresiz olarak inkübasyona bırakılan toprakların redüksiyon sonrası HCl-P fraksiyonunun zamanla değişimi	47
Şekil 4.15. Gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların redüksiyon sonrası HCl- P fraksiyonunun zamanla değişimi	49
Şekil 4.16. Gübresiz olarak tarla kapasitesinde inkübasyona bırakılan toprakların NaOH-P fraksiyonunun zamanla değişimi	51
Şekil 4.17. Gübreli olarak tarla kapasitesinde inkübasyona bırakılan toprakların NaOH-P fraksiyonunun zamanla değişimi	53
Şekil 4.18. Gübresiz olarak tarla kapasitesinde inkübasyona bırakılan toprakların CDB-P fraksiyonunun zamanla değişimi	55
Şekil 4.19. Gübreli olarak tarla kapasitesinde inkübasyona bırakılan toprakların CDB-P fraksiyonunun zamanla değişimi	56
Şekil 4.20. Gübresiz olarak tarla kapasitesinde inkübasyona bırakılan toprakların HCl-P fraksiyonunun zamansal değişimi	58
Şekil 4.21. Gübreli olarak tarla kapasitesinde inkübasyona bırakılan toprakların HCl- P fraksiyonunun zamansal değişimi	59
Şekil 4.22. Su altında bırakılan toprakların drenaj suyu pH değerleri	63
Şekil 4.23. Su altında bırakılan toprakların drenaj suyu EC değerleri	64
Şekil 4.24. Su altında bırakılan toprakların drenaj suyu Ca konsantrasyonları	65

Şekil 4.25. Su altında bırakılan toprakların drenaj suyu Mg konsantrasyonları	67
Şekil 4.26. Su altında bırakılan toprakların drenaj suyu Na konsantrasyonları	68
Şekil 4.27. Su altında bırakılan toprakların drenaj suyu K konsantrasyonları	69
Şekil 4.28. Su altında bırakılan toprakların drenaj suyu Fe konsantrasyonları	70
Şekil 4.29. Su altında bırakılan toprakların drenaj suyu Mn konsantrasyonları	71
Şekil 4.30. Su altında bırakılan toprakların drenaj suyu B konsantrasyonları	72
Şekil 4.31. Su altında bırakılan toprakların drenaj suyu P konsantrasyonları	74
Şekil 4.32. Su altında bırakılan toprakların drenaj suyu Cu konsantrasyonları	75
Şekil 4.33. Su altında bırakılan toprakların drenaj suyu $\text{SO}_4\text{-S}$ konsantrasyonları ...	76
Şekil 4.34. Su altında bırakılan toprakların drenaj suyu Cl konsantrasyonları	77
Şekil 4.35. Su altında bırakılan toprakların drenaj suyu HCO_3 konsantrasyonları ...	78
Şekil 4.36. Su altında bırakılan toprakların drenaj suyu CO_3^{-2} konsantrasyonları	79
Şekil 4.37. Su altında bırakılan topraklarda yetişen pamuk bitkisi yaprak Ca içerikleri	81
Şekil 4.38. Su altında bırakılan topraklarda yetişen pamuk bitkisi yaprak Mg içerikleri	82
Şekil 4.39. Su altında bırakılan topraklarda yetişen pamuk bitkisi yaprak Na içerikleri	84
Şekil 4.40. Su altında bırakılan topraklarda yetişen pamuk bitkisinin yaprak K içerikleri	84
Şekil 4.41. Su altında bırakılan topraklarda yetişen pamuk bitkisi yaprak toplam N içerikleri	86
Şekil 4.42. Su altında bırakılan topraklarda yetişen pamuk bitkisi yaprak P içerikleri	87
Şekil 4.43. Su altında bırakılan topraklarda yetişen pamuk bitkisi yaprak B içerikleri	89
Şekil 4.44. Su altında bırakılan topraklarda yetişen pamuk bitkisi yaprak $\text{SO}_4\text{-S}$ içerikleri	89
Şekil 4.45. Su altında bırakılan topraklarda yetişen pamuk bitkisi yaprak Fe içerikleri	91
Şekil 4.46. Su altında bırakılan topraklarda yetişen pamuk bitkisi yaprak Mn içerikleri	92
Şekil 4.47. Su altında bırakılan topraklarda yetişen pamuk bitkisi yaprak Cu içerikleri	93
Şekil 4.48. Su altında bırakılan topraklarda yetişen pamuk bitkisi yaprak Zn içerikleri	94
Şekil 4.49. Saksı denemesinde kullanılan toprakların NaOH-P fraksiyonlarının zamanla değişimi	96
Şekil 4.50. Saksı denemesinde kullanılan toprakların CDB-P fraksiyonlarının zamanla değişimi	98
Şekil 4.51. Saksı denemesinde kullanılan toprakların HCl-P fraksiyonlarının zamanla değişimi	100

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 1.1. Elektron yakalayıcıların kullanım sırası ve ortamın redoks potansiyeli ..	3
Çizelge 4.1. İnkübasyon denemesinde kullanılan toprakların tanımlayıcı özellikleri	24
Çizelge 4.2. İnkübasyon denemesinde kullanılan toprakların fiziksel özellikleri.....	24
Çizelge 4.3. İnkübasyon denemesinde kullanılan toprakların NH ₄ OAc ile ekstrakte edilebilir katyon miktarları ve KDK'ları	25
Çizelge 4.4. İnkübasyon denemesinde kullanılan toprakların DTPA ile ekstrakte edilebilir mikro element içerikleri	25
Çizelge 4.5. İnkübasyon denemesinde kullanılan toprakların toplam element içerikleri ve demirin farklı fraksiyonları	25
Çizelge 4.6. İnkübasyon denemesinde kullanılan toprakların fosfor fraksiyonları	26
Çizelge 4.7. İnkübasyon denemesinde kullanılan toprakların kil fraksiyon analizi ...	26
Çizelge 4.8. Gübresiz ve gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların inkübasyon sıvısı pH değerinin zamanla değişimi.....	26
Çizelge 4.9. Gübresiz ve gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların t-testi sonuçları	27
Çizelge 4.10. Gübresiz ve gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların inkübasyon sıvısı EC değerinin zamanla değişimi	29
Çizelge 4.11. Gübresiz ve gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların EC değerleri t-testi sonuçları	29
Çizelge 4.12. Gübresiz ve gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların inkübasyon sıvısı Eh değerinin zamanla değişimi.....	31
Çizelge 4.13. Gübresiz ve gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların Eh değerleri t testi sonuçları	32
Çizelge 4.14. Gübresiz olarak inkübasyona bırakılan toprakların inkübasyon sıvısı P konsantrasyonunun zamanla değişimi	34
Çizelge 4.15. Gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların inkübasyon sıvısı P konsantrasyonlarının zamanla değişimi	36
Çizelge 4.16. Gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların P sorpsiyonunun zamanla değişimi	37
Çizelge 4.17. Gübresiz ve gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların NaOH-P konsantrasyonlarının zamanla değişimi	39
Çizelge 4.18. Gübresiz ve gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların NaOH-P değerleri t-testi sonuçları	42
Çizelge 4.19. Gübresiz ve gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların CDB-P konsantrasyonlarının zamanla değişimi	43
Çizelge 4.20. Gübresiz ve gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların CDB-P fraksiyonlarına ait t-testi sonuçları	46
Çizelge 4.21. Gübresiz ve gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların HCl-P konsantrasyonlarının zamanla değişimi	47
Çizelge 4.22. Gübresiz ve gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların HCl-P değerleri t-testi sonuçları	49
Çizelge 4.23. Gübresiz ve gübreli olarak tarla kapasitesinde inkübasyona bırakılan toprakların NaOH-P konsantrasyonlarının zamanla değişimi	50
Çizelge 4.24. Gübresiz ve gübreli olarak tarla kapasitesinde inkübasyona bırakılan toprakların NaOH-P değerleri t-testi sonuçları	54
Çizelge 4.25. Gübresiz ve gübreli olarak tarla kapasitesinde inkübasyona bırakılan toprakların CDB-P konsantrasyonlarının zamana bağlı değişimi	55
Çizelge 4.26. Gübresiz ve gübreli olarak tarla kapasitesinde inkübasyona bırakılan toprakların CDB-P fraksiyonlarına ait t-testi sonuçları	57
Çizelge 4.27. Gübresiz ve gübreli olarak tarla kapasitesinde inkübasyona bırakılan toprakların HCl-P konsantrasyonlarının zamansal değişimi.....	58

Çizelge 4.28. Gübresiz ve gübreli olarak tarla kapasitesinde inkübasyona bırakılan toprakların HCl-P fraksiyonlarına ait t-testi sonuçları	59
Çizelge 4.29. Saksı denemesinde kullanılan toprakların tanımlayıcı özellikleri.....	60
Çizelge 4.30. İnkübasyon denemesinde kullanılan toprakların fiziksel özellikleri.....	60
Çizelge 4.31. Saksı denemesinde kullanılan toprakların NH ₄ OAc ile ekstrakte edilebilir katyon miktarları ve KDK'ları.....	61
Çizelge 4.32. Saksı denemesinde kullanılan toprakların DTPA ile ekstrakte edilebilir mikro element içerikleri	61
Çizelge 4.33. Saksı denemesinde kullanılan toprakların toplam element içerikleri ve demirin farklı fraksiyonları	61
Çizelge 4.34. Saksı denemesinde kullanılan toprakların farklı fosfor fraksiyonları...	62
Çizelge 4.35. Saksıda yetiştirilen pamukların sulandığı suyun kalite parametreleri ve ortalama katyon içerikleri	62
Çizelge 4.36. Saksıda yetiştirilen pamukların sulandığı suyun ortalama katyon ve anyon içerikleri	62
Çizelge 4.37. Saksılardan drene edilen suların pH ve EC değerleri.....	63
Çizelge 4.38. Saksılardan drene edilen suların kalsiyum ve magnezyum içerikleri	65
Çizelge 4.39. Saksılardan drene edilen suların sodyum ve potasyum içerikleri.....	67
Çizelge 4.40. Saksılardan drene edilen suların demir ve mangan içerikleri	70
Çizelge 4.41. Saksılardan drene edilen suların bor ve fosfor içerikleri.....	72
Çizelge 4.42. Saksılardan drene edilen suların bakır ve kükürt içerikleri	74
Çizelge 4.43. Saksılardan drene edilen suların klor ve nitrat içerikleri	77
Çizelge 4.44. Saksılardan drene edilen suların bikarbonat ve karbonat içerikleri	78
Çizelge 4.45. Pamuk yapraklarının kalsiyum ve magnezyum içerikleri	80
Çizelge 4.46. Pamuk yapraklarının sodyum ve potasyum içerikleri	83
Çizelge 4.47. Pamuk yapraklarının azot ve fosfor içerikleri.....	85
Çizelge 4.48. Pamuk yapraklarının bor ve kükürt içerikleri.....	88
Çizelge 4.49. Pamuk yapraklarının demir ve mangan içerikleri.....	90
Çizelge 4.50. Pamuk yapraklarının bakır ve çinko içerikleri	93
Çizelge 4.51. Saksı denemesinde kullanılan toprakların NaOH-P fraksiyonlarının zamanla değişimi	95
Çizelge 4.52. Saksı denemesinde kullanılan toprakların CDB-P fraksiyonlarının zamanla değişimi	97
Çizelge 4.53. Saksı denemesinde kullanılan toprakların HCl-P fraksiyonlarının zamanla değişimi	99
Çizelge A.1. Begdeş serisi toprağının suyla doymun şartlarda gübresiz olarak inkübasyon sonrası belirlenen parametreler arası Pearson Korelasyonu (N=35)	115
Çizelge A.2. Begdeş serisi toprağının suyla doymun şartlarda gübreli olarak inkübasyon sonrası belirlenen parametreler arası Pearson Korelasyonu (N=35)	115
Çizelge A.3. Akçakale serisi toprağının suyla doymun şartlarda gübresiz olarak inkübasyon sonrası belirlenen parametreler arası Pearson Korelasyonu (N=35)	115
Çizelge A.4. Akçakale serisi toprağının suyla doymun şartlarda gübreli su ile inkübasyon sonrası belirlenen parametreler arası Pearson Korelasyonu (N=35)	116
Çizelge A.5. Harran serisi toprağının suyla doymun şartlarda gübresiz olarak inkübasyon sonrası belirlenen parametreler arası Pearson Korelasyonu (N=35)	116
Çizelge A.6. Harran serisi toprağının suyla doymun şartlarda gübreli olarak inkübasyon sonrası belirlenen parametreler arası Pearson Korelasyonu (N=35)	116

Çizelge A.7. Begdeş serisi toprağının tarla kapasitesinde gübresiz ve gübreli olarak inkübasyon sonrası belirlenen parametreler arası Pearson Korelasyonu (N=35)	117
Çizelge A.8. Akçakale serisi toprağının tarla kapasitesinde gübresiz ve gübreli olarak inkübasyon sonrası belirlenen parametreler arası Pearson Korelasyonu	117
Çizelge A.9. Harran serisi toprağının tarla kapasitesinde gübresiz ve gübreli olarak inkübasyon sonrası g belirlenen parametreler arası Pearson Korelasyonu (N=35)	117
Çizelge A.10. Begdeş serisi toprağında pamuk yetiştirilen saksıların drenaj suyu kalite parametreleri ve besin maddesi içerikleri arasındaki Pearson Korelasyonu (N=20)	118
Çizelge A.11. Akçakale serisi toprağında pamuk yetiştirilen saksıların drenaj suyu kalite parametreleri ve besin maddesi içerikleri arasındaki Pearson Korelasyonu (N=20)	119
Çizelge A.12. Harran serisi toprağında pamuk yetiştirilen saksıların drenaj suyu kalite parametreleri ve besin maddesi içerikleri arasındaki Pearson Korelasyonu (N=20)	120
Çizelge A.13. Begdeş serisi toprağında saksıda yetiştirilen pamuk yapraklarının besin maddesi içerikleri arasındaki korelasyonlar (N=15).....	121
Çizelge A.14. Akçakale serisi toprağında saksıda yetiştirilen pamuk yapraklarının besin maddesi içerikleri arasındaki korelasyonlar (N=15).....	122
Çizelge A.15. Harran serisi toprağında saksıda yetiştirilen pamuk yapraklarının besin maddesi içerikleri arasındaki korelasyonlar (N=15).....	123
Çizelge A.16. Akçakale serisi toprağında pamuk yetiştirilen saksıların fosfor fraksiyonları arasındaki korelasyonlar (N=25).....	124
Çizelge A.17. Beğdeş serisi toprağında pamuk yetiştirilen saksıların fosfor fraksiyonları arasındaki korelasyonlar (N=25).....	124
Çizelge A.18. Harran serisi toprağında pamuk yetiştirilen saksıların fosfor fraksiyonları arasındaki korelasyonlar (N=25).....	124

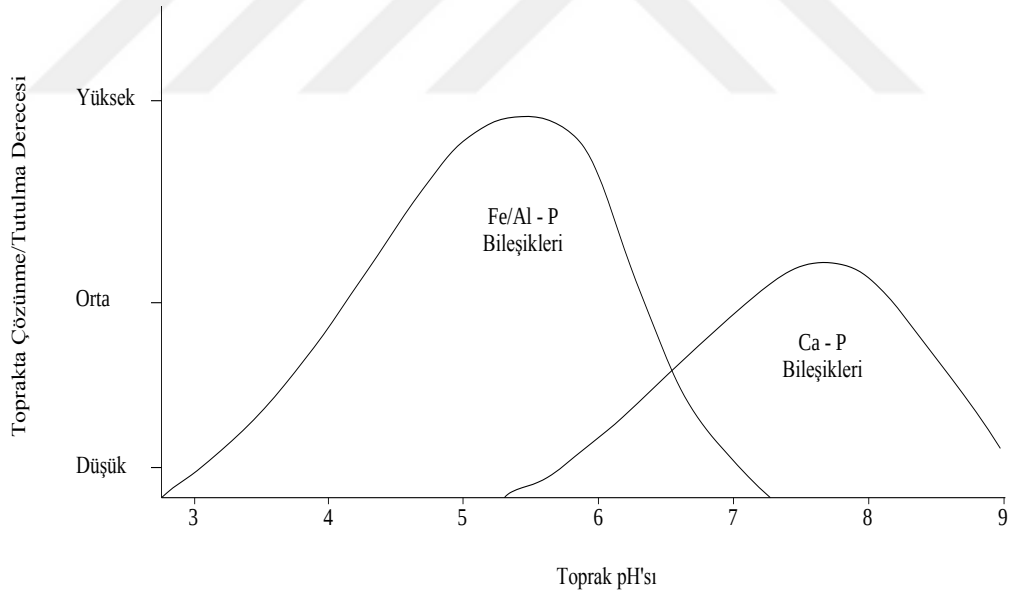
SİMGELER VE KISALTMALAR

Al-P	Alüminyum bileşiklerine bağlı fosfor
Ca ⁺²	Kalsiyum
Ca ₂ -P	Dikalsiyum fosfat (DCP)
Ca ₈ -P	Oktakalsiyum fosfat (OCP)
Ca-P	Kalsiyuma bağlı fosfor bileşikleri
CDB-P	Sitrat dithionit bikarbonat ile ekstrakte edilebilir P
CO ₃ ⁻²	Karbonat
Cu ⁺²	Bakır
DTPA	Dietilen triamin pentaasetik asit
EC	Elektriksel iletkenlik
Eh	Redoks potansiyeli
Fe ⁺²	İndirgenmiş demir (ferrous)
Fe ⁺³	Yükseltgenmiş demir (ferric)
Fe-P	Demir fosfat ve demire bağlı fosfor bileşikleri
HA	Hacim ağırlığı
HAP	Hidroksiapatit
HCl-P	HCl ile ekstrakte edilebilir P
HCO ₃ ⁻	Bikarbonat
K ⁺	Potasyum
KDK	Katyon değişim kapasitesi
Mg ⁺²	Magnezyum
Mn ⁺²	İndirgenmiş mangan
Mn ⁺⁴	Yükseltgenmiş mangan
Na ⁺	Sodyum
NaHCO ₃ -P	Olsen P
NaOH-P	NaOH ile ekstrakte edilebilir P
OM	Organik madde
O-P	Oklude fosfor
P	Fosfor
P<0.05	% 5 önemli seviyesi
r	Korelasyon işareti
SN	Solma noktası
SO ₄ ⁻²	Sülfat
TK	Tarla kapasitesi
Zn ⁺²	Çinko

1. GİRİŞ

Toprakların su altında kalması sonucunda toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri önemli değişimler meydana gelmektedir. Su altında kalma ile birlikte indirgen şartlar oluşmakta ve toprakta meydana gelen tüm kimyasal reaksiyonlar, oluşan yeni durumdaki değişimin etkisini azaltacak yönde hareket ederler. Su altında kalan toprakların davranışları toprakların özelliklerine ve su altında kalma süresine göre değişiklik arz etmektedir. Su altında kalan toprakların drene edilmesi ya da kuruması sonucunda değişen bu toprak özellikleri genellikle eski haline dönmektedir.

Topraklarda inorganik fosfor formları asidik koşullarda ve kireçli olmayan topraklarda sulu seskioksitler, amorf ve kristalin alüminyum ve demir bileşikleri halinde iken; alkalın koşullarda ve kireçli topraklarda ise kalsiyum bileşikleri halindedir (Dunne ve Reddy, 2005). Fosforun topraktaki davranışını, toprakta oluşturacağı bileşikleri ve bitki tarafından kullanılabilirliği büyük ölçüde toprak pH'sı tarafından belirlenmektedir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Fosforun toprak pH'sına göre topraktaki mineral formları (Havlin vd., 1999)

Toprakta oluşan tüm fosfor fraksiyonları arasında dinamik denge olup, organik veya inorganik fosfor kaynağının ortama katılımı, toprakların mikrobiyal durumu ve toprak sıcaklığı bu formların transformasyonunu hızlandırmakta ya da yavaşlatmaktadır. Fosforlu gübrelerin toprağa uygulanmasından sonraki birkaç haftada kullanılabilir fosfor fraksiyonu daha fazla iken zaman geçtikçe ortamdaki fosforun termodinamik

açından daha stabil katı fazlara dönüştüğü bilinmektedir. Buda kullanılabilir fosfor miktarının zaman içerisinde önemli derecede azalmasına neden olmaktadır (Havlin vd., 1999; Samadi, 2002).

Ancak, toprakların suyla doygun koşullarda kalması sonucunda toprakların kimyasal özellikleri değişmekte, su altında kalma süresine bağlı olarak toprakların pH'sı bazik ve asidik koşullardan nötre doğru değişmektedir (Ponnamperuma, 1972; Sağlam, 2008).

Toprak pH'sındaki bu değişim birçok elementin çözünürlüğünü değiştirmekte ve normal pH koşullarında çözünürlüğü az olan elementlerin çözünürlüğü artabilmekte ya da elementin kimyasal özelliklerine göre bu durum tam tersi olabilmektedir. Su baskını veya yüksek taban suyu olan topraklarda, suyla doygun iken geçici olarak toprak özellikleri değişmekte toprakların tekrar kuruması sonucunda su baskını öncesine göre yeni bir denge oluşmaktadır.

Toprakta taban suyunun bulunmasına bağlı olarak pH ve Eh değerinde değişimler olmaktadır. Değişen bu iki temel mekanizma bazı elementlerin çökmesine neden olurken bazılarının da çözünmesini sağlamaktadır. Su altında kalan topraklarda pH değişmesi çok hızlı olmayıp ilk günlerde CO₂'nin kısmi basıncının artmasından dolayı 0.5 birime kadar bir değişim olabilirken (Shenker vd., 2005) bu daha sonra tamponlanıp su baskını sonucunda oluşan aktif pH değişimi 1 – 2 hafta sonra meydana gelmektedir (Ponnamperuma, 1972). Ancak toprakta suyla doygun koşulların oluşmasının ardında kısa süre sonra (24 – 48 saat) Eh değeri düşmekte ve indirgen koşulların oluşması; Fe ve Mn gibi redoks elementlerinin çözünürlüklerini artırmaktadır. Bu yüzden toprakların redoks potansiyelindeki bu değişim demir bileşiklerinin (Fe-P ve diğer demir formları) çözünürlüğünü artırmakta, dolayısıyla tarım açısından önemli olan fosforun çözünürlüğünü de önemli bir şekilde artırmaktadır (Dunne ve Reddy, 2005). Toprak ortamındaki bu değişim ile (Redoks potansiyeli) birçok elementin her bir farklı fraksiyonunun çözünürlüğü değişmekte ve toprakta yeni bir denge oluşmaktadır.

Normal şartlar altında topraklardaki fosforun kullanılabilirliği son derece sınırlı iken, redoks koşullarında toprakların yarıyışlı fosfor miktarında artış olmaktadır. Su altında kalan topraklardaki fosforun çözünürlüğü; (i) suyun ortamda kalma süresi, (ii) toprak sıcaklığı, (iii) topraktaki toplam fosfor miktarı ve bunların fraksiyonları ve (iv)

vegetasyonun bulunup bulunmamasına bağılı olarak önemli şekilde değıışmektedir (Shen vd., 2003; Bostic ve White, 2006; Adhami vd., 2012).

Su altında kalma ile toprakların özellikleri önemli derecede etkilenmekte, toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri büyük oranda değıışmektedir. Su altında kalmanın ilk günlerinde topraktaki boşluklarının tamamı su ile dolarak agregatların parçalanması ile birlikte toprak içinde hava hareketi hemen hemen tamamen durmakta, buna bağılı olarak toprakta suyun aşağı ya da yukarı hareketi de engellenmektedir. Toprakta biri yüzeyde (1 – 10 mm kalınlığında) kısmen aerobik, diğeri daha derinde anaerobik olmak üzere iki tabaka oluşmaktadır. Oluşan bu havasız ortamda aerobik mikroorganizmaların yerini kısa sürede anaerobik şartlarda yaşayan mikroorganizmalar almaktadır (Mitsch ve Gosselink, 1992; D'Angelo ve Reddy, 1994). Aerobik toprak katmanında mikroorganizmalar biyokimyasal reaksiyonlar için elektron yakalayıcı olarak O_2 kullanırken, anaerobik toprak katmanındaki mikroorganizmalar alternatif elektron yakalayıcı olarak NO_3^- , Mn^{+2} , Fe^{+2} , SO_4^{-2} ve CO_2 kullanmaktadır (Çizelge 1.1). Bu alternatif elektron yakalayıcıların tüketim sırasına göre toprakların redoks potansiyeli düşmekte daha negatif olmaktadır.

Çizelge 1.1. Elektron yakalayıcıların kullanım sırası ve ortamın redoks potansiyeli

Elektron yakalayıcı	Gözlem	Eh (mV)
Oksijen	Oksijenin Tükenmesi	+330
Nitrat	Nitratin Tükenmesi	+220
Mangan	Mangan İyonlarının Gözlemlenmesi	+200
Demir	Demir İyonlarının Gözlemlenmesi	+120
Sülfat	Sülfatin Tükenmesi	-150
Karbondioksit	Metanın Gözlemlenmesi	-250

*(Dungan vd., 1999)

Toprakta oksidasyon ve redüksiyon olayları sonucunda değıışen redoks potansiyeline göre toprakta hangi bileşenlerin indirgenmiş formda bulunabileceğini ve hangilerinin çözünürlüğünün artacağı belirlenebilmektedir. İndirgen koşullarda mikroorganizmalar Fe, Mn gibi redoks elementlerini elektron yakalayıcı olarak kullanırken bu elementlerin çökelme reaksiyonlarını geri çevirerek çözünürlüklerini artırmaktadırlar. Sonuç olarak indirgenmeyle bu bileşiklerin yapısındaki elementler de ortama salınmaktadırlar. Ayrıca indirgen koşullarda ortam pH'sı asidik ve bazik koşullardan nötre doğru değııştiğinden, stabil olan fosfor formları daha kolay çözünebilir formlara dönüşmektedir. Toprakların kil miktarı ve tipi, organik madde

miktarı, mikrobiyal çeşitlilik, toprak sıcaklığı ve toprakların diğer kimyasal özelliklerine göre toprak pH'sındaki değişim birkaç haftaya kadar gerçekleşmektedir (Ponnamperuma, 1972; Snyder, 2002; Sağlam, 2008).

Su altında kalan topraklarda inorganik ve organik fosforun transformasyon miktarı ve oranı, ardışık aerobik ve anaerobik koşulların oluşumu ve toprak özelliklerine göre değişmektedir. Aerobik koşullar altında bazı amorf Fe ve Al'e bağlı olan fosforun çözünürlüğü artarken, kristalin demir ve alüminyuma bağlı olan fosforun çözünürlüğü ancak su altında kalma ile olmaktadır. Al-P bileşikleri direkt aerobik ve anaerobik koşulların ardından oluşan oksidasyon-redüksiyon reaksiyonlarından etkilenmezken; pH ve organik madde bu formun çözünürlüğünü etkilemektedir. Bu yüzden sulak alanlardaki demir türleri fosfor çözünürlüğünü kontrol etmektedir. Su altında kalan topraklarda demir (hidr)oksitler yüzeyde okside olan toprak katmanı ve alttaki anaerobik toprak katmanı içerisinde fosfor sorbsiyonunda önemli bir role sahiptir. Bu yüzden yüzey su katmanının kalınlığı alt katmandaki topraklara oksijen girişini etkilemekte ve sulak alan topraklarındaki Fe-kompleksleri halinde bulunan fosforun hareketliliğini belirlemektedir (Reddy vd., 1995). Kalsiyuma bağlı fosfor, genel olarak birçok sulak alan toprağında biyolojik olarak kullanılamaz durumda iken; düşük pH koşullarında bu bileşiklerin çözünürlüğü artmaktadır (Reddy vd., 1995).

Birçok çalışmada su altında kalan toprakların fosfor salınımına neden olduğu belirtilmiştir (Martin vd., 1997; Ruiz vd., 1997; Sallade ve Sims, 1997; Vadas ve Sims, 1998; Turner ve Haygarth, 2001). Bu çözünmesinin sebebi demir fosfat bileşiklerinin indirgenmesi ve çözünmesi ile Fe hidroksitler tarafından adsorbe edilen fosforun çözünmesi ile meydana geldiği belirtilmiştir. William vd. (1958), topraktaki fosforun ve eklenen strengitin ($\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) çözünürlüğünün su altında kalma sonucunda arttığını, eklenen variskit ($\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ve kaya fosfatın su altında kalma koşullarında daha az kullanılabilir forma geçtiğini belirtilmiştir.

Çeltik tarımı yapılan alanlarda toprakların su altında bırakılmasından sonra, topraklardaki P fraksiyonlarından (i) Fe (III) fosfatların indirgenmesi ve çözünmesi, (ii) Fe/Al fosfatların hidrolizi ve çözünmesi, (iii) killer tarafından tutulan fosfatların anyon değişimi ile ortama salınması ile topraklarda fosforun yayılgılığı artmaktadır (Ponnamperuma, 1972; Gambrell ve Patrick, 1978). Buna zıt olarak amorf Fe ve Al oksitlerin ortamda bulunması ile su altında kalan topraklarda fosforun yayılgılı formlarının azaldığı da belirtilmiştir (Kuo ve Mikkelsen, 1979; Sah ve Mikkelsen, 1986b; Sah vd., 1989). İndirgen koşulların oluşmasının ardından Fe (III)

oksihidroksitlerin Fe (II) oksihidroksitlere dönüşmesi ile amorf yüzey alanı geniş demir bileşikler oluşmaktadır. Oluşan bu yeni yüzeyler daha fazla fosforu yüzeyinde tutmasına karşın, yüzeyde tutulma enerjisinin normal havalanan topraklara göre düşük olması nedeniyle desorbsiyonu daha kolay olmaktadır (Patrick ve Khalid, 1974).

Su altında kalan toprakların kullanılabilir fosfor içerikleri azalan bitkisel ve mikrobiyal fosfor ihtiyacından dolayı artmaktadır (Gambrell ve Patrick, 1978; Mitsch ve Gosselink, 2000). Ayrıca indirgen koşullarda mikrobiyal biyomasın parçalanması sonucunda ortama fosfor salınımı da olmaktadır (Bostrom vd., 1985; Davelaar, 1993; Khoshmanesh vd., 1999). Benzer şekilde, Wright vd. (2001), su altında kalma ile birlikte yarıyışlı fosfor miktarında artış olduğunu belirtmiştir. Çalışma sonucunda Fe/Al-P fraksiyonlarında önemli bir değişme olmazken, mikrobiyal fosfor kontrol toprağına göre su altında kalan topraklarda azalmıştır. Araştırmacılar, su altında kalma ile toprakların kullanılabilir fosfor miktarının artmasında, muhtemelen, mineral fosfatların çözünmesinden çok biyolojik süreçlerden kaynakladığını belirtmişlerdir.

Her ne kadar sürekli su altında kalan topraklarda indirgen koşulların oluşmasından dolayı fosfor çözünürlüğü artsa da sürekli olmayan su altında kalma sonucunda toprakların özellikleri sulak alan topraklarından çoğunlukla farklı olmaktadır. Su altından kalma süresi ve suyun derinliği, toprak pH ve Eh'sini, fosfor yarıyışlılığını, bazı mikro elementlerin miktar ve formlarını etkilemektedir (Snyder ve Slaton, 2002). Kereszteny (1953) su altında kalma sonrasında kuruyan topraklarda yaptığı çalışmada bitki tarafından kaldırılan fosfor miktarında azalma olduğunu, kuruma işleminden sonra topraklardaki çözünen fosforun demir fosfat olarak çöktüğü ve bu formun bitki tarafından kullanılabilir formda olmadığından kaynaklandığını belirtmiştir. Topraklarda indirgen koşullarda çözünmüş Fe ve Al bileşikler yükseltgen koşulların oluşması durumunda amorf Fe ve Al oksitleri oluşturmakta ve yüzey alanı kristalin Fe ve Al oksitlere göre geniş olan bu bileşikler fosfat iyonlarının adsorbsiyonundan dolayı yarıyışlı fosfor miktarını önemli derecede azaltmasına neden olmaktadır (Parfitt, 1989; Schwertmann ve Taylor, 1989). Bu yüzden taban suyunun dalgalanması ile yarıyışlı fosfor miktarı toprak özelliklerine göre azalıp artabilmektedir.

Drenajdan sonra toprakların kuruması itibariyle Fe/Al bileşikler su altında kalma sürecinde çözünen ve yeni eklenen fosfor ile birleşerek çözünmesi zor fosfor bileşikler oluşturmaktadır. Arazi kurduğunda reaktivitesi yüksek olan amorf FeOOH

bileşikleri oluşarak hızlı bir şekilde fosfatları adsorbe edip kullanılabilir miktarı azaltmaktadır. Üretim sezonu içerisinde meydana gelen taban suyu dalgalanmaları ve su baskınları ardından kuruyan toprakların fosfor sağlama güçleri değiştiği için bitkilerin fosfor bakımından beslenmeleri sekteye uğrayabilmektedir. Sonuç olarak su altında kalma sürecinden sonra topraklarda fosfor eksikliğinin görünmesi söz konusudur ve bu alanlarda özel gübreleme programları uygulanmalıdır (Snyder ve Slaton, 2002).

Bu yüzden taban suyu olan alanlarda fosforun dönüşümleri ve taşınmasının belirlenmesi; topraklardaki fosforun etkili bir şekilde yönetimi, bu besin maddesinin toprakta birikmesinin engellenmesi ve taban suyu ile çözünerek su kaynaklarının kirlenmesinin engellenmesi açısından önemlidir.

Sonuç olarak, su altında kalan toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinde meydana gelen bu değişiklikler, Harran Ovası'ndaki gibi taban suyu olan; geçici olarak su altında kalan toprakların özellikleri ve besin maddesi sağlama gücünde nasıl bir etkiye sahip olduğunu gündeme getirmektedir. Harran Ovası içerisinde genel olarak yaz aylarından pamuk ve mısırın sulandığı dönemlerde geçici taban suyu oluşabilmekte ve bazı durumlarda (Taban suyunun yüzeye yakın olmasından dolayı) pamuk gibi suyu çok seven bitkilerin (normalde iklim özelliklerine ve birinci ya da ikinci ürün ekilmesine bağlı olarak 4 – 8 defa sulama yapılmaktadır) bir ya da iki defa sulanması yeterli olabilmektedir.

Tarım arazilerinde meydana gelen bu taban suyu önemli tarımsal girdilerden olan fosforun davranışını önemli bir şekilde değiştirmektedir. Taban suyunun olduğu dönemde bu elementin çözünürlüğü ve bitki tarafından kullanılabilir fraksiyonu önemli derecede artarken, taban suyunun çekilmesi ya da drene edilmesi sonucunda meydana gelen oksidatif koşullarda bu elementin bitki tarafından kullanılabilir miktarında azalma olmakta ve depo fosfor fraksiyonlarında değişimler meydana getirmektedir.

Bu genel bilgiler ışığında bu çalışmanın amacı, Harran Ovası topraklarında yüksek olan inorganik fosforun taban suyu sorunu olan toprak serilerinde çözünme durumunu ve su altında kalan toprağa eklenen fosforlu gübrenin davranışını belirlemektir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Kereszteny (1953) su altında kalma sonrasında kuruyan topraklarda yaptığı çalışmada bitki tarafından kaldırılan fosfor miktarında azalma olduğunu, kuruma işleminden sonra topraklardaki çözünen fosforun demir fosfat olarak çökelediği ve bu formun bitki tarafından kullanılabilir formda olmadığından bitki tarafından kullanımının mümkün olmadığını belirtmiştir.

William vd. (1958), topraktaki fosforun ve eklenen strengitin ($\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) çözünürlüğünün su altında kalma sonucunda arttığı, eklenen variskit ($\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ve kaya fosfatın su altında kalma koşullarında toprak bileşenleri tarafından tutularak daha az kullanılabilir forma geçtiği belirtilmiştir.

Mack ve Barber (1960) tarla kapasitesinin % 105 olduğu durumda toprakların demir fosfat fraksiyonlarında artış olduğunu belirtirken ve su altında kalma koşullarında toprakların demir fosfat ve asitte çözünebilir fosfat miktarında artış olduğunu ve diğer fosfor formlarında çok az bir değişme olduğunu belirtmişlerdir.

Patrick ve Khalid (1974) indirgen koşulların oluşmasının ardından Fe (III) oksihidroksitlerin Fe (II) oksihidroksitlere dönüşmesi ile amorf ve yüzey alanı geniş demir bileşikler oluştuğunu, oluşan bu yeni yüzeylerin daha fazla fosforu yüzeyinde tutmasına karşın, yüzeyde tutulma enerjisinin normal havalanan topraklara göre düşük olması nedeniyle desorbsiyonu daha kolay olduğunu belirtmişlerdir.

Khalid vd. (1977), su altında kalma süresinin artmasıyla birlikte toprakların oksalat ile ekstrakte edilebilir Fe miktarının arttığını, buna bağlı olarakta CDB-P fraksiyonu tarafından P sorpsiyonun arttığını belirtmişlerdir.

Willet ve Higgins (1978), su altında kalma sonrasında toprakların amorf demir miktarında ve fosfor sorpsiyon oranında artışlar olduğunu belirtmişlerdir. Bu toprakların P sorpsiyon kapasitesindeki artışın ise toprakların serbest Fe oksit miktarıyla ilişkili olduğunu bildirmişlerdir.

Gambrell ve Patrick (1978) çeltik tarımı yapılan toprakların su altında bırakılmasından sonra, (i) Fe (III) fosfatların indirgenmesi ve çözünmesi, (ii) Fe/Al fosfatların hidrolizi ve çözünmesi, (iii) killer tarafından tutulan fosfatların anyon

değişimi ile ortama salınması ile topraklarda fosforun yayırlılığının arttığını belirtmişlerdir.

Mandal (1979), su altında kalan topraklara nişasta eklenmesi sonrasında 0.5 N asetik asitte çözünebilir P miktarında artış olurken, Ca-P fraksiyonunda azalma olduğunu; çözünen bu fraksiyonun, trikalsiyum fosfattan monokalsiyum fosfat (MCP) ve dikalsiyum fosfata (DCP) dönüştüğünü belirtmiştir.

Ru-kun vd. (1982) su altında kalma süresinin artmasıyla, $\text{FePO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ bileşiklerinin indirgenerek daha kolay çözünebilir Fe formu olan $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ve $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ 'a dönüştüğünü dönüştüğü belirtmişlerdir.

Fisher (1983), su altında kalan topraklara P uygulanması sonucunda vivanit ($\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) miktarında artış olduğunu, burada Fe (III) oksit ve hidroksitlerin indirgenmesi sonucunda oluşan Fe^{+2} ve eklenen fosforun tekrar çökmesiyle açıklamıştır.

Ponnamperuma (1985), su altında kalma sonrasında meydana gelen anaerobik ayrışma sonucunda ortaya çıkan CO_2 'nin suda çözünmesi sonucunda düşen toprak pH'sından dolayı kireçli topraklardaki okta kalsiyum fosfat, β -trikalsiyum fosfat, hidroksi apatit ve flor apatitin çözünürlüğünün artacağını ileri sürmüştür.

Willet (1986), su altında kalan topraklardaki organik maddenin ayrışması sonucunda meydana gelen organik asitlerin toprakta var olan Ca-P bileşiklerinin çözünürlüğünü artırarak fosfor miktarını arttığını ve su altında kalma sonrasında artan çözelti fazındaki P miktarının zamanla azaldığını ve amorf demir tarafından tutulduğunu belirtmiştir.

Sah ve Mikkelsen (1986a), indirgen şartlardaki ortama selüloz eklenmesiyle Al-P fraksiyonunda azalmalar; Fe-P fraksiyonunda veya CDB-P miktarında artışlar olduğunu belirtmişlerdir. Bu artışın sebebinin organik maddenin anaerobik şartlarda ayrışması ve kristalin demirin indirgen şartlarda çözünerek amorf demire dönüşmesi sonucunda olduğunu belirtmişlerdir.

Willet (1989), Fe (III) oksitlerin indirgenmesinin çözelti fazında artan fosforun temel kaynağı olduğunu, ancak salınan fosforun tekrar sorbe edildiğini belirtmiştir.

Parfitt (1989) topraklarda indirgen koşullarda özünmüş Fe ve Al bileşikleri yükseltgen koşulların oluşması durumunda amorf Fe ve Al oksitlerin oluştuğunu, yüzey alanı kristalin Fe ve Al oksitlere göre daha geniş olan bu bileşiklerin fosfat iyonlarını adsorbe ederek yarayışlı fosfor miktarını önemli derecede azalttığını belirtmiştir.

Amer vd. (1991) Nil Nehri kenarındaki eltik yetiştirilen kireçli topraklara eklenen fosforun su altında kalma sürecinde nasıl davrandığını gözlemledikleri çalışmada, dikalsiyum fosfat dihidrat (DCPD) değerinin su altında kalma sürecinde değişmediğini, vivanit (FePO_4) miktarının arttığını ve hidroksiapatit (HAP) miktarının azalığını belirtmişlerdir.

Sanyal ve De Datta (1991), su altında kalma sonrasında toprakların ekstrakte edilebilir fosfor miktarının arttığını ve bu artışında topraklardaki fosforun hangi fraksiyonlarda bulunduğuna göre değiştiğini belirtmişlerdir.

Reddy vd. (1995) su altında kalan toprakların suyun toprakta kalma süresine, toprağın fizikokimyasal özelliklerine ve ortamda yetişen bitki çeşidine göre fosfor bağlanma kaynağı ya da fosfor çözünme kaynağı olarak rol alabildiğini, toprakların su altında kalmasına sebep olan su kaynağının fosfor konsantrasyonları arttığı zaman ortama gelen fosfor çoğunlukla Al, Fe ve organik madde tarafından tutulduğunu, ancak düşük konsantrasyonda fosforlu su girmesi durumunda topraklar infosfor kaynağı olarak ortama fosfor salınımı yaptığını belirtmişlerdir.

Rydin (2000), Erken Gölü'nde sediment derinliğine göre fosfor fraksiyonlarının nasıl değiştiğini araştırmış ve fraksiyonlar arasında önemli değişiklikler olduğunu, yarayışlı fosfor miktarında meydana gelen artışın NaOH ile ekstrakte edilebilir organik fosfor ve demire bağlı fosfordan kaynakladığını belirtmiştir. Araştırmacı su altında kalan sedimentlerin yarayışlı fosfor miktarı, Fe-P bileşikleri, organik fosfor ve residual fosfor miktarının su altında kalma sonucunda önemli bir şekilde azalma meydana geldiğini, Al-P bileşikleri miktarında önemli bir değişiklik olmadığını ve Ca-P bileşiklerinin miktarında artış meydana geldiğini belirtmiştir. Sonuç olarak redoks potansiyelinin düşmesi ile çözünürlüğü artan fosforun büyük bir kısmı taban suyunun hareketi ile uzaklaşırken bir kısmının da Ca-P bileşikleri şeklinde çökeldiğini belirtmiştir.

Villapando ve Graetz (2001) yoğun olarak ahır gübresi kullanılmış ve çözünebilir P miktarı yüksek olan toprağın su altında bırakılması sonucunda yüzey altı katmanda Fe/Al-P bileşiklerinin miktarının arttığını belirtmişlerdir.

Wright vd. (2001) su altında kalma ile birlikte yarayışlı fosfor miktarında artış olduğunu, Fe/Al-P fraksiyonlarında önemli bir değişme olmazken, mikrobiyal fosforun kontrol toprağına göre su altında kalan topraklarda azaldığını belirtmişlerdir. Araştırmacılar, su altında kalma ile toprakların kullanılabilir fosfor miktarının artmasında, mineral fosfatların çözünmesinden çok biyolojik süreçlerden kaynakladığını belirtmişlerdir.

Snyder ve Slaton (2002) su altında kalma genel olarak çeltik bitkisinin fosfor ile beslenmesini artırdığını ve kullanılabilir fosfor miktarındaki artışın (i) demir (III) fosfatların indirgenmesi, (ii) Fe ve Al bileşiklerinden fosforun salınması ve (iii) yüksek CO₂ olan ortamlarda Ca fosfatların çözünmesinden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Bu fosfor miktarındaki artış birkaç hafta sürebildiğini ve ortama salınan bu fosfatların killer, Al hidroksitler tarafından adsorbe edilerek ve aktif Al ve Fe miktarının artması ile birlikte yarayışlı fosfor miktarının geçici olarak azaldığını belirtmişlerdir.

Shen vd. (2004) 14 yıl çeltik tarımı yapılan araziye fosforlu gübrenin uygulandığı ve uygulanmadığı parsellerde Ca₂-P (0.25 M NaHCO₃ ile ekstrakte edilebilir P) miktarının, Fe-P miktarının ve asitle ekstrakte edilebilir fosfor (HCl-P) fraksiyonunun gübreleme yapılmayan parsele göre arttığını tespit etmişlerdir.

Shenker vd. (2005), sulak alanlarda 120 gün boyunca yapılan redoks ve pH okumaları sonucunda fosfor salınımını yönlendiren temel mekanizmanın demir hidroksitlerin indirgenmesinin olduğu ve buna bağlı olarak demir hidroksit yüzeyinde adsorbe olan fosforun ve yapısında oklude olan fosforun salınması ile çözelti P konsantrasyonunun arttığı belirtmişlerdir. Fe:P oranı indirgenmenin artması ile artıp, su altında bırakmanın ilk haftasında 1'in altında iken 120 günün sonunda 15-60 arasında değişmiştir. Sonuç olarak, toprak profilinde veya drenaj kanalında tekrar oksidatif koşulların oluşması ile fosforun muhafazasının artacağını belirtmişlerdir.

Bostic ve White (2006)'ın toprak fosfor konsantrasyonu ve vejetasyonun sulak alanlarda fosfor çözünürlüğüne etkisini araştırdıkları çalışmada, kısa (1-10 gün) ve uzun vadede (10-38 gün) su altında kalmanın etkisini incelemişlerdir. Kısa vadede

toprakların fosfor salınımı, en fazla, toplam fosfor içeriği yüksek ve vejetasyonun olduğu toprakta meydana gelmiştir. Bir kez taban suyunun düşürülmesi ve tekrar su altında bırakılması sonucunda, fosfor gübrelemesinin ve vejetasyonunun olduğu toprakta, toplam fosforun % 6'sı çözünürken, fosfor gübrelemesinin yapıldığı ancak vejetasyonun bulunmadığı topraklarda toplam fosforun % 1'inin çözündüğünü belirtmişlerdir.

Quintero vd. (2007) 45 gün su altında bırakılan toprakların NaHCO_3 ve NaOH ile ekstrakte edilebilir P miktarını belirlemişler ve araştırma sonuçlarına göre her iki çözücü kullanıldığında da su altında kalma sonrasında ekstrakte edilen fosforun daha fazla olduğu, ancak, NaOH ile yapılan ekstraksiyonda NaHCO_3 'e göre daha fazla fosfor çözündüğünü belirtmişlerdir.

Sun vd. (2009) su altında kalan sedimentlerin fosfor salınımının kolay çözünebilir P, Fe bileşiklerine bağlı P ve Al bileşiklerine bağlı P tarafından yönetildiğini belirtmişlerdir.

Shah vd. (2010) alkalin özellikli topraklarda, su altında kalma sonrasında ortama eklenen fosforun yüzey toprağında (Eh değerinin aerobik olduğu) Fe-P bileşikleri şeklinde tutulduğunu, yüzey altı toprağında (Eh değerinin daha negatif olduğu) Ca ve Mg formunda bulunduğunu belirtmişlerdir.

Ma vd. (2010) su altında redüksiyona bırakılan çeltik topraklarının Olsen-P miktarında artışlar olduğu; bu fraksiyondaki artışın sebebinin de indirgenen demir fosfat halinde bulunan fosforun çözünürlüğü düşük dikalsiyum fosfat (DCP) formuna dönüşmesi ile açıklamışlardır.

Adhami vd. (2012) su altında kalmış koşullarında yaptıkları çalışmalarında, yarıyıllı fosfor miktarının tarla kapasitesine göre 80. günden 160. güne doğru gittikçe azalırken, serbest ve kristalin Fe/Al oksitlere bağlı fosfor miktarı tarla kapasitesine göre suyla doymuş koşullarda artış gösterdiğini tespit etmişlerdir. Aynı zamanda uygulanan fosforun Al ve Fe-P fraksiyonlarına transformasyonu önceki çalışmalarda belirtildiği kadar az olmadığını, özellikle suyla doymuş koşullarda Al ve Fe-P oksitlerin fosfor transformasyonlarında önemli olabileceğini belirtmişlerdir.

Amawansha vd. (2015) su altında kalan farklı özellikteki kireçleri toprakların fosfor salınımını inceledikleri çalışmada, su altında kalma süresinin artmasına bağlı olarak iyonik fosfat konsantrasyonunun bazı topraklarda artarken bazı topraklarda ise sabit kaldığını belirtmişlerdir. Araştırmacılar artan fosfat konsantrasyonunun su altında kalma sonrasında düşen toprak pH'sından dolayı çözünen Ca-P bileşiklerinden kaynaklandığını; sabit kalan toprakların fosfor adsorpsiyon kapasitesinin yüksek olmasından dolayı pH düşüşü sonrasında çözünen fosforun tamponlandığını ve toprak çözeltisindeki iyonik fosfat miktarını artırmadığını belirtmişlerdir.

Joshi vd. (2015) Chesapeake Bay sedimentlerinin kolon denemesi ile araştırıldığı çalışmada su altında kalan toprakların derinliğin artmasıyla birlikte fosfor salınımının arttığını, Ca-P bileşiklerinin miktarının değişmediğini ve Fe-P bileşiklerinin miktarının ise azaldığını belirtmişlerdir.

Garcia-Lopez ve Delgado (2016) hıyar bitkisine farklı fosfor kaynaklarının (kaya fosfat ve KH_2PO_4) artan miktarlarda ferrihidrit ile birlikte uygulanmasının fosfor alımı üzere etkilerini araştırdıkları çalışmada, artan ferrihidrit miktarının bitkinin P alımını azalttığını, dolayısıyla bitkinin kök ve gövdesindeki fosfor miktarının azaldığını belirtmişlerdir.

Hemati-Matin ve Jajali, (2017) su altında kalan kireçli toprakların besin maddesi salınımını araştırdıkları çalışmada fosfor miktarının su altında kalma süresine göre zamanla değiştiğini, toprak çözeltisindeki fosfor miktarının 6. ve 8. hafta önemli miktarda arttığını, ancak su altında kalma sürecinin artması sonunda tekrar azaldığını belirtmişlerdir.

Ylivainio vd. (2017), yetiştiricilik sürecinde su altında kalan arpa bitkisinin uygulanan fosforlu gübreden daha az yararlandığını, normal verim için kontrole 0.7 kg/da saf P uygulanması gerektiğini belirtirken, su altında kalmış parselde normal verim için 4.3 kg/da saf fosfor uygulanması gerektiğini belirtmişlerdir. Araştırma sonucunda, yetiştiricilik sürecinde su altında kalan arpa bitkisinde verim kaybının yaşanmaması için daha fazla fosforlu gübre uygulanması gerektiği belirtilmiştir.

Parsons vd. (2017) su altında kalan alanlardaki değişken redoks koşullarının fosfor salınımı ve davranışı üzerine yaptıkları çalışma sonucunda, indirgen şartlarda salınan fosforun önemli miktarının tekrar toprak bileşenleri tarafından tutulduğunu, sadece % 4.5'inin çözünen ortamda iyonik formda kaldığını belirtmişlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Araştırmada kullanılan topraklarının genel özellikleri

Harran Ovası toprakları alüvyal anamateryal üzerinde ve yerinde oluşmuş topraklardır. Ova genelde derin toprak profiline sahip olup kahverengi ve kırmızı – kahverengi topraklardan oluşmaktadır (Dinç vd., 1988). Topraklar kireç ve potasyumca zengin, azot ve organik madde bakımından fakirdirler. Yüzey topraklarının kireç içeriği ortalama % 24 iken, yüzey altı topraklarının ise % 26 civarındadır. Toprakların yarıyışlı fosfor miktarı oldukça düşük iken ortalama toplam fosfor 766 mg kg⁻¹'dir. Ova topraklarının pH değeri ise 7.5 – 8 arasında değişmektedir. Topraklar şişme büzülme özelliği yüksek olan 2:1 tipi killeri içermekte olup genelde % 50 civarında kil içermektedirler (Yenmez, 2005).

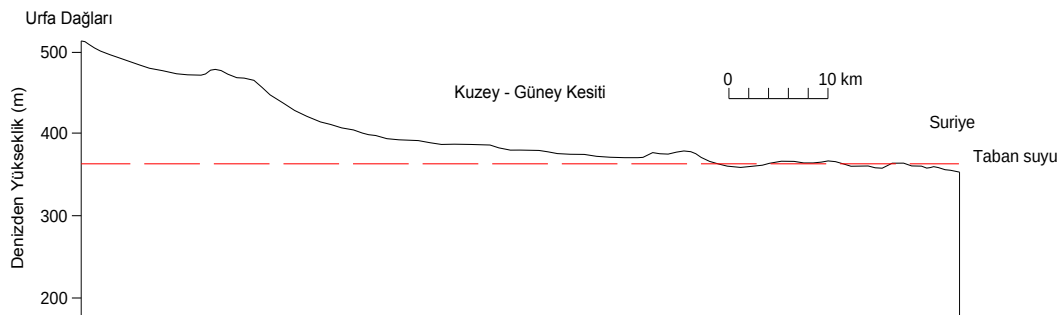
3.1.2. Araştırma sahasının iklimi

Harran Ovası'nda karasal ilkim hüküm sürmekte, yazları kurak ve sıcak geçmekte, kışları ise çok az yağış almaktadır. Ova genelinde yıllık 400 mm civarında yağış düşmekte ve kurak yarı kurak iklim kuşağında yer almaktadır. Uzun yıllar iklim verilerine göre aylık ortalama sıcaklık en düşük 6.4 °C ile Şubat ayında, en yüksek 33.0 °C ile Temmuz ayında, en yüksek 43.7 °C ile Temmuz ayında, minimum sıcaklık en düşük -2.2 °C ile Şubat ayında ölçülmüştür. Ortalama en düşük nispi nem % 32.8 ile Temmuz ayında, en yüksek nispi nem % 69.5 ile Aralık ayında ölçülmüştür. Toplam yağış ise 2.3 kg.m⁻² ile 69.5 kg.m⁻² arasında ölçülürken; en az yağış Temmuz ve Eylül aylarında, en yüksek yağış Şubat ayında ölçülmüştür (DMİ, 2005).

3.1.3. Araştırma sahasında taban suyu ve oluşma süreçleri

Taban suyu ülkemizde tarım topraklarının kullanımı sınırlandırıp ekonomik bitki yetiştiriciliğini etkilemektedir. Harran Ovası'nda 1995 yılında sulu tarıma başlanmış ve kısa zaman içerisinde ovada önemli derecede taban suyu problemi oluşmuştur. Günümüzde ovanın taban suyu problemi olan alanların yarısından fazlasında drenaj sistemi olmasına rağmen aşırı sulama nedeniyle taban suyu sorunu tekrar gündeme

gelmektedir. Ovada hakim bitki olan pamuğun sulanmaya başlamasıyla ovanın alt (güney) kesimlerinde taban suyu yükselmeye başlamakta ve belli bölgelerde yetiştiricilik sezonu sonuna kadar devam ederken, belli bölgelerde taban suyunda dalgalanmalar olmaktadır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Harran ovasının kuzey – güney doğrultusundaki kesiti
(Dinç vd., 1988; Yenmez, 2005 verilerinden üretilmiştir)

3.1.4. Toprak numunelerinin alındığı noktalar

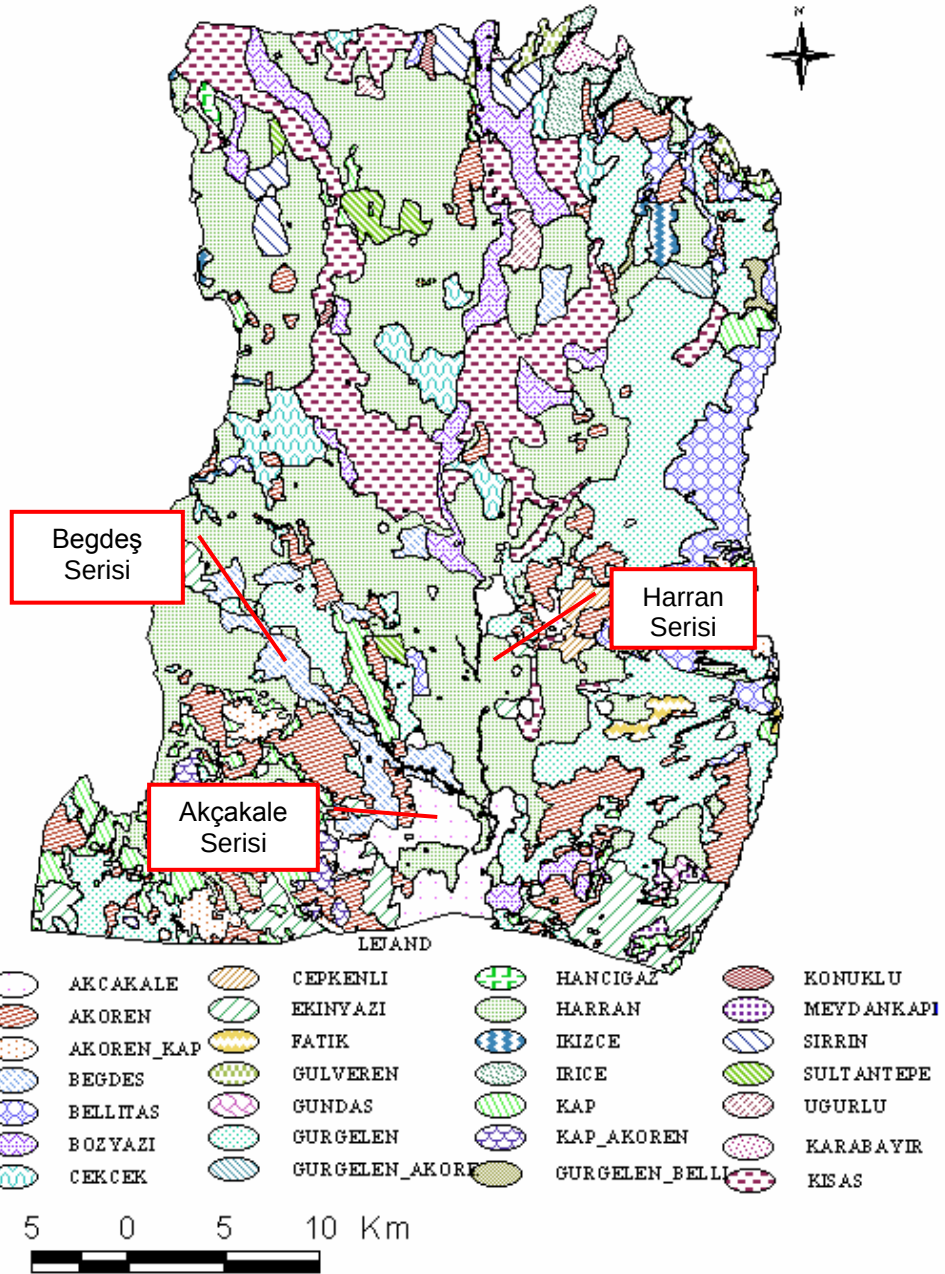
Bu araştırma için Harran Ovası'nda taban suyunun yüksek olduğu alanlardan alınan fiziko – kimyasal özellikleri farklı üç toprak serisi kullanılmıştır. Alınan toprak örneklerine ait koordinatlar harita üzerinde çakıştırılarak Şekil 3.2'de verilmiştir.

3.2. Metot

3.2.1. Toprak örnekleme ve ön hazırlıklar

Harran Ovası'nda taban suyu problemi bulunan Harram, Beğdeş ve Akçakale toprak serilerinden 15.05.2014 tarihinde 0-30 cm derinlikte kompozit (birden fazla yerden) toprak örnekleri alınarak karıştırılıp laboratuara getirilmiş ve kurutulduktan sonra 2 mm'lik elekten geçirilip polietilen torbalarda saklanmıştır. Bu örneklerde toprakların tanımlayıcı analizleri yapıldıktan sonra inkübasyon denemeleri kurulmuştur.

Saksı denemesi için 15.03.2015 tarihinde daha önce örnekleme yapılan noktalardan (ikinci kez) topraklar alınmış ve bu topraklarda da tanımlayıcı analizler yapılarak 4 mm elekten elendikten sonra saksı denemesinde kullanılmıştır.



Şekil 3.2. Toprak örneklerinin alındığı noktalar ve Harran Ovası seri haritası (Karakaş, 2004)

3.2.2. Toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi

3.2.2.1. Toprak pH'sı ve EC'si

Toprakların pH'sı Thomas (1996) tarafından, EC'si ise Rhoades (1996) tarafından belirtildiği şekilde saturasyon çamurunda pH ve EC metre ile belirlenmiştir.

3.2.2.2. Organik madde

Toprakların organik madde içerikleri Nelson ve Sommers (1996) tarafından belirtilen modifiye edilmiş Walkley – Black yöntemine göre dikromat oksidasyonu ile belirlenmiştir.

3.2.2.3. Kireç

Toprakların kireç içerikleri Loeppert ve Suarez (1996) tarafından belirtildiği şekilde Scheibler Kalsimetresi ile belirlenmiştir.

3.2.2.4. Aktif kireç

Toprakların aktif kireç içerikleri Loeppert ve Suarez (1996) tarafından belirtildiği şekilde sodyum oksalat ile ekstrakte edilen çözeltide potasyum permanganat ile yapılan titrasyon sonucunda belirlenmiştir.

3.2.2.5. Olsen P (Yarayıslı fosfor)

Toprakların kullanılabilir fosfor miktarları Olsen vd., (1954) tarafından belirtildiği şekilde pH'sı 8.5 olan 0.5 N NaHCO₃ ile 1:20 oranındaki toprağın ekstraksiyonu ile belirlenmiştir.

3.2.2.6. Amonyum asetat ile ekstrakte edilebilir katyonlar (Ca, Mg, Na, K)

Toprakların değişebilir + çözünebilir katyon miktarları Helmke ve Sparks (1996) tarafından belirtildiği şekilde; pH'sı 7 olan 1 N NH₄OAc ekstraksiyonu sonucunda elde edilen çözeltide ICP – OES cihazında belirlenmiştir.

3.2.2.7. Katyon değişim kapasitesi

Toprakların katyon değişim kapasiteleri Kacar (2009) tarafından belirtildiği şekilde; pH'sı 8.2 olan 1 N sodyum asetat ile kolloid yüzeyleri doyurulduktan sonra kolloid yüzeylerindeki sodyum, pH'sı 7 olan 1 N NH₄– OAc ile ekstrakte edilerek ICP – OES cihazında belirlenmiştir.

3.2.2.8. DTPA ile ekstrakte edilebilir Fe, Mn, Cu, Zn

Toprakların yarayışlı mikro element içerikleri Lindsay ve Norvell (1978) tarafından belirtildiğı şekilde; pH sı 7.3'e ayarlı DTPA, TEA ve CaCl_2 karışımı çözelti ile elde edilen süzükte ICP – OES cihazında belirlenmiştir.

3.2.2.9. Toprak tekstürü

Toprakların tekstürü Bouyoucos (1962) tarafından belirtildiğı şekilde sodyum meta fosfat ile disperse edildikten sonra hidrometre ile belirlenmiştir.

3.2.2.10. Tarla kapasitesi ve solma noktası

Toprakların tarla kapasitesi ve solma noktası değerleri Klute (1986) tarafından belirtildiğı şekilde basınçlı membran aleti ile belirlenmiştir.

3.2.2.11. Toplam demir, alüminyum, mangan ve fosfor

Toplam elementler Al, Fe, Mn ve P TSE ISO/DIS 11047 (1997)'e göre toprak örneğinin 1/3 oranındaki kral suyu karışımı (1/3 HClO_4/HCl) ile yaş yakılarak elde edilen çözeltide ICP-OES ile belirlenmiştir.

3.2.2.12. Sitrat dithionit bikarbonat ile çözülebilir demir

Sitrat dithionit bikarbonat ile çözünebilir demir Kuo (1996) tarafından belirtildiğı şekilde 1 g toprak üzerine 40 ml 0.3 M $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ ve 5 ml 1 M NaHCO_3 eklenerek tüpler su banyosunda 85 derecede ısıtılmıştır. Isıtılan çözelti üzerine 1 g $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ eklenerek hızlıca çalkalanıp ısıtma işlemi 15 dakika devam edilmiştir. Daha sonra çözelti santrifüjlenerek 100 ml balon içerisine alındıktan sonra ICP-OES ile Fe miktarı belirlenmiştir.

3.2.2.13. Aktif (Amorf) demirin belirlenmesi

Aktif (amorf) demirin belirlenmesi için 50 ml santrifüj tüpü içerisine 1 g toprak tartılıp pH'sı 5 olan 1 M Na-asetat ile içerisindeki kireç uzaklaştırıldıktan sonra saf su ile ortamdaki fazla kalsiyum ve asetat uzaklaştırılmıştır. Daha sonra 0.175 M amonyum oksalat ve 0.1 M oksalik asit karışımından 30 ml eklenip karanlıkta 4 saat

çalkalandıktan sonra santrifüjlenen ekstraksiyon çözeltisinde demir miktarı ICP – OES cihazında belirlenmiştir (Loeppert ve Inskeep, 1996).

3.2.2.14. Kristalin demirin belirlenmesi

Aktif (amorf) demirin belirlenmesinden sonra aynı toprakta kristalin demir miktarı belirlenmiştir. Santrifüj tüpü içerisine 0.175 M amonyum oksalat, 0.1 M oksalik asit ve 0.1 M askorbik asit karışımından 50 ml eklenerek sıcak su banyosunda 80 °C’de 30 dakika bekletildikten sonra kristalin oksitler çözülerek ekstrakttaki demir miktarı ICP – OES cihazında belirlenmiştir (Shuman, 1988).

3.2.2.15. Kil fraksiyonlarının belirlenmesi

Kil fraksiyonları Hacettepe Üniveristesi, Yer Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi laboratuvarında; Harris ve White (2008) tarafından bildirildiği şekilde topraklardan kireç, organik madde, demir oksitler uzaklaştırıldıktan sonra elde edilen süspansyondan lamel üzerinde hazırlanan slide’ta Rigaku D/Max/2200 PC marka X-ışınları difraktometre cihazında belirlenmiştir.

3.2.2.16. Fosfor fraksiyonlarının belirlenmesi

Fosfor fraksiyonları Kuo (1996) tarafından aşağıdaki belirtildiği şekilde yapılmıştır:

Birinci aşaması için (yarayırlılığı yüksek, NaOH-P) 1 g toprak üzerine 50 ml 0.1 M NaOH + 1 M NaCl çözeltisinden eklenerek 17 saat çalkalama işlemi sonrasında santrifüjlenerek sıvı 100 ml balon joje içerisine alınıp 1 M NaCl çözeltisinden 25 ml eklenip toprak iki kez çalkalanıp balon joje içine alınıp hacim çizgisine kadar tamamlandıktan sonra Ekstrakt A elde edilmiştir.

İkinci aşama için (orta derecede yarayırlı, CDB-P) önceki işleme tabi tutulan topraklar üzerine 40 ml 0.3 M $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ ve 5 ml 1 M NaHCO_3 eklenerek tüpler su banyosunda 85 °C ısıtılmıştır. Isıtılan çözelti üzerine 1 g $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ eklenerek hızlıca çalkalanıp ısıtma işlemi 15 dakika devam edilmiştir. Daha sonra çözelti santrifüjlenerek 100 ml balon içerisine alınıp arta kalan toprak doygun NaCl çözeltisinden 25 ml eklenerek iki kez çalkalanıp balon joje içerisine aktarılmıştır. Balon içerisindeki çözelti açık havaya maruz bırakılarak arta kalan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ ’in

oksidasyonu sağlandıktan sonra hacim çizgisine tamamlanıp Ekstrakt B elde edilmiştir.

Üçüncü aşama için (yarayışlılığı düşük, Ca-P, HCl-P) önceki aşamada kullanılan toprak üzerine 50 ml 0.5 M HCl eklenerek 1 saat çalkalandıktan sonra çözelti 100 ml balon joje içerisine alınmıştır. Daha sonra toprak doymun NaCl çözeltisinden 25 ml eklenerek iki kez çalkalanıp balon joje içerisine alınıp hacim çizgisine kadar tamamlandıktan sonra Ekstrakt C elde edilmiştir.

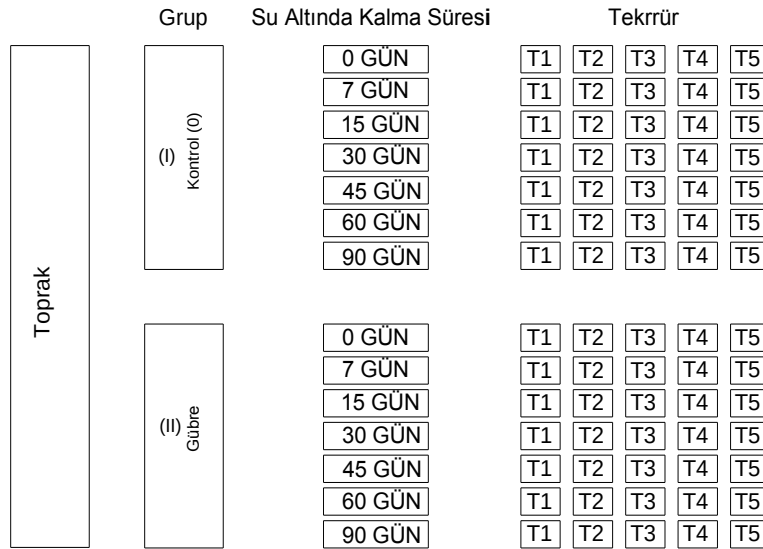
Elde edilen Ekstrakt A ve C'den 50 ml balon içerisinde 2 – 40 µg P olacak şekilde süzük alınarak üzerine 5 damla *p*-nitrofenol indikatörü damlatılıp çözelti pH'sı 2 M HCl ve 2 M NaOH yardımı ile ayarlanmıştır (Çözeltilerin pH'ları ayarlanırken Ekstrakt A'nın rengi sarıdan renksiz dönüşürken, Ekstrakt C'nin rengi renksizden sarıya dönüşmüştür). Daha sonra elde edilen tüm süzüklerde fosfor miktarı askorbik asit yöntemine göre renklendirilerek (Murphy ve Riley, 1962) spektrofotometrede belirlenmiştir.

3.2.3. İnkübasyon denemesinin kurulması ve yönetilmesi

Çalışma, tesadüf parsellerinde faktöriyel deneme desenine göre 2 gübre dozu, 7 su altında kalma süresi (0-7-15-30-45-60-90 gün) ve 5 tekerrürlü olarak, 3 toprak ile Şekil 3.3'teki deneme deseni benzer olarak toplam da 3 ayrı deneme olarak inkübatörde yürütülmüştür.

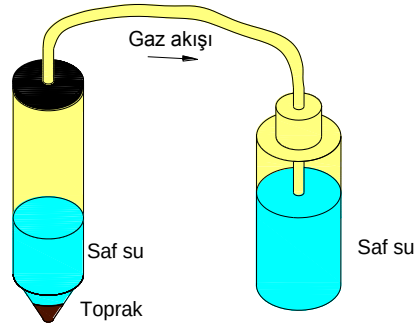
50 ml santrifüj tüpü içerisine 2 mm'lik elekten geçirilmiş 1'er g toprak 5 paralel olacak şekilde tartılarak, iki gruba ayrılan örnek setlerinden I. Gruptaki topraklar üzerine 10 ml saf su, II. Gruptakilere gübre -10 ml 2 mg L⁻¹ fosfor içeren KH₂PO₄ 'den elde edilen fosfor çözeltisi - eklenerek 28±1 °C'ta 0-7-15-30-45-60 ve 90 gün indirgen şartların oluşması sağlanmıştır (Şekil 3.3).

İndirgen koşulların oluşmasını sağlamak ve oluşan gazların ortamdaki etkisini azaltmak için inkübasyonun yapıldığı mikrokosma Dungan vd. (1999) önerdiği gibi Şekil 3.4'deki gaz yakalayıcı ve su kaybını engelleyici sistem eklenmiş; inkübasyon sırasında alg oluşumuna karşı da deneme karanlıkta sürdürülmüştür. Çalışmamızda, Dungan vd. (1999) önerdiği mikrokosmadaki toprak su oranı değiştirilerek kullanılmıştır.



Şekil 3.3. İnkübasyon çalışmasında bir toprak için kullanılandeneme deseni

I. Gruptaki topraklarda var olan fosforun indirgen koşullarda nasıl değişime uğradığını gözlemlemek için yalnızca 10 ml saf su eklenirken, II. grupta ise her ekim sezonunda gübreleme ile gelen yeni fosforun nasıl değişime uğradığını gözlemlemek için topraklar üzerine 10 ml 2 mg L⁻¹ fosfor çözeltisi eklenmiştir (Bu uygulama ile toprağa 20 µg g⁻¹ fosfor verilmiştir ki yarıyıllı P içeriği düşük olan topraklarda bir çok bitki için uygulanan gübre miktarına karşılıktır).



Şekil 3.4. İnkübasyonda kullanılan toprak – su mikrokosmu (Dungan vd., 1999)

Kontrol (0 gün su baskını) uygulaması toprağın su baskını öncesindeki durumunu belirlemek için kullanılmıştır. Sular tüm tüplere aynı anda eklenip 7 gün sonra ilk inkübasyon süresi dolan topraklar alınıp sıvı fazda pH, EC ve Eh değerleri ve P konsantrasyonu; katı fazda ise fosfor fraksiyonları belirlenmiştir. Daha sonra inkübasyon süresi dolan diğer toprakların analizine devam edilmiştir.

Bir diğerkontrol uygulaması olarak, 100 g toprak 3 tekerrürlü olarak tarla kapasitesinde tutulup; 7, 15, 30, 45, 60 ve 90. günler sonunda kuru ağırlık baz alınarak örnekleme yapılp fosfor fraksiyonlarının tarla kapasitesinde iken nasıl bir değişime uğradığı da gözlemlenmiştir. Tarla kapasitesi nem seviyesinde kurulan deneme tesadüf parsellerde faktöriyel deneme desenine göre Şekil 3.3'te belirtildiği gibi 3 tekerrürlü olarak yürütülmüştür.

3.2.4. Saksı denemesinin kurulması ve yönetilmesi

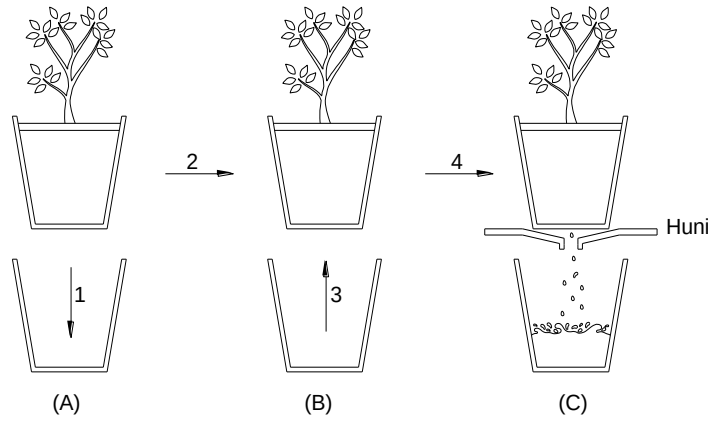
Saksı denemesi için inkübasyon denemesinde kullanılan toprak serilerinden 0-30 cm'den alınan yüzey örnekleri kurutulup 4 mm'den elenmiştir. Deneme 20 kg toprak ile; 5 su baskını süresi (0-7-14-21-28 gün) ve 5 tekerrürlü olarak tesadüf parselleri deneme desenine göre pamuk bitkisiyle 3 farklı toprakta ayrı ayrı kurulmuştur. Bir toprak serisi için uygulanacak deneme deseni Şekil 3.5'te verilmiştir.

Her bir saksıya 10 tohum ekilmiş ve çıkış sonrası saksı ortasına en yakın sağlıklı bir bitki bırakılmış ve bitkilerin beslenmesini sağlamak için gerekli besin maddesi ihtiyacı toprak analizleri göz önüne alınarak NH_4SO_4 ve DAP (18-46-0) gübreleri olarak uygulanmıştır.



Şekil 3.5. Saksı ile kurulan deneme deseni

Bitkilerin su altında kalma süresi ovada taban suyunun yükselmeye başladığı 1. ve 2. sulama süreci baz alınarak yapılmıştır. Bitki çıkışından yaklaşık 2 ay sonra kontrol uygulaması dışındaki konulara toprak seviyesi üzerinde yaklaşık 5 cm su yükü bulunacak şekilde 7, 14, 21 ve 28 gün su altında bırakılmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Saksıda yetiştirilen bitkilerin su altında bırakılması ve drenajı

Saksılarda su baskınının sağlanabilmesi için tabanı delik olmayan bir başka saksı içerisine bitkilerin yetiştirildiği saksılar yerleştirilmiştir (Şekil 3.6 A). Su altında kalma süresi dolan konularda saksı drenajı sağlanarak (Şekil 3.6 B ve C) hasada kadar normal olarak yetiştirilmiştir.

3.2.4.1. Bitki yaprak numunelerinin alınması ve analiz edilmesi

Bitkilerin su altında bırakılmasından 7 – 8 gün sonra bitkilerin yapraklarında kurumalar meydana gelmiş ve yapraklar dökülmeden bitkilerden yaprak numunesi alınmıştır. Alınan bitki yaprakları İnal ve Kacar (2010) tarafından belirtildiği şekilde kontaminantlardan temizlendikten sonra 65 °C de kurutulup yaş yakma işleminden sonra ICP-OES cihazında P, Na, Ca, Mg, K, S, Fe, Cu, Mn ve Zn element analizleri yapılmıştır. Ayrıca Elementel analiz cihazı ile toplam azot miktarları Bremner (1996) tarafında belirtildiği şekilde kuru yakma metoduna göre belirlenmiştir.

3.2.4.2. Saksı denemesi sonunda toprak analizi

Deneme sonlandırıldıktan sonra denemede kullanılan topraklar kurutulup, vejetasyon ve su altında kalmanın toprak fosfor fraksiyonlarının nasıl değiştirdiği belirlenmiştir. Ayrıca su altında kalma sonrasında drene edilen saksıların drenaj sularında pH ve EC değerleri pH ve EC metre ile; Fe, Mn, Ca, Mg, Na, P, S, B, K içerikleri ICP-OES cihazı ile; Cl, HCO₃ ve CO₃ konsantrasyonları ise titrimetrik olarak belirlenmiştir.

3.3. İstatistiksel Değerlendirmeler

Bitki ve toprak analizleri ile ilgili araştırma sonuçları SPSS istatistik programında tasadüf parsellerinde faktöriyel deneme desenine göre varyans analizine tabi tutulmuş ve su altında kalma süreleri arasındaki farklılıklar Duncan çoklu karşılaştırma yöntemine göre değerlendirilmiştir. Ayrıca, inkübasyon denemesi sonucunda filtrelenen çözeltideki besin maddesi kompozisyonu ve fosfor fraksiyonları, bitki yaprak örnekleri besin maddesi içerikleri ve drenaj suyu besin maddesi konsantrasyonları arasındaki ilişkiler Pearson korelasyonu ile değerlendirilmiştir (Yurtsever, 2011).



4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. İnkübasyon Denemesi Bulguları

4.1.1. İnkübasyon denemesinde kullanılan toprakların özellikleri

İnkübasyon denemesinde kullanılan toprakların fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 4.1, Çizelge 4.2, Çizelge 4.3, Çizelge 4.4, Çizelge 4.5, Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.7’de verilmiştir. Toprakları fiziko-kimyasal özellikleri bakımından oldukça farklı olup, tüm çalışmalarda bireysel farklılıklarını ortaya koymuşlardır.

Toprakların pH değerleri 7.58 – 7.61 arasında değişmekte olup, hafif alkalin sınıfında; EC değerleri 948 – 1623 $\mu\text{S cm}^{-1}$ arasında olup, tuzsuz sınıfında; organik madde içerikleri % 1.58 – 1.81 arasında olup, az sınıfında ve kireç içerikleri % 20.0 – 22.7 arasında olup, fazla kireçli grubunda yer almaktadır (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. İnkübasyon denemesinde kullanılan toprakların tanımlayıcı özellikleri

Seri Adı	pH	EC ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	OM (%)	Total N (%)	Kireç (%)	Aktif Kireç (%)
Harran	7.59	937	1.58	0.079	20.2	17.1
Akçakale	7.61	1623	1.68	0.081	20.0	17.9
Beğdeş	7.58	948	1.81	0.088	22.7	19.1

*Toprak pH’sı ve EC’si saturasyon çamurunda belirlenmiştir.

Toprakların hacim ağırlığı 1.23 – 1.35 g cm^{-3} arasında, tarla kapasitesi değerleri % 29.1 – 33.2 arasında, solma noktası değerleri % 20.4 – 23.8 arasında, kum miktarları % 14.0 – 16.3 arasında, kil miktarları % 52.9 – 58.3 arasında olduğu ve bünyelerinin kil (C) sınıfında olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2. İnkübasyon denemesinde kullanılan toprakların fiziksel özellikleri

Seri Adı	HA (g cm^{-3})	TK (%)	SN (%)	Kum (%)	Kil (%)	Bünye
Harran	1.23	29.1	21.4	14.0	58.3	C
Akçakale	1.24	33.2	23.8	16.3	53.9	C
Beğdeş	1.35	29.1	20.4	15.8	52.9	C

HA: Hacim ağırlığı, TK: Tarla kapasitesi, SN: Solma noktası

Toprakların NH_4OAc ile ekstrakte edilebilir Ca miktarları 52.7 – 57.5 cmol kg^{-1} arasında, Mg miktarları 7.55 – 12.5 cmol kg^{-1} arasında, Na miktarları 0.503 – 2.642 cmol kg^{-1} arasında, K miktarı 1.94 – 3.12 cmol kg^{-1} arasında ve KDK değerleri 47.1 – 52.7 cmol kg^{-1} arasında olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3. İnkübasyon denemesinde kullanılan toprakların NH_4OAc ile ekstrakte edilebilir katyon miktarları ve KDK'ları

Seri Adı	Ca (cmol kg^{-1})	Mg (cmol kg^{-1})	Na (cmol kg^{-1})	K (cmol kg^{-1})	KDK (cmol kg^{-1})
Harran	55.6	8.86	0.503	2.66	51.4
Akçakale	52.7	12.5	2.642	3.12	47.1
Beğdeş	57.5	7.55	0.486	1.94	52.7

KDK: Katyon değişim kapasitesi

Toprakların DTPA ile ekstrakte edilebilir Fe miktarları $1.68 - 3.32 \text{ mg kg}^{-1}$ arasında, Zn miktarları $0.64 - 2.48 \text{ mg kg}^{-1}$ arasında, Cu miktarları $1.49 - 1.61 \text{ mg kg}^{-1}$ arasında ve Mn miktarları $3.52 - 15.9 \text{ mg kg}^{-1}$ arasında olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4. İnkübasyon denemesinde kullanılan toprakların DTPA ile ekstrakte edilebilir mikro element içerikleri

Seri Adı	Cu (mg kg^{-1})	Fe (mg kg^{-1})	Mn (mg kg^{-1})	Zn (mg kg^{-1})
Harran	1.49	1.83	3.52	2.48
Akçakale	1.61	1.68	15.9	1.67
Beğdeş	1.61	3.32	8.52	0.64

Toprakların toplam Fe içerikleri % 3.12 – 3.85 arasında, toplam Mn içerikleri % 0.098 – 0.114 arasında, toplam Al içerikleri % 2.33 – 2.63 arasında, amorf Fe içerikleri % 0.102 – 0.125 arasında ve kristalin Fe içerikleri % 1.53 – 2.09 arasında olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5. İnkübasyon denemesinde kullanılan toprakların toplam element içerikleri ve demirin farklı fraksiyonları

Seri Adı	Fe* (%)	Mn* (%)	Al* (%)	Amorf Fe (%)	Kristalin Fe (%)
Harran	3.12	0.108	2.33	0.102	1.59
Akçakale	3.23	0.098	2.39	0.103	1.53
Beğdeş	3.85	0.114	2.63	0.125	2.09

*Toplam elementler aqua regia çözeltisinde belirlenmiştir.

Toprakların kolay çözünebilir fosfor (NaOP) fraksiyonundaki molibdat reaktif fosfor miktarları $3.90 - 8.50 \text{ mg kg}^{-1}$ arasında, sitrat dithionit bikarbonatta çözülebilir fosfor (CDB-P) miktarları $105 - 183 \text{ mg kg}^{-1}$ arasında, kalsiyum bileşiklerine bağlı fosfor (HCl-P) miktarları $678 - 1234 \text{ mg kg}^{-1}$ arasında, yarıyıllı fosfor ($\text{NaHCO}_3\text{-P}$) miktarı $8.97 - 18.1 \text{ mg kg}^{-1}$ arasında ve toplam fosfor içerikleri $904 - 1617 \text{ mg kg}^{-1}$ arasında olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6. İnkübasyon denemesinde kullanılan toprakların fosfor fraksiyonları

Seri Adı	NaOH-P (mg kg ⁻¹)	CDB-P (mg kg ⁻¹)	HCl-P (mg kg ⁻¹)	NaHCO ₃ -P (mg kg ⁻¹)	Toplam P* (mg kg ⁻¹)
Harran	6.23	105	713	11.2	904
Akçakale	8.50	183	1234	18.1	1617
Beğdeş	3.90	113	678	8.97	1007

*Toplam fosfor aqua regia çözeltisinde belirlenmiştir. NaOH-P: Kolay çözünebilir fosfor. CDB-P: İndirgen Şartlarda Çözünebilir fosfor (ikinci dereceden çözünebilir fosfor). HCl-P: Kalsiyuma bağlı fosfor fraksiyonları.

Toprakların kaolinit içerikleri % 27 – 33 arasında, illit içerikleri % 24 – 50 arasında, klorit içerikleri % 22 – 24 arasında ve smektit içerikleri % 0 – 19 arasında olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.7).

Çizelge 4.7. İnkübasyon denemesinde kullanılan toprakların kil fraksiyon analizi

Seri Adı	Kaolinit (%)	İllit (%)	Klorit (%)	Smektit (%)
Harran	33	45	22	-
Akçakale	27	50	23	-
Beğdeş	33	24	24	19

4.1.2. Suyla doymun şartlarda inkübasyona bırakılan topraklarda meydana gelen değişimler

4.1.2.1. İnkübasyon sıvısı pH değerindeki değişimler

Gübresiz ve gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların pH değerleri inkübasyon süresinin artması ile azalmış, su altında kalma süresinin toprak pH değeri üzerine etkisinin istatistiksel olarak ($P<0.01$) önemli olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8. Gübresiz ve gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların inkübasyon sıvısı pH değerinin zamanla değişimi

İnkübasyon Süresi (Gün)	pH		pH		pH	
	Beğdeş Serisi		Akçakale Serisi		Harran Serisi	
	Gübresiz	Gübreli	Gübresiz	Gübreli	Gübresiz	Gübreli
1/24	7.87 a	7.87 a	8.02 a	8.02 a	7.78 a	7.78 a
7	7.79 b	7.65 b	7.79 b	7.69 b	7.65 b	7.62 b
14	7.55 c	7.53 c	7.55 c	7.58 c	7.48 c	7.45 c
30	7.22 d	7.23 d	7.22 d	7.24 d	7.04 d	7.16 d
45	7.15 e	7.14 e	7.14 e	7.14 e	7.03 d	7.09 e
60	7.15 e	7.14 e	7.05 f	7.10 f	7.06 d	7.09 e
90	7.14 e	7.13 e	7.07 f	7.09 f	7.05 d	7.07 e
P	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

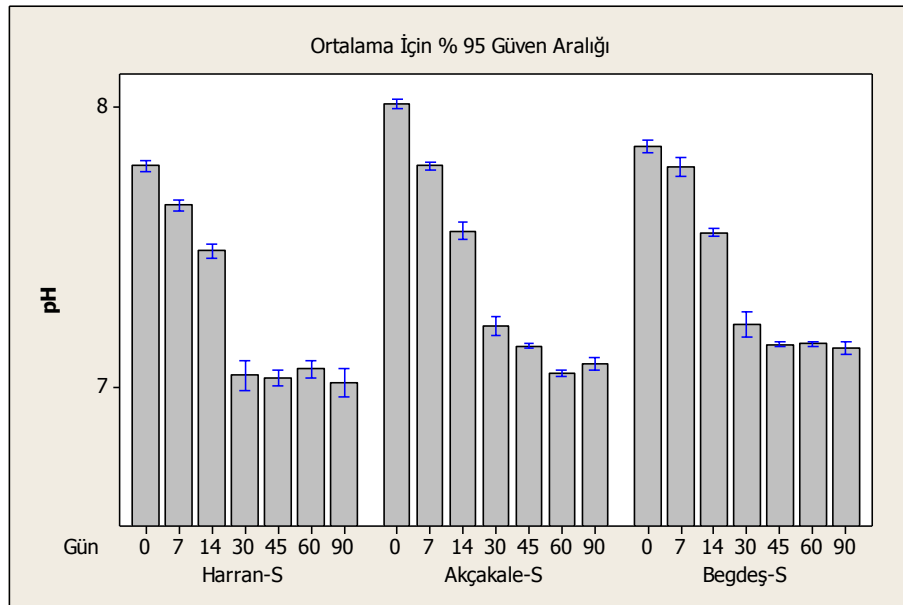
Yapılan t-testi sonucunda toprakların gübresiz ya da gübreli olarak inkübasyona bırakılmasının pH düşüşleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak ($P < 0.05$) önemsiz olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.9).

Çizelge 4.9. Gübresiz ve gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların t-testi sonuçları

Muamele	pH		pH		pH	
	Begdeş Serisi		Akçakale Serisi		Harran Serisi	
	Ortalama	Ort. Std. Hatası	Ortalama	Ort. Std. Hatası	Ortalama	Ort. Std. Hatası
Gübresiz	7.41	0.051	7.41	0.061	7.30	0.052
Gübreli	7.38	0.047	7.41	0.057	7.32	0.046
<i>P</i>	0.738		0.997		0.741	

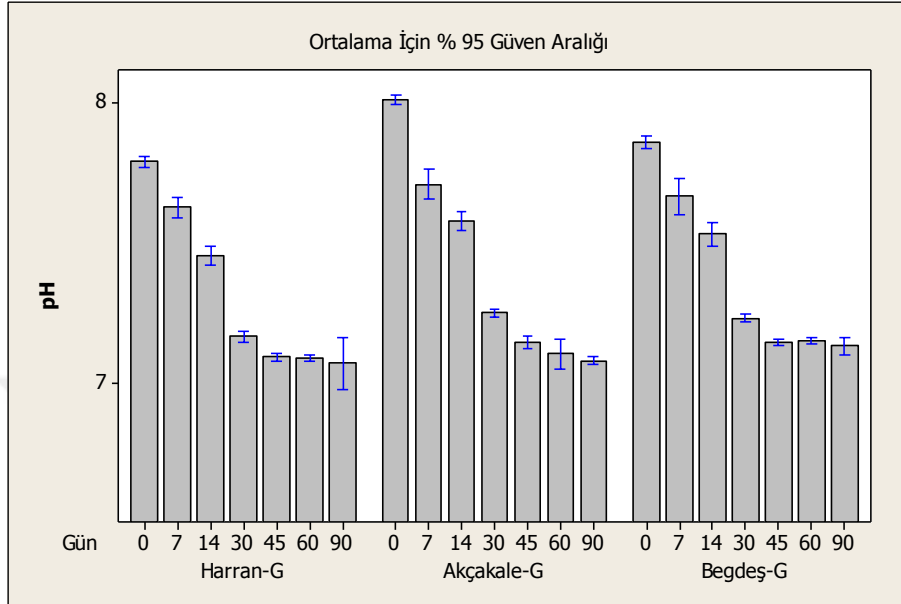
Suyla doymun şartlarda gübresiz ve gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların inkübasyon sıvısı pH değerleri de su altında kalma süresinin artmasıyla Begdeş, Harran ve Akçakale Serisi topraklarında düşüş göstermiştir. Şekil 4.1 ve Şekil 4.2 incelendiğinde, toprak pH'larının ilk 30 içinde nõtreye yaklaştığı ve daha sonra tamponlanarak pH 7 civarında kaldığı gözlemlenmiştir.

Suyla doymun şartlarda gübresiz olarak inkübasyona bırakılan topraklar için, su altında kalma süresi ile Begdeş, Harran ve Akçakale Serisi topraklarının inkübasyon sıvısı pH değerleri arasında önemli negatif korelasyonlar ($r = -0.850^{**}$; $r = -0.860^{**}$; $r = -0.808^{**}$) bulunmuştur (Çizelge A.1, A.3 ve A.5).



Şekil 4.1. Gübresiz olarak inkübasyona bırakılan toprakların pH'sının zamanla değişimi

Suyla doymun şartlarda gübrelili olarak inkübasyona bırakılan topraklar için, yine gübresiz inkübasyona benzer olarak Beğdeş, Harran ve Akçakale Serisi topraklarının inkübasyon sıvısı pH değerleri arasında önemli negatif korelasyonlar ($r = -0.853^{**}$; $r = -0.865^{**}$; $r = -0.852^{**}$) bulunmuştur (Çizelge A.2, A.4 ve A.6).



Şekil 4.2. Gübrelili olarak inkübasyona bırakılan toprakların pH'sının zamanla değişimi

Su altında kalma süresinin artmasıyla toprak pH'sındaki düşüş, bazı araştırmacılar tarafından indirgen şartların oluşmasıyla birlikte anaerobik mikroorganizmalar tarafından organik maddenin parçalaması sırasındaki ürettikleri CO_2 'nin su ile reaksiyonu sonucunda oluşan karbonik asidin birikimiyle açıklanırken (Ponnamperuma, 1972; Shenker vd., 2005; Amarawansha vd., 2015; Jayarathne vd., 2016), başka araştırmacılar ise indirgen şartlarda anaerobik mikroorganizmaların organik maddeyi parçalaması sırasındaki ürettikleri organik asitlerin birikimiyle açıklanmıştır (Craft, 2001; Oberson ve Joner, 2001; Stevens ve Tullos, 2011).

4.1.2.2. İnkübasyon sıvısı EC değerleri

Gübresiz ve gübrelili olarak inkübasyona bırakılan toprakların inkübasyon sıvısı EC değerleri su altında kalma süresinin artması ile artmış ve su altında kalma süresinin denge çözeltisinin EC değerleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak ($P < 0.01$) önemli olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.10).

Çizelge 4.10. Gübresiz ve gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların inkübasyon sıvısı EC değerinin zamanla değişimi

İnkübasyon Süresi (Gün)	EC ($\mu\text{S cm}^{-1}$)		EC ($\mu\text{S cm}^{-1}$)		EC ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	
	Begdeş Serisi		Akçakale Serisi		Harran Serisi	
	Gübresiz	Gübreli	Gübresiz	Gübreli	Gübresiz	Gübreli
1/24	133 e	133 f	299 f	299 d	129 e	129 g
7	215 d	208 e	438 e	421 c	266 d	255 f
14	256 c	263 d	511 d	528 c	310 c	324 e
30	300 b	295 c	583 c	578 b	367 b	348 d
45	322 a	323 b	634 b	638 ab	401 a	381 c
60	317 ab	323 b	640 b	650 ab	413 a	416 b
90	332 a	345 a	666 a	663 a	410 a	439 a
<i>P</i>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

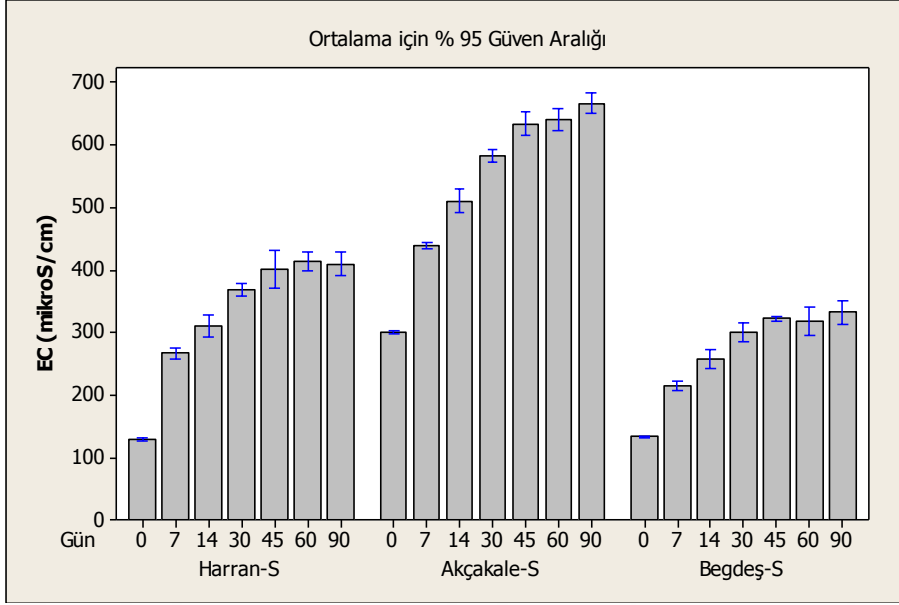
Yapılan t-testi sonucunda toprakların saf su ya da gübreli su ile inkübasyona bırakılmasının EC'nin değişimine etkisinin istatistiksel olarak ($P<0.05$) önemsiz olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.11).

Çizelge 4.11. Gübresiz ve gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların EC değerleri t-testi sonuçları

Muamele	EC ($\mu\text{S cm}^{-1}$)		EC ($\mu\text{S cm}^{-1}$)		EC ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	
	Begdeş Serisi		Akçakale Serisi		Harran Serisi	
	Ortalama	Ort. Std. Hatası	Ortalama	Ort. Std. Hatası	Ortalama	Ort. Std. Hatası
Gübresiz	267	11.6	539	21.2	328	16.6
Gübreli	270	12.1	540	21.8	327	17.1
<i>P</i>	0.832		0.976		0.972	

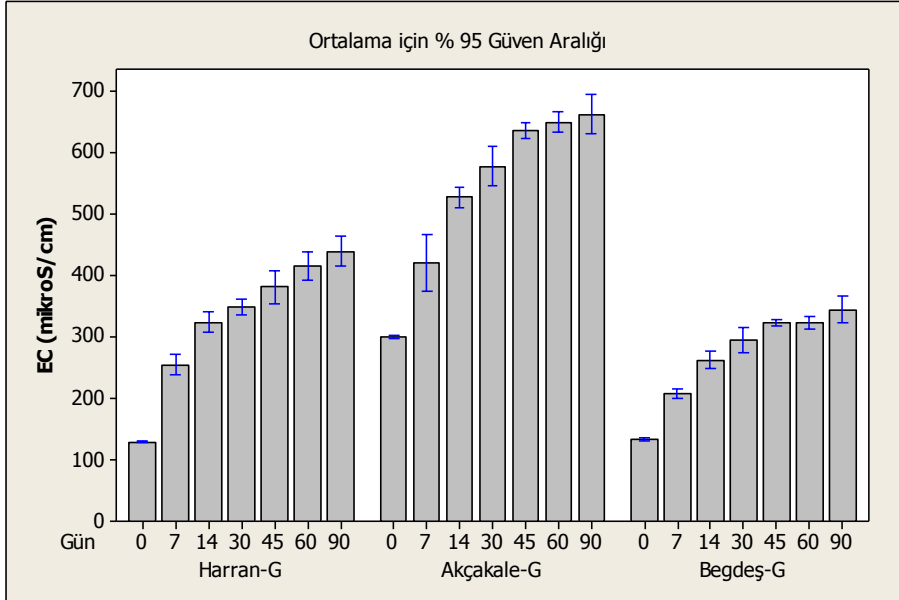
Suyla doymun şartlarda gübresiz ve gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların denge çözeltisinin EC değerleri su altında kalma süresinin artmasıyla Begdeş, Harran ve Akçakale Serisi topraklarında artış göstermiştir. Şekil 4.3 ve Şekil 4.4 incelendiğinde su altında kalma süresi sonunda inkübasyon sıvılarının EC değerlerinin ilk 30 gün içerisinde hızlı bir şekilde arttığı, daha sonra tamponlanarak dengeye geldiği gözlemlenmiştir. EC deki değişim tüm topraklarda tipik olarak katı fazların saf su içerisindeki çözünme kinetiğine benzemektedir. Ancak buradaki değişimde pH değişimlerinin ve indirgen şartların başat rol oynadığı düşünülmektedir.

Suyla doymun şartlarda gübresiz olarak inkübasyona bırakılan topraklar için, su altında kalma süresi ile Beğdeş, Harran ve Akçakale Serisi topraklarının inkübasyon sıvısı EC değerleri arasında önemli pozitif korelasyonlar ($r = 0.786^{**}$; $r = 0.857^{**}$; $r=0.803^{**}$) bulunmuştur (Çizelge A.1, A.3 ve A.5).



Şekil 4.3. Gübresiz olarak inkübasyona bırakılan toprakların EC'sinin zamanla değişimi

Suyla doygun şartlarda gübreli olarak inkübasyona bırakılan topraklar için, su altında kalma süresi ile, gübresiz inkübasyona benzer olarak, Beğdeş, Harran ve Akçakale Serisi topraklarının denge çözeltisi EC değerleri arasında önemli pozitif korelasyonlar ($r = 0.847^{**}$; $r = 0.841^{**}$; $r = 0.858^{**}$) bulunmuştur (Çizelge A.2, A.4 ve A.6).



Şekil 4.4. Gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların EC'sinin zamanla değişimi

Ponnamperuma (1972)'nin belirttiğine göre; su altında kalan topraklarındenge çözeltilerinin elektriksel iletkenliği ilk haftalarda hızla artarak bir pik noktaya ulaşmakta ve daha sonra küçük dalgalanmalar göstererek stabil hale gelmektedir. Ancak toprakların EC kinetiği toprak özelliğine bağlı olarak değişebilmekte ve pik değer 1 – 2 dS m⁻¹'e arasında bir değer göstermektedir.

Su altında kalan toprakların denge çözeltilerinin EC değerindeki artışın sebebi Ponnamperuma (1972) tarafından toprak çözeltilisinde miktarı artan NH₄, HCO₃, RCOO, Mn⁺² ve Fe⁺² iyonlarının ve toprak kolloidleri yüzeyinde bulunan Ca, Mg, Na, K gibi katyonların Fe⁺² ve Mn⁺² tarafından değişmesi ile açıklamıştır. Buna karşın, Amarawansha vd. (2015) ve Jayarathne vd. (2016) su altında kalan toprakların Ca, Mg, Fe ve Mn içeriklerinin arttığını ve bu artışın su altında kalmayla birlikte düşen toprak pH'sından dolayı çözünen Ca-P bileşikleri ve indirgenen Fe ve Mn oksitlerden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Toprak pH'sındaki düşme sonucunda kireçli topraklarda önemli miktarlarda Ca/Mg karbonatlar çözünebilmektedir (Lindsay, 1979).

4.1.2.3. İnkübasyon sıvısı Eh değerleri

Gübresiz ve gübreli olarak suyla doymun şartların oluşturulduğu toprakların denge çözeltilerinin Eh değerleri su altında kalma süresinin artması ile azalmış ve su altında kalma süresi Eh değerleri üzerine istatistiksel olarak ($P<0.01$) önemli derecede etki yaptığı belirlenmiştir (Çizelge 4.12).

Çizelge 4.12. Gübresiz ve gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların inkübasyon sıvısı Eh değerinin zamanla değişimi

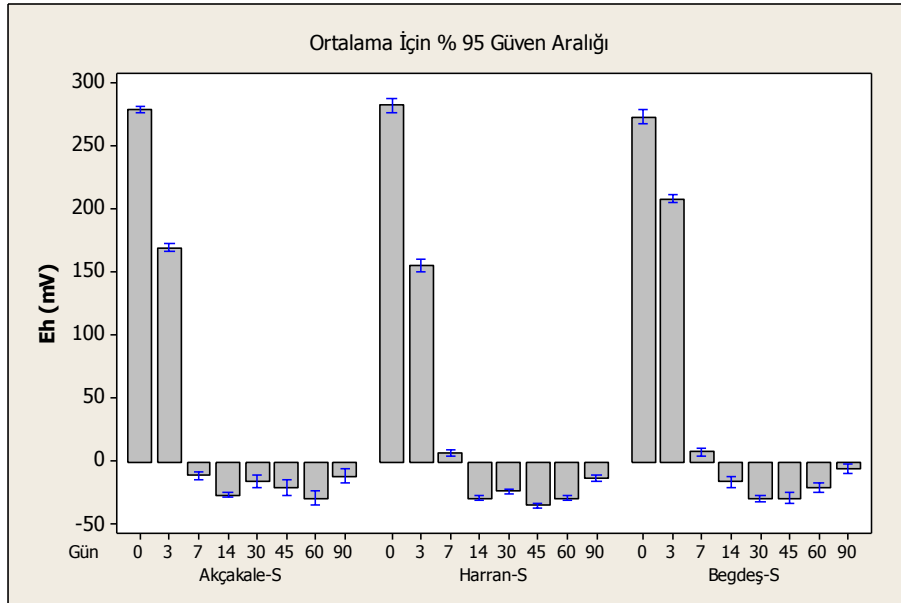
İnkübasyon Süresi (Gün)	Eh (mV)		Eh (mV)		Eh (mV)	
	Begdeş Serisi		Akçakale Serisi		Harran Serisi	
	Gübresiz	Gübreli	Gübresiz	Gübreli	Gübresiz	Gübreli
1/24	279 a	268 a	282 a	274 a	273 a	268 a
3	170 b	164 b	155 b	150 b	208 b	208 b
7	-10.7 c	-15.6 d	6.94 c	3.48 c	7.86 c	8.80 c
14	-26.0 f	-29.6 f	-28.6 f	-19.9 e	-15.4 e	-25.2 f
30	-15.9 de	-21.9 e	-23.4 e	-29.3 f	-29.5 g	-30.9 g
45	-20.2 e	-17.9 de	-34.5 g	-32.9 f	-28.5 g	-29.4 g
60	-28.7 f	-28.5 f	-28.8 f	-28.5 f	-20.7 f	-16.4 e
90	-11.2 cd	-7.36 c	-12.6 d	-7.24 d	-5.66 d	-8.94 d
<i>P</i>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Yapılan t-testi sonucunda toprakların gübresiz ve gübreli olarak inkübasyona bırakılmasının Eh değişimi üzerine etkisinin istatistiksel olarak ($P<0.05$) önemsiz olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.13).

Çizelge 4.13. Gübresiz ve gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların Eh değerleri t testi sonuçları

Muamele	Eh		Eh		Eh	
	Begdeş Serisi		Akçakale Serisi		Harran Serisi	
	Ortalama	Ort. Std. Hatası	Ortalama	Ort. Std. Hatası	Ortalama	Ort. Std. Hatası
Gübresiz	237	17.9	23.0	18.3	103	17.4
Gübreli	210	17.3	22.7	17.7	102	17.2
<i>P</i>	0.913		0.992		0.928	

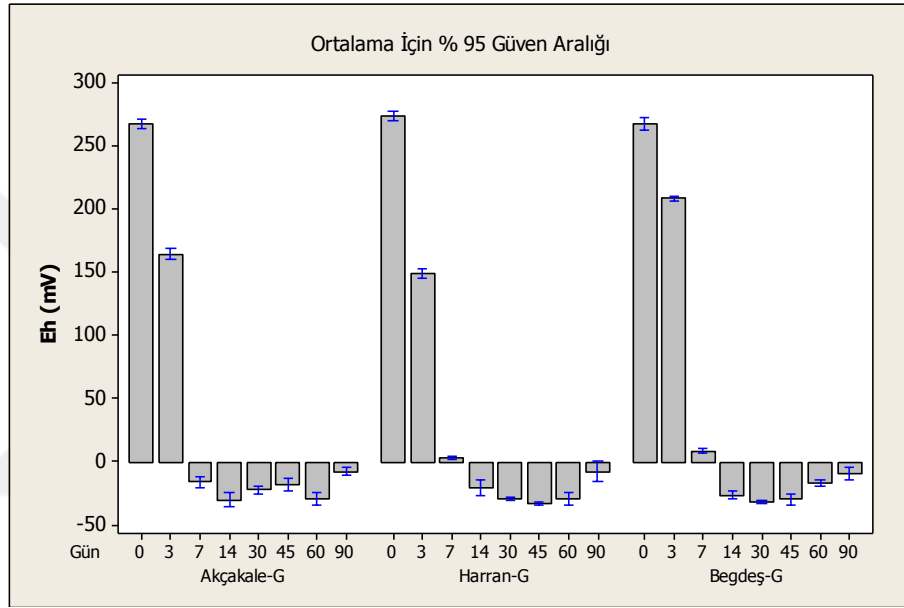
Suyla doygun şartlarda gübresiz ve gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların denge çözeltisi Eh değerleri su altında kalma süresinin artmasıyla bütün topraklarda azalma göstermiştir. Şekil 4.5 ve Şekil 4.6 incelendiğinde, Eh değerlerinin ilk 7 gün içinde negatif olduğu ve daha sonra tamponlanarak 0 mV altında kaldığı görülmektedir. Bu davranışın inkübasyonda kullanılan toprak miktarının düşük olmasında kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Zira kullanılan 1 g toprak sistemin Eh değerinin daha aşağıya düşmesine neden olabilecek miktarda oksit minerallerini içermediği düşünülmektedir.



Şekil 4.5. Gübresiz olarak inkübasyona bırakılan toprakların Eh'sinin zamanla değişimi

Suyla doygun şartlarda gübresiz olarak inkübasyona bırakılan topraklar için, su altında kalma süresi ile Beğdeş, Harran ve Akçakale Serisi topraklarının denge çözeltisi Eh değerleri arasında önemli negatif korelasyonlar ($r = -0.477^{**}$; $r = -0.500^{**}$; $r = -0.492^{**}$) bulunmuştur (Çizelge A.1, A.3 ve A.5).

Suyla doygun şartlarda gübreli olarak inkübasyona bırakılan topraklar için, su altında kalma süresi ile Beğdeş, Harran ve Akçakale Serisi topraklarının inkübasyon sıvısı Eh değerleri arasında önemli negatif korelasyonlar ($r = -0.451^{**}$; $r = -0.491^{**}$; $r = -0.483^{**}$) bulunmuştur (Çizelge A.2, A.4 ve A.6).



Şekil 4.6. Gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların Eh'sinin zamanla değişimi

Normal havalandırılan toprakların Eh değerleri 800 mV üzerinde iken bu değer suyla doygun şartlarda düşmektedir. Suyla doygun şartların oluşmasından sonra Eh değerinin 300 mV altında düşmesi durumunda toprakların indirgenmiş olduğu kabul edilmektedir (Ponnamperuma, 1972; Gambrell ve Patrick, 1978; Rowell, 1981).

Organik madde miktarının artması ve toprak sıcaklığının 35 °C'nin üzerine çıkması Eh düşüşünü hızlandırmaktadır. Nitrat, mangan ve demir oksit miktarının düşük olduğu topraklarda ise su altında kalmanın ikinci haftasından sonra redoks potansiyeli -0.25 V'a kadar düşebildiği bildirilmektedir (Ponnamperuma, 1972; Reddy ve DeLaune, 2008).

Amarawansha vd. (2015) tarafından yapılan çalışmaya göre, kireçli topraklarda ahır gübresi uygulamasının toprak Eh'si üzerine etkisinin olmadığı ve toprak özelliklerine bağlı olarak Eh değerlerinin negatife ulaşması için 14 – 42 gün gerektiği bildirilmiştir.

4.1.2.4. İnkübasyon Denge Çözeltisi P konsantrasyonları

Gübresiz olarak inkübe edilen toprakların denge çözeltisinin P konsantrasyonları su altında kalma süresinin artması ile artmış ve su altında kalma sürelerinin denge çözeltisinin P konsantrasyonları üzerine etkisinin istatistiksel olarak ($P<0.01$) önemli olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.14).

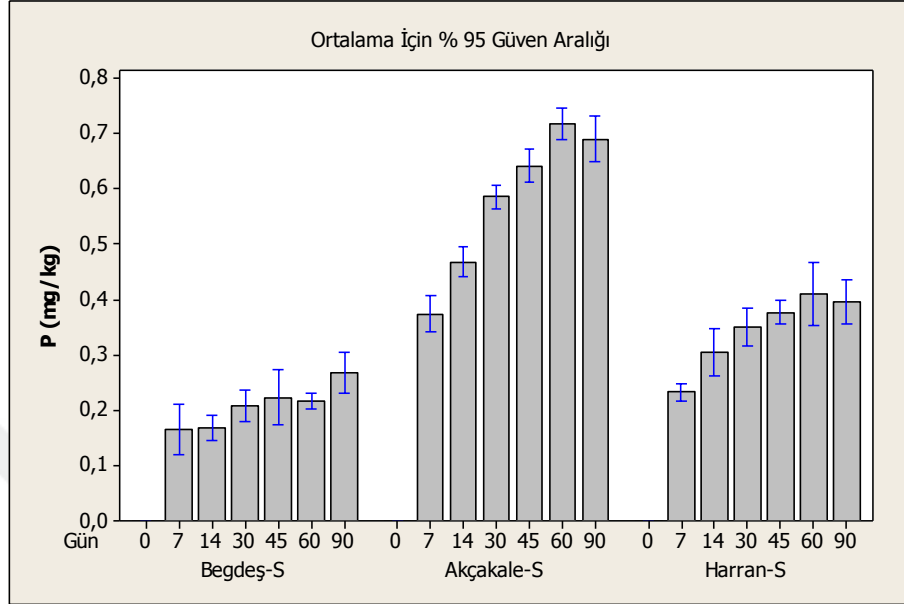
Çizelge 4.14. Gübresiz olarak inkübasyona bırakılan toprakların inkübasyon sıvısı P konsantrasyonunun zamanla değişimi

İnkübasyon Süresi (Gün)	Begdeş Serisi P (mg kg ⁻¹)	Akçakale Serisi P (mg kg ⁻¹)	Harran Serisi P (mg kg ⁻¹)
0	0.000 d	0.000 f	0.000 e
7	0.166 c	0.374 e	0.233 d
14	0.167 c	0.468 d	0.306 c
30	0.208 b	0.585 c	0.351 b
45	0.223 b	0.642 b	0.377 a
60	0.215 b	0.717 a	0.410 a
90	0.268 a	0.691 a	0.396 a
<i>P</i>	0.000	0.000	0.000

Suyla doygun şartlarda gübresiz olarak inkübasyona bırakılan toprakların denge çözeltilerinin P konsantrasyonu su altında kalma süresinin fonksiyonu olarak Begdeş Serisinde düzenli bir artış olmuş; Harran ve Akçakale Serisi topraklarında ise inkübasyonun 60. gününe kadar artış olurken, inkübasyonun 90. gününde azalmalar meydana gelmiştir (Şekil 4.7). Su altında kalma süresi ile Beğdeş, Harran ve Akçakale Serisi topraklarının denge çözeltisi P konsantrasyonu arasında önemli pozitif korelasyonlar ($r= 0.748^{**}$; $r = 0.793^{**}$; $r = 0.736^{**}$) bulunmuştur (Çizelge A.1, A.3 ve A.5). Su altında kalma sonucunda fosfor salınımı Beğdeş<Harran<Akçakale Serisi şeklinde olmuştur.

Toprakların pH değerlerinin ve kireç içeriklerinin yüksek olması nedeniyle topraktaki fosforun büyük bir kısmı Ca-P bileşikler şeklinde bulunmaktadır (Havlin vd., 1999; Uygur ve Karabacak, 2009). Su altında kalma süresi sonucunda toprakların pH değerlerindeki düşüşten dolayı Ca-P bileşiklerinin çözöldüğü, Eh değerlerindeki düşüşten dolayı Fe-P bileşiklerinin çözöldüğü ve çözelti fazındaki P miktarını artırdığı düşünülmektedir. Denge çözeltilerinin P konsantrasyonu ile pH değerleri

arasında Beğdeş, Harran ve Akçakale Serisi toprakları için sırasıyla ($r = -0.807^{**}$; $r = -0.949^{**}$; $r = -0.867^{**}$) önemli negatif korelasyonlar, EC değerleri ile önemli pozitif korelasyonlar ($r = 0.886^{**}$; $r = 0.979^{**}$; $r = 0.970^{**}$) ve Eh değerleri ile önemli negatif korelasyonlar ($r = -0.868^{**}$; $r = -0.897^{**}$; $r = -0.916^{**}$) bulunmuştur (Çizelge A.1, A.3 ve A.5).



Şekil 4.7. Gübresiz olarak inkübasyona bırakılan toprakların inkübasyon sıvısı P konsantrasyonunun zamanla değişimi

Denge çözeltilerinin P konsantrasyonu ve EC değerleri arasındaki pozitif korelasyonlar su altında kalma süresi sonunda denge çözeltisinin anyon ve ya katyon miktarının arttığını göstermektedir. Buda Ca-P ve/veya Fe-P bileşiklerinin çözüldüğünü göstermektedir. Ann vd. (2000) ve Racz (2006) tarafından, su altında kalma sonrasında, düşen toprak pH'sına bağlı olarak alkalın özellikteki topraklardaki apatit, β -tri kalsiyum fosfat, okta kalsiyum fosfat, brusit ve monetitin çözünmesi sonucunda ortamdaki fosfat, kalsiyum ve magnezyum miktarlarında artışlar olduğu belirtilmiştir.

Kireçli toprakların su altında kalması sonucunda, su altında kalma süresi arttıkça, toprakların Ca, Mg, Fe ve Mn içeriklerinde artışların olduğunu belirtilmiş (Amarawansha vd., 2015; Jayarathne vd., 2016), bu artışın su altında kalmayla birlikte düşen toprak pH'sından dolayı çözünen Ca-P bileşikleri ve indirgenen Fe ve Mn oksitlerden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Dolayısıyla, Ca-P ve Fe-P bileşiklerinin çözünmesi sonucu ortaya çıkan fosforun çözelti fazındaki fosfor miktarını artırdığını belirtmişlerdir.

Normal şartlar altında alkalın özellikteki topraklarda Fe-fosfat formundaki fosfor miktarı az olmasına karşın (Uygur ve Karabacak, 2009; Bair, 2012), topraktaki Fe oksit ve hidroksitler yüzeyine adsorbe edilmiş fosforun (Bilgili vd., 2008; Uygur, 2009), suyla doymun şartlarda demir bileşiklerinin indirgenmesi sonucunda ortamdaki iyonik fosfat konsantrasyonunu artırdığı belirtilmiştir. (Ponnamperuma, 1972; Wilett, 1989; Suter vd., 1991; Ann vd., 2000; Scalenghe vd., 2012; Amarawansha vd., 2015; Jayarathne vd., 2016).

Su altında kalan toprakların fosfor salınımı konusunda yapılan birçok çalışmada inkübasyon süresinin artmasıyla birlikte çözelti fosfor konsantrasyonunun artışı inceleyen araştırmalar bulunmasına rağmen (Ajmone-Marsan vd., 2006; Hoffman vd., 2009; Kröger vd., 2012; Scalenghe vd., 2012), su altında kalma süresinin artması sonucunda çözelti fosfor konsantrasyonunun sabit kaldığı ile ilgili araştırmalar da bulunmaktadır (Shober ve Sims, 2009; Amarawansha vd., 2015; Jayarathne vd., 2016). Bunların tersine, Uwasawa vd., (1988) ise su altında kalma sonucunda artan P konsantrasyonunun demir bileşiklerinin indirgenmesinden ziyade organik fosforun ayrışması sonucunda arttığını belirtmişlerdir.

Suyla doymun şartların gübrelili olarak yürütüldüğü denemede denge çözeltisinin fosfor miktarı hızlı bir şekilde azalmış, su altında kalma süresine göre denge çözeltisinin fosfor konsantrasyonundaki değişim istatistiksel olarak önemli ($P < 0.01$) bulunmuştur (Çizelge 4.15 ve Çizelge 4.16).

Çizelge 4.15. Gübrelili olarak inkübasyona bırakılan toprakların inkübasyon sıvısı P konsantrasyonlarının zamanla değişimi

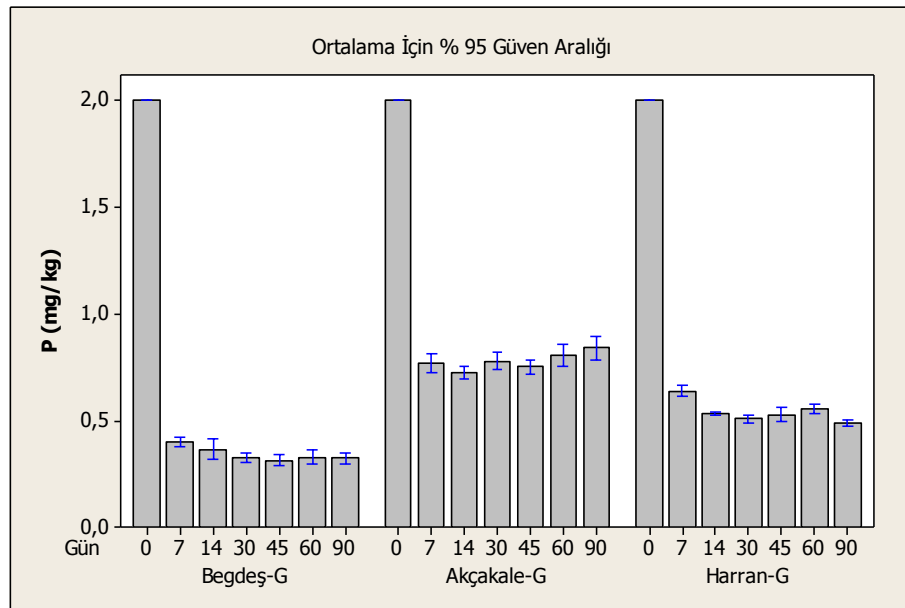
İnkübasyon Süresi (Gün)	Begdeş Serisi P (mg kg ⁻¹)	Akçakale Serisi P (mg kg ⁻¹)	Harran Serisi P (mg kg ⁻¹)
0	2.000 a	2.000 a	2.000 a
7	0.396 b	0.765 cde	0.638 b
14	0.365 c	0.725 e	0.530 d
30	0.322 d	0.778 cd	0.508 de
45	0.313 d	0.751 de	0.526 d
60	0.328 d	0.806 bc	0.552 c
90	0.325 d	0.840 b	0.487 e
P	0.000	0.000	0.000

Suyla doymun şartların gübrelili olarak yürütüldüğü denemede denge çözeltisindeki fosfor miktarı hızlı bir şekilde azalmıştır. İnkübasyonun ilk 7 günü içerisinde eklenen fosforun % 60 ile 80'i toprak bileşenleri tarafından tutulmuş ve katı faza geçmiştir (Şekil 4.8 ve 4.9).

Suyla doymun şartlarda gübreli olarak inkübasyona bırakılan topraklar için, su altında kalma süresi ile Beğdeş, Harran ve Akçakale Serisi topraklarının denge çözeltilerinin P sorpsiyonu arasında önemli pozitif korelasyonlar ($r = 0.509^{**}$; $r = 0.419^*$; $r = 0.527^{**}$) bulunmuştur (Çizelge A.2, A.4 ve A.6). Çözelti fazındaki fosforun sorpsiyonu Beğdeş Serisinde su altında kalmayı takip eden ilk 30 günde artarken; daha sonraki günlerde azalmalar meydana gelmiştir. Akçakale Serisinde, su ilavesinden sonraki 14 günde artış olurken, daha sonraki günlerde azalmalar meydana gelmiştir. Harran Serisi diğer topraklardan daha farklı davranmış; bu toprakta ilk 30 günde artış olurken, 45 ve 60. günlerde azalmalar meydana gelmiş ve daha sonra tekrar artış meydana gelmiştir (Şekil 4.8 ve Şekil 4.9).

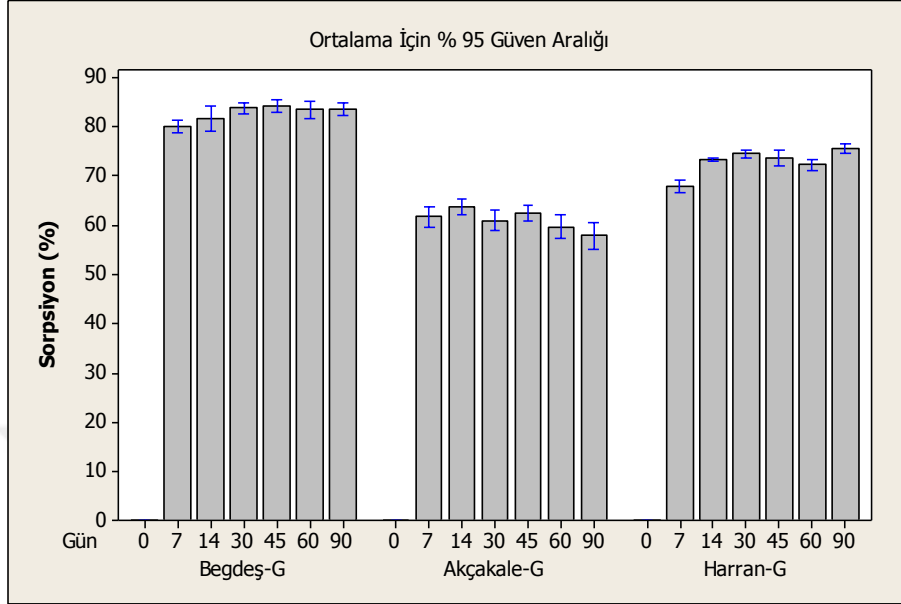
Çizelge 4.16. Gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların P sorpsiyonunun zamanla değişimi

İnkübasyon Süresi (Gün)	Begdeş Serisi Sorp (%)	Akçakale Serisi Sorp (%)	Harran Serisi Sorp (%)
0	0.00 d	0.00 e	0.00 e
7	80.2 c	61.8 abc	68.1 d
14	81.8 b	63.7 a	73.5 b
30	83.4 a	61.1 bc	74.6 a
45	84.4 a	62.5 ab	73.7 b
60	83.6 a	59.7 cd	72.4 c
90	83.8 a	58.0 d	75.7 a
<i>P</i>	0.000	0.000	0.000



Şekil 4.8. Gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların inkübasyon sıvısı P konsantrasyonunun zamanla değişimi

Gübre ile ilave edilen çözelti fazındaki fosforun, indirgenme sonucunda ortamda artan amorf demir bileşikleri tarafından (Shukla vd., 1971; Nriagu, 1972; Nriagu ve Dell, 1974) sorpsiyonuyla katı faza geçtiği düşünülmektedir.



Şekil 4.9. Gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların P sorpsiyonunun zamanla değişimi

Khalid vd. (1977) tarafından yapılan çalışmada, indirgen şartlarda gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların normal havalandırılan topraklara göre daha fazla fosfor sorbe ettiği belirtilmiştir. Bu artışın sebebini ise oksalat ile ekstrakte edilebilir demir (amorf demir) miktarındaki artış ile açıklamışlardır. Yine benzer olarak, Willet ve Higgins (1978), su altında kalan çeltik topraklarının demir hidroksit ve oksit miktarlarındaki artıştan dolayı fosfor sorpsiyonunu artırdığını belirtilmiştir.

Amery ve Smolders (2012), indirgenmiş şartlarda Fe^{+2} tarafından fosforun adsorpsiyonunu gözlemlemek için yaptıkları çalışmada; indirgenme sonucunda oluşan Fe^{+2} 'nin sodyum reçinesi ile uzaklaştırılması sonucunda fosfor adsorpsiyonunun azaldığını belirtmişlerdir. Bu da demir (III) oksitlerin indirgenmesiyle oluşan Fe^{+2} nin gübre ile ilave edilen fosforun reaksiyonlarındaki önemini su altında kalan topraklar için açıkça ortaya koymaktadır.

4.1.2.5. Suyla doymun şartlarda inkübasyona bırakılan toprakların fosfor fraksiyonları

4.1.2.5.1. İndirgenmiş toprakların NaOH ile ekstrakte edilen P konsantrasyonları

Suyla doymun şartlarda gübresiz olarak inkübasyona bırakılan bütün topraklarda su altında kalma süresinin artmasıyla toprakların NaOH-P (NaOH ile ekstrakte edilebilir orta derecede bitkiye yararışlı P) fraksiyonunda istatistiksel olarak önemli ($P<0.01$) artışlar meydana gelmiştir (Çizelge 4.17).

Çizelge 4.17. Gübresiz ve gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların NaOH-P konsantrasyonlarının zamanla değişimi

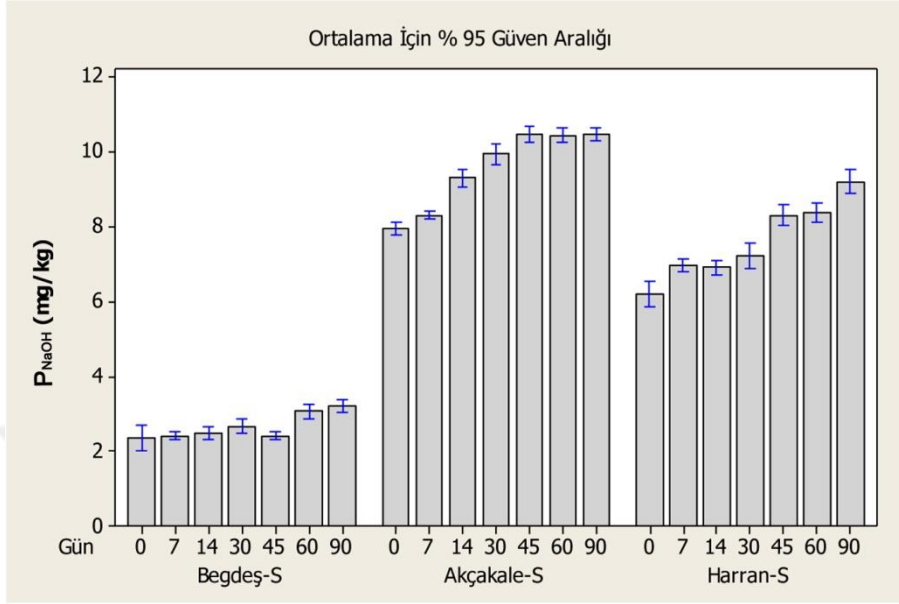
İnkübasyon Süresi (Gün)	NaOH-P (mg kg ⁻¹) Begdeş Serisi		NaOH-P (mg kg ⁻¹) Akçakale Serisi		NaOH-P (mg kg ⁻¹) Harran Serisi	
	Gübresiz	Gübreli	Gübresiz	Gübreli	Gübresiz	Gübreli
0	2.37 c	2.37 e	7.95 e	7.95 d	6.19 d	6.19 c
7	2.40 c	4.97 d	8.30 d	11.77 c	6.67 c	10.50 b
14	2.47 bc	5.17 cd	9.30 c	11.97 c	6.90 c	10.93 ab
30	2.67 b	5.40 c	9.93 b	13.13 b	7.20 c	11.03 ab
45	2.40 c	6.23 a	10.47 a	13.03 b	8.30 b	10.93 ab
60	3.07 a	6.50 a	10.43 a	14.06 a	8.37 b	11.07 ab
90	3.20 a	5.93 b	10.47 a	14.36 a	9.20 a	11.23 a
P	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Begdeş Serisi toprağının NaOH-P fraksiyonunda inkübasyonun ilk 45 gününde az artış olurken, daha sonraki günlerde daha fazla artış meydana gelmiştir. Akçakale Serisi toprağının NaOH-P fraksiyonunda inkübasyonun ilk 45 gününde önemli artışlar olurken, daha sonra sabit kalmıştır. Harran Serisi toprağının NaOH-P fraksiyonunda ise inkübasyonun süresi boyunca aşamalı olarak önemli artışlar meydana gelmiştir (Şekil 4.10).

Suyla doymun şartlarda gübresiz olarak inkübasyona bırakılan toprakların (sırasıyla Beğdeş, Akçakale ve Harran Serileri) NaOH-P fraksiyonu ile pH arasında önemli negatif korelasyon ($r = -0.613^{**}$; $r = -0.976^{**}$; $r = -0.798^{**}$), Eh değeri arasında önemli ve önemsiz negatif korelasyon ($r = -0.328^{**}$, $r = -0.711^{**}$ ve $r = -0.575^{**}$), denge çözeltilerinin P konsantrasyonu arasında önemli pozitif korelasyonlar ($r = 0.525^{**}$; $r = 0.921^{**}$; $r = 0.770^{**}$) bulunmuştur (Çizelge A.1, A.3 ve A.5).

Su altında kalma süresi sonucunda toprakların pH değerlerindeki düşüşten dolayı Ca-P bileşiklerinin, Eh değerlerindeki düşüşten dolayı Fe-P bileşiklerinin çözüldüğü ve çözelti fazındaki P miktarını artırdığı düşünülmektedir. İnkübasyonda denge

çözültisinin P konsantrasyonu ve NaOH-P fraksiyonu arasındaki pozitif korelasyon dikkate alındığında, su altında kalma süresi boyunca ortamda artan fosfor miktarının NaOH-P fraksiyonunu artırdığını göstermektedir.



Şekil 4.10. Gübresiz olarak inkübasyona bırakılan toprakların redüksiyon sonrası NaOH-P fraksiyonunun zamanla değişimi

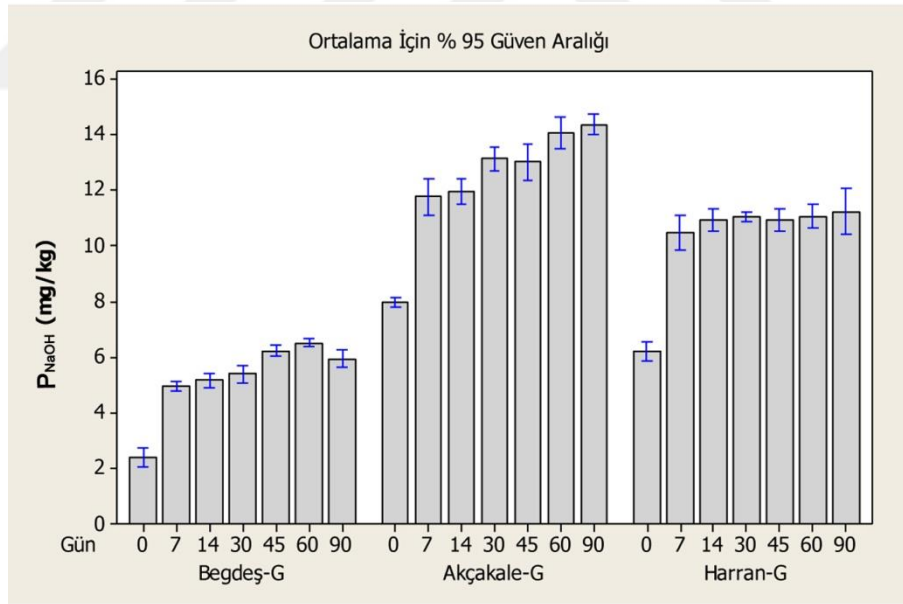
Sanyal ve De Datta (1991), su altında kalma sonrasında toprakların ekstrakte edilebilir fosfor miktarının arttığını ve bu artışında topraklardaki fosforun hangi fraksiyonlarda bulunduğuna göre değiştiğini belirtmişlerdir. Olila vd. (1997) ve Ajmone-Marsan vd. (2006), redüksiyon sonrasında toprakların labil fosfor formlarında artış olduğunu (Scalenghe vd., 2104); benzer şekilde, Ma vd. (2010), su altında redüksiyona bırakılan çeltik topraklarının Olsen-P fosforunda artışlar olduğu; bu fraksiyondaki artışın sebebinin de indirgenen demir fosfat halinde bulunan fosforun çözünürlüğü düşük dikalsiyum fosfat (DCP) formuna dönüşmesi ile açıklamışlardır.

Ponnamperuma (1985), su altında kalma sonrasında meydana gelen anaerobik ayrışma sonucunda ortaya çıkan CO₂'nin suda çözünmesi sonucunda düşen toprak pH'sından dolayı kireçli topraklardaki okta kalsiyum fosfat, β-trikalsiyum fosfat, hidroksi apatit ve flor apatitin çözünürlüğünün artacağını ileri sürmüştür. Farklı olarak, Willet (1986), su altında kalan topraklardaki organik maddenin ayrışması sonucunda meydana gelen organik asitlerin (Tsutsuki ve Ponnamperuma, 1987) toprakta var olan Ca-P bileşiklerinin çözünürlüğünü artırarak fosfor miktarını artırdığını belirtmiştir. Mandal (1979), su altında kalan topraklara nişasta

eklenmesi sonrasında 0.5 N asetik asitte çözünebilir P miktarında artış olurken, Ca-P fraksiyonunda azalma olduğunu; çözünen bu fraksiyonun, trikalsiyum fosfattan monokalsiyum fosfat (MCP) ve dikalsiyum fosfata (DCP) dönüştüğünü belirtmiştir. Ancak, Amer vd. (1991) Nil Nehri kenarındaki çeltik yetiştirilen kireçli topraklara eklenen fosforun su altında kalma sürecinde nasıl davrandığını gözlemledikleri çalışmada, dikalsiyum fosfat dihidrat (DCPD) değerinin su altında kalma sürecinde değişmediğini, hidroksiapatit (HAP) miktarının azaldığını belirtmişlerdir.

Suyla doymun şartlarda gübreli olarak inkübasyona bırakılan bütün topraklarda su altında kalma süresinin artması sonucunda toprakların NaOH-P (NaOH ile ekstrakte edilebilir P) fraksiyonunda istatistiksel olarak önemli ($P<0.01$) artışlar meydana gelmiştir (Çizelge 4.17).

Gübreli olarak inkübasyona bırakılan topraklara eklenen fosforun bir kısmının NaOH-P fraksiyonunda biriktiği gözlemlenmiştir. Şekil 4.11 incelendiğinde gübre uygulaması ile su altında bırakılan toprakların NaOH-P konsantrasyonundaki değişimler açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 4.11. Gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların redüksiyon sonrası NaOH-P fraksiyonunun zamanla değişimi

Gübreli olarak inkübasyon sonrasında Begdeş Serisi toprağının NaOH-P fraksiyonunda inkübasyonun ilk 60 gününde önemli artış olurken, daha sonraki günlerde azalma meydana gelmiştir. Akçakale Serisinde NaOH-P fraksiyonunda inkübasyon süresi boyunca önemli artışlar meydana gelirken Harran serisinde 7.

günden sonra artış eğilimiyle birlikte önemli bir değişiklik gözlenmemiştir (Şekil 4.11, Çizelge 4.17).

Gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların NaOH-P fraksiyonu ile su altında kalma süresi arasında önemli pozitif korelasyonlar ($r = 0.700^{**}$; $r = 0.792^{**}$; $r = 0.553^{**}$), denge çözeltilerinin P konsantrasyonu ile önemli negatif korelasyonlar ($r = -0.916^{**}$; $r = -0.843^{**}$; $r = -0.974^{**}$) bulunmuştur (Çizelge A.2, A.4 ve A.6).

Suyla doygun şartlarda gübresiz ve gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların NaOH-P değerleri arasında yapılan t-testi sonucunda, gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların NaOH-P fraksiyonunun daha yüksek olduğu ve aradaki farkın istatistiksel olarak önemli ($P < 0.01$) olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.18).

Çizelge 4.18. Gübresiz ve gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların NaOH-P değerleri t-testi sonuçları

Muamele	NaOH-P (mg kg ⁻¹)		NaOH-P (mg kg ⁻¹)		NaOH-P (mg kg ⁻¹)	
	Begdeş Serisi		Akçakale Serisi		Harran Serisi	
	Ortalama	Ort. Std. Hatası	Ortalama	Ort. Std. Hatası	Ortalama	Ort. Std. Hatası
Gübresiz	2.65	0.060	9.55	0.171	7.59	0.171
Gübreli	5.22	0.221	12.3	0.347	10.3	0.294
<i>P</i>	0.000		0.000		0.000	

Su altında kalma sonrasında denge çözeltilerinin P konsantrasyonu ve NaOH-P fraksiyonundaki fosfor miktarı arasındaki negatif korelasyon, eklenen fosforun kolay çözünebilir MCP (Monokalsiyum fosfat) yada DCP (Dikalsiyum fosfat) şeklinde çökeildiğini düşündürmektedir. Ma vd., (2010), ardışık olarak redüksiyon ve oksidasyona bırakılan çeltik topraklarında, indirgenmiş şartlarda toprakların DCP fraksiyonlarında artış olduğunu ve toprakta var olan Fe-P bileşiklerinin indirgen şartlarda çözünerek DCP şeklinde çökeildiğini belirtmişlerdir. Benzer olarak Shah vd. (2010), alkalın özellikli topraklarda, su altında kalma sonrasında ortama eklenen fosforun yüzey toprağında (Eh değerinin aerobik olduğu) Fe-P bileşikleri şeklinde tutulduğunu, yüzey altı toprağında (Eh değerinin daha negatif olduğu) Ca ve Mg formunda bulunduğunu belirtmişlerdir. Ancak, Fisher (1983), su altında kalan topraklara P uygulanması sonucunda vivanit (Fe₃(PO₄)₂ · 8H₂O) miktarında artış olduğunu, bunda Fe (III) oksit ve hidroksitlerin indirgenmesi sonucunda oluşan Fe⁺² ve eklenen fosforun tekrar çökmesiyle açıklamıştır (Sanyal ve De Datta, 1991). Amer vd. (1991)'de benzer olarak indirgenmiş şartlarda ortama eklenen fosforun vivanit şeklinde çökeildiğini belirtmişlerdir.

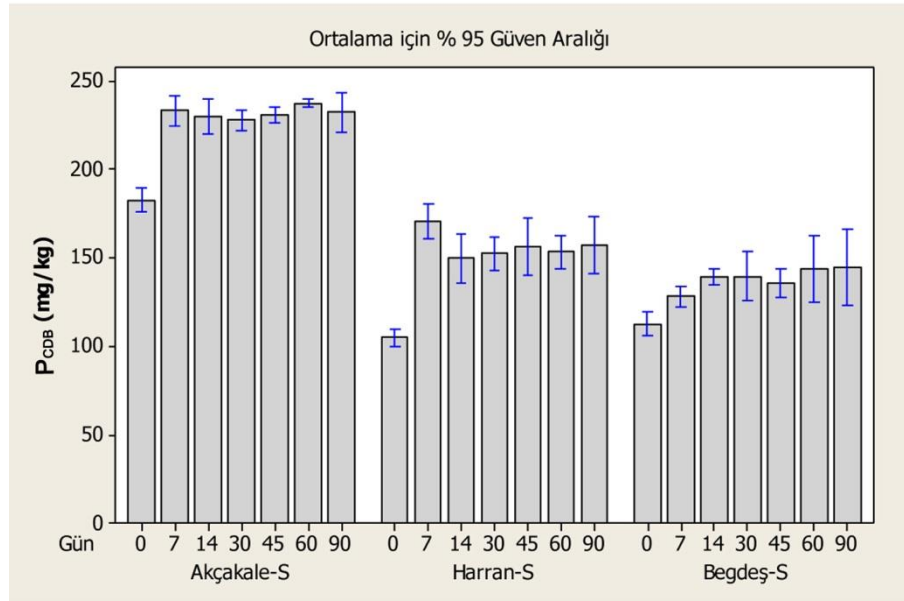
4.1.2.5.2. İndirgenmiş toprakların CDB ile ekstrate edilen P konsantrasyonları

Suyla doymun şartlarda gübresiz olarak inkübasyona bırakılan toprakların su altında kalma süresinin fonksiyonu olarak toprakların CDB-P (Sitrata dithionit bikarbonat ile ekstrakte edilebilir P) fraksiyonunda istatistiksel olarak önemli ($P < 0.01$) artışlar meydana gelmiştir (Çizelge 4.19).

Çizelge 4.19. Gübresiz ve gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların CDB-P konsantrasyonlarının zamanla değişimi

İnkübasyon Süresi (Gün)	CDB-P (mg kg ⁻¹) Begdeş Serisi		CDB-P (mg kg ⁻¹) Akçakale Serisi		CDB-P (mg kg ⁻¹) Harran Serisi	
	Gübresiz	Gübreli	Gübresiz	Gübreli	Gübresiz	Gübreli
0	113 c	113 c	183 c	183 c	105 c	105 c
7	128 b	206 b	233 ab	246 b	171 a	147 a
14	139 a	207 b	230 ab	247 b	150 b	146 a
30	139 a	211 ab	228 b	246 b	152 b	147 a
45	136 ab	215 ab	231 ab	249 ab	156 b	142 b
60	144 a	214 ab	238 a	252 ab	153 b	146 a
90	145 a	221 a	233 ab	256 a	157 b	149 a
<i>P</i>	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Suyla doymun şartlarda gübresiz olarak inkübasyona bırakılan toprakların CDB-P konsantrasyonu su altında kalma süresinin artmasıyla Begdeş, Harran ve Akçakale Serisi topraklarında ilk 7 gün içerisinde hızlı bir şekilde artış göstermiştir (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. Gübresiz olarak inkübasyona bırakılan toprakların redüksiyon sonrası CDB-P fraksiyonunun zamanla değişimi

Beğdeş, Harran ve Akçakale Serisi topraklarının CDB-P konsantrasyonu ile su altında kalma süresi arasında ($r = 0.557^{**}$; $r = 0.498^*$; $r = 0.348^*$) ve inkübasyon sıvısı P konsantrasyonu arasında önemli pozitif korelasyonlar ($r = 0.657^{**}$; $r = 0.844^{**}$; $r = 0.686^{**}$) bulunmuştur (Çizelge A.1, A.3 ve A.5).

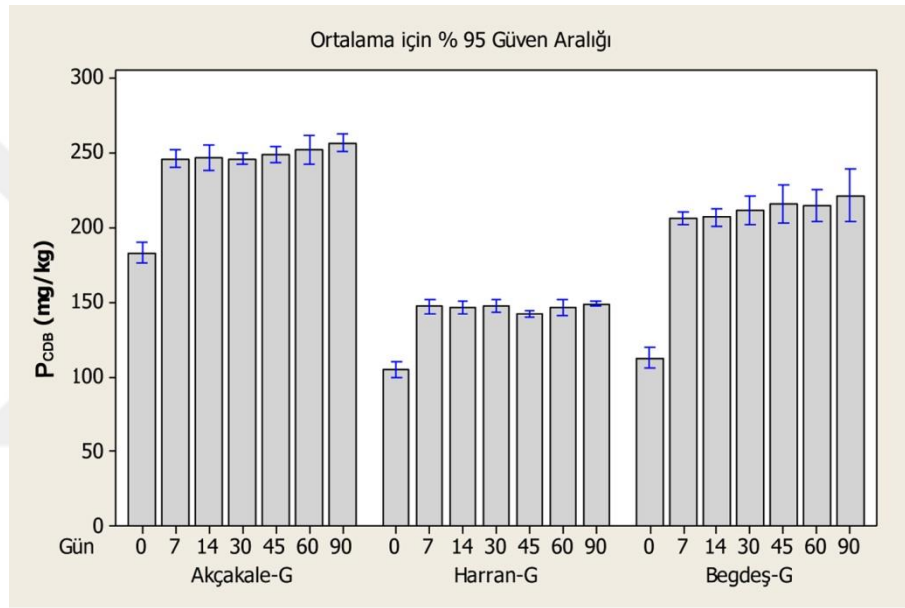
Normal şartlar altında çözünürlüğü çok düşük olan Ca-P bileşiklerinin redüksiyonun sonunda çözünürlüğünün arttığı ve HCl-P fraksiyonundan CDB-P fraksiyonuna kaydığı düşünülmektedir. CDB-P fraksiyonu ve inkübasyon sıvısı P konsantrasyonu arasındaki önemli pozitif korelasyona bakıldığında HCl-P fraksiyonundan CDB-P fraksiyonuna gelen fosforun önce çözelti fazına daha sonra CDB-P fraksiyonuna geçtiğini görülmektedir. Khalid vd. (1977), su altında kalma süresinin artmasıyla birlikte toprakların oksalat ile ekstrakte edilebilir Fe miktarının arttığını, buna bağlı olarak ta P (CDB-P fraksiyonu) sorpsiyonun arttığını belirtmiştir. Willet ve Higgins (1978), su altında kalma sonrasında toprakların amorf demir miktarında ve fosfor sorpsiyon oranında artışlar olduğunu belirtmişlerdir. Bu toprakların P sorpsiyon kapasitesindeki artışın ise toprakların serbest Fe oksit miktarıyla ilişkili olduğunu bildirmişlerdir.

Willet (1989), Fe (III) oksitlerin indirgenmesinin çözelti fazında artan fosforun temel kaynağı olduğunu, ancak salınan fosforun tekrar sorbe edildiğini belirtmiştir. Ru-kun vd. (1982) ve De Datta vd. (1989) su altında kalma süresinin artmasıyla, $\text{FePO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ bileşiklerinin indirgenerek daha kolay çözünebilir Fe formu olan $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ve $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ 'a dönüştüğünü dönüştüğü öne sürmüşlerdir.

Ma vd., (2010), ardışık olarak su altında redüksiyon ve oksidasyona bırakılan çeltik topraklarında, indirgenmiş şartların ardından toprakların CDB-P (Fe-P) fraksiyonunda azalma olduğunu, indirgenme sonrasında drene edilen topraklar kurutulduğunda Fe-P (demir fosfat) fraksiyonunda artış olduğunu tespit etmişlerdir. Araştırmacılar, kuruma sürecinde artan demir fosfat miktarının indirgen şartlarda çözünen demir oksit ve hidroksitlerin, demir fosfat şeklinde çökmesiyle açıklamışlardır. Sah ve Mikkelsen (1986b), indirgen şartlardaki ortama selüloz eklenmesiyle Al-P faksiyonunda azalmalar; Fe-P fraksiyonunda veya CDB-P miktarında artışlar olduğunu belirtmişlerdir. Bu artışın sebebinin organik maddenin anaerobik şartlarda ayrışması ve kristalin demirin indirgen şartlarda çözünerek amorf demire dönüşmesi sonucunda olduğunu belirtmişlerdir.

Gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların indirgen koşullarda kalma süresindeki artış, toprakların CDB-P (Sitratt dithionit bikarbonat ile ekstrakte edilebilir P) fraksiyonunda istatistiksel olarak önemli ($P<0.01$) artışlara neden olmuştur (Çizelge 4.19).

Gübreli olarak indirgen koşulların oluşturulduğu toprakların CDB-P konsantrasyonu gübresiz olarak yapılan inkübasyonla kıyaslandığında zamana bağlı olarak Beğdeş, Harran ve Akçakale Serisi topraklarında daha yüksek farklar gözlenmiştir (Şekil 4.13). Bu durum gübre olarak eklenen fosforun bir kısmının CDB-P fraksiyonunda biriktiği düşündürmektedir.



Şekil 4.13. Gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların redüksiyon sonrası CDB-P fraksiyonunun zamanla değişimi

Akçakale ve Harran Serilerinde indirgen koşulların oluşturulmasını takip eden 7. günde en yüksek değerler belirlenmiş ve uzayan su baskını hali bu fraksiyonun küçük dalgalanmalarla bir miktar azalmasına neden olmuştur. Beğdeş Serisinde ise su altında kalmanın 14. gününe kadar artış, daha sonra dalgalanmalar gösterse de hemen hemen stabil kalmıştır (Şekil 4.13). Beğdeş, Harran ve Akçakale Serisi topraklarının CDB-P konsantrasyonu ile su altında kalma süresi arasında önemli pozitif korelasyonlar ($r = 0.581^{**}$; $r = 0.589^{**}$; $r = 0.490^{**}$), denge çözeltilerinin (inkübasyon sıvısı) P konsantrasyonu arasında ise önemli negatif korelasyonlar ($r = -0.973^{**}$; $r = -0.953^{**}$; $r = -0.969^{**}$) bulunmuştur (Çizelge A.2, A.4 ve A.6).

Suyla doymun şartlarda gübresiz ve gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların CDB-P fraksiyonları arasında yapılan t-testi sonucunda, gübresiz olarak inkübasyona bırakılan topraklara göre gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların CDB-P fraksiyonunun Begdeş ve Akçakale Serisi topraklarında daha yüksek olduğu, Harran Serisi toprağında daha düşük olduğu ve farklılıkların istatistiksel olarak önemli ($P<0.05$) olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.20).

Çizelge 4.20. Gübresiz ve gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların CDB-P fraksiyonlarına ait t-testi sonuçları

Muamele	CDB-P (mg kg^{-1})		CDB-P (mg kg^{-1})		CDB-P (mg kg^{-1})	
	Begdeş Serisi		Akçakale Serisi		Harran Serisi	
	Ortalama	Ort. Std. Hatası	Ortalama	Ort. Std. Hatası	Ortalama	Ort. Std. Hatası
Gübresiz	135	2.40	225	3.14	149	3.60
Gübreli	198	6.19	240	4.12	140	2.56
<i>P</i>	0.000		0.006		0.049	

Willett (1986), su altında kalma sonrasında artan çözelti fazındaki P miktarının zamanla azaldığını ve amorf demir tarafından tutulduğunu belirtmiştir. Fisher (1983), su altında kalan topraklara P uygulanması sonucunda vivanit ($\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) miktarında artış olduğunu, bununda indirgenme sonrasında artan Fe^{+2} ve eklenen fosfordan kaynaklandığını belirtmiştir (Sanyal ve De Datta, 1991). Amer vd. (1991) Nil nehri kenarındaki çeltik yetiştirilen kireçli toprakların su altında kalma sürecinde fosfor adsorpsiyonunu araştırdıkları çalışmaya göre, su altında kalma süresi arttıkça gübresiz olarak inkübasyona bırakılan topraklara göre gübre uygulayarak inkübasyona bırakılan toprakların P miktarında önemli azalışlar olduğunu, yüksek redoks potansiyelinde ($\text{pe}+\text{pH}>11$) eklenen fosforun trivalent Mn fosfat ($\text{MnPO}_4 \cdot 1,5\text{H}_2\text{O}$) şeklinde çökeldiği belirtilirken, düşük redoks potansiyelinde ($3.4<\text{pe}+\text{pH}<6.0$) vivanit ($\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) şeklinde çökeldiğini belirtmişlerdir.

4.1.2.5.3. İndirgenmiş toprakların HCl ile ekstrakte edilen P konsantrasyonları

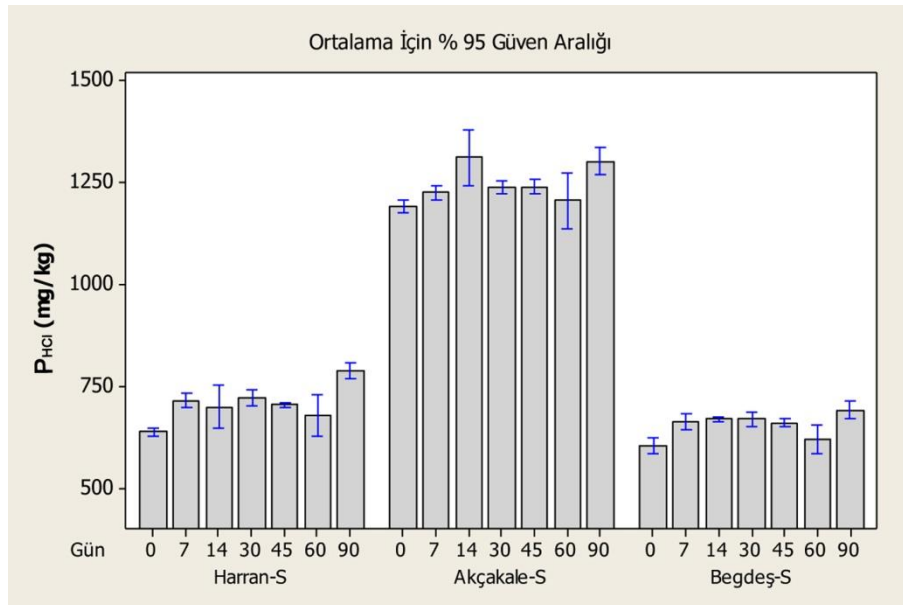
Suyla doymun şartlarda gübresiz ve gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların su altında kalma süresinin artmasıyla HCl-P fraksiyonunda istatistiksel olarak önemli ($P<0.01$) değişimler meydana geldiği belirlenmiştir (Çizelge 4.21). Su altında kalma süresi sonrasında toprakların HCl-P fraksiyonunda değişme meydana gelmesine rağmen, zamanla meydana gelen dalgalanmalar değişimin trendini tam olarak belirtmemektedir (Şekil 4.14).

Suyla doygun şartlarda gübresiz olarak inkübasyona bırakılan toprakların HCl-P fraksiyonunu konsantrasyonu su altında kalma süresinin artmasıyla deneme topraklarında başlangıca göre 7. günde önemli bir artış, 45. güne kadar dalgalanmalarla birlikte yaklaşık sabit kalmış, 60. günde azalmış ve sonrasında yeniden artmıştır (Şekil 4.14).

Çizelge 4.21. Gübresiz ve gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların HCl-P konsantrasyonlarının zamanla değişimi

İnkübasyon Süresi (Gün)	HCl-P (mg kg ⁻¹)		HCl-P (mg kg ⁻¹)		HCl-P (mg kg ⁻¹)	
	Beğdeş Serisi		Akçakale Serisi		Harran Serisi	
	Gübresiz	Gübreli	Gübresiz	Gübreli	Gübresiz	Gübreli
0	605 c	605 d	1191 c	1191 d	638 d	638 d
7	663 b	655 c	1224 bc	1264 bc	715 b	735 bc
14	669 b	683 b	1311 a	1291 b	698 bc	744 b
30	669 b	687 b	1237 b	1255 bc	721 b	726 bc
45	660 b	685 b	1239 b	1259 bc	704 bc	729 bc
60	620 c	672 bc	1205 bc	1231 cd	678 c	716 c
90	690 a	725 a	1302 a	1340 a	789 a	828 a
P	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Akçakale toprağı diğer iki topraktan farklı davranmıştır. Bu toprakta 14. günde en yüksek değer gözlenmiş ve bunu 60. güne kadar stabil bir dönem takip etmiştir. Beğdeş, Harran ve Akçakale Serisi topraklarının HCl-P konsantrasyonu ile su altında kalma süresi arasında önemli ve önemsiz pozitif korelasyonlar ($r = 0.398^*$; $r = 0.247$; $r = 0.607^{**}$) bulunmuştur (Çizelge A.1, A.3 ve A.5).



Şekil 4.14. Gübresiz olarak inkübasyona bırakılan toprakların redüksiyon sonrası HCl-P fraksiyonunun zamanla değişimi

İnkübasyonun ilk 14 günü içerisinde indirgen şartlarda çözünen fosforun HCl-P fraksiyonunu artırdığı, daha sonra pH değerinin nötre yaklaşması sonucunda artan HCl-P konsantrasyonunun diğer fazlara gerçekleşen geçişler nedeniyle tekrar azaldığı düşünülmektedir. Ancak 90. günde meydana gelen önemli artış ise mevcut veriler ışığında açıklanamamaktadır.

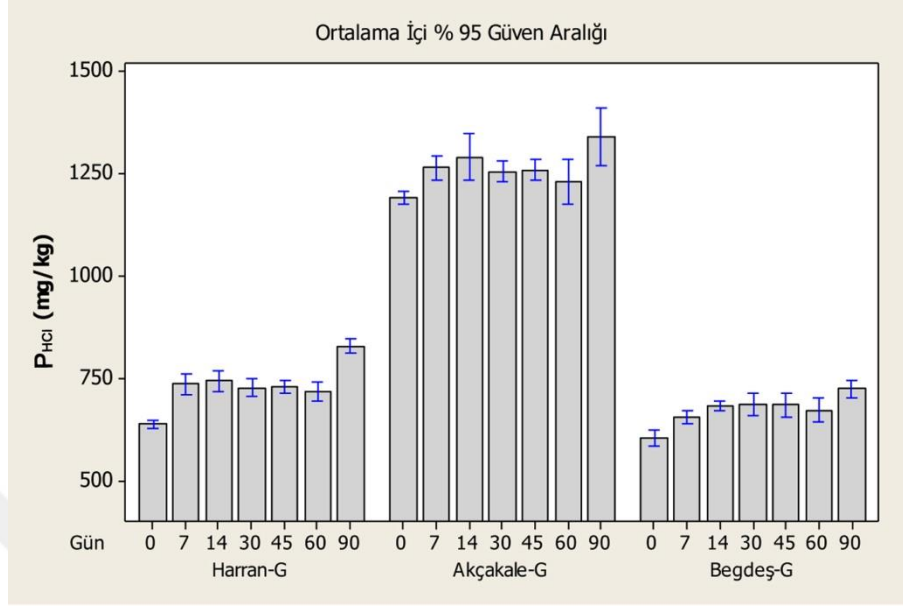
Ponnamperuma (1985), su altında kalma sonrasında meydana gelen organik maddenin anaerobik mineralizasyonu sonucunda ortaya çıkan CO₂'nin suda çözünmesi sonucunda düşen toprak pH'sının kireçli topraklardaki okta kalsiyum fosfat, β-trikalsiyum fosfat, hidroksi apatit ve flor apatitin çözünürlüğünün artabileceğini ileri sürmüştür. Bu çözünme ile toprakların HCl-P fraksiyonunda azalmalar meydana geleceği düşünülmektedir. Amer vd. (1991), gübreleme sonrası indirgen şartlarda bekletilen kireçli topraklarda hidroksi apatitin (HAP) saturasyon indeksinin inkübasyonun ilk gününde 4.7 iken, 170 günlük inkübasyon sonrasında 4.0'a düştüğünü belirtilmiştir. Araştırmacılar saturasyon indeksindeki bu düşüşten dolayı topraklardaki HAP'ın su altında kalma sonrasında çözünme eğilimi gösterdiğini belirtmişlerdir. Villapando ve Graetz (2001) ve Ma vd. (2010) ise su altında 30 gün bekletilen çeltik topraklarının HCl-P fraksiyonunda artış olduğunu belirlemişlerdir.

Suyla doymuş şartlarda gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların su altında kalma süresinin artmasıyla HCl-P fraksiyonunda istatistiksel olarak önemli ($P < 0.01$) değişimler meydana geldiği belirlenmiştir (Çizelge 4.21). Su altında kalma süresindeki artış ile HCl-P fraksiyonunda bir artış olduğu görülmekte ancak zamanla meydana gelen dalgalanmalar belirgin bir değişim trendi göstermemektedir (Şekil 4.11).

Suyla doymuş şartlarda gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların HCl-P fraksiyonu da su altında kalma süresinin fonksiyonu olarak her üç toprak serisinde de artış göstermiştir. Su altında kalma süresi ile Beğdeş, Harran ve Akçakale Serisi topraklarının denge çözeltilerinin P konsantrasyonu ile HCl-P fraksiyonu arasında önemli pozitif korelasyonlar ($r = 0.700^{**}$; $r = 0.480^{**}$; $r = 0.703^{**}$) bulunmuştur (Çizelge A.2, A.4 ve A.6).

Denge çözeltilerinin P konsantrasyonundaki önemli azalma ve yukarıda gübresiz olarak inkübasyona bırakılan toprakların HCl-P fraksiyonlarındaki açıklama ve değişimler göz önünde bulundurulduğunda, toprakların HCl-P fraksiyonunun arttığı

gözlenmektedir. Ayrıca *t*-testi sonuçlarına göre toprakların gübreleme sonrası su altında bırakılması da HCl-P fraksiyonunun her üç toprakta artmasına neden olmuştur (Çizelge 4.22).



Şekil 4.15. Gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların redüksiyon sonrası HCl-P fraksiyonunun zamanla değişimi

Suyla doymuş şartlarda gübresiz ve gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların HCl-P fraksiyonları arasında yapılan *t*-testi sonucunda, gübresiz olarak inkübasyona bırakılan topraklara göre gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların HCl-P değerinin Begdeş Akçakale ve Akçakale Serisi topraklarında daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ancak, Harran ve Begdeş Serilerindeki farklılıkların istatistiksel olarak önemli ($P < 0.05$) iken, Akçakale Serisindeki farklılık istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.22).

Çizelge 4.22. Gübresiz ve gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların HCl-P değerleri *t*-testi sonuçları

Muamele	HCl-P (mg kg ⁻¹)		HCl-P (mg kg ⁻¹)		HCl-P (mg kg ⁻¹)	
	Begdeş Serisi		Akçakale Serisi		Harran Serisi	
	Ortalama	Ort. Std. Hatası	Ortalama	Ort. Std. Hatası	Ortalama	Ort. Std. Hatası
Gübresiz	654	5.38	1244	8.84	706	8.22
Gübreli	673	6.50	1261	9.14	731	9.16
<i>P</i>	0.024		0.182		0.049	

Çalışmamızda gübreleme sonrasında uygulama yapılan toprakların HCl-P fraksiyonundaki artış, uygulanan fosforun bir kısmının Ca-P bileşikleri şeklinde

çökelmiş olabileceğini göstermektedir. Shenker vd. (2005), su altında kalan kireçli topraklarda çözelti fazındaki fosfor konsantrasyonunun Ca bileşikler tarafından kontrol edildiğini ve Ca konsantrasyonunun artmasıyla çözelti fazındaki P miktarının azaldığını belirtmişlerdir. Shen vd., (2004) ise, çeltik tarımı yapılan arazide 14 yıl boyunca sürdürülen deneme sonrasında fosforlu gübre uygulanan parselde asitle ekstrakte edilebilir fosfor (HCl-P) fraksiyonunun fosforlu gübre uygulanmayan parselde göre daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Araştırmacılar gübre ile eklenen fosforun, önce $\text{Ca}_8\text{-P}$ (Oktakalsiyum fosfat) şeklinde çökeltiğini, daha sonra ise çözünürlüğü daha düşük ve termodinamik açıdan daha stabil $\text{Ca}_{10}\text{-P}$ mineraline dönüştüğünü belirtmişlerdir.

4.1.3. Tarla kapasitesinde inkübasyona bırakılan toprakların fosfor fraksiyonları

4.1.3.1. Tarla kapasitesindeki toprakların NaOH ile ekstrakte edilen P konsantrasyonları

Gübresiz olarak tarla kapasitesinde inkübasyona bırakılan toprakların NaOH-P fraksiyonundaki değişimler istatistiksel olarak önemli ($P < 0.05$ ve $P < 0.01$) bulunmuştur (Çizelge 4.23). Tarla kapasitesinde inkübasyon sonrasında Harran ve Akçakale serisi topraklarında artış, Beğdeş serisi için önce artış daha sonra azalış meydana gelmiştir (Şekil 4.16).

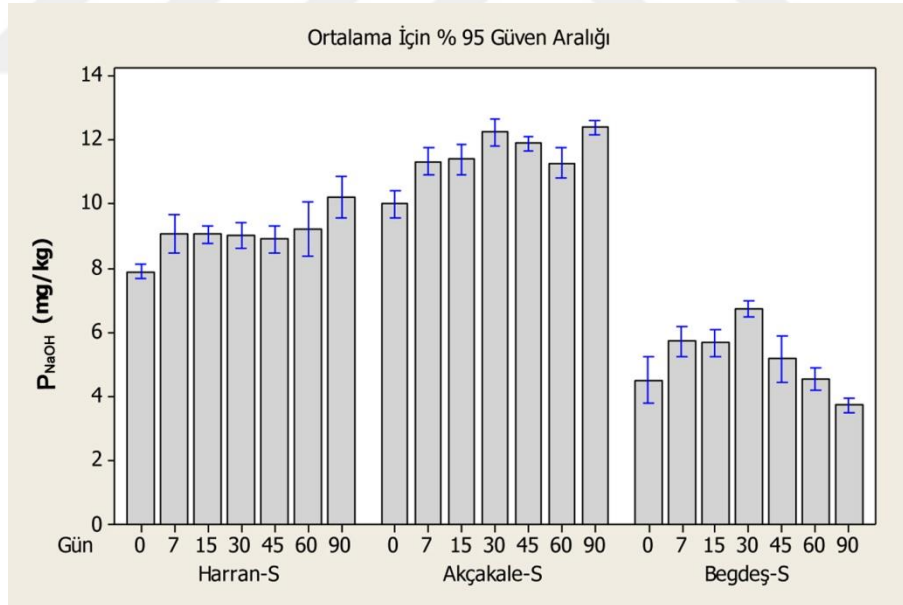
Çizelge 4.23. Gübresiz ve gübreli olarak tarla kapasitesinde inkübasyona bırakılan toprakların NaOH-P konsantrasyonlarının zamanla değişimi

İnkübasyon Süresi (Gün)	NaOH-P (mg kg^{-1}) Beğdeş Serisi		NaOH-P (mg kg^{-1}) Akçakale Serisi		NaOH-P (mg kg^{-1}) Harran Serisi	
	Gübresiz	Gübreli	Gübresiz	Gübreli	Gübresiz	Gübreli
0	4.50 c	4.50 c	10.0 c	10.0 c	7.88 b	7.88 c
7	5.72 b	5.72 b	12.0 ab	14.1 ab	9.11 a	11.6 ab
14	6.66 a	5.72 b	11.3 b	13.7 b	9.89 a	11.1 b
30	6.39 a	6.05 ab	12.0 ab	14.7 ab	9.33 a	11.6 b
45	4.83 bc	6.16 ab	11.3 b	13.7 b	9.18 a	11.1 b
60	4.16 c	6.94 a	11.6 ab	14.0 ab	9.22 a	11.2 b
90	3.72 c	6.66 ab	12.3 a	15.0 a	10.2 a	12.0 a
P	0.000	0.001	0.000	0.000	0.018	0.000

Tarla kapasitesinde saf su ile inkübasyona bırakılan toprakların NaOH-P fraksiyonu su altında kalma süresinin artmasıyla Beğdeş Serisi toprağında azalma gösterirken, Harran ve Akçakale Serisi topraklarında artış göstermiştir. Su altında kalma süresi

ile Beğdeş Serisi toprağının NaOH-P konsantrasyonu arasında önemli negatif korelasyonlar ($r = -0.566^{**}$) bulunurken; Harran ve Akçakale Serisi topraklarında önemli pozitif korelasyonlar ($r = 0.527^{*}$; $r = 0.503^{*}$) bulunmuştur (Çizelge A.7, A.8 ve A.9).

Toprakların tarla kapasitesi nem seviyesinde tutulması sonrasında toprakta var olan fosfor bileşikleri arasında transformasyonlar meydana gelmekte ve toprakların yarayışlı fosfor miktar değişmektedir (Haynes ve Willians, 1992; Smadi ve Gilkes, 1998; Jajali ve Ranjbar, 2010; Wang vd., 2010; Yang vd., 2012). Toprakların saf su ile tarla kapasitesinde bekletilmesi sonucunda; bazı araştırmacılar yarayışlı fosfor (Olsen-P) miktarında azalmalar olduğu belirtirken (Jajali ve Ranjbar, 2010; Wang vd., 2010; Yang vd., 2012), bazı araştırmacılar ise artış olduğunu belirtmişlerdir (Laboski ve Lambb, 2003; Halajnia vd., 2009). Araştırmacılar azalmanın sebebini dikalsiyum fosfat ($\text{Ca}_2\text{-P}$) fraksiyonundaki yarayışlı fosfor miktarının okta kalsiyum fosfat ($\text{Ca}_8\text{-P}$), alüminyum fosfat (Al-P) ve demir fosfat (Fe-P) fraksiyonlarına dönüşümü ile açıklarken; artışın sebebi ise organik fosforun mineralizasyonu sonucunda açığa çıkan fosfatlar ile açıklamışlardır.



Şekil 4.16. Gübresiz olarak tarla kapasitesinde inkübasyona bırakılan toprakların NaOH-P fraksiyonunun zamanla değişimi

Bizim çalışmamızda yarayışlı fosfor miktarının belirlenmesi için organik ve inorganik fosfor bileşiklerini geniş çaplı çözen NaOH (0.1M) ekstraktant olarak kullanılmıştır. Bu ekstraktant $\text{Ca}_2\text{-P}$ bileşiklerini çözerken aynı zamanda organik madde yüzeyine adsorbe olmuş fosfatlar ile birlikte toprakta var olan Fe-P bileşiklerini de çözmektedir

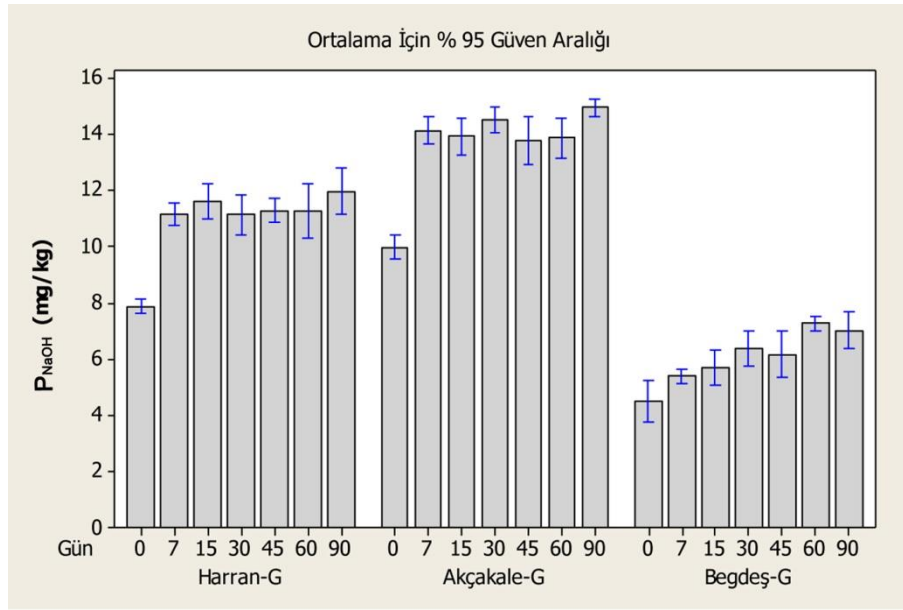
(Williams vd., 1971; Rowell, 1981; Hedley vd., 1982; Gu ve Jiang, 1990; Kuo, 1996). Bu yüzden NaOH ekstraktantı ile elde edilen kullanılabilir P miktarı daha fazla olmakta ve Olsen-P miktarından daha yüksek olabilmektedir. Yang vd. (2012) kireçli toprakların tarla kapasitesinde bekletilmesi sonucunda Ca_2 -P fraksiyonunda (Olsen-P) azalmalar meydana gelirken, Ca_8 -P, Fe-P ve oklude olmuş P (O-P) fraksiyonunda artışlar meydana geldiğini belirtmişlerdir.

Kullanılan ekstraktant NaOH olduğunda Ca_2 -P, Ca_8 -P ve Fe-P bileşiklerini aynı anda çözünbilmekte ve yarayışlı fosfor miktarı artmaktadır (Wang vd. 2010). Gu ve Jiang (1990), Ca_2 -P fraksiyonunu bitki tarafından kolayca kullanılabilir fosfor, Ca_8 -P, Fe-P ve Al-P fraksiyonunu yavaş yarayışlı fosfor ve asitte çözünabilir P (Ca_{10} -P) ile oklude olmuş P (O-P) yarayışsız fosfor grubu olarak sınıflandırmışlar. Gu ve Jiang (1990)'un sınıflandırmasına göre Ca_2 -P, Ca_8 -P, Al-P ve Fe-P fraksiyonları bitki için yarayışlı fosfor grubunu oluşturmaktadır (Yang vd. 2012). Wang vd. (2010) Ca_2 -P fraksiyonu ile Ca_8 -P, Al-P ve Fe-P fraksiyonu arasında önemli pozitif korelasyonlar ($P<0.01$) olduğunu, bu fraksiyonlarda fosfor miktarının artması sonucunda yarayışlı fosfor miktarının da arttığını belirtmişlerdir.

Sonuç olarak çalışmamızda, toprakların tarla kapasitesinde saf su ile bekletilmesi sonucunda yarayışlı P (0.1 M NaOH ile ekstrakte edilebilir) miktarında artışlar ve azalışlar olduğu, artışların Ca_2 -P fraksiyonunun Ca_8 -P ve Fe-P fraksiyonuna geçmesi sonucunda, azlamanın ise Ca_{10} -P ve O-P fraksiyonundan geçişler sonucunda meydana geldiği düşünülmektedir. Bizim çalışmamıza benzer olarak, Jajali ve Ranjbar (2010) saf su ile tarla kapasitesinde 1 – 90 gün arasında bekletilen kireçli toprakların NaOH-P miktarında artış olduğunu bildirmişlerdir.

Gübreli olarak tarla kapasitesinde inkübasyona bırakılan toprakların NaOH-P fraksiyonundaki değişimler istatistiksel olarak önemli ($P<0.01$) bulunmuştur (Çizelge 4.23). Tarla kapasitesinde inkübasyon sonrasında denemede kullanılan üç toprak içinde NaOH-P fraksiyonunda artışlar meydana gelmiştir (Şekil 4.17).

Tarla kapasitesinde gübrelenerek inkübasyona bırakılan toprakların NaOH-P konsantrasyonu inkübasyon süresine bağlı olarak Begdeş, Harran ve Akçakale Serisi topraklarında artış göstermiştir. Inkübasyon süresi ile Begdeş, Harran ve Akçakale Serisi topraklarının NaOH-P konsantrasyonu arasında önemli pozitif korelasyonlar ($r = 0.728^{**}$; $r = 0.569^{**}$; $r = 0.585^{**}$) bulunmuştur (Çizelge A.7, A.8 ve A.9).



Şekil 4.17. Gübreli olarak tarla kapasitesinde inkübasyona bırakılan toprakların NaOH-P fraksiyonunun zamanla değişimi

Çalışmamızda toprakların gübrelenme sonrasında tarla kapasitesinde bırakılması sonucunda yarıyışlı P (0.1 M NaOH ile ekstrakte edilebilir) miktarında artışlar olduğu belirlenmiştir. Yapılan farklı araştırmalarda, toprak tarla kapasitesi nem koşulunda inkübasyonun ilk günlerinde (ilk 30 gün) yarıyışlı fosfor (Olsen-P) miktarında artışlar meydana gelmekte, ancak zaman geçtikçe bu değer azalmaktadır (Mostashari vd. 2008; Halajnia vd., 2009; Jajali ve Ranjbar, 2010; Yang vd, 2012). Yang vd. (2012) tarla kapasitesindeki kireçli topraklara fosforlu gübre uygulaması sonrasında; Ca_2 -P fraksiyonunda azalma, Ca_8 -P ve Ca_{10} -P fraksiyonlarında artma, Fe-P, Al-P ve O-P fraksiyonunda ise önemli değişikliklerin olmadığını belirtmişlerdir. Mostahari vd. (2008) kireçli topraklara uygulanan fosforun Ca_2 -P, Ca_8 -P, Fe-P ve O-P bileşiklerine dönüştüğünü ve yarıyışlı fosfor ile bu bileşenlerin topraktaki miktarları arasında pozitif korelasyonlar olduğunu ($P<0.01$); Yang vd. (2012) ise Ca_2 -P, Ca_8 -P ve Ca_{10} -P bileşiklerine dönüştüğünü ve yarıyışlı fosfor ile Ca_2 -P ve Ca_8 -P arasında önemli pozitif korelasyonlar ($P<0.01$) olduğunu bildirmişlerdir. Jajali ve Ranjbar (2010) fosfor gübrelenmesi yapılan kireçli toprakların 1 – 90 arasında tarla kapasitesinde bekletilmesi sonrasında NaOH-P miktarının arttığını belirtmişlerdir. Bu çalışmada tarla kapasitesinde inkübe edilen toprakların yarıyışlı P (0.1 M NaOH ile ekstrakte edilebilir) miktarında kontrole göre artış meydana gelmiştir. Meydana gelen bu artışın, eklenen fosforlu gübrenin Ca_2 -P, Ca_8 -P, Fe-P ve O-P fraksiyonlarına dönüşmesi ve bu fraksiyonlardaki fosforun ise çözünürlük derecelerine göre yarıyışlı fosfor fraksiyonuna katkısından kaynakladığı düşünülmektedir.

Tarla kapasitesinde saf su ve gübreli su ile inkübasyona bırakılan toprakların NaOH-P fraksiyonları arasında yapılan t-testi sonucunda, gübresiz olarak inkübasyona bırakılan topraklara göre gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların NaOH-P fraksiyonlarının istatistiksel olarak önemli ($P<0.05$ ve $P<0.01$) ve daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.24).

Çizelge 4.24. Gübresiz ve gübreli olarak tarla kapasitesinde inkübasyona bırakılan toprakların NaOH-P değerleri t-testi sonuçları

Muamele	NaOH-P (mg kg ⁻¹)		NaOH-P (mg kg ⁻¹)		NaOH-P (mg kg ⁻¹)	
	Begdeş Serisi		Akçakale Serisi		Harran Serisi	
	Ortalama	Ort. Std. Hatası	Ortalama	Ort. Std. Hatası	Ortalama	Ort. Std. Hatası
Gübresiz	5.14	0.258	11.5	0.179	9.26	0.193
Gübreli	5.97	0.188	13.6	0.360	10.9	0.287
<i>P</i>	0.014		0.000		0.000	

Gübrelenen toprakların NaOH-P fraksiyonu (0.1M NaOH ile ekstrakte edilebilir P) gübrelenmeyen topraklara göre daha yüksektir (Çizelge 4.24). Jajali ve Ranjbar (2010) tarla kapasitesinde 90 gün bekletilen kireçli toprakların NaOH-P miktarının gübreleme yapılmadığında 21.2 mgkg⁻¹'den 25.1 mgkg⁻¹'e, gübreleme yapıldığında ise 80.7 mg kg⁻¹'den 87.9 mg kg⁻¹'a kadar yükseldiğini tespit etmişlerdir. Benzer şekilde, Halajnia vd. (2009) ve Yang vd. (2012)'nin yaptığı çalışmalara göre; tarla kapasitesindeki toprakların inkübasyon süresi arttıkça NaOH-P fraksiyonunda gübrelenmemiş topraklara göre gübrelenmiş topraklarda daha fazla artış meydana gelmiştir.

4.1.3.2. Tarla kapasitesindeki toprakların CDB ile ekstrakte edilen P konsantrasyonları

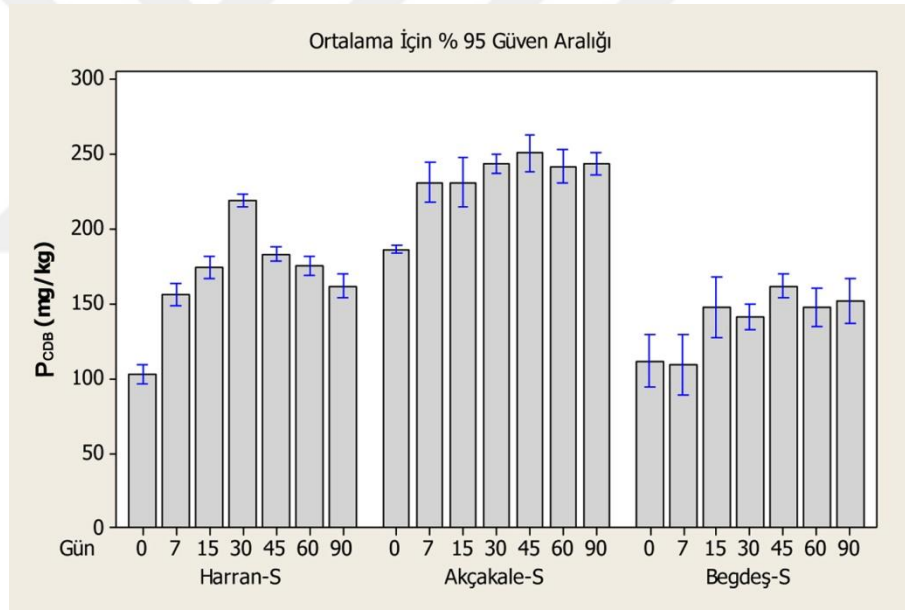
Gübresiz olarak tarla kapasitesinde inkübasyona bırakılan toprakların CDB-P fraksiyonunda inkübasyon süresinin artmasıyla istatistiksel olarak önemli ($P<0.01$) değişimler meydana gelmiştir (Çizelge 4.25). Tarla kapasitesi sonrasında Akçakale ve Begdeş Serisi topraklarının CDB-P fraksiyonunda önce artış meydana gelip daha sonra sabitlenirken; Harran serisi için önce artış daha sonra ise azalma belirlenmiştir (Şekil 4.18).

Tarla kapasitesinde gübresiz olarak inkübasyona bırakılan toprakların CDB-P konsantrasyonu inkübasyon süresinin fonksiyonu olarak Begdeş, Harran ve Akçakale Serisi topraklarında artış göstermiştir. Inkübasyon süresi ile Beğdeş,

Harran ve Akçakale Serisi topraklarının CDB-P konsantrasyonu arasında önemli ve önemsiz pozitif korelasyonlar ($r = 0.655^{**}$; $r = 0.272$; $r = 0.600^{**}$) bulunmuştur (Çizelge A.7, A.8 ve A.9).

Çizelge 4.25. Gübresiz ve gübreli olarak tarla kapasitesinde inkübasyona bırakılan toprakların CDB-P konsantrasyonlarının zamana bağlı değişimi

İnkübasyon Süresi (Gün)	CDB-P (mg kg ⁻¹) Beğdeş Serisi		CDB-P (mg kg ⁻¹) Akçakale Serisi		CDB-P (mg kg ⁻¹) Harran Serisi	
	Gübresiz	Gübreli	Gübresiz	Gübreli	Gübresiz	Gübreli
0	111 b	111 c	186 d	186 e	102 d	102 e
7	109 b	171 b	234 bc	241 d	159 c	204 a
14	151 a	151 b	231 d	247 c	177 b	168 d
30	134 a	150 b	243 ab	253 b	219 a	175 c
45	154 a	149 b	250 a	255 b	183 b	190 b
60	153 a	153 b	241 ab	259 a	175 b	187 b
90	151 a	147 b	243 ab	262 a	158 c	171 bc
P	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

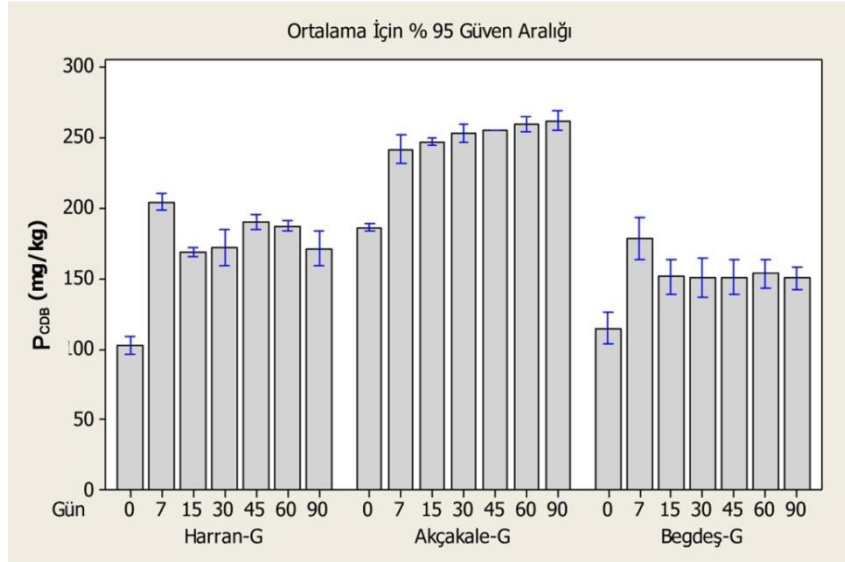


Şekil 4.18. Gübresiz olarak tarla kapasitesinde inkübasyona bırakılan toprakların CDB-P fraksiyonunun zamanla değişimi

Toprakların gübresiz olarak tarla kapasitesinde inkübasyonu toprak özelliklerine bağlı olarak Beğdeş ve Akçakale Serileri topraklarında sitrat-dithionit- bikarbonat ile çözünebilir-P (CDB-P) fraksiyonunda artışlara neden olurken, Harran toprağında önce artış daha sonra azalma gözlenmiştir. Yang vd. (2012) kireçli toprakların gübresiz olarak tarla kapasitesinde inkübasyonu ile CDB-P fraksiyonundaki fosforun inkübasyon süresindeki artışa paralel olarak arttığını ve daha sonra sabit kaldığını belirtmişlerdir. Tarla kapasitesindeki topraklarda kolay çözünebilir fosfor fraksiyonu,

zamanla CDB-P fraksiyonuna dönüşerek daha sıkı tutulduğu düşünülmektedir. Benzer sonuçlar tarafından yapılan çalışmada da ortaya çıkmıştır. Nitekim birçok araştırmacı topraklarda yarıyışlı fosfor miktarı arttığında bu fraksiyonun önemli bir geçiş fraksiyonu olduğunu bildirmişlerdir (Mostashari vd., 2008; Bilgili vd., 2008; Uygur ve Karabacak, 2009; Uygur 2009; Adhami vd., 2013).

Gübreli olarak tarla kapasitesinde inkübasyona bırakılan toprakların CDB-P fraksiyonunda inkübasyon süresinin artmasıyla istatistiksel olarak önemli ($P < 0.01$) değişimler meydana gelmiştir (Çizelge 4.25). Tarla kapasitesinde inkübasyon sonrasında Beğdeş ve Harran serisi topraklarının CDB-P fraksiyonunda ilk 7 günde artış meydana gelmiş, daha sonra azalarak sabit kalırken; Akçakale serisinde ise ilk 7 günde artış, daha sonra ise istatistiksel açıdan herhangi bir önemli değişim olmaksızın sabit kalmıştır (Şekil 4.19).



Şekil 4.19. Gübreli olarak tarla kapasitesinde inkübasyona bırakılan toprakların CDB-P fraksiyonunun zamanla değişimi

Tarla kapasitesinde gübreli olarak inkübasyona bırakılan toprakların CDB-P konsantrasyonu da inkübasyon süresinin fonksiyonu olarak deneme topraklarında artış göstermiştir. İnkübasyon süresi ile Beğdeş, Harran ve Akçakale Serisi topraklarının inkübasyon sıvısı CDB-P konsantrasyonu arasında önemli ve önemsiz pozitif korelasyonlar ($r = 0.167$; $r = 0.685^{**}$; $r = 0.333$) bulunmuştur (Çizelge A.7, A.8 ve A.9). Halajnia vd. (2009) fosforlu gübre uygulanmış kireçli toprakların tarla kapasitesinde inkübasyonu sonrasında CDB-P fraksiyonunda önemli artışlar olduğunu belirtirken, Yang vd. (2012) fosfor uygulanmış kireçli toprakların tarla kapasitesinde inkübasyonu sonrasında CDB-P fraksiyonunda önemli değişimler

olmadığını belirtmişlerdir. Halajnia (2009) toprağa uygulanan fosforun önce kolay çözünebilir P fraksiyonunda tamponlandığı, daha sonra inkübasyon süresinin artmasıyla birlikte CDB-P fraksiyonuna dönüştüğü; Yang vd. (2012) ise gübrelemenin ardından Ca_8 -P ve CDB-P fraksiyonunda tamponlanan fosforun, zamanla Ca_{10} -P fraksiyonuna dönüştüğünü belirtmiştir. Wang vd. (2010) artan dozda fosforlu gübre uygulanan kireçli topraklarda CDB-P fraksiyonunda önemli artışlar meydana geldiğini rapor etmiştir.

Tarla kapasitesinde gübreli ve gübresiz olarak inkübasyona bırakılan toprakların CDB-P fraksiyonları arasında yapılan t-testi sonucunda, gübresiz topraklara göre gübreli toprakların CDB-P fraksiyonunun yüksek olduğu; ancak aradaki farkların istatistiksel olarak önemli ($P<0.05$) olmadığı belirlenmiştir (Çizelge 4.26).

Çizelge 4.26. Gübresiz ve gübreli olarak tarla kapasitesinde inkübasyona bırakılan toprakların CDB-P fraksiyonlarına ait t-testi sonuçları

Muamele	CDB-P ($mg\ kg^{-1}$)		CDB-P ($mg\ kg^{-1}$)		CDB-P ($mg\ kg^{-1}$)	
	Begdeş Serisi		Akçakale Serisi		Harran Serisi	
	Ortalama	Ort. Std. Hatası	Ortalama	Ort. Std. Hatası	Ortalama	Ort. Std. Hatası
Gübresiz	138	4.60	233	4.57	168	7.34
Gübreli	148	4.05	243	5.45	171	6.81
<i>P</i>	0.121		0.143		0.731	

Gübrelenen toprakların CDB-P fraksiyonu kontrole göre artmakta ve inkübasyon süresine ve toprak özelliklerine bağlı olarak artış ve azalışlar göstermektedir. Halajnia vd. (2009) ve Wang vd. (2010) gübreli olarak tarla kapasitesinde inkübasyona bırakılan kireçli toprakların CDB-P fraksiyonunun arttığını belirtirken, Yang vd. (2012) gübresiz olarak tarla kapasitesinde inkübasyona bırakılan kireçli toprakların CDB-P fraksiyonunun inkübasyon süresine paralel arttığını, gübreli olarak inkübasyona bırakılması sonucunda önemli bir değişiklik olmadığını belirtmişlerdir. Benzer olarak, Mostashari vd. (2008) gübreleme sonrasında kireçli toprakların CDB-P fraksiyonunda artışlar olduğunu ve yarayışlı fosfor fraksiyonu ile arasında önemli pozitif korelasyon ($P<0.01$) olduğunu belirtmişlerdir.

4.1.3.3. Tarla kapasitesindeki toprakların HCl ile ekstrakte edilen P konsantrasyonları

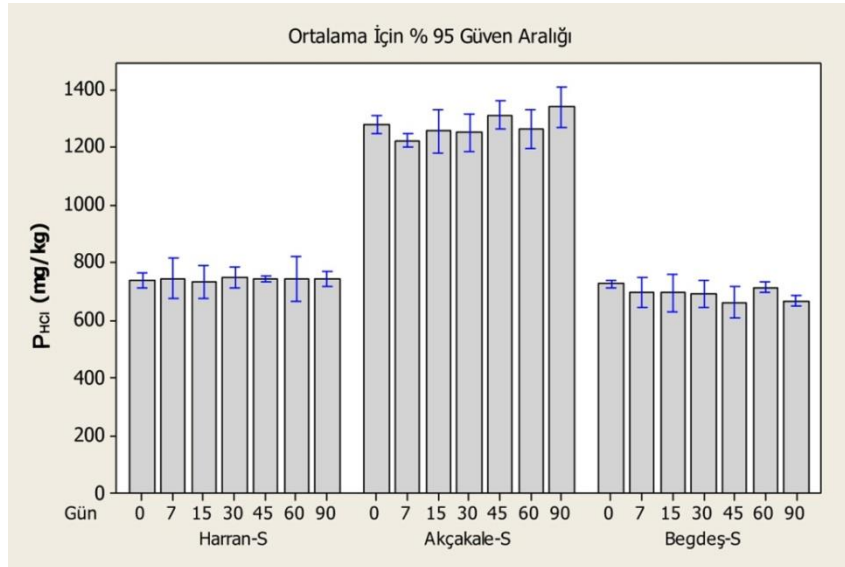
Gübresiz ve gübreli olarak tarla kapasitesinde inkübasyona bırakılan toprakların HCl-P fraksiyonundaki değişimler istatistiksel olarak önemsiz ($P<0.05$) bulunmuştur

(Çizelge 4.27). Şekil 4.20 ve Şekil 4.21’de tarla kapasitesinde inkübasyon süresiyle meydana gelen değişimler verilmiştir.

Çizelge 4.27. Gübresiz ve gübreli olarak tarla kapasitesinde inkübasyona bırakılan toprakların HCl-P konsantrasyonlarının zamansal değişimi

İnkübasyon Süresi (Gün)	HCl-P (mg kg ⁻¹) Begdeş Serisi		HCl-P (mg kg ⁻¹) Akçakale Serisi		HCl-P (mg kg ⁻¹) Harran Serisi	
	Gübresiz	Gübreli	Gübresiz	Gübreli	Gübresiz	Gübreli
0	725	725	1277	1277	739	739
7	695	721	1224	1220	744	746
14	690	678	1255	1252	733	741
30	690	705	1251	1270	749	746
45	662	685	1279	1303	742	733
60	690	723	1263	1220	742	708
90	667	745	1305	1320	744	730
P	0.189	0.193	0.270	0.083	0.976	0.464

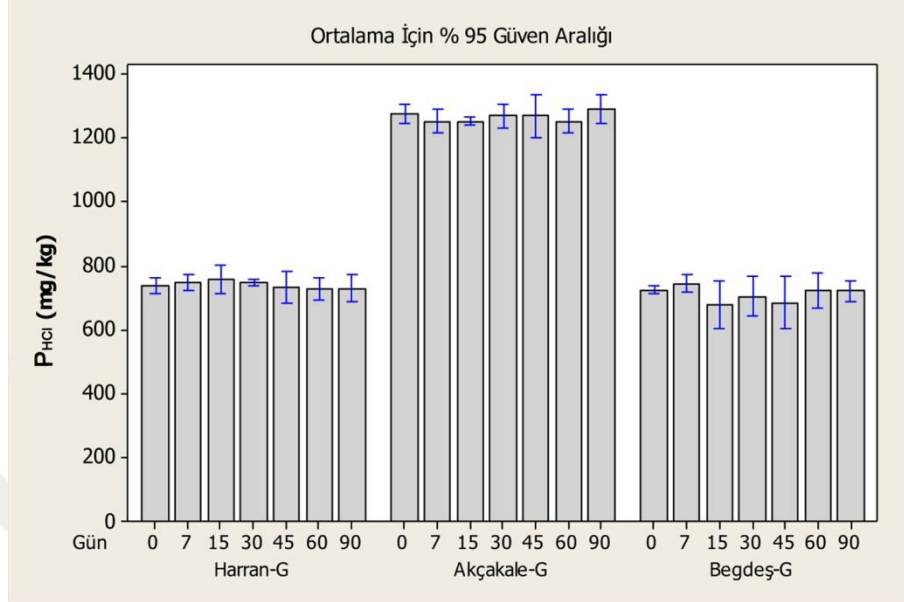
Gübreli ve gübresiz toprakların HCl-P konsantrasyonu ile su altında kalma süresi arasında önemli bir korelasyon bulunamamıştır (Çizelge A.7, A.8 ve A.9). Jajali ve Ranjbar (2010) tarla kapasitesinde bekletilen kireçli topraklarda inkübasyon süresinin artmasıyla birlikte gübresiz bekletilen toprağın HCl-P fraksiyonunda çok az değişim meydana geldiğini; gübreli toprakta ise HCl-P fraksiyonunda önemli değişimler meydana geldiğini belirtmişlerdir.



Şekil 4.20. Gübresiz olarak tarla kapasitesinde inkübasyona bırakılan toprakların HCl-P fraksiyonunun zamansal değişimi

Halajnia vd. (2009) inkübasyon süresiyle yarıyışlı P miktarının azaldığını, HCl-P fraksiyonunun ise arttığını tespit etmiştir. Wang vd. (2010) kireçli topraklara artan

miktarlarda verilen fosforun, $\text{Ca}_8\text{-P}$ fraksiyonunda tamponlandığını ve HCl-P fraksiyonuna geçişin yavaş olduğunu ve uygulanan gübre miktarının azalmasıyla birlikte P_3 fraksiyonuna geçişin daha hızlı olduğu belirtilmiştir.



Şekil 4.21. Gübreli olarak tarla kapasitesinde inkübasyona bırakılan toprakların HCl-P fraksiyonunun zamansal değişimi

Gübreli ve gübresiz toprakların HCl-P fraksiyonları arasında yapılan t-testi sonucunda, gübreli toprakların HCl-P fraksiyonunun Begdeş ve Akçakale Serisi topraklarında yüksek; Harran serisinde düşük olduğu belirlenmiştir. Gübrelemenin Beğdeş serisinin HCl-P fraksiyonu üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli ($P < 0.05$), Harran ve Akçakale Serilerinde ise etkisinin istatistiksel olarak önemli ($P < 0.05$) olmadığı belirlenmiştir (Çizelge 4.24).

Çizelge 4.28. Gübresiz ve gübreli olarak tarla kapasitesinde inkübasyona bırakılan toprakların HCl-P fraksiyonlarına ait t-testi sonuçları

Muamele	$\text{HCl-P (mg kg}^{-1}\text{)}$		$\text{HCl-P (mg kg}^{-1}\text{)}$		$\text{HCl-P (mg kg}^{-1}\text{)}$	
	Begdeş Serisi		Akçakale Serisi		Harran Serisi	
	Ortalama	Ort. Std. Hatası	Ortalama	Ort. Std. Hatası	Ortalama	Ort. Std. Hatası
Gübresiz	689	6.58	1265	8.61	742	3.74
Gübreli	712	7.54	1266	11.7	735	5.03
<i>P</i>	0.026		0.940		0.290	

Çalışmamıza benzer olarak, Jajali ve Ranjbar (2010) gübresiz olarak tarla kapasitesinde bekletilen toprakların HCl-P fraksiyonunun değişmediğini, gübreli olarak tarla kapasitesinde inkübasyona bırakılan kireçli toprakların HCl-P fraksiyonunun 548

mg kg⁻¹'dan 573 mg kg⁻¹'a yükseldiğini belirtmişlerdir. Yang vd. (2012) ise gübresiz olarak tarla kapasitesinde inkübasyona bırakılan kireçli toprakların inkübasyon süresindeki artışa bağlı olarak HCl-P fraksiyonunda çok artış olmadığını, gübreli olarak tarla kapasitesinde inkübasyona bırakılan kireçli toprakların HCl-P fraksiyonunda ise önemli artışlar meydana geldiğini belirtmişlerdir.

4.2. Saksı Denemesi Bulguları

4.2.1. Saksı denemesinde kullanılan toprakların özellikleri

Saksı denemesinde kullanılan toprakların fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 4.29, Çizelge 4.30, Çizelge 4.31, Çizelge 4.32, Çizelge 4.33, Çizelge 4.34'te verilmiştir. Toprakların fiziko kimyasal özellikleri bakımından oldukça farklı olup, tüm çalışmalarda bireysel farklılıklarını ortaya koymuşlardır.

Toprakların pH değerleri 7.63 – 7.74 arasında değişmekte olup, hafif alkalin sınıfında; EC değerleri 807 – 982 $\mu\text{S cm}^{-1}$ arasında olup, tuzsuz sınıfında; organik madde içerikleri % 0.94 – 1.62 arasında olup, az sınıfında ve kireç içerikleri % 18.3 – 23.4 arasında olup, fazla kireçli grubunda yer almaktadır (Çizelge 4.29).

Çizelge 4.29. Saksı denemesinde kullanılan toprakların tanımlayıcı özellikleri

Seri Adı	pH	EC ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	OM (%)	Total N (%)	Kireç (%)	Aktif Kireç (%)
Harran	7.63	807	0.96	0.051	23.4	19.3
Akçakale	7.78	955	1.62	0.085	19.3	18.1
Beğdeş	7.74	982	0.94	0.049	18.3	17.4

*Toprak pH'sı ve EC'si saturasyon çamurunda belirlenmiştir.

Toprakların hacim ağırlığı 1.25 – 1.30 g cm⁻³ arasında, tarla kapasitesi değerleri % 29.0 – 31.8 arasında, solma noktası değerleri % 21.3 – 22.9 arasında, kum miktarları % 14.0 – 16.3 arasında, kil miktarları % 52.9 – 59.0 arasında olduğu ve bünyelerinin kil (C) sınıfında olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.30).

Çizelge 4.30. İnkübasyon denemesinde kullanılan toprakların fiziksel özellikleri

Seri Adı	HA (g cm ⁻³)	TK (%)	SN (%)	Kum (%)	Kil (%)	Bünye
Harran	1.25	29.0	21.3	14.0	59.0	C
Akçakale	1.28	31.4	22.9	16.3	52.9	C
Beğdeş	1.30	31.8	21.6	15.8	54.5	C

HA: Hacim ağırlığı, TK: Tarla kapasitesi, SN: Solma noktası

Toprakların NH_4OAc ile ekstrakte edilebilir Ca miktarları $28.2 - 40.4 \text{ cmol kg}^{-1}$ arasında, Mg miktarları $6.82 - 9.87 \text{ cmol kg}^{-1}$ arasında, Na miktarları $0.39 - 2.20 \text{ cmol kg}^{-1}$ arasında, K miktarı $1.36 - 1.98 \text{ cmol kg}^{-1}$ arasında ve KDK değerleri $46.6 - 49.3 \text{ cmol kg}^{-1}$ arasında olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.31).

Çizelge 4.31. Saksı denemesinde kullanılan toprakların NH_4OAc ile ekstrakte edilebilir katyon miktarları ve KDK'ları

Seri Adı	Ca (cmol kg^{-1})	Mg (cmol kg^{-1})	Na (cmol kg^{-1})	K (cmol kg^{-1})	KDK (cmol kg^{-1})
Harran	33.5	6.82	0.39	1.98	46.6
Akçakale	28.2	9.87	2.20	1.86	47.2
Beğdeş	40.4	7.95	0.52	1.36	49.3

KDK: Katyon değişim kapasitesi

Toprakların DTPA ile ekstrakte edilebilir Fe miktarları $4.36 - 5.66 \text{ mg kg}^{-1}$ arasında, Zn miktarları $0.97 - 2.96 \text{ mg kg}^{-1}$ arasında, Cu miktarları $1.56 - 1.79 \text{ mg kg}^{-1}$ arasında ve Mn miktarları $4.97 - 17.3 \text{ mg kg}^{-1}$ arasında olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.32).

Çizelge 4.32. Saksı denemesinde kullanılan toprakların DTPA ile ekstrakte edilebilir mikro element içerikleri

Seri Adı	Cu (mg kg^{-1})	Fe (mg kg^{-1})	Mn (mg kg^{-1})	Zn (mg kg^{-1})
Harran	1.76	4.97	15.3	2.96
Akçakale	1.79	4.36	4.97	1.25
Beğdeş	1.56	5.66	17.3	0.97

Toprakların toplam Fe içerikleri % $3.13 - 3.84$ arasında, toplam Mn içerikleri % $0.099 - 0.113$ arasında, toplam Al içerikleri % $2.33 - 2.61$ arasında, amorf Fe içerikleri % $0.095 - 0.122$ arasında ve kristalin Fe içerikleri % $1.51 - 1.89$ arasında olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.33).

Çizelge 4.33. Saksı denemesinde kullanılan toprakların toplam element içerikleri ve demirin farklı fraksiyonları

Seri Adı	Fe* (%)	Mn* (%)	Al* (%)	Amorf Fe (%)	Kristalin Fe (%)
Harran	3.13	0.108	2.33	0.098	1.51
Akçakale	3.25	0.099	2.40	0.095	1.57
Beğdeş	3.84	0.113	2.61	0.122	1.89

*Toplam elementler kral suyu çözeltisinde belirlenmiştir.

Toprakların kolay çözünebilir fosfor (NaOH-P) miktarları $4.62 - 6.20 \text{ mg kg}^{-1}$ arasında, sitrat dithionit bikarbonatta çözülebilir fosfor (CDB-P) miktarları $107 - 127$

mg kg⁻¹ arasında, asitte çözünebilir kalsiyum fosfat (HCl-P) miktarları 751 – 927 mg kg⁻¹ arasında, Olsen-P (NaHCO₃-P) miktarı 7.30 – 17.6 mg kg⁻¹ arasında ve toplam fosfor içerikleri 904 – 1217 mg kg⁻¹ arasında olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.34).

Çizelge 4.34. Saksı denemesinde kullanılan toprakların farklı fosfor fraksiyonları

Seri Adı	NaOH-P (mg kg ⁻¹)	CDB-P (mg kg ⁻¹)	HCl-P (mg kg ⁻¹)	NaHCO ₃ -P (mg kg ⁻¹)	Toplam P* (mg kg ⁻¹)
Harran	6.20	122	751	17.6	904
Akçakale	4.62	127	927	7.30	1217
Beğdeş	5.46	107	676	8.95	1007

*Toplam fosfor aqua regia çözeltisinde belirlenmiştir. NaOH-P: Kolay çözünebilir fosfor. CDB-P: İndirgen Şartlarda Çözünebilir fosfor (ikinci dereceden çözünebilir fosfor). HCl-P: Kalsiyuma bağlı fosfor fraksiyonları.

4.2.2. Saksı denemesinde kullanılan sulama suyunun özellikleri

Saksı denemesinde kullanılan suyun bazı özellikleri Çizelge 4.35 ve Çizelge 4.36'da verilmiştir. Suların kalite parametreleri ve iyon konsantrasyonları sulamada kullanımını sınırlandırmayacak özellikte olup, sulama suyu sınıflandırılmasında C₁S₁ grubuna girmektedir.

Çizelge 4.35. Saksıda yetiştirilen pamukların sulandığı suyun kalite parametreleri ve ortalama katyon içerikleri

pH	EC (μS cm ⁻¹)	Ca (mg L ⁻¹)	Mg (mg L ⁻¹)	Na (mg L ⁻¹)	K (mg L ⁻¹)	Fe (mg L ⁻¹)	Mn (mg L ⁻¹)
8.00	403	35.2	14.7	16.2	1.97	-	-

Çizelge 4.36. Saksıda yetiştirilen pamukların sulandığı suyun ortalama katyon ve anyon içerikleri

P (mg L ⁻¹)	B (mg L ⁻¹)	Cu (mg L ⁻¹)	S (mg L ⁻¹)	Cl (mg L ⁻¹)	NO ₃ (mg L ⁻¹)	CO ₃ (mg L ⁻¹)	HCO ₃ (mg L ⁻¹)
0.174	0.096	0.008	11.21	1.68	2.27	1.00	2.95

4.2.3. Su altında kalan saksı topraklarının drenaj suyu kalite parametreleri ve besin maddesi içerikleri

Saksılar pamuk ekim tarihinden 55 gün sonra 0 – 7 – 14 – 21 – 28 gün su altında bırakılmış ve su altın kalma süresi dolan saksılardan taban suları süzülerek laboratuara getirilmiş ve Çizelge 4.37 ile Çizelge 4.44 arasındaki verilen parametreler belirlenmiştir.

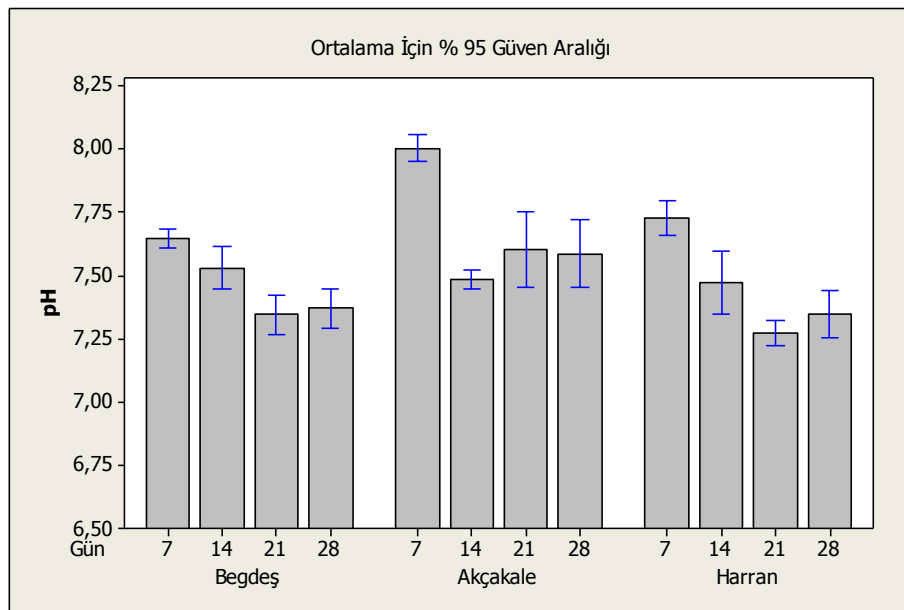
Drenaj sularının kalite parametreleri varyans analizine tabi tutulduğunda, su altında kalma süresinin Beğdeş, Harran ve Akçakale Serisi topraklarının drenaj suları pH değerleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli ($P<0.01$) olduğu bulunurken, EC değerleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemsiz ($P<0.05$) olduğu bulunmuştur (Çizelge 4.37).

Çizelge 4.37. Saksılardan drene edilen suların pH ve EC değerleri

Su Alt. Kalma Süresi	Beğdeş Serisi		Akçakale Serisi		Harran Serisi	
	pH	EC (dS m ⁻¹)	pH	EC (dS m ⁻¹)	pH	EC (dS m ⁻¹)
7	7.64 a	1.29	8.00 a	2.42	7.73 a	1.57
14	7.53 b	1.37	7.48 c	2.18	7.47 b	1.58
21	7.34 c	1.33	7.60 b	2.45	7.27 c	1.63
28	7.37 c	1.36	7.58 ab	2.55	7.35 c	1.75
<i>P</i>	0.000	0.541	0.000	0.129	0.000	0.148

Drenaj sularının pH değerleri su altında kalma süresinin artmasıyla topraklarda düşüş göstermiştir. Su altında kalma süresi ile Beğdeş, Harran ve Akçakale Serisi topraklarının drenaj sularının pH değerleri arasında önemli negatif korelasyonlar ($r = -0.848^{**}$; $r = -0.815^{**}$; $r = -0.597^{**}$) bulunmuştur (Çizelge A.10, A.11 ve A.12).

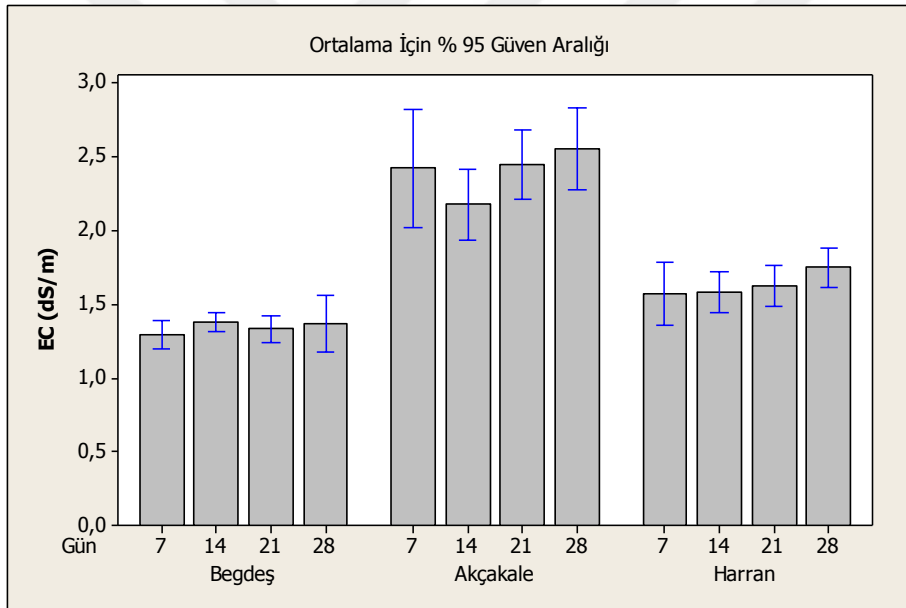
Su altında kalan bazik karakterli toprakların pH değeri düşerken, asit karakterli toprakların pH değeri ise yükselmektedir (Ponnampuruma, 1972). Bizim çalışmamızdaki bazik karakterli topraklarda da benzer olarak pH değerinde düşüşler meydana gelmiş (Şekil 4.22).



Şekil 4.22. Su altında bırakılan toprakların drenaj suyu pH değerleri

pH değeriindeki bu düşüşün temel sebebi de indirgen şartlarda meydana gelen anaerobik mineralizasyon sonrasında ortaya çıkan CO₂'nin suda çözünmesi ile ilişkilidir. Her ne kadar drenaj suyu topraktan ayrı olsa da toprağın denge halindeki olduğu çözeltili toprak pH değerini de yansıtmaktadır. Çalışmamıza benzer olarak, Ponnampereuma (1972), Shenker vd. (2005), Amarawansa vd. (2015), Jayarathne vd. (2016) su altında kalan bazik karakterli toprakların pH değerinde düşüş olduğunu belirtmişlerdir.

Drenaj sularının EC değerleri su altında kalma süresinin artmasıyla istatistiksel olarak önemli olmasa da artış göstermiştir (Şekil 4.23). Su altında kalma süresi ile Harran Serisi toprağının drenaj suyu EC değeri arasında önemli ($r = 0.489^*$); Beğdeş ve Akçakale Serilerinin drenaj suyu EC değerleri arasında önemsiz pozitif korelasyonlar ($r = 0.210$; $r = 0.284$) bulunmuştur (Çizelge A.10, A.11 ve A.12).



Şekil 4.23. Su altında bırakılan toprakların drenaj suyu EC değerleri

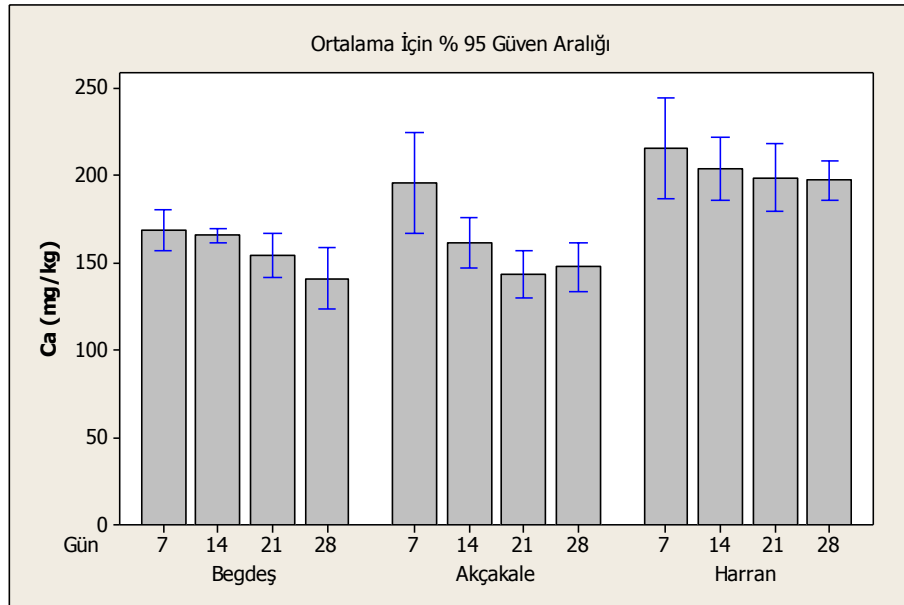
Su altında kalan toprakların EC değerlerinde toprak özelliklerine bağlı olarak yükselme meydana gelmektedir. Bu yükselmeye topraklardaki pH düşmesi sonrasında Ca ve Mg bileşiklerinin çözünmesi, NH₄⁺ ve HCO₃⁻ miktarının anaerobik mineralizasyon ve Fe⁺² ve Mn⁺² konsantrasyonunun indirgenme sonrasında artması önemli rol oynamaktadır (Ponnampereuma, 1972; Ponnampereuma, 1984). Konsantrasyonu artan bu iyonlar, toprak kolloidleri tarafından tutulan Na, K, Ca ve Mg iyonlarının toprak çözeltilisine geçmesine neden olmaktadır ve toprak çözeltilisine geçen bu katyonlar EC değerini artırmaktadır.

Drenaj sularının besin maddesi içerikleri varyans analizine tabi tutulduğunda, su altında kalma süresinin drenaj sularının Ca içerikleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli ($P<0,05$) bulunurken; Mg içerikleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemsiz ($P<0,05$) olduğu bulunmuştur (Çizelge 4.38).

Çizelge 4.38. Saksılardan drene edilen suların kalsiyum ve magnezyum içerikleri

Su Alt. Kalma Süresi	Beğdeş Serisi		Akçakale Serisi		Harran Serisi	
	Ca (mg L ⁻¹)	Mg (mg L ⁻¹)	Ca (mg L ⁻¹)	Mg (mg L ⁻¹)	Ca (mg L ⁻¹)	Mg (mg L ⁻¹)
7	168 a	37.0	196 a	96.1	216	54.6
14	165 a	39.9	161 b	87.7	204	50.8
21	154 ab	37.9	143 b	96.0	198	52.9
28	141 b	36.9	147 b	101	197	58.2
P	0.002	0.341	0.000	0.078	0.304	0.289

Drenaj sularının kalsiyum içerikleri su altında kalma süresinin artmasıyla azalma göstermiştir (Şekil 4.24). Su altında kalma süresi ile Beğdeş ve Akçakale Serisi topraklarının drenaj sularının kalsiyum içerikleri arasında önemli ($r = -0.740^{**}$; $r = -0.736^{**}$) ve Harran Serisi toprağının drenaj sularının kalsiyum içerikleri arasında önemsiz negatif korelasyonlar ($r = -0.415$) bulunmuştur (Çizelge A.10, A.11 ve A.12).



Şekil 4.24. Su altında bırakılan toprakların drenaj suyu Ca konsantrasyonları

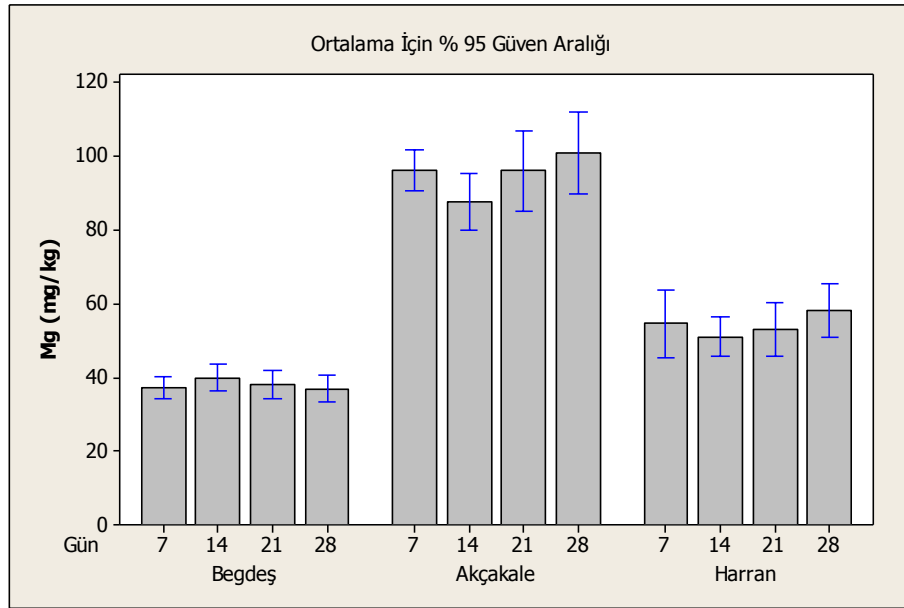
Kireçli toprakların su altında kalması sonrasında düşen pH değerinden dolayı çözünen Ca-bileşikler (Ann vd., 2000; Racz, 2006) ve indirgenen Fe-Mn bileşikler tarafından değişebilir yüzeylerde tutulan Ca iyonlarının toprak çözeltisine geçmesi

sonucunda drenaj suyundaki Ca miktarı artmaktadır (Ponnamperuma, 1972; Ponnamperuma, 1984). Amarawansha vd. (2015), kireçli toprakların su altında bırakılması sonucunda inkübasyonun ilk 28 gününde toprak çözeltisindeki Ca miktarının azaldığını, 28 - 45. günler arasında arttığını, 45 - 55. günler arasında tekrar düştüğünü ve 55. günden sonra tekrar arttığını belirtmişlerdir. Bu artışın sebebini ise indirgen şartlardaki meydana gelen yukarıdaki mekanizmalardan kaynaklandığını, azalmanın ise o süreçte meydana gelen çökeltme reaksiyonlardan kaynaklanabileceğini belirtmişlerdir.

Su altında kalan topraklarda bitkinin bulunması ve atmosferik şartlar ile direk temas halinde olduğunda toprak yüzeyinde algler, fitoplanktonlar ve yosunlar oluşmakta (Roger ve Watanabe, 1984), oluşan algler ve yosunlar yaptıkları fotosentez sonucunda toprak üzerinde bekleyen su katmanının O_2 ve CO_2 oranı gece ve gündüz saatlerinde önemli bir şekilde değiştirmektedir. Çalışmamızda, su altında bırakılmanın ilk günlerinden sonra toprak yüzeyinde alg oluşumu itibarıyla ve anaerobik mineralizasyon sonrası oluşan CO_2 'nin HCO_3^- – CO_3^{2-} 'e dönüştükten sonra toprak çözeltisindeki Ca iyonları birleşerek (Olsen ve Watanabe, 1959) drenaj suyundaki Ca miktarını çökeltme reaksiyonları neticesinde azalttığı düşünülmektedir. Ek 10, 11 ve 12'deki drenaj suyu Ca ve CO_3^{2-} iyonları arasındaki önemli negatif ilişkiler ($r = -0.654^{**}$; $r = -0.608^{**}$) drenaj suyu Ca dengesinin Beğdeş ve Akçakale serileri topraklarında CO_3^{2-} iyonları ile sağlandığını göstermekte; Harran Serisinde ise kalsiyumun klor iyonları ile arasındaki önemli negatif korelasyon ($r = -0.546^*$) Ca iyonları ile dengenin Cl iyonu ile sağlandığını görülmektedir.

Drenaj suyu magnezyum konsantrasyonunda su altında kalma süresinin artması ile önemli bir değişim olmamış (Şekil 4.25) ve su altında kalma süresinden bağımsız değişim göstermiştir (Çizelge A.10, A.11 ve A.12).

Kireçli toprakların su altında kalması sonrasında düşen pH değerinden dolayı çözünen Mg-bileşikleri (Ann vd., 2000; Racz, 2006) ve indirgenen Fe-Mn bileşikleri tarafından değişebilir yüzeylerde tutulan Mg iyonlarının toprak çözeltisine geçmesi sonucunda drenaj suyundaki Mg miktarının artabileceği bildirilmektedir (Ponnamperuma, 1972; Ponnamperuma, 1984). Ancak bizim çalışmamızda istatistiksel olarak önemli bir değişim olmamıştır (Şekil 4.25).



Şekil 4.25. Su altında bırakılan toprakların drenaj suyu Mg konsantrasyonları

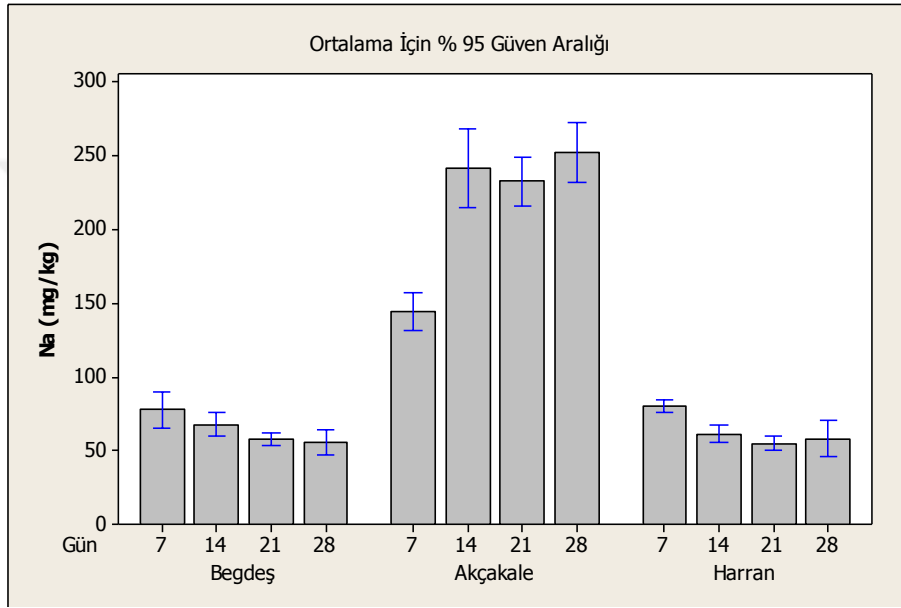
Drenaj suyundaki Mg konsantrasyonu değişiminin önemli olmaması toprak çözeltisindeki Ca/Mg oranının yüksek olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Amarawansha vd. (2015) kireçli topraklarda yaptıkları çalışmada, toprak özelliklerine bağlı olarak, su altında kalma süresinin artması sonucunda bazı toprakların toprak çözeltisindeki Mg miktarında artış, bazılarında azalma, bazılarında ise önemli bir değişim olmadığını belirtmişlerdir. Yukarıda belirtildiği gibi Mg iyonları ve CO_3 iyonları arasında önemli etkileşim bulunmasına rağmen, bizim çalışmamızda bu etkileşim gözlenmemiştir. Bu durumu Çizelge A.10, A.11 ve A.12'deki drenaj suyu Mg ile CO_3^{-2} iyonları arasındaki önemsiz korelasyonlar da işaret etmektedir.

Drenaj sularının besin maddesi içerikleri varyans analizine tabi tutulduğunda, su altında kalma süresine bağlı olarak toprakların drenaj sularındaki Na konsantrasyonları üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli ($P < 0.05$ ve $P < 0.01$) bulunmuştur (Çizelge 4.39).

Çizelge 4.39. Saksılardan drene edilen suların sodyum ve potasyum içerikleri

Su Alt. Kalma Süresi	Begdeş Serisi		Akçakale Serisi		Harran Serisi	
	Na (mg L ⁻¹)	K (mg L ⁻¹)	Na (mg L ⁻¹)	K (mg L ⁻¹)	Na (mg L ⁻¹)	K (mg L ⁻¹)
7	77.4 a	10.2 a	144 b	16.5 a	80.0 a	16.6
14	67.6 b	10.2 a	241 a	14.7 ab	61.3 b	15.3
21	57.8 c	8.82 b	232 a	13.9 b	54.6 b	14.6
28	55.3 c	6.30 c	252 a	14.8 ab	57.9 b	14.1
P	0.000	0.000	0.000	0.042	0.000	0.159

Drenaj sularının sodyum içerikleri su altında kalma süresinin artmasıyla Beğdeş ve Harran Serisi topraklarında azalma, Akçakale Serisi toprağında artış göstermiştir (Şekil 4.26). Su altında kalma süresi ile Beğdeş ve Harran Serisi topraklarının drenaj sularının sodyum içerikleri arasında önemli negatif korelasyonlar ($r = -0.797^{**}$; $r = -0.728^{**}$) bulunurken, Akçakale Serisi toprağında önemli pozitif korelasyon ($r = 0.779^{**}$) bulunmuştur (Çizelge A.10, A.11 ve A.12). Akçakale serinde 7. günden sonra bir artış gözlenirken; diğer topraklarda hemen hemen sürekli bir azalma belirlenmiştir.



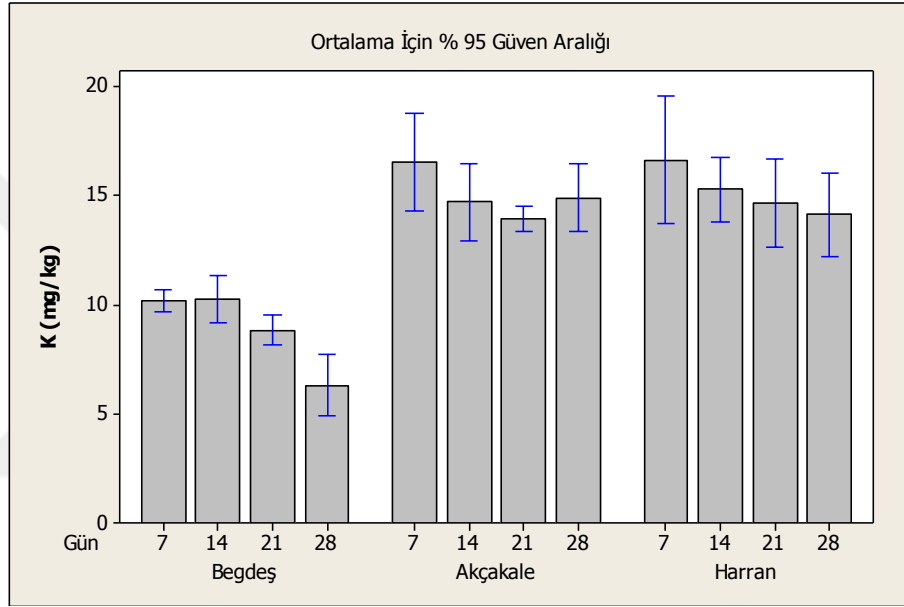
Şekil 4.26. Su altında bırakılan toprakların drenaj suyu Na konsantrasyonları

Sodyum suda çözünürlüğü yüksek olan bir element olup, topraktaki çözünürlüğü sodyum bileşiklerinin miktarı ve çeşitliliğine bağlıdır. Harran Ovası'ndaki tuzsuz olarak sınıflandırılan topraklardaki saturasyon çamurunda çözünebilir Na miktarı 15 – 200 mg kg⁻¹ arasında değişirken ve tuzlu alanlarda ise 500 – 10000 mg kg⁻¹ arasında değişmektedir (Bilgili vd., 2011). Çizelge A.10, A.11 ve A.12'de verilen drenaj suyu Na ve CO₃⁻² iyonları arasındaki önemli negatif ilişkiler ($r = -0.532^{*}$; $r = -0.493^{*}$) drenaj suyu Na dengesinin Beğdeş ve Harran serileri topraklarında CO₃⁻² iyonları ile, Akçakale Serisinde ise sülfat iyonları ile ($r = -0.874^{**}$) ilişkili olduğu göstermektedir.

Su altında kalma süresinin Beğdeş ve Akçakale Serisi topraklarının drenaj sularının K içerikleri üzerine etkisi istatistiksel olarak önemli ($P < 0.01$) bulunurken;

Harran Serisinin K içeriği üzerine etkisi istatistiksel olarak önemsiz ($P<0.05$) olduğu bulunmuştur (Çizelge 4.39).

Drenaj sularının potasyum içerikleri su altında kalma süresinin artmasıyla azalma göstermiştir (Şekil 4.27). Su altında kalma süresi ile Beğdeş ve Harran Serisi topraklarının drenaj sularının potasyum içerikleri arasında önemli negatif korelasyonlar ($r = -0.835^{**}$; $r = -0.505^{*}$), Akçakale Serisi toprağının drenaj sularının potasyum içerikleri arasında önemsiz negatif korelasyonlar ($r = -0.421$) bulunmuştur (Çizelge A.10, A.11 ve A.12).



Şekil 4.27. Su altında bırakılan toprakların drenaj suyu K konsantrasyonları

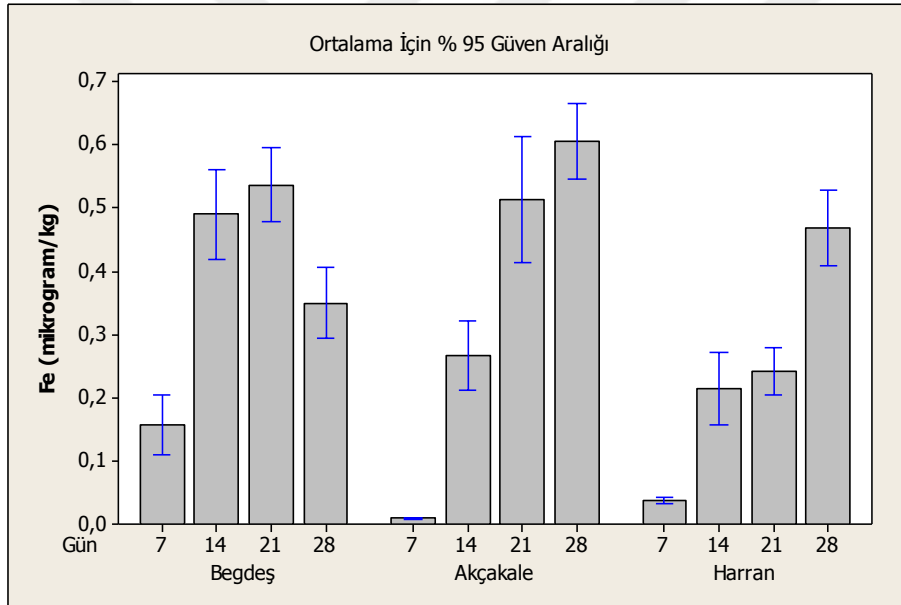
Potasyum suda çözünürlüğü toprak özelliklerine göre farklı olan bir element olup, topraktaki çözünürlüğü potasyum bileşiklerinin miktarı ve çeşitliliğine bağlıdır. Çizelge A.10, A.11 ve A.12 'ye bakıldığında, Beğdeş ve Akçakale serilerinde drenaj suyu K ve CO_3^{-2} iyonları arasındaki önemli negatif ilişkiler ($r = -0.687^{**}$; $r = -0.485^{*}$) görülmektedir. Harran Serisinde ise drenaj suyu K konsantrasyonu ile Cl^{-1} , CO_3^{-2} ve HCO_3^{-1} iyonları arasında negatif ancak önemsiz korelasyonlardan söz konusudur.

Drenaj sularının besin maddesi içerikleri varyans analizine tabi tutulduğunda, su altında kalma süresinin Beğdeş, Harran ve Akçakale Serisi topraklarının drenaj suları Fe ve Mn içerikleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli ($P<0.01$) olduğu bulunmuştur (Çizelge 4.40).

Drenaj sularının demir konsantrasyonları su altında kalma süresinin artmasıyla Begdeş, Harran ve Akçakale Serisi topraklarında artış göstermiştir (Şekil 4.28). Su altında kalma süresi ile toprakların drenaj sularının demir konsantrasyonları arasında önemli pozitif korelasyonlar ($r = 0.482^*$; $r = 0.682^{**}$; $r = 0.691^{**}$) bulunmuştur (Çizelge A.10, A.11 ve A.12).

Çizelge 4.40. Saksılardan drene edilen suların demir ve mangan içerikleri

Su Alt. Kalma Süresi	Begdeş Serisi		Akçakale Serisi		Harran Serisi	
	Fe ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Mn (mg L^{-1})	Fe ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Mn (mg L^{-1})	Fe ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Mn (mg L^{-1})
7	157 c	2.26 b	9.60 d	1.36 b	37.4 c	2.33 c
14	490 a	3.93 a	267 c	2.36 a	215 b	4.75 ab
21	537 a	3.90 a	514 b	2.38 a	243 b	5.06 a
28	350 b	3.69 a	607 a	2.60 a	468 a	4.54 b
P	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

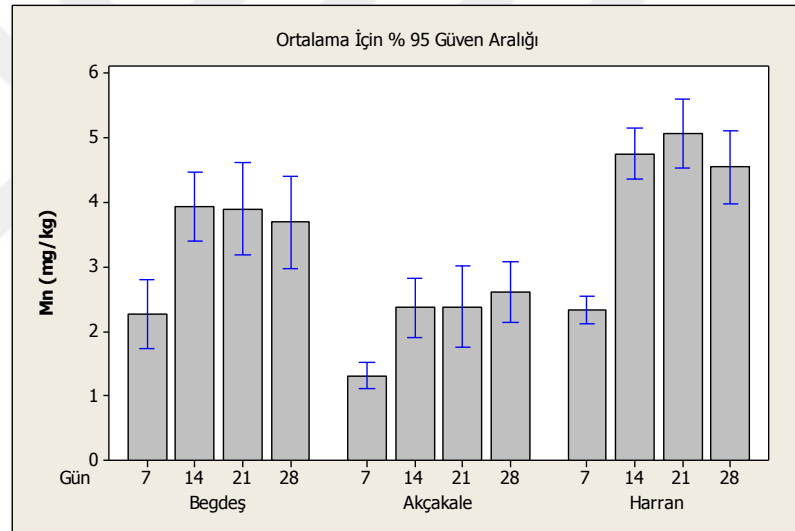


Şekil 4.28. Su altında bırakılan toprakların drenaj suyu Fe konsantrasyonları

Toprakların su altında kalması sonucunda suda çözünebilir Fe^{+2} miktarında önemli artışlar meydana gelmektedir. Bu artış toprakta bulunan Fe (III) oksit ve hidroksitlerin su altında kalma süresince indirgenerek Fe^{+2} iyonuna dönüşmesi sonucunda meydana gelmektedir (Ponnamperuma, 1972; Yoshida, 1978; Shahandeh vd., 2003; Du Lainga vd., 2007; Amarawansha, 2015). Çalışmamızda saksı topraklarının su altında bırakılması sonucunda Fe^{+2} miktarında artışlar meydana gelmiştir. Drenaj suyu pH değeri ve çözelti fazındaki Fe miktarı arasında önemli negatif korelasyonlar ($r = -0.617^{**}$; $r = -0.535^*$; $r = -0.717^{**}$) bulunmuştur (Çizelge A.10, A.11 ve A.12). Ponnamperuma (1972), pH değerinin düşmesi

sonucunda FeCO_3 bileşiklerinin çözünmesi ve CaCO_3 yüzeyine adsorbe olan Fe iyonlarının desorpsiyonu sonucunda toprak çözeltisindeki Fe^{+2} miktarının artabileceği bildirilmektedir (Ponnamperuma, 1984). Ayrıca, iyonik Fe miktarı ve SO_4^{-2} arasındaki negatif ilişki indirgenme sürecinin belirli aşamasından sonra FeS bileşiklerinin oluşması sonucunda iyonik Fe^{+2} miktarının azalabileceğini göstermektedir (Rowell, 1982; Patrick vd., 1996; Sposito, 2008). Nitekim çeltik topraklarında benzer durum pek çok araştırmacı tarafından bildirilmiştir (Poanmperruma, 1972; Ponnamperuma, 1984; Sposito, 2008).

Drenaj sularının mangan içerikleri su altında kalma süresinin artmasıyla artış göstermiştir (Şekil 4.29). Su altında kalma süresi ile drenaj sularının mangan içerikleri arasında önemli ve önemsiz pozitif korelasyonlar ($r = 0.575^{**}$; $r = 0.379$; $r = 0.721^{**}$) bulunmuştur (Çizelge A.10, A.11 ve A.12).



Şekil 4.29. Su altında bırakılan toprakların drenaj suyu Mn konsantrasyonları

Toprakların su altında kalması sonucunda suda çözünebilir Mn^{+2} miktarındaki artış, toprakta bulunan Mn (IV) oksit ve hidroksitlerin indirgenerek Mn^{+2} iyonuna dönüşmesi sonucunda olmaktadır (Ponnamperuma, 1972; Yoshida, 1978; Shahandeh vd., 2003; Du Lainga vd., 2007; Amarawansha, 2015). Çalışmamızda saksı topraklarının su altında bırakılması sonucunda Mn^{+2} miktarında artışlar meydana gelmiştir. Drenaj suyu pH değeri ve iyonik Mn miktarı arasında önemli negatif korelasyonlar ($r = -0.677^{**}$; $r = -0.695^{**}$; $r = -0.525^*$) bulunmuştur (Çizelge A.10, A.11 ve A.12). Ponnamperuma (1972), pH değerinin düşmesi sonucunda, MnCO_3 bileşiklerinin çözünmesi ve CaCO_3 yüzeyine adsorbe olan Mn iyonlarının desorpsiyonu sonucunda toprak çözeltisindeki Mn^{+2} miktarı artabileceği

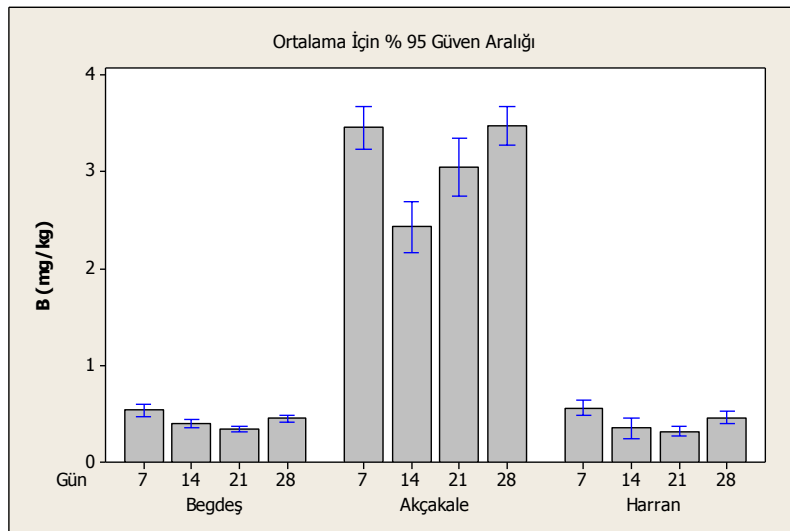
belirtilmektedir (Ponnamperuma, 1984). Ancak, su altında kalma süresinin ilerleyen safhalarında tekrar $MnCO_3$ bileşikleri oluşabilmekte ve indirgen şartlarda çözünürlüğü artan Mn^{+2} iyonları anaerobik mineralizasyon sonucunda konsantrasyonu artan CO_3 ile çökeltme reaksiyonu gösterebilmektedir (Ponnamperuma, 1972).

Drenaj sularının besin maddesi içerikleri varyans analizine tabi tutulduğunda, su altında kalma süresinin Beğdeş, Harran ve Akçakale Serisi topraklarının drenaj sularının B ve P içerikleri üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli ($P<0.01$) olduğu bulunmuştur (Çizelge 4.41).

Çizelge 4.41. Saksılardan drene edilen suların bor ve fosfor içerikleri

Su Alt. Kalma Süresi	Beğdeş Serisi		Akçakale Serisi		Harran Serisi	
	B (mg L ⁻¹)	P (mg L ⁻¹)	B (mg L ⁻¹)	P (mg L ⁻¹)	B (mg L ⁻¹)	P (mg L ⁻¹)
7	0.539 a	0.469 b	3.46 a	1.091 b	0.561 a	0.642 b
14	0.394 c	0.476 b	2.43 c	0.957 c	0.353 c	0.610 b
21	0.339 d	0.431 b	3.05 b	1.011 c	0.320 c	0.608 b
28	0.451 b	0.541 a	3.48 a	1.353 a	0.457 b	0.841 a
P	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000

Drenaj suyu bor konsantrasyonu su baskını ile zaman içerisinde önce azalmış, daha sonra ise tekrar yükseliş göstermiştir (Şekil 4.30). Drenaj suyu bor konsantrasyonu ve su altında kalma süresi arasındaki ilişki önemsiz bulunmuştur (Çizelge A.10, A.11 ve A.12).

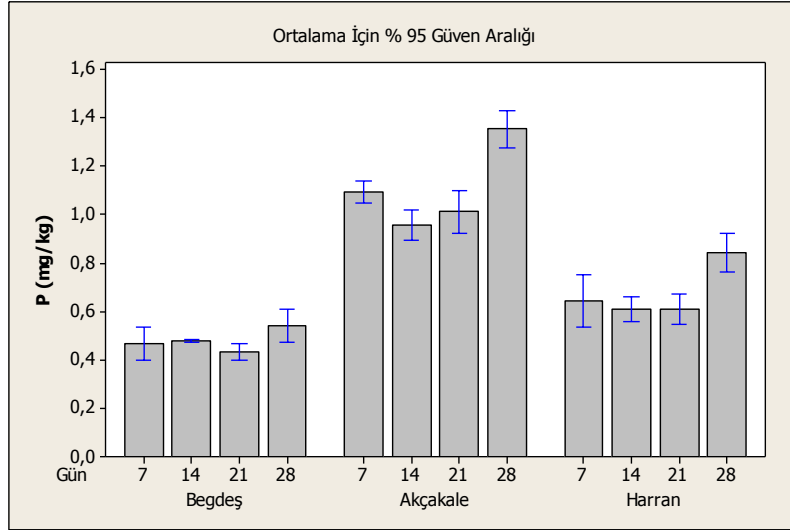


Şekil 4.30. Su altında bırakılan toprakların drenaj suyu B konsantrasyonları

Toprakların su altında bırakılmasının ilk 21 gününde drenaj suyundaki bor konsantrasyonunda azalma olurken, su altında kalmanın 28. gününde 3 toprakta da yükselme meydana gelmiştir. Bizim çalışmamıza zıt olarak, Ponnampereuma (1984) su altında kalan bazik karakterli toprakların bor içeriğinin su altında kalmanın ilk 2 haftasında arttığını daha sonra tekrar azaldığını belirtmiştir. Çizelge A.10, A.11 ve A.12'ye bakıldığında, Beğdeş ve Harran serileri drenaj suyu bor içerikleri ve Fe^{+2} ve Mn^{+2} arasındaki önemli negatif korelasyonlara göre su altında kalmanın ilk 21 gününde toprakta var olan bor bileşiklerinin çözünmesi sonrasında artan Fe ve Mn oksitler yüzeyinde adsorbe olduğu, daha sonra indirgen şartların devam etmesine bağlı olarak Fe-Mn oksitlerin çözünürlüğünün artması sonucunda adsorbe olan borun tekrar salındığı düşünülmektedir. Amrhein vd. (1993), su altında kalma sonrasında indirgenen Fe ve Mn oksit-hidroksit yüzeyine adsorbe olan borun salındığını ve toprak çözeltisindeki miktarını artırdığını belirtmiştir. Akçakale serisinin ise; drenaj suyu bor içeriği ise Mg konsantrasyonu ile önemli pozitif korelasyon ($r = 0.706^{**}$) göstermektedir (Çizelge A.10, A.11 ve A.12). Goldberg (1997) toprakta bor adsorbsiyon yüzeylerinin alüminyum ve demir hidroksit, magnezyum hidroksit, kil mineralleri, kireç ve organik madde olduğunu belirtmiştir. Akçakale Serisi toprağının drenaj suyu bor ve magnezyum konsantrasyonları arasındaki pozitif korelasyona bakıldığında; bor dengesinin Mg bileşikleriyle sağlandığı görülmektedir.

Drenaj sularının fosfor içerikleri su altında kalma süresinin artmasıyla her üç toprakta da artış göstermiştir (Şekil 4.31). Su altında kalma süresi ile Beğdeş, Harran ve Akçakale Serisi topraklarının drenaj sularının fosfor içerikleri arasında önemli ve önemsiz pozitif korelasyonlar ($r = 0.351$; $r = 0.594^{**}$; $r = 0.586^{**}$) bulunmuştur (Çizelge A.10, A.11 ve A.12).

Toprakların su altında kalması sonrasında toprak çözeltisindeki fosfor konsantrasyonu 21. güne kadar azalırken, 28. günden sonra artmıştır. Su altında kalma sürecinde ilk günlerde toprak çözeltisindeki Ca ve Mg ile anaerobik şartlarda oluşan CO_2 'nin CO_3^{-2} 'ye dönüşmesi sonrasında oluşan Ca ve Mg karbonatların fosfor ile birlikte çökmesinden (Diaz vd., 1994; Newman ve Pietro, 2001) dolayı toprak çözeltisindeki fosfor konsantrasyonu azalmıştır. Su altında kalmanın devam etmesiyle 28. günden sonra düşmeye devam eden toprak pH'sından dolayı karbonatlar yüzeyinde adsorbe olarak çökelen ve Fe ve Mn oksitler yüzeyine adsorbe olan fosforun indirgen şartlarda indirgenmesi sonucunda toprak çözeltisindeki fosfor konsantrasyonunun tekrar yükseldiği düşünülmektedir.



Şekil 4.31. Su altında bırakılan toprakların drenaj suyu P konsantrasyonları

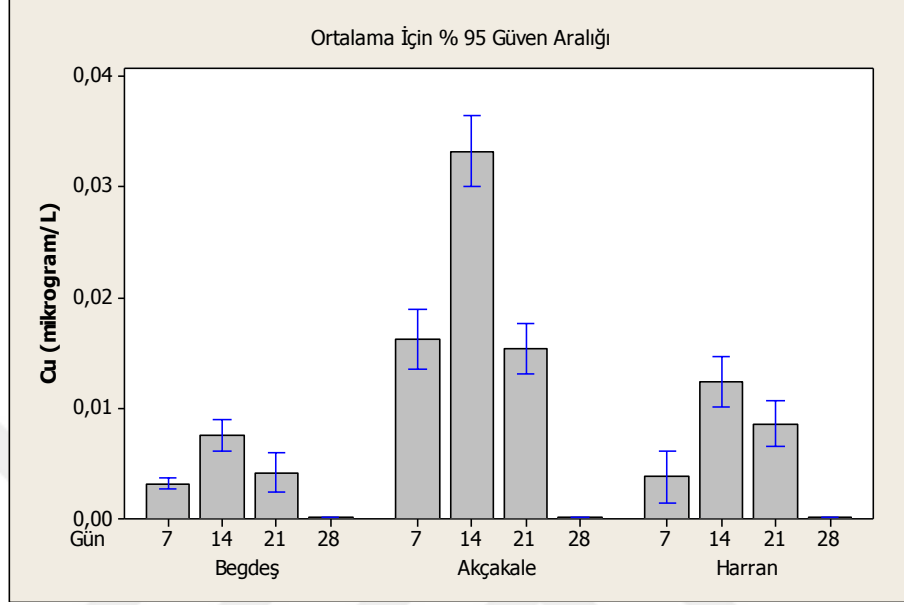
Çizelge A.10, A.11 ve A.12'ye bakıldığında, drenaj suyu pH değeri ve su altında kalma süresi arasındaki önemli negatif korelasyona ($r = -0.848^{**}$; $r = -0.597^{**}$; $r = -0.815^{**}$) bakıldığında CaCO_3 ve Ca-P bileşiklerinin çözünmesi sonucunda (Ponnamperuma, 1972; Amarawansha vd., 2015; Jayarathne vd., 2016) toprak çözeltisindeki fosfor konsantrasyonun arttığı görülmektedir. Diğer taraftan bitki gelişimi göz önünde bulundurulduğunda kısa sürelerde bitkinin zarar görmesi az olduğundan çözelti fazında bulunan fosforun alınması söz konusudur. Bitki zarar görmesindeki artış neticesinde kaldırdığı fosfor azalacağından kimyasal süreçler neticesinde açığa çıkan fosforun çözeltideki konsantrasyonunu artırabileceği düşünülmektedir.

Su altında kalma süresi, toprakların drenaj sularındaki Cu ve $\text{SO}_4\text{-S}$ konsantrasyonları üzerine istatistiksel olarak önemli ($P < 0.01$) etkide bulunmuştur (Çizelge 4.42).

Çizelge 4.42. Saksılardan drene edilen suların bakır ve kükürt içerikleri

Su Alt. Kalma Süresi	Begdeş Serisi		Akçakale Serisi		Harran Serisi	
	Cu ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	$\text{SO}_4\text{-S}$ (mg L^{-1})	Cu ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	$\text{SO}_4\text{-S}$ (mg L^{-1})	Cu ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	$\text{SO}_4\text{-S}$ (mg L^{-1})
7	3.2 b	98.1 a	16.2 b	147 a	3.80 c	92.3 a
14	7.6 a	69.9 b	33.2 a	87.4 b	12.4 a	82.7 a
21	4.2 b	56.8 c	15.4 b	65.0 c	8.60 b	71.2 b
28	0.1 c	19.4 d	0.10 c	60.2 c	0.10 d	49.1 c
P	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

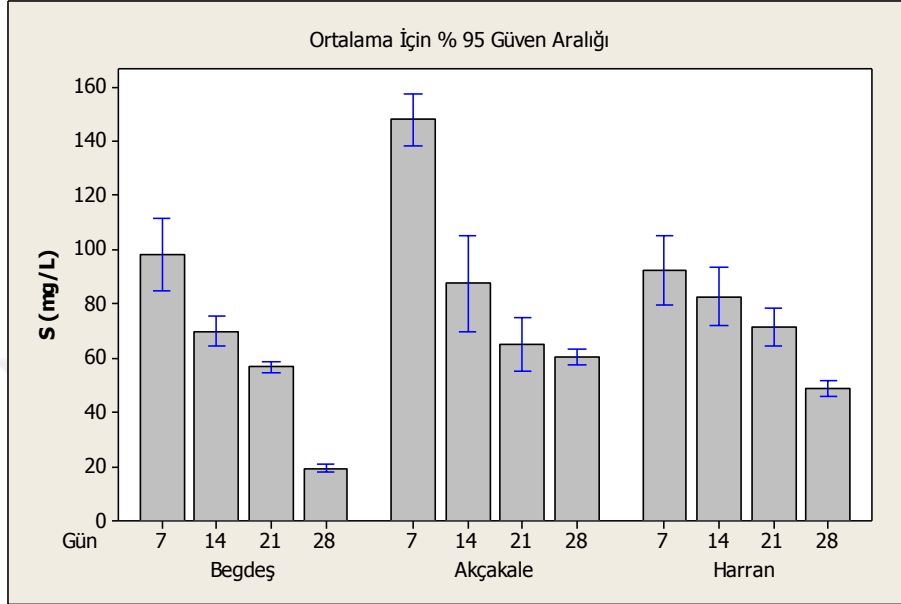
Drenaj sularının bakır içerikleri su altında kalma süresindeki artış azalma göstermiştir (Şekil 4.32). Su altında kalma süresi ile toprakların drenaj sularının bakır içerikleri arasında önemli ve önemsiz negatif korelasyonlar ($r = -0.505^*$; $r = -0.342$; $r = -0.624^{**}$) bulunmuştur (Çizelge A.10, A.11 ve A.12).



Şekil 4.32. Su altında bırakılan toprakların drenaj suyu Cu konsantrasyonları

Toprakların su altında kalması sonucunda drenaj suyu Cu konsantrasyonunda önemli azalmalar meydana gelmiştir. Ponnamperuma (1984) su altında kalan asit, nötral ve bazik karakterli toprakların bakır içeriğinin su altında kalma sonucunda önemli şekilde azaldığını belirtmiştir. Beğdeş serisi drenaj suyunda Cu ve SO_4^{-2} arasında önemli pozitif korelasyon ($r = 0.508^*$) bulunmuştur (Çizelge A.10, A.11 ve A.12). Beğdeş Serisinde azalan Cu konsantrasyonunun indirgen şartlarda oluşan CuS bileşiğinden, Harran serisi drenaj suyunda Cu ve $\text{HCO}_3\text{-CO}_3$ arasındaki önemli negatif korelasyon ($r_{\text{CO}_3} = -0.577^{**}$; $r_{\text{HCO}_3} = -0.756^{**}$) Harran serisindeki azalan Cu konsantrasyonunun indirgen şartlarda artan $\text{HCO}_3\text{-CO}_3$ iyonu ile çökmesinden kaynaklanabileceğine işaret etmektedir. Kavanaugh vd. (2004) kirli sulardan bakırın uzaklaştırıldığı çalışmada pH'nın 7-11 arasında olduğunda; Cu iyonlarının $\text{HCO}_3\text{-CO}_3$ ile stabil katı fazlar oluşturabileceğini belirtmişlerdir. Fulda (2013) ise indirgen şartlarda anaerobik mineralizasyon ürünleri ve indirgenme sonucunda oluşan S^{-2} ile bakırın birleşerek stabil hale geldiğini, CuS bileşiğinin indirgenmenin ilerleyen aşamalarında gözlemlendiğini belirtmiştir.

Drenaj sularının sülfat içerikleri su altında kalma süresinin artmasıyla azalma göstermiştir (Şekil 4.33). Su altında kalma süresi ile drenaj sularının sülfat konsantrasyonları arasında önemli negatif korelasyonlar ($r = -0.968^{**}$; $r = -0.905^{**}$; $r = -0.891^{**}$) bulunmuştur (Çizelge A.10, A.11 ve A.12).



Şekil 4.33. Su altında bırakılan toprakların drenaj suyu $\text{SO}_4\text{-S}$ konsantrasyonları

Toprakların su altında kalması neticesinde ortaya çıkan SO_4^{-2} konsantrasyonundaki azalmasının sebebi, SO_4^{-2} 'nin anaerobik şartlarda elektron yakalayıcı olarak anaerobik bakteriler tarafından kullanılmasıyla H_2S ; dolayısıyla S^{-2} 'ye dönüşmesidir (Ponnamperuma, 1972; Ponnamperuma, 1984). Drenaj sularının Fe ve Mn konsantrasyonları ve SO_4^{-2} arasındaki önemli negatif korelasyona bakıldığında indirgenen SO_4^{-2} 'nin çözünmesi güç FeS ve MnS bileşikler oluşturduğu öngörülebilmektedir (Çizelge A.10, A.11 ve A.12).

Su altında kalma süresi toprakların drenaj sularındaki Cl konsantrasyonu üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli ($P < 0.01$) olduğu bulunurken, su altında bırakılmanın 7 gününden itibaren (ilk ölçüm 7. günde yapılmıştır) drenaj suyunda nitrate rastlanılmamıştır (Çizelge 4.43).

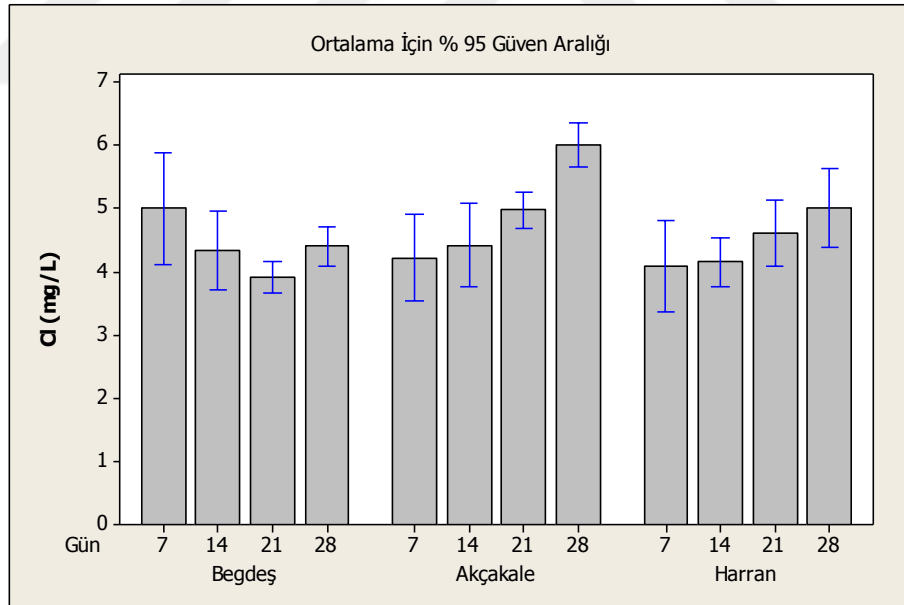
Drenaj sularının klor konsantrasyonu su altında kalma süresinin artmasıyla Begdeş, Serisi toprağında azalma gösterirken, Harran ve Akçakale Serisi topraklarında artış göstermiştir (Şekil 4.34). Su altında kalma süresi ile Beğdeş, Serisi toprağının drenaj suyu klor içerikleri arasında önemsiz negatif korelasyonlar ($r = -0.436$) söz konusu

iken; Harran ve Akçakale Serisi topraklarının drenaj suyu klor konsantrasyonları arasında önemli pozitif korelasyonlar ($r = 0.647^{**}$; $r = 0.837^{**}$) bulunmuştur (Çizelge A.10, A.11 ve A.12).

Çizelge 4.43. Saksılardan drene edilen suların klor ve nitrat içerikleri

Su Alt. Kalma Süresi	Begdeş Serisi		Akçakale Serisi		Harran Serisi	
	Cl (me.L ⁻¹)	NO ₃ (mg L ⁻¹)	Cl (me.L ⁻¹)	NO ₃ (mg L ⁻¹)	Cl (me.L ⁻¹)	NO ₃ (mg L ⁻¹)
7	5.00 a	-	4.22 c	-	4.08 b	-
14	4.32 b	-	4.42 bc	-	4.15 b	-
21	3.91 b	-	4.98 b	-	4.61 ab	-
28	4.40 ab	-	6.01 a	-	5.01 a	-
P	0.015	-	0.000	-	0.000	-

Topraktaki klorürün neredeyse tamamı toprak solüsyonunda bulunmaktadır. Mineral ve organik klorür fraksiyonu çok az miktardadır. Killer ya da oksitler tarafından klorürün adsorbsiyonu yok denecek kadar olmaktadır. Yüksek derecede çözünürlüğünden dolayı aşırı yağış ve sulamanın olduğu alanlarda yıkanması meydana gelmektedir (Havlin vd., 1999).



Şekil 4.34. Su altında bırakılan toprakların drenaj suyu Cl konsantrasyonları

Su altında kalma sonrasında Akçakale ve Harran Serisi topraklarının drenaj suyu Cl konsantrasyonlarının artışı sulama suyu ile gelen Cl iyonlarından ve su altında kalma öncesindeki Ca, Mg, Na ve K'un Cl, SO₄, HCO₃ ve CO₃ ile olan tuz dengesinin (Havlin vd., 1999; Sparks, 2003; Sağlam, 2008); indirgen şartlarda kullanılan SO₄'ün azalması (Ponnamperuma, 1972; 1984) ve HCO₃ ve CO₃'ün

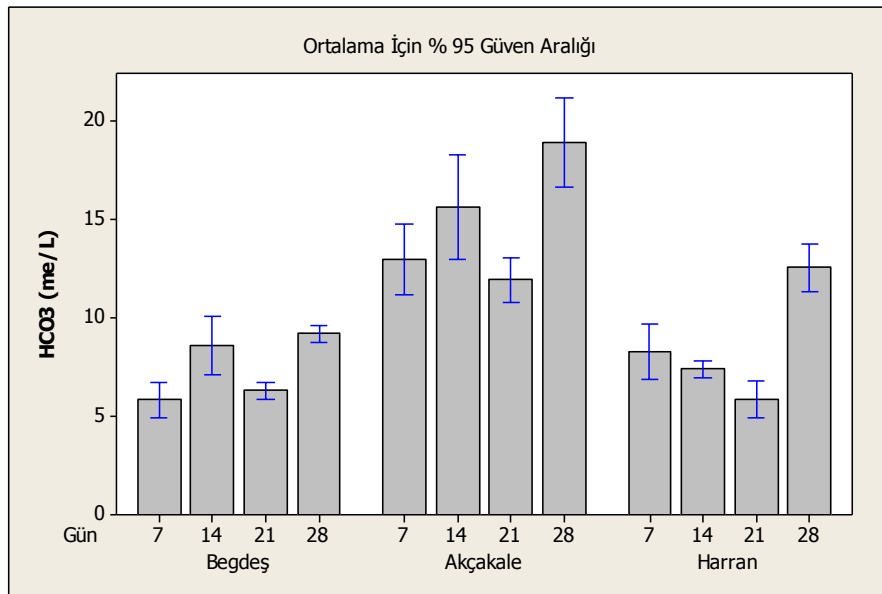
çökeltme reaksiyonlarında kullanılması sonucunda bozulmasından dolayı reaktif olmayan Cl iyonunun konsantrasyonunun arttığı düşünülmektedir.

Su altında kalma süresinin Beğdeş, Harran ve Akçakale Serisi topraklarının drenaj sularında HCO_3 ve CO_3 konsantrasyonları üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemli ($P<0.01$) olduğu bulunmuştur (Çizelge 4.44).

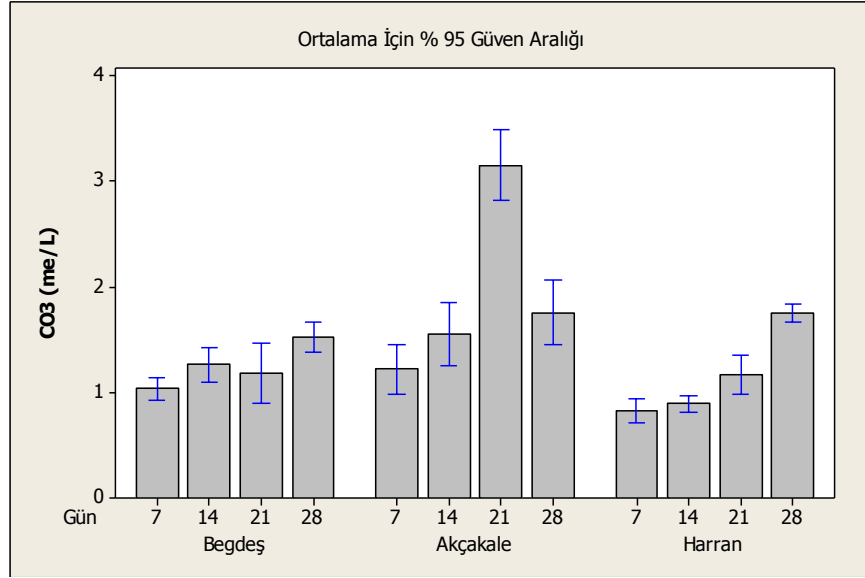
Çizelge 4.44. Saksılardan drene edilen suların bikarbonat ve karbonat içerikleri

Su Alt. Kalma Süresi	Beğdeş Serisi		Akçakale Serisi		Harran Serisi	
	HCO_3 (me.L ⁻¹)	CO_3 (me.L ⁻¹)	HCO_3 (me.L ⁻¹)	CO_3 (me.L ⁻¹)	HCO_3 (me.L ⁻¹)	CO_3 (me.L ⁻¹)
7	5.83 b	1.03 c	12.95 c	1.22 c	8.28 b	0.824 c
14	8.58 a	1.26 b	15.62 b	1.55 b	7.41 b	0.892 c
21	6.31 b	1.18 ab	11.93 c	3.15 a	5.85 c	1.168 b
28	9.18 a	1.52 a	18.90 a	1.75 b	12.5 a	1.754 a
P	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000

Drenaj sularının bikarbonat ve karbonat konsantrasyonları su altında kalma süresinin artmasıyla artış göstermiştir (Şekil 4.35 ve Şekil 4.36). Su altında kalma süresi ile toprakların drenaj sularının bikarbonat konsantrasyonları ($r = 0.551^*$; $r = 0.484^*$; $r = 0.515^*$) ve karbonat konsantrasyonları ($r = 0.699^{**}$; $r = 0.908^*$; $r = 0.467^*$) arasında önemli pozitif korelasyonlar bulunmuştur (Çizelge A.10, A.11 ve A.12).



Şekil 4.35. Su altında bırakılan toprakların drenaj suyu HCO_3 konsantrasyonları



Şekil 4.36. Su altında bırakılan toprakların drenaj suyu CO₃⁻² konsantrasyonları

Topraklar su altında kaldığında organik madde anaerobik bakteriler tarafından ayrıştırılarak CO₂ gazı açığa çıkmakta ve oluşan CO₂ önce HCO₃, daha sonra CO₃ anyonuna dönüşerek çözeltinin karbonat ve bikarbonat konsantrasyonunu artırmaktadır (Ponnamperuma, 1972; Ponnamperuma, 1984). Araştırmamızda saksı topraklarının su altında kalmasıyla HCO₃ ve CO₃ konsantrasyonlarında dalgalanmalarla birlikte bir artma eğilimi gözlenmiş, ilerleyen süreçlerde denge çözeltisindeki diğer katyonlar ile reaksiyona girerek çözeltideki konsantrasyonlarının aşırı derecede artması engellenmiştir. Diaz vd. (1994) ve Newman ve Pietro (2001) su altında kalan topraklarda Ca ve Mg karbonat bileşiklerinin oluştuğunu ve su altında kalan topraklarda meydana gelen CO₂'nin; Ca, Mg, Fe ve Mn iyonları ile çökeltme reaksiyonlarına girebileceğini belirtmişlerdir. Söz konusu katyonlar ile bikarbonat ve karbonat anyonları arasındaki önemli korelasyonları (Çizelge A.10, A.11 ve A.12) bu mekanizmanın deneme topraklarında gerçekleşmiş olabileceğini işaret etmektedir.

4.2.4. Su baskını altında kalan pamuğun besin maddesi alımı

Üç farklı toprak ile saksılarda yetiştirilen pamuk bitkilerinden yaprak numuneleri su baskını süreleri göz önünde bulundurularak alınmıştır. Bitkilerin su altında bırakıldıktan bir hafta sonra zarar görmeye başlamış ve denemede kullanılan toprak özelliklerine göre bu süre 7 – 13 gün arasında değişmiştir. Su baskının süresinin 8. günü itibariyle Harran Serisi'nde pamuk bitkilerinin yaprakları kurumaya başlamış ve Beğdeş Serisi'nde ise bitkilerin kurumaları 13. günden sonra başlamıştır. Bitki

yaprakları kurumaya başlayınca kuruyan yapraklar bitki üzerinden dökülmeden alınarak besin maddesi analizleri yapılmıştır. Bitkilerin kurumaları 14. günden sonra tamamen gerçekleştiği için bitki yaprak numuneleri sadece 0 – 7 – 14 gün su altında kalan saksılardan alınarak analizi yapılmıştır.

Tropik bölgelerde pamuk bitkisinin su altında kalması olası bir durum olup çok sayıda araştırma yapılmıştır (Hocking vd., 1985; Hocking vd., 1987; Conaty vd., 2008; Milroy vd., 2009; Najeeb vd., 2015). Su altında kalma sonrasında bitkilerin kök gelişimi yavaşlamakta hatta su baskını süresinin uzamasına bağlı olarak tamamen durmaktadır (Najeeb vd., 2015). Kök gelişiminin durması bitkilerin besin maddesi alımını azaltmakta ve streste olan bitkinin gelişimini önemli ölçüde etkilemektedir. Yapılan araştırmalar neticesinde erken dönem (çiçeklenme dönemi) ve geç dönemde (koza olgunlaşma dönemi) su altında kalan bitkilerin davranışının farklı olduğu belirlenmiştir. Erken dönemde su altında kalan bitkilerin su altında kalma süresine bağlı olarak verimde önemli düşüşlere neden olduğu, geç dönemde su altında kalan bitkilerin bu durumdan daha az etkilendiği belirlenmiştir (Hocking vd., 1987). Erken dönemde su altında kalan bitkilerin kök gelişiminin durmasına bağlı olarak alamadığı besin maddesinin tamamlanması söz konusu olmazken, geç dönemde su altında kalan bitkilerin bu durumu daha kolay atlattıkları ve verim kayıplarının daha az olduğu belirtilmiştir (Hocking vd., 1987; Milroy vd., 2009).

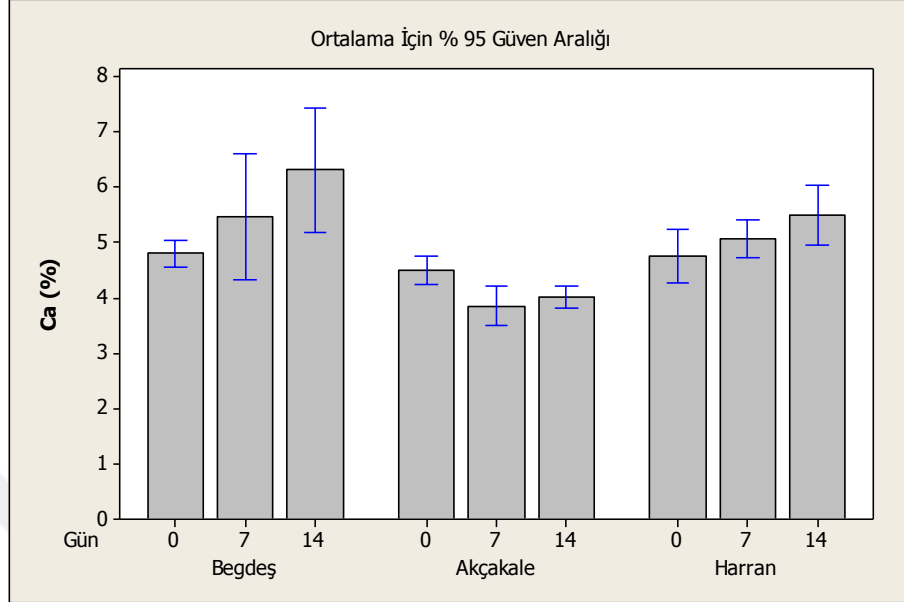
Bitkilerin besin maddesi konsantrasyonları varyans analizine tabi tutulduğunda, su altında kalma süresinin artması ile Beğdeş, Harran ve Akçakale Serisi topraklarında yetişen bitkilerin kalsiyum içeriklerinde istatistiksel olarak önemli ($P<0.05$ ve $P<0.01$) farklar bulunurken, magnezyum içeriklerinde uygulama ortalamaları arasındaki farkın istatistiksel olarak önemsiz ($P<0.05$) olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.45).

Çizelge 4.45. Pamuk yapraklarının kalsiyum ve magnezyum içerikleri

SAK* Süresi (Gün)	Beğdeş Serisi		Akçakale Serisi		Harran Serisi	
	Ca (%)	Mg (%)	Ca (%)	Mg (%)	Ca (%)	Mg (%)
0	4.80 b	0.805	4.49 a	1.01	4.76 b	0.854
7	5.47 ab	0.874	3.85 b	1.00	5.07 ab	0.954
14	6.32 a	0.923	4.03 b	1.06	5.50 a	0.969
P	0.025	0.214	0.002	0.534	0.026	0.121

*SAK: Su Altında Kalma

Bitkilerin kalsiyum içerikleri su altında kalma süresinin artmasıyla Beğdeş ve Harran Serisi topraklarında yetişen pamuklarda artar iken, Akçakale Serisi toprağında yetişen pamuklarda azalma göstermiştir (Şekil 4.37).



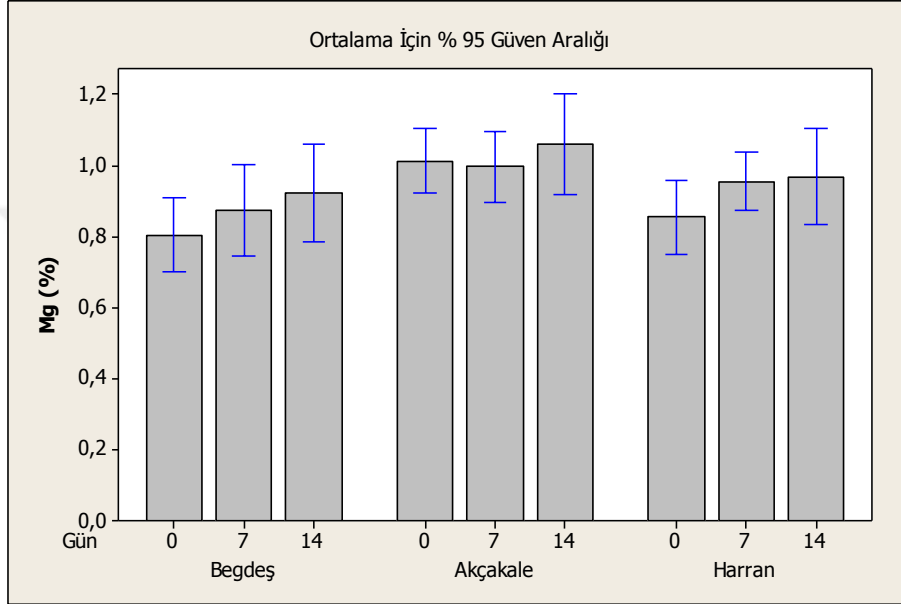
Şekil 4.37. Su altında bırakılan topraklarda yetişen pamuk bitkisi yaprak Ca içerikleri

Su altında kalma süresi ile Beğdeş ve Harran Serisi topraklarında yetişen bitkilerin kalsiyum içerikleri arasında önemli pozitif korelasyon bulunurken ($r = 0.676^{**}$ ve $r = 0.671^{**}$), Akçakale Serisi toprağında yetişen bitkilerin kalsiyum içerikleri arasında önemli negatif korelasyon ($r = -0.568^{*}$) bulunmuştur (Çizelge A.13, A.14 ve A.15).

Normal havalanan topraklarda yetişen pamuk bitkisinin yaprak Ca konsantrasyonları % 2.20 – 3.50 arasında değişmekte olup (Zengin, 2012); bitki yaşlandıkça artmaktadır (Rochester vd., 2012). Bu artışın sebebi kalsiyumun bitki içerisinde taşınmaması ve lüks tüketim ile bitki yapraklarında depolanmasından kaynaklanmaktadır. Bizim çalışmamızda su altında kalma süresinin artmasına bağlı olarak drenaj suyu Ca konsantrasyonu artmıştır. Drenaj suyundaki Ca konsantrasyonunun artmasına bağlı olarak su altında kalmanın devam etmesi ile birlikte bitkinin yaprak Ca içeriğinin arttığı düşünülmektedir. Hocking vd. (1987) çiçeklenme başlangıcında 8 gün su altında bırakılan pamuk bitkisinin yaprak Ca içeriğinde % 26 artış olduğunu belirtmişlerdir. Conaty vd. (2008) 19 gün su altında kalan 14 farklı pamuk çeşidinin normal havalanan şartlarda yetişen pamuk bitkisine göre daha az Ca içerdiğini belirtmişlerdir. Milroy vd. (2009) pamuk bitkisinin gelişme dönemlerinin farklı zamanlarında (51, 65, 80, 112 ve 128. günlerde) 3 gün su altında bırakılması

sonrasında yaprak Ca miktarının 112. güne kadar kontrolden daha az, 112. günden sonra kontrolden daha fazla olduğunu belirtmişlerdir.

Bitkilerin magnezyum içerikleri su altında kalma süresinin artmasıyla Begdeş, Harran ve Akçakale Serisi topraklarında artış göstermiştir (Şekil 4.38). Yaprak Mg miktarındaki bu artış her ne kadar istatistiksel açıdan önemli olmasa da su altında kalma süresi ile pozitif korelasyon göstermiştir (Çizelge A.13, A.14 ve A.15).



Şekil 4.38. Su altında bırakılan topraklarda yetişen pamuk bitkisi yaprak Mg içerikleri

Normal havalanan topraklarda yetişen pamuk bitkisinin yaprak Mg konsantrasyonları % 0.30 – 0.80 arasında değişmekte olup (Zengin, 2012); bitkinin yaşına bağlı olarak artmaktadır (Rochester vd., 2012). Bu artışın sebebi magnezyumun bitki içerisinde taşınmaması ve lüks tüketim ile bitki yapraklarında depolanmasından kaynaklanmaktadır (Rochester vd., 2012). Bizim çalışmamızda su altında kalma süresinin artmasına bağlı olarak drenaj suyu Mg konsantrasyonu artmıştır (Ek 10, 11 ve 12). Drenaj suyundaki Mg konsantrasyonun artmasına bağlı olarak su altında kalmanın devam etmesi ile birlikte bitkinin yaprak Mg içeriğinin arttığı düşünülmektedir. Hocking vd. (1987) çiçeklenme başlangıcında 8 gün su altında bırakılan pamuk bitkisinin yaprak Mg içeriğinde % 6 artış olduğunu belirtmişlerdir. Conaty vd. (2008) 19 gün su altında kalan 14 farklı pamuk çeşidinin normal havalanan şartlarda yetişen pamuk bitkisine göre daha az Mg içerdiğini belirtmişlerdir. Milroy vd. (2009) pamuk bitkisinin gelişme dönemlerinin farklı

zamanlarında (51, 65, 80, 112 ve 128. günlerde) 3 gün su altında bırakılması sonrasında yaprak Mg miktarının kontrole göre daha az olduğunu belirtmişlerdir.

Bitki yapraklarındaki Na ve K konsantrasyonlarına su baskını süresinin etkisine ait varyans analizi Çizelge 4.46 verilmiştir. Yaprakların Na konsantrasyonu inkübasyon süresiyle önemli derecede artarken; K konsantrasyonu tüm topraklarda istatistiksel olarak önemli derecede ($P<0.01$) azalmıştır. Her bir su baskını uygulaması Begdeş ve Akçakale topraklarında her iki element için Duncan testine göre farklı gruplarda yer almıştır. Harran serisi diğer topraklardan farklı davranmıştır. Na konsantrasyonu 7 ve 14. günlerde aynı grupta, K konsantrasyonunun da ise su baskını olmayan ve 7 gün su baskını uygulamaları aynı grupta yer almıştır.

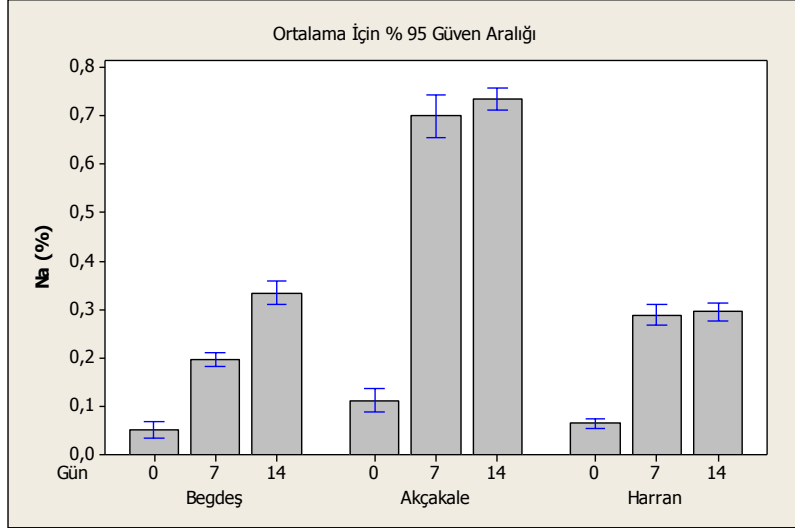
Çizelge 4.46. Pamuk yapraklarının sodyum ve potasyum içerikleri

SAK* Süresi (Gün)	Begdeş Serisi		Akçakale Serisi		Harran Serisi	
	Na (%)	K (%)	Na (%)	K (%)	Na (%)	K (%)
0	0.051 c	1.57 a	0.113 c	3.33 a	0.064 b	2.48 a
7	0.196 b	1.18 b	0.700 b	2.81 b	0.289 a	2.53 a
14	0.334 a	0.79 c	0.735 a	2.52 c	0.295 a	1.74 b
P	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001

*SAK: Su Altında Kalma

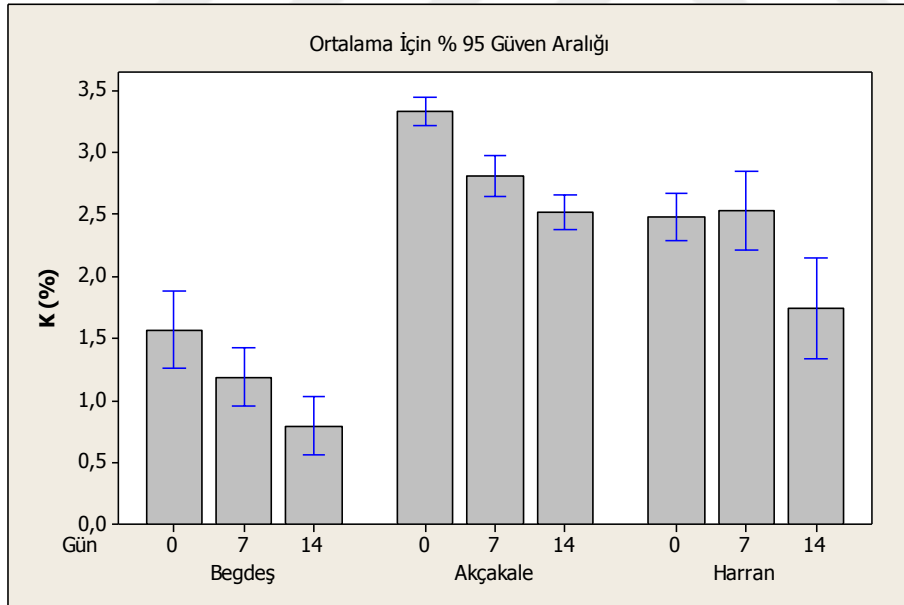
Su altında kalma süresine bağlı olarak sodyum konsantrasyonlarındaki değişimler Şekil 4.39 da verilmiştir. Su altında kalma süresi ile bitkilerin sodyum içerikleri arasında önemli pozitif korelasyonlar ($r = 0.706^{**}$, $r = 0.872^{**}$ ve $r = 0.887^{**}$) bulunmuştur (Çizelge A.13, A.14 ve A.15).

Normal havalanan topraklarda yetişen pamuk bitkisi yaprak Na miktarı yetiştirme periyodunun artmasına bağlı olarak artmaktadır ve bu artışın sebebi yüksek buharlaşma ve su seviyesinin sabit tutulması nedeniyle toprak yüzeyindeki suyun Na konsantrasyonunun sürekli artmasıdır. Bu artışa paralel olarak topraktan daha fazla miktarlarda Na iyonunu kaldırmışlar ve lüks tüketim ile bitki yapraklarında depolanma gerçekleşmiştir (Rochester vd., 2012). Hocking vd. (1987) çiçeklenme başlangıcında 8 gün su altında bırakılan pamuk bitkisinin yaprak Na içeriğinde % 76 artış olduğunu belirtmişlerdir. Milroy vd. (2009) pamuk bitkisinin gelişme dönemlerinin farklı zamanlarında (51, 65, 80, 112 ve 128. günlerde) 3 gün su altında bırakılması sonrasında yaprak Na miktarının kontrole göre daha fazla olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 4.39. Su altında bırakılan topraklarda yetişen pamuk bitkisi yaprak Na içerikleri

Bitkilerin potasyum içerikleri su altında kalma süresinin artmasıyla pamuk yapraklarındaki K konsantrasyonu azalmıştır (Şekil 4.40). Su altında kalma süresi ile bitkilerin potasyum içerikleri arasında önemli negatif korelasyonlar ($r = -0.860^{**}$, $r = -0.708^{**}$ ve $r = -0.946^{**}$) bulunmuştur (Çizelge A.13, A.14 ve A.15).



Şekil 4.40. Su altında bırakılan topraklarda yetişen pamuk bitkisinin yaprak K içerikleri

Normal havalandırılan topraklarda yetişen pamuk bitkisi yaprak K konsantrasyonları % 0.90 – 2.00 arasında değişmekte olup (Zengin, 2012); yetiştirme periyodunun uzunluğuna göre seyrelme etkisi gözlenmektedir (Rochester vd., 2012). Bu azalışın sebebi potasyumun bitki içerisinde taşınabilir olması ve koza oluşum döneminde

bitki yapraklarından kozaya taşınmasından kaynaklanmaktadır (Rochester vd., 2012). Halevy (1976), çiçeklenme döneminde pamuk yaprak K miktarının % 2 – 3 arasında olduğunu, hasat döneminde ise % 1'e kadar inebildiğini belirtmiştir. Bizim çalışmamızda su altında kalma süresinin artmasına bağlı olarak drenaj suyu K konsantrasyonu azalmıştır. Drenaj suyundaki K konsantrasyonunun azalmasına bağlı olarak su altında kalmanın devam etmesi ile bitki köklerinde ortaya çıkan gelişme bozuklukları neticesinde bitkilerin topraktan daha az K kaldırdıkları düşünülmektedir. Hocking vd. (1987) çiçeklenme başlangıcında 8 gün su altında bırakılan pamuk bitkisinin yaprak K içeriğinde % 13 azalma olduğunu belirtmişlerdir. Conaty vd. (2008) 19 gün su altında kalan 14 farklı pamuk çeşidinin normal havalanan şartlarda yetişen pamuk bitkisine göre daha az K içerdiğini belirtmişlerdir. Milroy vd. (2009) pamuk bitkisinin gelişme dönemlerinin farklı zamanlarında (51, 65, 80, 112 ve 128. günlerde) 3 gün su altında bırakılması sonrasında yaprak K miktarının kontrole göre daha az olduğunu belirtmişlerdir.

Su altında kalma süresinin artması ile bitkilerin azot içeriklerinde istatistiksel olarak önemli ($P<0.05$) bir fark bulunamazken ve fosfor içeriklerinde istatistiksel olarak önemli ($P<0.01$) farklar bulunmuştur (Çizelge 4.47).

Çizelge 4.47. Pamuk yapraklarının azot ve fosfor içerikleri

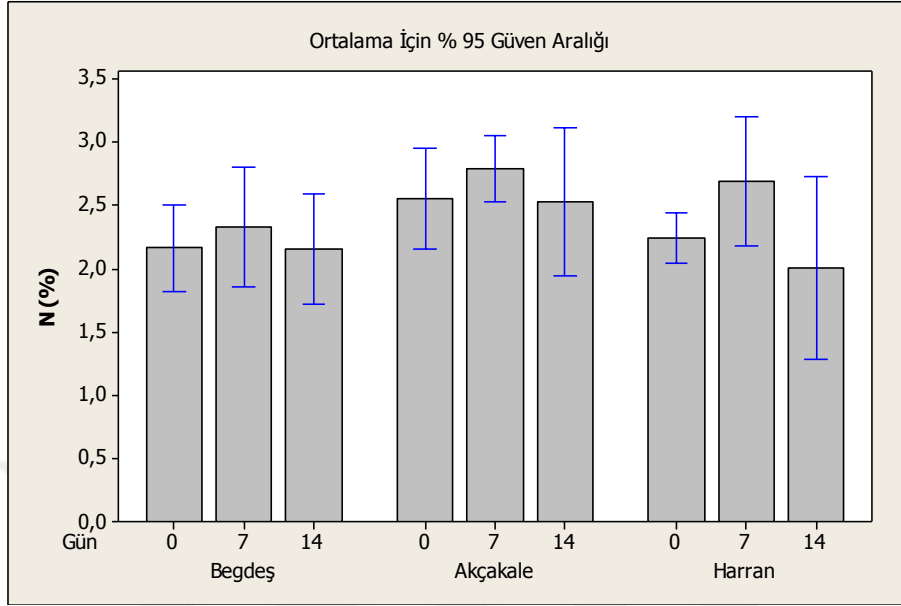
SAK* Süresi (Gün)	Begdeş Serisi		Akçakale Serisi		Harran Serisi	
	N (%)	P (%)	N (%)	P (%)	N (%)	P (%)
0	2.16	0.136 a	2.56	0.123 a	2.24	0.122 a
7	2.33	0.077 b	2.79	0.074 b	2.69	0.075 b
14	2.16	0.081 b	2.53	0.068 c	2.00	0.077 b
P	0.402	0.000	0.459	0.000	0.064	0.000

*SAK: Su Altında Kalma

Bitkilerin azot içerikleri su altında kalma süresinin artmasıyla Begdeş, Harran ve Akçakale Serisi topraklarında yetişen bitkilerde su altında kalmanın ilk haftasında artarken, ikinci haftasında azalmıştır (Şekil 4.41). Su altında kalma süresi ile yapılan varyans analizi sonuçlarına göre yaprakların azot içeriği arasındaki farklılık her ne kadar istatistiksel açıdan önemli bir değişiklik göstermese de su altında kalma süresinin artmasıyla negatif korelasyon göstermiştir (Çizelge A.13, A.14 ve A.15).

Normal havalanan topraklarda yetişen pamuk bitkisi yaprak N konsantrasyonları % 3.00 – 4.30 arasında değişmekte olup (Zengin, 2012); bitki yaşlandıkça azalmaktadır (Rochester vd., 2012). Bu azalışın sebebi azotun bitki içerisinde

taşınabilir olması ve koza oluşum döneminde bitki yapraklarından kozaya taşınmasından kaynaklanmaktadır (Rochester vd., 2012).

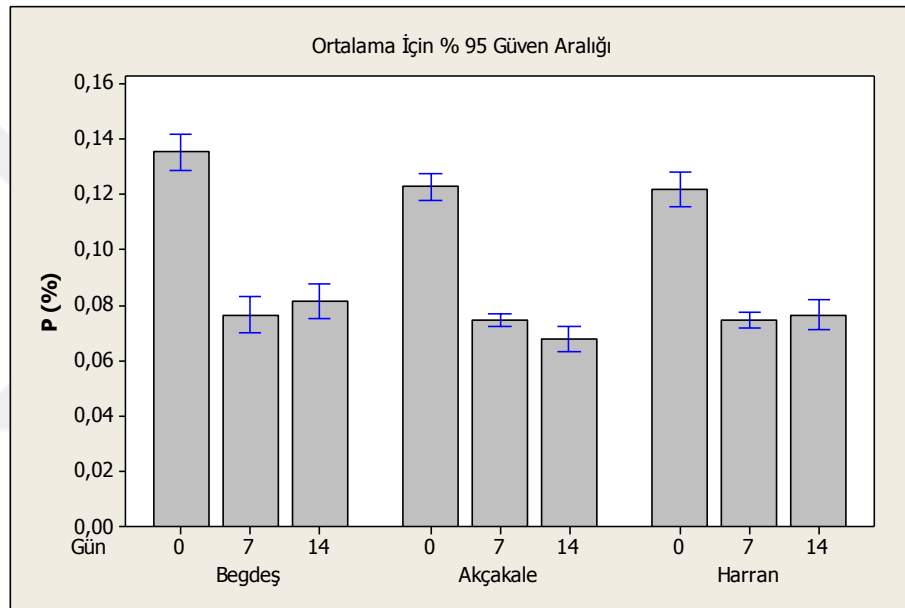


Şekil 4.41. Su altında bırakılan topraklarda yetişen pamuk bitkisi yaprak toplam N içerikleri

Bizim çalışmamızda su altında kalma süresinin artmasına bağlı olarak drenaj suyu NO_3 konsantrasyonu takip edilmiş, ancak su altında kalmanın ilk haftasında dahi drenaj suyunda nitrata rastlanılmamıştır. Saksıların su altında bırakılmasından 15 gün önce NH_4SO_4 formunda azotlu üst gübre verilmiş ve bu süreçte uygulanan NH_4 'ün çoğunluğunun nitrifikasyonla NO_3 'a dönüştüğü düşünülürse (Havlin vd., 1999), bu nitratında su altında kalmanın ilk günlerinde denitrifikasyon ile ortamdan uzaklaşması söz konusudur. Diğer taraftan su altında kalan topraklarda organik maddenin indirgen koşullarda ayrışmasıyla organik azot NH_4 'e dönüşmektedir. Reddy ve Patrick (1975) su altında kalan toprakların NO_3 içeriğinin ilk 3 gün içeriğinin % 95 azaldığını belirtmişlerdir. Drenaj suyundaki NO_3 konsantrasyonun azalmasına rağmen indirgen koşullarda NH_4 konsantrasyonu artmaktadır. Kozłowski ve Pallardy (1984) su altında kalan bitkilerdeki azot miktarının az olmasını topraktaki nitratin denitrifikasyonla uzaklaşması sonucunda ve bitkinin kök gelişiminin sınırlanması sonrasında besin maddesi alamamasından kaynakladığını belirtmişlerdir. Hocking vd. (1985) çiçeklenme başlangıcında 8 gün su altında bırakılan pamuk bitkisinin yaprak N içeriğinde % 16.7 azalma olduğunu belirtmişlerdir. Conaty vd. (2008) 19 gün su altında kalan 14 farklı pamuk çeşidinin normal havalanan şartlarda yetişen pamuk bitkisine göre daha az N içerdiğini belirtmişlerdir. Milroy vd. (2009) pamuk bitkisinin gelişme dönemlerinin farklı

zamanlarında (51, 65, 80, 112 ve 128. günlerde) 3 gün su altında bırakılması sonrasında yaprak N miktarının kontrole göre daha az olduğunu belirtmişlerdir. Greenwood vd. (1990), su altında kalan pamuk bitkisinin yaprak azot miktarının normal şartlarda yetişen bitkinin yaprak azot miktarından az olmasını, su altında kalma sonrasında kök gelişimi ve bitki gelişiminin yavaşlamasına bağlamışlardır.

Su altında kalma süresinin artmasıyla pamuk yapraklarının fosfor konsantrasyonu azalmıştır (Şekil 4.42). Su altında kalma süresi ile bitkilerin fosfor içerikleri arasında önemli negatif korelasyonlar ($r = -0.815^{**}$, $r = -0.838^{**}$ ve $r = -0.908^{**}$) bulunmuştur (Çizelge A.13, A.14 ve A.15).



Şekil 4.42. Su altında bırakılan topraklarda yetişen pamuk bitkisi yaprak P içerikleri

Normal havalandırılan topraklarda yetişen pamuk bitkisi yaprak P konsantrasyonları % 0.25 – 0.45 arasında değişmekte olup (Zengin, 2012); bitki olgunluğa yaklaştıkça azalmaktadır (Rochester vd., 2012). Bu azalışın sebebi, fosforun bitki içerisinde taşınabilir olması ve koza oluşum döneminde bitki yapraklarından kozaya taşınmasıdır (Rochester vd., 2012). Bizim çalışmamızda su altında kalma süresinin artmasına bağlı olarak drenaj suyu P konsantrasyonu takip edilmiş su altında kalma ile birlikte drenaj suyu P konsantrasyonunda artış meydana gelmiştir. Drenaj suyu P konsantrasyonunda artışa rağmen, su altında kalmanın devam etmesi ile birlikte bitkinin yaprak P içeriğinin azalması su altında iken pamuk bitkisinin fosforu alamadığını göstermektedir. Hocking vd. (1987) çiçeklenme başlangıcında 8 gün su altında bırakılan pamuk bitkisinin yaprak P içeriğinde % 13 azalma olduğunu

belirtmişlerdir. Conaty vd. (2008) 19 gün su altında kalan 14 farklı pamuk çeşidinin normal havalandırılan şartlarda yetişen pamuk bitkisine göre daha az P içerdiğini belirtmişlerdir. Milroy vd. (2009) pamuk bitkisinin gelişme dönemlerinin farklı zamanlarında (51, 65, 80, 112 ve 128. günlerde) 3 gün su altında bırakılması sonrasında yaprak P miktarının kontrole göre daha az olduğunu belirlemişlerdir.

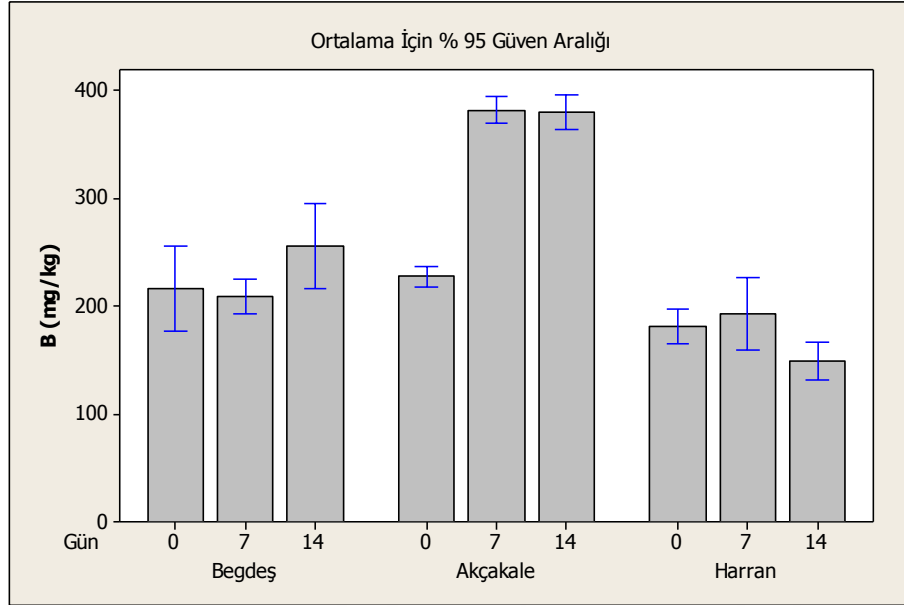
Su altında kalma süresinin artması göre bitkilerin bor içeriklerinde istatistiksel olarak önemli ($P < 0.05$) farklar olduğu bulunmuştur (Çizelge 4.48). Bitkilerin bor içerikleri su altında kalma süresinin artmasıyla Begdeş ve Akçakale Serisi topraklarında yetişen pamuklarda artarken, Harran Serisi topraklarında yetişen pamuklarda azalma göstermiştir (Şekil 4.43). Su altında kalma süresi ile Beğdeş ve Akçakale Serisi topraklarında yetişen bitkilerin bor içerikleri arasında önemli pozitif korelasyonlar ($r = 0.520^*$ ve $r = 0.854^{**}$) bulunurken, Harran Serisi topraklarında yetişen bitkilerin bor içerikleri arasında önemli negatif korelasyonlar ($r = -0.517^*$) bulunmuştur (Çizelge A.13, A.14 ve A.15).

Çizelge 4.48. Pamuk yapraklarının bor ve kükürt içerikleri

SAK* Süresi (Gün)	Begdeş Serisi		Akçakale Serisi		Harran Serisi	
	B (mg kg ⁻¹)	S (%)	B (mg kg ⁻¹)	S (%)	B (mg kg ⁻¹)	S (%)
0	216 b	0.976	227 b	0.86 b	181 a	0.793
7	209 b	1.122	382 a	1.08 a	193 a	0.972
14	255 a	1.238	380 a	1.06 a	149 b	1.018
P	0.038	0.220	0.000	0.004	0.010	0.241

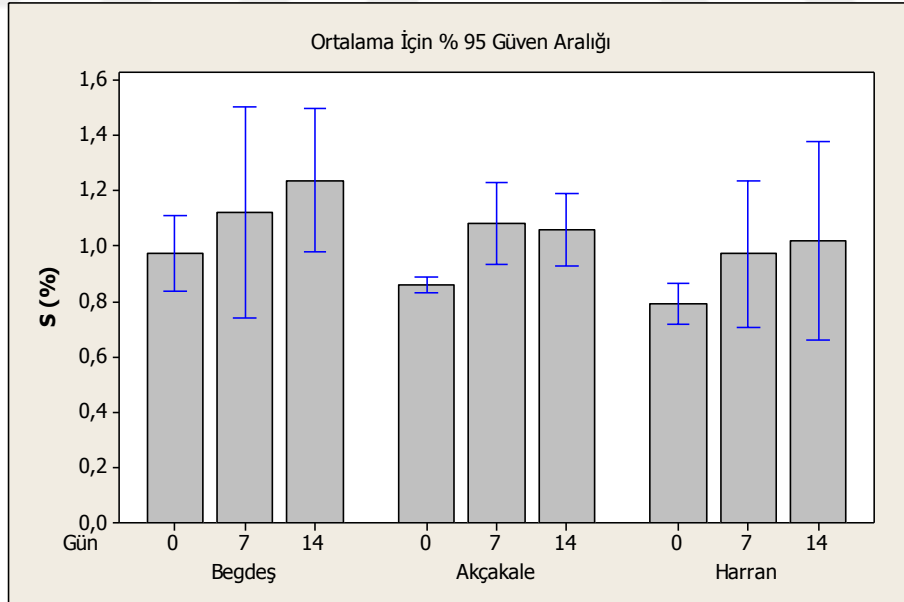
*SAK: Su Altında Kalma

Normal havalandırılan topraklarda yetişen pamuk bitkisi yaprak B konsantrasyonları 20 – 60 mg kg⁻¹ arasında değişmekte olup (Zengin, 2012); yetiştirme periyodunun artmasına bağlı olarak artmaktadır (Rochester vd., 2012). Bu artış, borun bitki içerisinde taşınmaması ve lüks tüketim ile bitki yapraklarında depolanmasından kaynaklanmaktadır. Bizim çalışmamızda su altında kalma süresinin artmasına bağlı olarak drenaj suyu B konsantrasyonu artmıştır. Drenaj suyundaki B konsantrasyonunun artmasına bağlı olarak su altında kalmanın devam etmesi ile birlikte bitkinin yaprak B içeriğinin arttığı düşünülmektedir. Milroy vd. (2009) pamuk bitkisinin gelişme dönemlerinin farklı zamanlarında (51, 65, 80, 112 ve 128. günlerde) 3 gün su altında bırakılması sonrasında yaprak B miktarının 112. güne kadar kontrolden daha az, 112. günden sonra kontrolde daha fazla olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 4.43. Su altında bırakılan topraklarda yetişen pamuk bitkisi yaprak B içerikleri

Beğdeş ve Harran Serisi topraklarında yetişen bitkilerin kükürt içeriklerinde istatistiksel olarak önemli ($P<0.05$) farklar bulunamazken, Akçakale Serisi topraklarında yetişen bitkilerin kükürt içeriklerinde istatistiksel olarak önemli ($P<0.05$) farklar bulunmuştur (Çizelge 4.48).



Şekil 4.44. Su altında bırakılan topraklarda yetişen pamuk bitkisi yaprak SO_4-S içerikleri

Bitkilerin kükürt içerikleri su altında kalma süresinin artmasıyla Beğdeş, Harran ve Akçakale Serisi topraklarında yetişen pamuklarda artmıştır (Şekil 4.44). Su altında kalma süresi ile Beğdeş, Harran ve Akçakale Serisi topraklarında yetişen bitkilerin

kükürt içerikleri arasında önemli ve önemsiz pozitif korelasyon ($r = 0.471$, $r = 0.435$ ve $r = 0.625^*$) bulunmuştur (Çizelge A.13, A.14 ve A.15).

Normal havalanan topraklarda yetişen pamuk bitkisi yaprak $\text{SO}_4\text{-S}$ konsantrasyonları % 0.08 – 2.08 arasında değişmekte olup (Cleveland ve Cervantes, 2007); yetiştirme periyodunun artmasına bağlı olarak artmaktadır (Rochester vd., 2012). Bu artışın sebebi kükürdün bitki içerisinde taşınmaması ve değişen çevre koşullarına göre ya daha fazla S alarak lüks tüketim yapması ya da stres koşullarına bağlı olarak bitki büyümesinin baskı altına alınmasıyla ilişkili olabilir. Bizim çalışmamızda su altında kalma süresinin artmasına bağlı olarak drenaj suyu $\text{SO}_4\text{-S}$ konsantrasyonu azalmıştır. Drenaj suyundaki $\text{SO}_4\text{-S}$ konsantrasyonunun azalmasına rağmen su altında kalmanın devam etmesi ile birlikte bitkinin yaprak $\text{SO}_4\text{-S}$ içeriğinin artması azotlu gübrenin NH_4SO_4 şeklinde verilmesinden dolayı indirgen şartlar oluşmasına rağmen toprakta hala fazla miktarda $\text{SO}_4\text{-S}$ olmasından ve bitki tarafından alınan sülfatın bitki içerisinde taşınmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca buharlaşma kaybının giderilmesi için yeni verilen sulama suyundaki SO_4 'te bitkilerin S ihtiyacını kısmen de olsa karşılayabileceği görülmektedir (Çizelge 4.36). Conaty vd. (2008) 19 gün su altında kalan 14 farklı pamuk çeşidinin normal havalanan şartlarda yetişen pamuk bitkisine göre daha az S içerdiğini belirtmişlerdir. Milroy vd. (2009) pamuk bitkisinin gelişme dönemlerinin farklı zamanlarında (51, 65, 80, 112 ve 128. günlerde) 3 gün su altında bırakılması sonrasında yaprak S miktarının kontrole göre daha az olduğunu belirtmişlerdir.

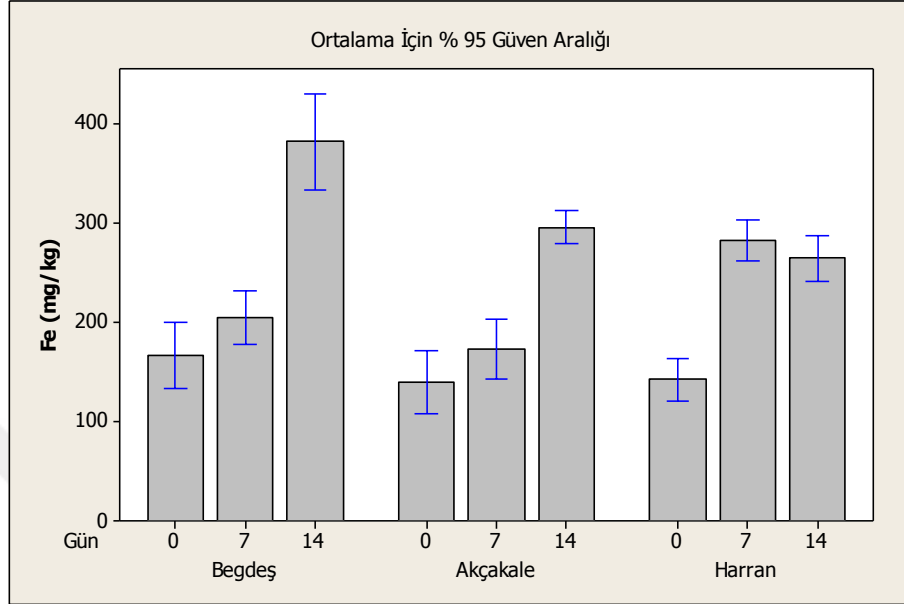
Su altında kalma süresiyle yapılan varyans analizi sonuçlarına göre artması ile bitkilerin demir içeriklerinde istatistiksel olarak önemli ($P < 0.01$) farklar olduğu bulunurken; Beğdeş Serisi dışındaki topraklarda yetişen bitkilerin mangan içeriklerindeki farklılıklar ise istatistiksel olarak önemli ($P < 0.05$) olmadığı bulunmuştur (Çizelge 4.49).

Çizelge 4.49. Pamuk yapraklarının demir ve mangan içerikleri

SAK* Süresi (Gün)	Beğdeş Serisi		Akçakale Serisi		Harran Serisi	
	Fe (mg kg^{-1})	Mn (mg kg^{-1})	Fe (mg kg^{-1})	Mn (mg kg^{-1})	Fe (mg kg^{-1})	Mn (mg kg^{-1})
0	166 b	134 c	139 c	184	143 b	205
7	204 b	208 b	173 b	179	282 a	229
14	382 a	360 a	295 a	204	264 a	271
P	0.000	0.000	0.000	0.376	0.000	0.075

*SAK: Su Altında Kalma

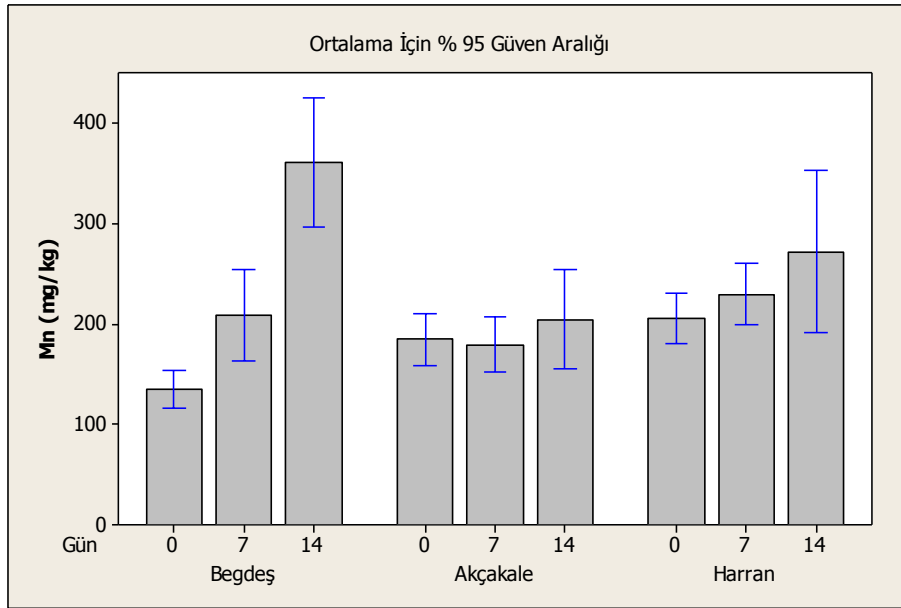
Bitkilerin demir içerikleri su altında kalma süresinin fonksiyonu olarak artmıştır (Şekil 4.45). Su altında kalma süresi ile bitkilerin demir içerikleri arasında önemli pozitif korelasyon ($r = 0.681^{**}$, $r = 0.776^{**}$ ve $r = 0.912^{**}$) bulunmuştur (Çizelge A.13, A.14 ve A.15).



Şekil 4.45. Su altında bırakılan topraklarda yetişen pamuk bitkisi yaprak Fe içerikleri

Normal havalanan topraklarda yetişen pamuk bitkisinin yaprak Fe konsantrasyonları $40 - 300 \text{ mg kg}^{-1}$ arasında değişmekte olup (Zengin, 2012); bitki yaşı ile ters orantılıdır (Rochester vd., 2012). Ancak bu çalışma da bu genel eğilime ters bir durum söz konusudur zira demirin bitki içerisinde taşınmamasına rağmen indirgen şartlarda çözünabilir Fe miktarının artması bitki yapraklarında Fe miktarının artmasına neden olmuştur. Bizim çalışmamızda su altında kalma süresinin artmasına bağlı olarak drenaj suyu Fe konsantrasyonu artmış buna bağlı olarak ta bitki yaprak Fe miktarının arttığı görülmektedir (Çizelge A.10, A.11 ve A.12). Conaty vd. (2008) 19 gün su altında kalan 14 farklı pamuk çeşidinin normal havalanan şartlarda yetişen pamuk bitkisine göre daha fazla Fe içerdiğini belirtmişlerdir.

Bitkilerin mangan içerikleri su altında kalma süresinin artmasıyla artmıştır (Şekil 4.46). Su altında kalma süresi ile bitkilerin mangan içerikleri arasında önemli ve önemsiz pozitif korelasyonlar ($r = 0.924^{**}$, $r = 0.585^{**}$ ve $r = 0.290$) bulunmuştur (Çizelge A.13, A.14 ve A.15).



Şekil 4.46. Su altında bırakılan topraklarda yetişen pamuk bitkisi yaprak Mn içerikleri

Normal havalanan topraklarda yetişen pamuk bitkisi yaprak Mn konsantrasyonları 30 – 300 mgkg⁻¹ arasında değişmekte olup (Zengin, 2012) yetiştirme periyodunun artmasına bağlı olarak artmaktadır (Rochester vd., 2012). Bu artışın sebebi mangan bitki içerisinde taşınmaması ve ilerleyen dönemde bitkinin göreceli olarak daha yavaş büyümesi nedeniyle alınan Mn'nin yapraklarda birikmesidir. Bizim çalışmamızda su altında kalma süresinin artmasına bağlı olarak drenaj suyu Mn konsantrasyonu artmış buna bağlı olarak ta bitki yapraklarının Mn konsantrasyonunun arttığı görülmektedir. Hocking vd. (1987) çiçeklenme başlangıcında 8 gün su altında bırakılan pamuk bitkisinin yaprak Mn içeriğinde % 5 artma olduğunu belirtmişlerdir. Conaty vd. (2008) mevcut bulguların tersine 19 gün su altında kalan 14 farklı pamuk çeşidinin normal havalanan şartlarda yetişen pamuk bitkisine göre daha az Mn içerdiğini belirtmişlerdir. Milroy vd. (2009) pamuk bitkisinin gelişme dönemlerinin farklı zamanlarında (51, 65, 80, 112 ve 128. günlerde) 3 gün su altında bırakılması sonrasında yaprak Mn miktarının kontrole göre daha az olduğunu belirtmişlerdir.

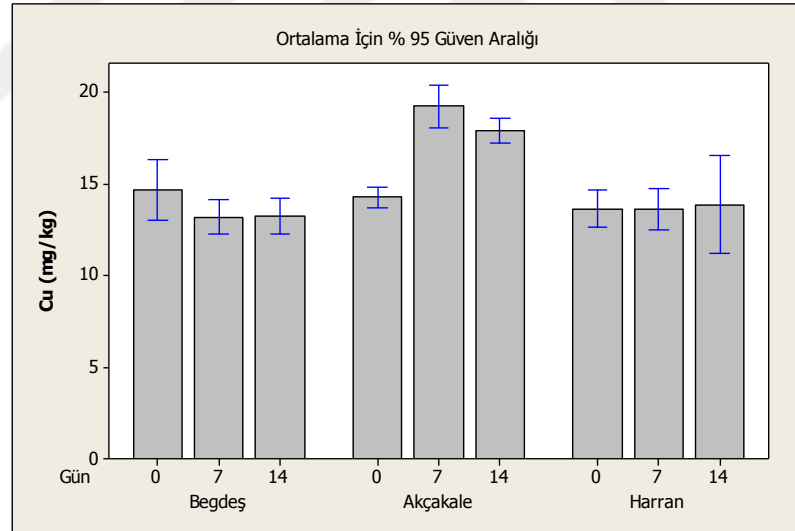
Su altında kalma süresinin artması ile Beğdeş ve Harran Serisi topraklarında yetişen bitkilerin bakır içeriklerinde istatistiksel olarak önemli ($P<0.05$) farklar bulunamazken, Akçakale Serisi topraklarında yetişen bitkilerin bakır içeriklerindeki farklılıkların istatistiksel olarak önemli ($P<0.05$) olduğu bulunmuştur. Su altında kalma süresi her üç toprakta da bitkilerin çinko içeriklerinde istatistiksel olarak önemli ($P<0.01$) farklılıklara neden olmuştur (Çizelge 4.50).

Çizelge 4.50. Pamuk yapraklarının bakır ve çinko içerikleri

SAK* Süresi (Gün)	Begdeş Serisi		Akçakale Serisi		Harran Serisi	
	Cu (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)	Zn (mg kg ⁻¹)
0	14.6	20.9 a	14.2 c	19.8 a	13.6	12.7 a
7	13.2	12.5 b	19.2 a	15.6 b	13.6	10.1 b
14	13.2	10.9 b	17.9 b	14.9 c	13.8	8.78 b
P	0.060	0.000	0.000	0.000	0.958	0.018

*SAK: Su Altında Kalma

Bitkilerin bakır içerikleri su altında kalma süresinin artmasıyla Begdeş Serisi topraklarında yetişen pamuklarda azalırken, Harran Serisi topraklarında yetişen pamuklarda değişiklik göstermemiş ve Akçakale Serisi topraklarında yetişen pamuklarda dalgalanma göstermiştir (Şekil 4.47). Su altında kalma süresi ile Beğdeş Serisi topraklarında yetişen bitkilerin bakır içerikleri arasında önemli negatif korelasyon ($r = -0.523^*$) bulunurken, Akçakale Serisi topraklarında yetişen bitkilerin bakır içerikleri arasında önemli pozitif korelasyon ($r = 0.679^*$) bulunmuştur (Çizelge A.13, A.14 ve A.15).

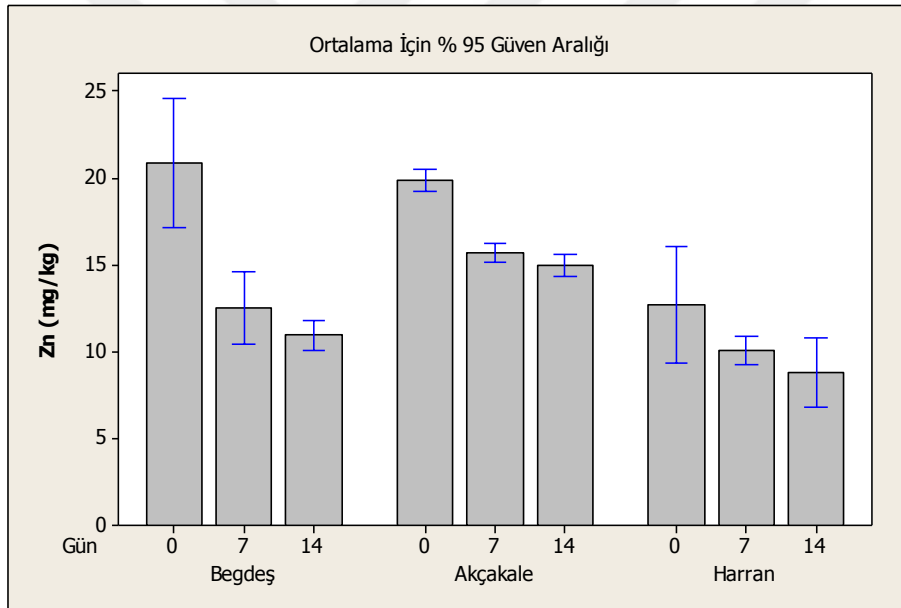


Şekil 4.47. Su altında bırakılan topraklarda yetişen pamuk bitkisi yaprak Cu içerikleri

Normal havalandırılan topraklarda yetişen pamuk bitkisi yaprak Cu konsantrasyonları 5 – 25 mgkg⁻¹ arasında değişmekte olup (Zengin, 2012); hasada yaklaşıldıkça azalmaktadır (Rochester vd., 2012). Bu azalışın sebebi, bakırın bitki içerisinde koza oluşum döneminde bitki yapraklarından kozaya taşınmasıdır (Rochester vd., 2012). Bizim çalışmamızda su altında kalma süresinin artmasına bağlı olarak drenaj suyu Cu konsantrasyonu su altında kalmanın ilk günlerinde artmış daha sonrada azalmıştır. İndirgen koşullarda oluşan sülfid bileşikler Cu ile çözünürlüğü düşük

bileşikler oluşturmaktadır (Rowell, 1982; Ponnampurna, 1984; Sposito, 2008). Diğer taraftan indirgen koşullar bitkinin kök gelişimini olumsuz etkilediğinden toprakta var olan besin maddelerinin bile alımı azalabilmektedir. Ayrıca indirgen koşullarda artan Fe ve Mn konsantrasyonu diğer katyonik mikro elementlerin alımı üzerine antagonistik etki oluşturabilmektedir. Milroy vd. (2009) pamuk bitkisinin gelişme dönemlerinin farklı zamanlarında (51, 65, 80, 112 ve 128. günlerde) 3 gün su altında bırakılması sonrasında yaprak Cu miktarının kontrole göre daha az olduğunu belirtmişlerdir.

Bitkilerin çinko içerikleri su altında kalma süresinin artmasıyla azalmıştır (Şekil 4.48). Su altında kalma süresi ile bitkilerin çinko içerikleri arasında önemli negatif korelasyonlar ($r = -0.611^*$, $r = -0.689^{**}$ ve $r = -0.907^{**}$) bulunmuştur (Çizelge A.13, A.14 ve A.15).



Şekil 4.48. Su altında bırakılan topraklarda yetişen pamuk bitkisi yaprak Zn içerikleri

Normal havalandırılan topraklarda yetişen pamuk bitkisinin yaprak Zn konsantrasyonları $20 - 100 \text{ mg kg}^{-1}$ arasında değişmekte olup (Zengin, 2012); generatif gelişme dönemlerinin başlamasıyla azalmaktadır (Rochester vd., 2012). Bu azalışın sebebi çinkonun bitki içerisinde koza oluşum döneminde yapraklardan kozaya taşınmasından kaynaklanmaktadır (Rochester vd., 2012). Bizim çalışmamızda su altında kalma süresinin artmasına bağlı olarak drenaj suyu Zn konsantrasyonu cihaz dedeksiyon limitinin ($\text{ICP} - \text{OES}, >0.2 \text{ } \mu\text{g.kg}^{-1}$) altında kaldığı için belirlenememiştir. Bu da indirgen koşullarda Zn'nin çözelti fazından çökme ve/veya adsorpsiyon

reaksiyonlarıyla bitkiye yarayışsız fraksiyonlarda tutulduğuna işaret etmektedir. Milroy vd. (2009) pamuk bitkisinin gelişme dönemlerinin farklı zamanlarında (51, 65, 80, 112 ve 128. günlerde) 3 gün su altında bırakılmasının bile yaprak Zn konsantrasyonunun kontrole göre azalmasına neden olduğunu bildirmişlerdir.

4.2.5. Su altında kalan saksı topraklarının fosfor fraksiyonları

4.2.5.1. Saksı topraklarının NaOH ile ekstrakte edilen P fraksiyonları

Bü tün toprakların NaOH-P fraksiyonlarındaki zamana bağlı olarak meydana gelen değişim istatistiksel olarak ($P < 0.01$) önemli bulunmuş (Çizelge 4.51) ve su altın kalma süresinin artmasıyla kolay çözünebilir fraksiyondaki fosfor miktarında artış meydana gelmiştir (Çizelge 4.51).

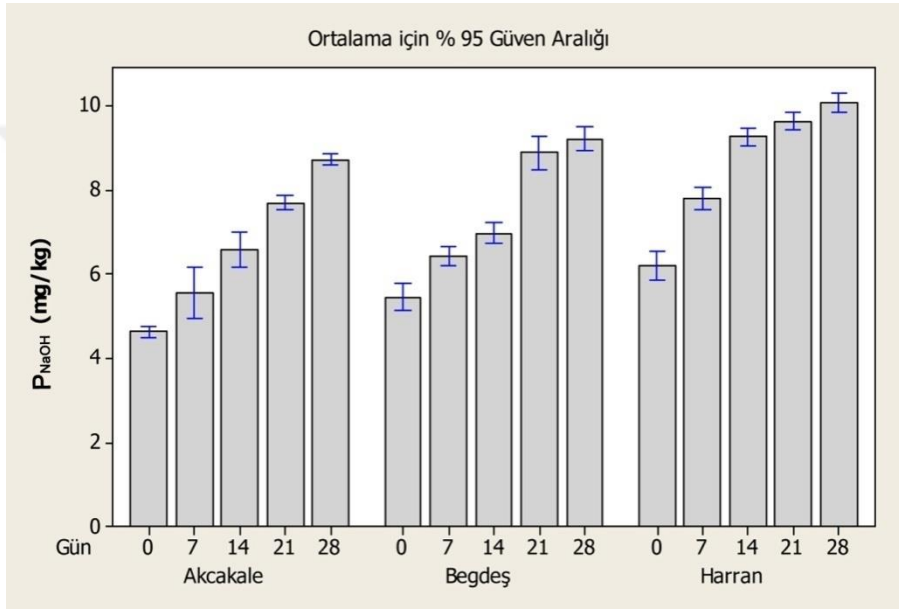
Çizelge 4.51. Saksı denemesinde kullanılan toprakların NaOH-P fraksiyonlarının zamanla değişimi

Su Alt. Kalma Süresi (Gün)	NaOH-P (mg kg ⁻¹) Begdeş Serisi	NaOH-P (mg kg ⁻¹) Akçakale Serisi	NaOH-P (mg kg ⁻¹) Harran Serisi
0	5.46 e	4.62 e	6.20 e
7	6.44 d	5.54 d	7.77 d
14	6.98 c	6.59 c	9.27 c
21	8.87 b	7.69 b	9.63 b
28	9.22 a	8.72 a	10.1 a
<i>P</i>	0.000	0.000	0.000

Saksı denemesinde kullanılan toprakların NaOH-P fraksiyonları su altında kalma süresinin artmasıyla artış göstermiştir (Şekil 4.49). Su altında kalma süresi ile topraklarının NaOH-P fraksiyonu arasında önemli pozitif korelasyonlar ($r = 0.967^{**}$, $r = 0.985^{**}$ ve $r = 0.947^{**}$) bulunmuştur (Çizelge A.16, A.17 ve A.18).

Su altında kalma sonrasında NaOH-P konsantrasyonunda artış meydana gelmiş ve bu artışın su altında kalma sürecinde indirgenen Fe-P bileşiklerinin salınımı ve çözünen Ca:P oranı düşük, göreceli olarak kolay çözünebilir Ca-P bileşikleri şeklinde çökmesinden kaynakladığı düşünülmektedir. Shenker vd. (2005), su altında kalan kireçli topraklarda indirgen şartlarda salınan fosforun Ca-P bileşikleri tarafından kontrol edildiğini belirtmişlerdir. Ma vd., (2010), ardışık olarak su altında redüksiyon ve oksidasyona bırakılan çeltik topraklarında, indirgenmiş şartlarda toprakların DCP fraksiyonlarında artış olduğunu ve toprakta var olan Fe-P bileşiklerinin indirgen şartlarda çözünerek DCP şeklinde çökeldiğini belirtmişlerdir.

Benzer olarak Shah vd. (2010), alkalın özellikli topraklarda su altında kalma sonrasında ortama eklenen fosforun yüzey toprağında (Eh değerinin aerobik olduğu) Fe-P bileşikler şeklinde tutulduğunu, yüzey altı toprağında (Eh değerinin anaerobik olduğu) Ca ve Mg formunda bulunduğunu belirtmişlerdir. Ancak, Fisher (1983), su altında kalan topraklara P uygulanması sonucunda vivanit ($\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) miktarında artış olduğunu; bunu da Fe (III) oksit ve hidroksitlerin indirgenmesi sonucunda oluşan Fe^{+2} ile eklenen fosforun tekrar çökmesiyle açıklamıştır (Sanyal ve De Datta, 1991). Amer vd. (1991)'de benzer olarak indirgenmiş şartlarda ortama eklenen fosforun vivanit şeklinde çökeldiğini belirtmişlerdir.



Şekil 4.49. Saksı denemesinde kullanılan toprakların NaOH-P fraksiyonlarının zamanla değişimi

Quintero vd. (2007) 45 gün su altında bırakılan toprakların NaHCO_3 ve NaOH ile ekstrakte edilebilir P miktarını belirlemişlerdir. Araştırma sonuçlarına göre her iki ekstraktant kullanıldığında da su altında kalma sonrasında ekstrakte edilen fosforun daha fazla olduğu, ancak, NaOH ile yapılan ekstraktsiyonda NaHCO_3 'e göre daha fazla fosfor çözündüğünü belirtmişlerdir. Bölüm 4.1.4'te açıklandığı üzere ekstraktantın NaOH olması Fe-P ve Al-P bileşiklerinin bir kısmını ve organik madde yüzeyine adsorbe olmuş fosforu da çözebilmektedir (Williams vd., 1971; Rowell, 1981; Hedley vd., 1982; Gu ve Jiang, 1990; Kuo, 1996; Villapando ve Graetz, 2001). Sun vd. (2009) su altında kalan sedimentlerin fosfor salınımının kolay çözünebilir P, Fe bileşiklerine bağlı P ve Al bileşiklerine bağlı P tarafından yönetildiği belirtmişlerdir. Yukarıda verilen literatürler ışığında su altında kalma sonucunda artan fosfatın Fe ve Al bileşikler tarafından çökeldiği göz önünde

bulundurulduğunda NaOH-P fraksiyonundaki artışın kaynağı daha iyi anlaşılabilir. Shen vd. (2004) 14 yıl çeltik tarımı yapılan araziye fosforlu gübrenin uygulanması ve uygulanmaması sonucunda Ca₂-P (0.25 M NaHCO₃ ile ekstrakte edilebilir P) miktarının gübreleme yapılmayan parselde göre arttığını tespit etmişlerdir.

4.2.5.2. Saksı topraklarının CDB ile ekstrakte edilen P fraksiyonları

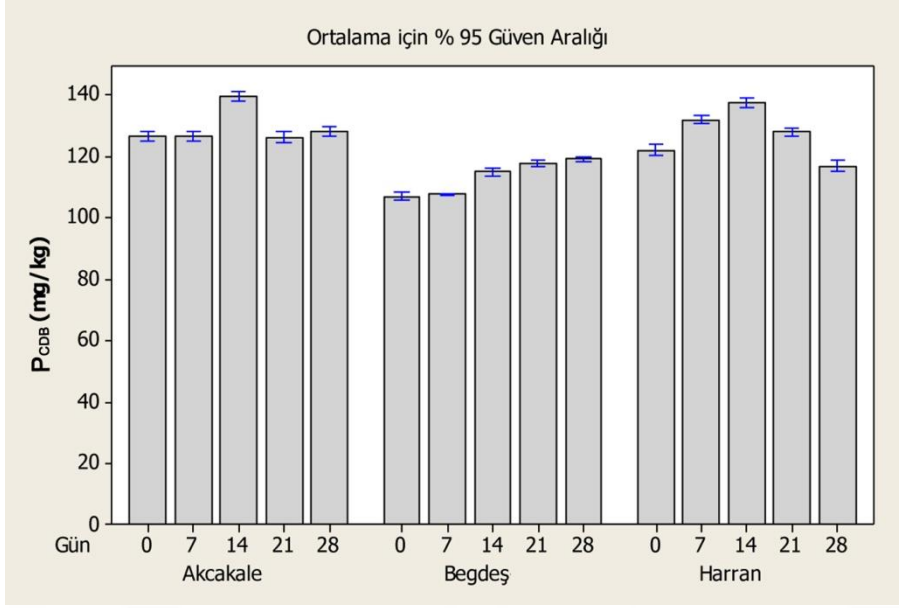
Saksı denemesinde kullanılan toprakların CDB-P fraksiyonlarındaki zamana bağlı olarak meydana gelen değişim istatistiksel olarak ($P < 0.01$) önemli bulunmuştur (Çizelge 4.52). Harran ve Akçakale serisi topraklarının indirgenebilen demire bağlı fosfor fraksiyonunda su altında kalma süresinin ilk 14 gününde artış meydana gelirken, daha sonraki 14 gününde azalma meydana gelmiştir (Çizelge 4.52). Beğdeş serisi toprağında ise su altında kalma süresinin artmasıyla demire bağlı fosfor fraksiyonunda artış meydana gelmiştir (Çizelge 4.52).

Çizelge 4.52. Saksı denemesinde kullanılan toprakların CDB-P fraksiyonlarının zamanla değişimi

Su Alt. Kalma Süresi (Gün)	CDB-P (mg kg ⁻¹) Beğdeş Serisi	CDB-P (mg kg ⁻¹) Akçakale Serisi	CDB-P (mg kg ⁻¹) Harran Serisi
0	107 d	127 bc	122 d
7	108 d	127 bc	132 b
14	115 c	140 a	137 a
21	118 b	126 c	128 c
28	120 a	128 b	117 e
<i>P</i>	0.000	0.000	0.000

Saksı denemesinde kullanılan toprakların CDB-P fraksiyonları su altında kalma süresinin artmasıyla Beğdeş Serisi toprağında artış gösterirken, Akçakale ve Harran serisi topraklarında önemli bir korelasyon bulunamamıştır (Şekil 4.50). Su altında kalma süresi ile Beğdeş Serisi topraklarının CDB-P fraksiyonu arasında önemli pozitif korelasyonlar ($r = 0.953^{**}$) bulunmuştur (Çizelge A.16, A.17 ve A.18).

Gübreleme ile eklenen ve su altında kalma süresinde çözünen Ca-P ve Fe-P bileşiklerinden sağlanan fosforun CDB-P fraksiyonu artırdığı düşünülmektedir. Toprakların CDB-P fraksiyonunun değerlendirilmesinde redoks şartlarının değişkenliğine göre su altında bırakılma süresi 0-14 ve 14-28 şeklinde ayrıldığında sonuçlar anlamlı bir şekilde açıklanabilmektedir.



Şekil 4.50. Saksı denemesinde kullanılan toprakların CDB-P fraksiyonlarının zamanla değişimi

Şekil 4.31’de verilen drenaj suyu P konsantrasyonları göz önünde bulundurulduğunda, Akçakale ve Harran Serilerindeki CDB-P fraksiyonunun artması ve drenaj suyunun da P konsantrasyonunun azalmasına indirgenmenin az olmasına bakılırsa ilk 14 gün içerisinde çözültideki fosforun Fe bileşiklerine adsorbe olarak çöktüğü ve bitki tarafından alınmasıyla azaldığı düşünülmektedir. Zira ilk 14 günlük süreçte bitki gelişimi kısmen de olsa devam etmektedir. 14 gün sonrasında ise bitki gelişimi tüm topraklarda olumsuz etkilendiği için bu dönemde bitki tarafından kaldırılan P göz ardı edildiğinde ilgili fraksiyondaki değişimlerin büyük ölçüde toprakta redoks koşullarına bağlı reaksiyonlar çerçevesinde olduğu varsayılabilir. Amarawansha vd. (2015) Fe bileşiklerinin indirgemeye başlaması için redoks potansiyelinin 100 mV altına düşmesi gerektiğini, redoks potansiyelinin 100 mV altına inmesi içinde yaklaşık 3 hafta gerektiğini belirtmişlerdir. Yani su atlında bırakılmanın ilk 14 gününde Fe bileşiklerinin fosfor adsorbsiyonu sonucunda CDB-P fraksiyonunu artırdığı, daha sonra ise indirgen şartların tamamen oluşması sonrasında adsorbe olan fosforun tekrar salınımından kaynaklan bir artış olduğu düşünülmektedir. Beğdeş Serisine bakıldığında drenaj suyu P konsantrasyonunda değişiklik 28 günde istatistiksel olarak farklılık göstermiş ve ilk 21 gün içerisinde sabit kalmıştır. Bu süreçte Beğdeş serisinin amorf Fe içeriğinin yüksek olmasından dolayı çözültideki fosforu daha hızlı adsorbe ederek drenaj suyu P miktarını artırmadığı düşünülmektedir.

Willett (1986), su altında kalma sonrasında artan çözelti fazındaki P miktarının zamanla azaldığını ve amorf demir tarafından tutulduğunu belirtmiştir. Fisher (1983), su altında kalan topraklara P uygulanması sonucunda vivanit ($\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) miktarında artış olduğunu, bunda indirgenme sonrasında artan Fe^{+2} ve eklenen fosfordan kaynaklandığını belirtmiştir (Sanyal ve De Datta, 1991). Amer vd., (1991) Nil nehri kenarındaki çeltik yetiştirilen kireçli toprakların su altında kalma sürecinde fosfor adsorpsiyon araştırdıkları çalışmada, su altında kalma süresi arttıkça gübre uygulayarak inkübasyona bırakılan topraklarda P miktarında önemli azalışlar olduğunu, yüksek redoks potansiyelinde ($\text{pe}+\text{pH}>11$) eklenen fosforun trivalent Mn fosfat ($\text{MnPO}_4 \cdot 1.5\text{H}_2\text{O}$) şeklinde çökeldiği belirtilirken, düşük redoks potansiyelinde ($3.4<\text{pe}+\text{pH}<6.0$) vivanit ($\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) şeklinde çökeldiğini belirtmişlerdir. Villapando ve Graetz (2001), yoğun olarak ahır gübresi kullanılmış ve çözünabilir P miktarı yüksek olan toprağın su altında bırakılması sonucunda yüzey altı katmanda Fe/Al-P bileşiklerinin miktarının arttığını belirtmişlerdir. Shen vd. (2004) gübreli ve gübresiz parsellerde 14 yıl çeltik tarımı yapılan arazide Fe-P miktarının gübreleme yapılmayan parselde göre önemli ölçüde arttığını belirtmişlerdir.

4.2.5.3. Saksı topraklarının HCl ile ekstrakte edilen P fraksiyonları

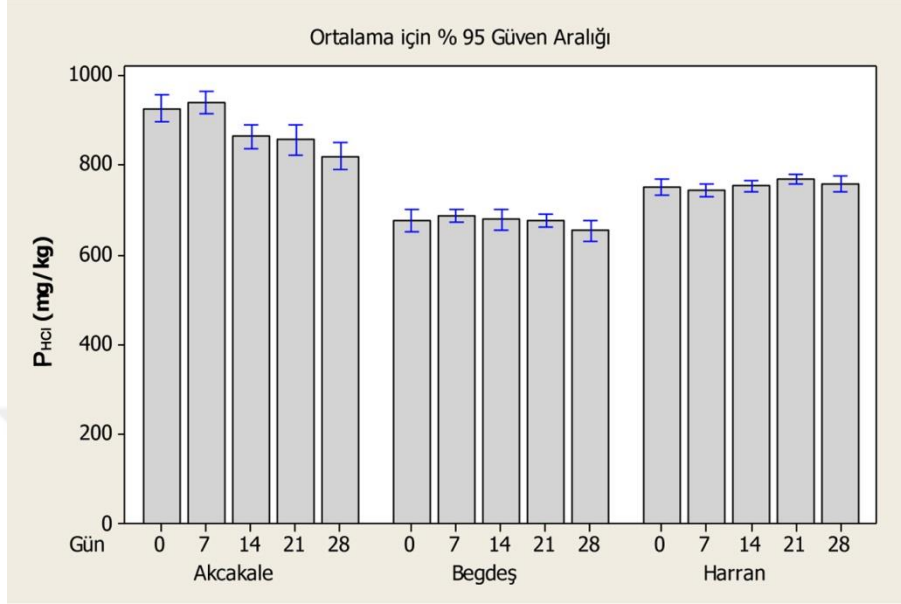
Saksı denemesinde kullanılan toprakların HCl-P fraksiyonlarındaki zamana bağlı olarak meydana gelen değişim Akçakale serisi için istatistiksel olarak ($P<0.05$) önemli bulunurken, Harran ve Beğdeş serisi toprakları için istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.53).

Çizelge 4.53. Saksı denemesinde kullanılan toprakların HCl-P fraksiyonlarının zamanla değişimi

Su Alt. Kalma Süresi (Gün)	HCl-P (mg kg^{-1}) Beğdeş Serisi	HCl-P (mg kg^{-1}) Akçakale Serisi	HCl-P (mg kg^{-1}) Harran Serisi
0	676	927 a	751
7	687	939 a	744
14	679	863 b	754
21	676	856 b	768
28	654	820 c	758
P	0.057	0.000	0.064

Saksı denemesinde kullanılan toprakların HCl-P fraksiyonları su altında kalma süresinin artmasıyla Beğdeş ve Akçakale Serisi topraklarında azalış gösterirken, Harran serisi toprağında artış göstermiştir (Şekil 4.51). Su altında kalma süresi ile Beğdeş ve Akçakale Serisi topraklarının HCl-P fraksiyonu arasında önemli negatif

korelasyonlar ($r = -0.420^*$ ve $r = -0.845^{**}$) bulunurken, Harran serisi toprağının HCl-P fraksiyonu arasında önemli pozitif korelasyonlar ($r = 0.401^*$) bulunmuştur (Çizelge A.16, A.17 ve A.18).



Şekil 4.51. Saksı denemesinde kullanılan toprakların HCl-P fraksiyonlarının zamanla değişimi

Toprakların su altında kalması sonrasında HCl-P fraksiyonunda meydana gelen değişiklikler toprak özelliklerine göre farklılık göstermektedir. Normal havalandırılan topraklarda gübreleme sonrasında HCl-P fraksiyonunun artışlar meydana gelirken (Halajnia vd., 2009; Jajali ve Ranjbar, 2010; Wang vd., 2010), su altında kalma sonrasında artış yada azalmalar meydana gelebilmektedir (Amer vd., 1991; Villapando ve Graetz, 2001; Ma vd., 2010). Çalışmamızda Beğdeş ve Akçakale serilerinin HCl-P fraksiyonu 28 gün su altında kalma sonrasında azalırken, Harran serisinde ise artmıştır. Beğdeş ve Akçakale serisindeki bu azalışın sebebinin HCl-P fraksiyonundan NaOH-P ve CDB-P fraksiyonuna geçiş olduğu düşündürmektedir. Akçakale ve Beğdeş serilerinin HCl-P ile NaOH-P ve CDB-P fraksiyonu arasındaki önemli negatif korelasyona ($P < 0.01$) bakıldığında HCl-P fraksiyonundan NaOH-P ve CDB-P fraksiyonlarına fosfor geçişinin olduğu ihtimalini kuvvetlendirmektedir (Ek 16 ve 17). Harran serisi HCl-P fraksiyonundaki artış ise CDB-P fraksiyonunun indirgenmesi ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir.

Ponnamperuma (1985), su altında kalma sonrasında meydana gelen anaerobik ayrışma sonucunda ortaya çıkan CO₂'nin suda çözünmesi sonucunda düşen toprak pH'sından dolayı kireçli topraklardaki okta kalsiyum fosfat, β -trikalsiyum fosfat, hidroksiapatit ve flor apatitin çözünürlüğünün artacağını ileri sürmüştür. Bu çözünme

ile toprakların HCl-P fraksiyonunda azalmalar meydana geleceği düşünölmektedir. Amer vd. (1991), gübrelemeyi müteakip indirgen şartlarda bekletilen kireçli topraklarda hidroksiapatitin (HAP) saturasyon indeksinin inkübasyonun ilk gününde 4.7 iken, 170 günlük inkübasyon sonrasında 4.0'a düştüğünü belirtmiştir. Araştırmacılar saturasyon indeksindeki bu düşüşten dolayı topraklardaki HAP'ın su altında kalma sonrasında çözünmeye meyil ettiğini belirtmişlerdir. Villapando ve Graetz (2001) ve Ma vd. (2010) ise su altında 30 gün bekletilen çeltik topraklarının HCl-P fraksiyonunda artış olduğunu belirtmişlerdir.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmada fiziksel ve kimyasal özellikleri farklı 3 kireçli toprak kullanılmış ve bu toprakların mineral fosfor fraksiyonları arasındaki geçişleri inkübasyon süresinin bir fonksiyonu olarak incelenmiştir.

Toprakların gübresiz ve gübreli olarak 28 °C’de inkübatörde su altında bırakılması sonucunda pH ve Eh değerlerinde düşüş meydana gelirken, EC değerinde artışlar meydana gelmiştir.

Toprakların gübresiz olarak su altında bırakılması sonucunda; su altında kalma süresinin artmasıyla birlikte toprak pH’sında düşüşler meydana gelmiş ve buna bağlı olarak ise Ca-P bileşikler ile indirgen şartlarda Fe-P bileşiklerinde meydana gelen çözümlerden dolayı çözelti fazındaki P konsantrasyonu artmıştır. Çözelti fazındaki fosfat artışı ise NaOH-P fraksiyonu ve CDB-P fraksiyonunda önemli artışlar meydana getirmiştir.

Toprakların gübreli olarak (inkübatörde) su altında bırakılması sonucunda eklenen fosfor NaOH-P, CDB-P ve HCl-P fraksiyonunda önemli artışlar meydana getirmiş ve eklenen fosforun % 70 – 80’i ilk 7 gün içerisinde toprak bileşenleri tarafından tutulmuş ya da katı fazlar şeklinde çökelmiştir.

Toprakların gübresiz ve gübreli olarak tarla kapasitesinde (inkübatörde) bekletilmesi sonucunda inkübasyon süresinin artmasıyla birlikte NaOH-P ve CDB-P fraksiyonunda artışlar meydana gelirken, HCl-P fraksiyonunda önemli değişimler olmamıştır.

Saksıda pamuk yetiştirilen toprakların yetiştiricilik süreci ortasında (Harran Ovası’nda taban suyu yükselmeye başladığı dönemde) su altında bırakılması sonucunda toprakların pH değerlerinde düşüşler meydana gelirken, EC değerlerinde artış olmasına rağmen bu artışın istatistiksel olarak önemli olmadığı belirlenmiştir.

Pamuk yetiştirilen toprakların su altında kalma süresinin artmasıyla drenaj sularının Fe, Mn, P, Na, Mg, B, Cl, HCO₃, CO₃ konsantrasyonlarında artışlar meydana gelirken; Ca, K, Cu, NO₃ ve SO₄ konsantrasyonlarında azalmalar meydana gelmiştir.

Saksıda yetiştirilen pamukların su altında kalma süresinin artmasıyla yaprak Ca, Mg, Na, S, Fe ve Mn içeriklerinde artışlar meydana gelirken; K, P, Zn ve N içeriklerinde azalmalar meydana gelmiştir.

Su altında bırakılan saksı toprakların hasat sonrasında kurutulması sonucunda NaOH-P fraksiyonun her üç toprak içinde arttığı; CDB-P fraksiyonun Beğdeş serisi için artarken, Harran ve Akçakale serilerinde önce arttığı sonra azaldığı; HCl-P fraksiyonunun ise Beğdeş ve Akçakale serilerinde azaldığı, Harran Serisinde ise arttığı gözlemlenmiştir.

Harran Ovası'nda taban suyuna bağlı olarak meydana gelen su altında kalma, toprakların besin maddesi sağlama gücünü, fiziksel ve kimyasal özelliklerini önemli ölçüde değiştirmektedir. Gübreleme ile uygulanan fosforlu gübrenin suyla doymuş şartlarda normal havalandırılan topraklara göre daha hızlı çökmesinden dolayı etkinliği daha da azalmaktadır. Bu yüzden taban suyu problemi olan alanlarda damlama sulama sistemi gibi suyun daha etkili kullanıldığı sulama teknolojilerinin kullanılması ile hem taban suyu olan dönemde yetiştirilen bitkilerin taban suyundan daha az etkilenmesini hem de daha sonraki yetiştiricilik döneminde bitkilerin daha etkili beslenmesini sağlanacaktır.

Hareketli fosfor fraksiyonundaki artış drenaj sonrasında yüzey sularının P konsantrasyonunu; derine sızan sular ise yeraltı sularının P konsantrasyonunu artırma potansiyeline sahiptir. Suyla çözünen fosfor su kaynaklarına taşınmakta ve su kaynaklarını kirletmektedir. Kirlilik boyutu (su kaynağına fosfor salınımı) inkübasyon çalışması ve saksı denemesi sonuçlarına göre su altında kalma sürecinin artmasıyla birlikte 90. güne kadar artmakta ve toprağın fiziko-kimyasal özelliklerine göre salınım miktarı değişmektedir. Oluşacak kirliliğin seviyesi drene edilecek olan suyun miktarına ve su altında kalma süresine bağlı olarak daha ciddi boyutlara ulaşabilecektir.

Sonuç olarak; taban suyu oluşumunu engellemek amacıyla suyun daha etkili kullanılması, eğer bunun önüne geçilemiyorsa bir sonraki yetiştiricilik döneminde bu bölgelere özel gübreleme önerisi yapılması gerekmektedir.

Öneri olarak,

1. Araştırma topraklarının organik madde içerikleri düşük olduğu için organik fosfor fraksiyonu göz ardı edilmiş, ancak bu durum su altında kalan topraklar

için önemli yanılığa sebep olmuştur. Su altında kalan toprakların organik madde içerikleri düşük te olsa toprak özellikleri ve fosfor transformasyonları üzerine etkileri çok önemlidir. Bu yüzden yapılacak benzer çalışmalarda organik fosfor ve mikrobiyal fosfor fraksiyonu göz önünde bulundurulması araştırma sonuçlarının açıklanmasında kolaylık sağlayacaktır. Ayrıca Dissolved Organic Carbon (suda çözünmüş organik karbon) analizinin çalışma yapılırken göz önünde bulundurulması araştırmacının sonuçları açıklamasında kolaylık sağlayacaktır. Suda çözünmüş organik karbonun su ile taşınabilmesi ve reaktivitesinin yüksek olması nedeniyle su altında kalan toprakların kimyası üzerine etkisi oldukça önemlidir.

2. Su altında bırakılan toprakların analizleri ile inkübasyon sıvısının anyon ve katyon analizleri yapılarak elde edilen sonuçların PCA (Principal Component Analysis) ile kıyaslanması ile daha anlamlı ve açıklanabilir sonuçlar elde edilebilecektir.
3. İnkübasyona bırakılan toprak su oranının 1/1 ya da 1/2 civarında olması gerçeğe daha yakın açıklanabilir sonuçların elde edilmesini sağlayacaktır.
4. Ayrıca su altında kalma durumunda değişen toprak özellikleri toprak katmanı boyunca değiştiği için çalışmanın amacına göre derinlik göz önünde bulundurularak örnekleme yapılmalı ve sonuçlar ona göre değerlendirilmelidir.
5. Saksı denemesinde pozitif ve negatif kontrol uygulanması gerekmektedir. Su altında bırakılmayan kontrol uygulanmasında hem gübreli (pozitif) kontrol, hem de gübresiz (negatif) kontrol uygulaması gerekmektedir.
6. Saksı denemesindeki su altında kalma süreleri 0-7-14-21-28 gün olarak belirlenmiş, bunun yerine, 0-15 gün arasında daha sık gözlem yapılarak araştırmanın yürütülmesi daha kaliteli sonuçların elde edilmesini sağlayacaktır.
7. Su altında bırakılarak bitki yetiştirilen saksı topraklarında sonraki dönem farklı bir bitki yetiştirerek su altında kalan toprağın besin maddesi sağlama gücünün iyi ya da kötü yönde nasıl değiştiği belirlenmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Adhami E., Ronaghi A, Karimian N., Molavi R., 2012. Transformation of phosphorus in highly calcareous soils under field capacity and waterlogged conditions. *Soil Research* 50(3)249-255
- Ajmone-Marsan, F., Côté, D., Simard, R.R., 2006. Phosphorus transformations under reduction in long-term manured soils. *Plant Soil* 282, 239–250.
- Amarawansa, E.A.G.S., Kumaragamage, D., Flaten, D., Zvomuya, F., Tenuta, M., 2015. Phosphorus mobilization from manure-amended and unamended alkaline soils to overlying water during simulated flooding. *J. Environ. Qual.* 44:1252–1262. Doi:10.2134/jeq2014.10.0457
- Amer, F., Saleh, M.E., Mostafa, H.E., 1991. Phosphate behavior in submerged calcareous soils. *Soil Science*. 151: 306-311.
- Amery, F., Smolders, E., 2012. Unlocking fixed soil phosphorus upon waterlogging can be promoted by increasing soil cation exchange capacity. *Eur. J. Soil Sci.* 63:831–838.
- Amrhein, C., Mosher, P.A., Brown, A.D., 1993. The effects of redox on molybdenum, uranium, boron, vanadium, and arsenic solubility in evaporation pond soils. *Soil Science* 155(4): 249-255.
- Ann, Y., Reddy, K.R., Delfino, J.J., 2000. Influence of redox potential on phosphorus solubility in chemically amended wetland organic soils. *Ecol. Eng.* 14:169–180.
- Bair, K.E., 2012. Evaluation of Phosphorus Indices in Recently Acidified Soil of the Columbia Basin, Washington State. PhD Thesis. Washington State University. Department of Crop and Soil Sciences, Washington. p21.
- Bilgili A.V., Uygur, V., Karaca, S., Usta, S., Dengiz, O., Aydemir, S., 2008. Phosphorus sorption in some great soil groups of semi arid region of Turkey. *International Journal of Soil Science*. 3(2):75-82.
- Bilgili, A.V., Sönmez, O., Çullu, M.A., Kaya, C., Aydemir, S., 2011. Harran ovasında tuzlanmış toprakların geleneksel ve jeostatistiksel metotlar ile haritalanması. TÜBİTAK TOVAG sonuç raporu. Proje No: 109O493
- Bostic E.M., White J.R., 2006. Soil Phosphorus and vegetation influence on wetland phosphorus release after stimulated drought. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71:238-244.
- Bostrom, B., Ahlgren, I., Bell, R. 1985. Internal nutrient loading in a eutrophic lake, reflected in seasonal variations of some sediment parameters. *Int. Ver. Theor. Angew. Limnol. Verh.* 22:3335–3339.
- Bouyoucos, G.J., 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agric. J.* 54:464–465.
- Bremner, J.M., 1996. Nitrogen – Total. In Sparks D.L., *Methods of Soil Analysis-Part 3* (1085-1121). Soil Science Society of America, American Society of Agronomy. 1390p. Madison-WI:

- Cleveland, B.R., Cervantes, M., 2007. Trends indicated by nutrient analysis of cotton tissue. *Better Crops/Vol. 91:6-7, No. 4*
- Conaty, W.C., Tan, D.K.Y., Constable, G.A., Sutton., B.G., Field, D.J. Mamum, E.A., 2008. Genetic variation for waterlogging tolerance in cotton. *The Journal of Cotton Science* 12:53–61.
- Craft, C.B. 2001. Biology of wetland soils. Pages In Richardson, J.L. and Vepraskas, M.J. (Eds.), *Wetland Soils: Genesis, Hydrology, Landscapes, and Classification* (107–135). CRC Press, Boca Raton, Florida.
- D'Angelo, E.M., Reddy, K.R., 1994. Diagenesis of organic matter in a wetland receiving hypereutrophic lake water. I. Distribution of dissolved nutrients in the soil and water column. *Journal of Environmental Quality* 23: 925-936.
- Davelaar, D., 1993. Ecological significance of bacterial polyphosphate metabolism in sediments. *Hydrobiology* 253:179–192.
- De Datta, S.K., Biswas, T.K., Charoenchamratcheep, e., 1989. Phosphorus requirements and management for lowland rice. Paper presented at the Symp. On Phosphorus Requirements for Sustainable Agriculture in Asia and Oceania, 6-10 March 1989, International Rice Research Institute, Los Banos, Laguna, Philippines.
- Demiralay, İ., 1993. Toprak Fiziksel Analizleri. Atatürk Üniv. Zir. Fak. Yayınları, No: 143, Erzurum.
- Diaz, O.A., Reddy, K.R., Moore, P.A.Jr., 1994. Solubility of inorganic phosphorus in stream water as influenced by pH and calcium concentration, *Water Res.*, 28, 1755–1763.
- Dinç U., Kapur, S., Diğerleri, 1988. Güneydoğu Anadolu Bölgesi Toprakları (GAP) I. Harran Ovası, Şanlıurfa. TÜBİTAK Tarım ve Ormancılık Araştırma Grubu Güzümlü Araştırma Projesi Kesin Raporu, Proje No: TOAG-534.
- DMİ. 2005. Şanlıurfa İli Meteoroloji Verileri.
- Dungan, R.S., Lee, B.D., Amrhein C., 1999. Stinking mud: an introductory soil science laboratory exercise demonstrating redox reactions in flooded soils. *J. Nat. Resour. Life Sci. Educ.* 28:89-92.
- Dunne, E.J., Reddy, K.R., 2005. Phosphorus biogeochemistry of wetlands in agricultural watersheds. In Dunne, E.J., Reddy, K.R., Carton O.T. (Eds), *Nutrient management in agricultural watersheds: wetlands solutions* (105-119). 288p, Netherlands.
- Fischer, W.R., 1983. Theoretische betrachtungen zur reduktiven ausflosung von eisen (III)-oxiden. *Z. Pflanzenernaehr. Bodenkd.* 146: 611-622.
- Fulda, B., 2013. Changes in copper and cadmium solubility and speciation induced by soil redox dynamics - Competitive metal sulfide formation and interactions with natural organic matter. PhD thesis. Dipl. Geoökol., University of Bayreuth, Zurich, Switzerland.
- Gambrell, R.P., Patrick, W.H., Jr., 1978. Chemical and microbiological properties of anaerobic soils and sediments. In "Plant Life in Anaerobic Environments"

(D. D. Hook and R.M. M. Crawford, eds.), pp. 375-423. Ann Arbor Sei. Publ., Ann Arbor, Michigan.

- García-López, A.M., Delgado, A., 2016. Effect of *Bacillus subtilis* on phosphorus uptake by cucumber as affected by iron oxides and the solubility of the phosphorus source. *Agricultural and Food Science*. 25: 216–224
- Goldberg, S., 1997. Reactions of boron with soils. *Plant and Soil*. 193: 35-48.
- Greenwood, D.J., Lemaire, G., Gosse, G., Cruz, P., Draycott, A., Neeteson, J.J., 1990. Decline in percentage N of C3 and C4 crops with increasing plant mass. *Ann. Bot.* 66, 425–436.
- Gu, Y.C., Jiang, B.F., 1990. Assay method of inorganic phosphorus fractionation in calcareous soils. *Soils* 22:101-110 (In Chinese).
- Güçdemir, İ.H., 2006. Türkiye Gübre ve Gübreleme Rehberi. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı, Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü, Toprak Gübre Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, Genel Yayın No: 231, Teknik Yayın No: T.69. Ankara
- Halajnia, A, Haghnia, G.H., Fotovat, A., Khorasani, R., 2009. Phosphorus fractions in calcareous soils amended with P fertilizer and cattle manure. *Geoderma* 150: 209-213.
- Halevy, J., 1976. Growth rate and nutrient uptake of two cotton cultivars grown under irrigation. *Agron. J.* 68:701-705.
- Harris, W., White, N., 2008. X-ray Diffraction techniques for soil mineral Identification. In Ulery, A.L., Drees, L.R. (Eds), *Methods of soil analyses Part 5 – Mineralogical Methods* (81-117). Soil Science Society of America, American Society of Agronomy. 523p. Madison-WI.
- Havlin, J.L., Beaton, J.D., Tisdale, S.L., Nelson, W.L., 1999. *Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management* (154-195). Sixth Edition, New Jersey, 07458.
- Haynes, R.J., Williams, P.H., 1992. Long term effect of super phosphatation accumulation of phosphorus and exchangeable cation on grazed irrigated pasture site. *Plant and Soil* 142: 123-133.
- Hedley, M.J., Stewart, J.W.B, Chauhan, B.S., 1982. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46: 970-976.
- Helmke, P.A., Sparks, D.L., 1996. Lithium, Sodium, Potassium, Rubidium, and Cesium. In Sparks D.L. (Ed), *Methods of Soil Analysis-Part 3* (551–575). Soil Science Society of America, American Society of Agronomy. 1390p. Madison-WI.
- Hemati Matin, N., Jalali, M., 2017. The effect of waterlogging on electrochemical properties and soluble nutrients in paddy soils. *Paddy Water Environ.* 15:443–455

- Hocking, P.J., Reicosky, D.C., Meyer, W.S., 1985. Nitrogen status of cotton subjected to two short term periods of waterlogging of varying severity using a sloping plot water-table facility. *Plant Soil* 87: 375–391.
- Hocking, P.J., Reicosky, D.C., Meyer, W.S., 1987. Effects of intermittent waterlogging on the mineral nutrition of cotton. *Plant and Soil* 101: 211-221.
- Hoffman, A.R., Armstrong, D.E., Lathrop, R.C., Penn, M.R., 2009. Characteristics and influence of phosphorus accumulated in the bedsediments of a stream located in an agricultural watershed. *Aquat.Geochem.* 15:371–389.
- İnal, A., Kacar, B., 2010. Bitki Analizleri. Nobel Yayın Dağıtım. Ankara. ISBN : 9786053950363.
- Jalali, M., Ranjbar, F., 2010. Aging effects on phosphorus transformation rate and fractionation in some calcareous soils. *Geoderma* 150: 101-106.
- Jayarathne, P.D.K.D., Kumaragamage, D. , Indraratne, S., Flaten, D., Goltz, D., 2016. Phosphorus release to floodwater from calcareous surface soils and their corresponding subsurface soils under anaerobic conditions. *Journal of Environmental Quality*. Vol. 45 No. 4, p. 1375-1384.
- Joshi, S.r., Kukkadapu, R.K., Burdige, D.J., Bowden, M.E., Sparks, D.L.Jaisi, D.P., 2015. Organic Matter Remineralization Predominates Phosphorus Cycling in the Mid-Bay Sediments in the Chesapeake Bay. *Environ. Sci. Technol.* 2015, 49, 5887–5896.
- Kacar, B., 2009. Toprak Analizleri. Nobel Yayın Dağıtım. Genişletilmiş 2. Baskı. Ostim – Ankara.
- Karakaş, S., 2004. Coğrafi bilgi sistemi ve uzaktan algılama teknikleri kullanılarak toprak özellikleri ile pamuk verimi arasındaki ilişkinin belirlenmesi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa, 72s.
- Kavanaugh. R., Al-Abed,S.R, Purandare, J., Allen, D., 2004. Influence of pH and Redox Conditions on Copper Leaching. Symposia Papers Presented Before the Division of Environmental Chemistry. American Chemical Society.
- Kereszteny, B., 1953. The Variation in soil Phosphorus under Anaerobik Conditions. *Agrokem. Talajt.* 2:185-190. Abstract No. 2094. *Soil and Fertilizers* 16.
- Khalid, R.A., Patrick, W.H.Jr., DeLaune, R.D., 1977. Phosphorus sorption characteristics of flooded soils. *Soil Science Society of America.* 41(2):305-310
- Khoshmanesh, A., Hart, B.T., Duncan, A., Beckett, R., 1999. Bioticuptake and release of phosphorus by a wetland sediment. *Environ.Tech.* 20:85–91.
- Klute, A., 1986. Water retention: Laboratory methods, in Klute, A. (ed.): *Methods of Soil Analysis Part I.* 2nd edn., Agron. Monogr. No 9, ASA, Madison, WI, USA, pp. 635–662.
- Kozlowski, T.T., Pallardy, S.G., 1984. Effect of flooding on water, carbohydrate and mineral relations. Kozlowsli, T.T. (Ed), *Flooding and Plant Growth* (165-193). Academic Press Inc. 356p, Orlando, Florida.

- Kröger, R., Lizotte, R.E., Douglas Shields, F., Usborne, E., 2012. Inundation influences on bioavailability of phosphorus in managed wetland sediments in agricultural landscapes. *J. Environ. Qual.* 41:604–614.
- Kuo, S., 1996. Phosphorus. In Sparks D.L. (Ed), *Methods of Soil Analysis-Part 3* (pp. 869-919). Soil Science Society of America, American Society of Agronomy. 1390p, Madison-WI.
- Kuo, S., Mikkelsen, D.S., 1979. Distribution of iron and phosphorus in flooded and unflooded soil profiles and their relation to phosphorus adsorption. *Soil Sci.* 127:18-25.
- Laboski, C.A.M., Lambb, J.A., 2003. Changes in soil test phosphorus concentration after application of manure or fertilizer. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67: 544-554.
- Lindsay, W.L., 1979. *Chemical Equilibria in Soils*. Wiley, 449p, New York.
- Lindsay, W.L., Norvel, W.A. 1978. Development of DTPA soil test for Zn, Fe, Mn and Cu. *Soil Sci. Amer. J.* 42(3), 421-28.
- Loeppert, R.H., Inskeep, W.P., 1996. Iron. In Sparks D. L. (Ed), *Methods of Soil Analysis-Part 3* (639-664). Soil Science Society of America, American Society of Agronomy. 1390p, Madison-WI.
- Loeppert, R.H., Suarez, D.L., 1996. Carbonate and Gypsum. In Sparks D.L. (Ed), *Methods of Soil Analyses Part 3* (437-474). Soil Science society of America. 1390p, Madison, WI, USA.
- Ma, L., Rena, D., Zhang, M., Zhao, J., 2010. Phosphorus fractions and soil release in alternately waterlogged and drained environments at the water fluctuation-zone of the Three Gorges Reservoir. *J. Food Agric. Environ.* 8:1329–1335.
- Mack, A.R., Barber, S.A., 1960. Influence of temperature and moisture on soil phosphorus. I. effect on soil phosphorus fractions. *Soil Science Society Proceedings*, p 381-385.
- Mandal, L.N., 1979. Transformation of phosphorus in waterlogged soil. *Bull. Indian Soc. Soil Sci.* 12: 73-80.
- Martin, H.W., Ivanoff, D.B., Graetz, D.A., Reddy, K.R., 1997. Water table effects on histosol drainage water carbon, nitrogen, and phosphorus. *Journal of Environmental Quality*. 26: 1062–1071.
- MGM, 2014. <http://www.mgm.gov.tr/tarim/referans-toplam-buharlasma.aspx#sfU>
- Milroy, S.P., Bange, M.P., Thongbai, P., 2009. Cotton leaf nutrient concentrations in response to waterlogging under field conditions. *Field Crops Research* 113: 246–255.
- Mitsch, W.J., Gosselink, J.G., 2000. *Wetlands*. 3rd ed. John Wiley & Sons, New York.
- Mostashari, M., Muazardalan, M., Karimian, N., Hosseini, H.M., Rezai, H., 2008. Phosphorus fractions of selected calcareous soils of qazvin province and their relationships with soil characteristics. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.*, 3 (4): 547-553,

- Murphy, J., Riley, J.P., 1962. A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta* 27:31–36.
- Najeeb, U., Bange, M.P., Tan, D.K.Y., Atwell, B.J., 2015. Consequences of waterlogging in cotton and opportunities for mitigation of yield losses. *AOB Plants. Journal for Plant Sciences*. 1-17.
- Nelson, D.W., Sommers, L.E., 1996. Total Carbon, Organic carbon, and organic matter. In Sparks D.L. (Ed), *Method of Soil Analysis Part 3* (961–1011). Soil Science Society of America, American Society of Agronomy. 1390p, Madison-WI.
- Newman, S., Pietro K., 2001. Phosphorus storage and release in response to flooding: implications for Everglades stormwater treatment areas. *Ecological Engineering* 18:23–38.
- Oberson, A., Joner, E.J., 2001. Microbial turnover of phosphorus in soil. In Turner, B.L., Frossard, E. and Baldwin, D.S. (Eds), *Organic Phosphorus in the Environment* (133–164). CABI Publishing, Cambridge, MA.
- Olila, O.G., Reddy, K.R., Stites, D.L., 1997. Influence of draining on soil phosphorus forms and distribution in a constructed wetland. *Ecol. Eng.* 9: 157–169
- Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S., Dean, L.A. 1954. Estimation of Available Phosphorus in Soils by Extraction with Sodium Bicarbonate. U.S. Department of Agriculture Circular No. 939.
- Parfitt, R.L., 1989. Phosphate reactions with natural allophane, ferrihydrite and goethite. *J. Soil Sci.* 40:359-369.
- Parsons, C.T., Rezanezhad, F., O'Connell, D.W., Van Cappellen, P., 2017. Sediment phosphorus speciation and mobility under dynamic redox conditions. *Biogeosciences Discuss.*, doi:10.5194/bg-2016-533, 2017.
- Patrick, W.H., Gambrell, R.P., Faulkner, S.P., 1996. Redox Measurement of Soils. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy. *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods*. SSSA. Madison – WI.
- Patrick, W.H.Jr., Khalid, R.A., 1974. Phosphate release and sorption by soils and sediments: effect of aerobic and anaerobic conditions. *American Association for the Advancement of Science*. 186: 53-55
- Ponnamperuma, F.N., 1972. *The Chemistry of Submerged Soils*. The International Rice Research Institute, Los Bahos, Laguna, Philippines. Reprinted from: *Advances in Agronomy*, Vol. 24: 29-92. Academic Press, Inc.
- Ponnamperuma, F.N., 1984. Effect of Flooding on Soils. Chapter 2, pp 10-46. Editör: Kozlowski, T.T. *Flooding and Plant Growth*. Academic Press Inc.
- Ponnamperuma, F.N., 1985. Chemical kinetics of wetland rice soils relative to soil fertility. In *Wetland Soils: Characterization, Classification, and Utilization*. International Rice Research Institute, Los Banos, Laguna, Philippines, pp. 71-89.

- Quintero, C.E., Gutiérrez-Boem, F.H., Romina, M.B., Boschetti, N.G., 2007. Effects of soil flooding on P transformations in soils of the Mesopotamia region, Argentina. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 170: 500–505.
- Racz, G.J., 2006. Management of excess water in agricultural soils of Manitoba: Chemical aspects. In: *Proceedings of the 49th Annual Manitoba Society of Soil Science Meeting*, 3–4 Feb. 2006, Winnipeg, MB. p. 9-26.
- Reddy, K.R., Diaz O.A., Scinto, L.J., Agami, M., 1995. Phosphorus dynamics in selected wetlands and streams of the lake Okeechobee Basin. *Ecological Engineering*. 5:183-207.
- Reddy, K.R., DeLaune, R.D., 2008. *Biogeochemistry of wetlands: Science and applications*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Reddy, K.R., Patrick, W.H., Jr., 1975. Effect of alternate aerobic and anaerobic conditions on redox potential, organic matter decomposition and nitrogen loss in a flooded soil. *Soil Biol. Biochem.* 7: 87-94.
- Rhoades, J.D. 1996. Salinity: Electrical Conductivity and Total Dissolved Gasses. In Sparks D.L. (Ed), *Method of Soil Analysis Part 3* (417–437). Soil Science Society of America, American Society of Agronomy. 1390p, Madison-WI.
- Rochester, I.J., Constable, G.A., Oosterhuis, D.M., Errington, M., 2012. Nutritional Requirements of Cotton during Flowering and Fruiting. In Oosterhuis, D.M., Cothren, J.T. (Eds), *Flowering and Fruiting in Cotton* (35-50). The Cotton Foundation, 232p, Cordova, Tennessee, U.S.A
- Roger, P.A., Watanabe, I., 1984. Algae and aquatic weeds as a source of organic matter and plant nutrients for wetland rice. In "Organic Matter and Rice". International Rice Research Institute, Los Bafios, Philippines.
- Rowell, D.L., 1981. Oxidation and reduction. In Greenland D.J. and Hayes, M.H.B. (Ed), *The Chemistry of Soil Processes* (401-461). Wiley, New York.
- Ruiz, J.M., Delgado, A., Torrent, J., 1997. Iron-related phosphorus in over fertilized European soils. *Journal of Environmental Quality*, 26:1548–1554.
- Ru-kun, L., J. Bai-fan, and L. Ching-kwei. 1982. Phosphorus management for submerged soil. *Proc. 12th Int. Congo Soil Sci., Symposia Paper 11*. Indian Soc. Soil Sci., New Delhi, pp. 182-191.
- Rydin, E., 2000. Potentially Mobile Phosphorus in Lake Erken Sediment. *Water Research*. Vol. 34, No. 7, pp. 2037-2042.
- Sağlam, T.M., 2008. *Toprak Kimyası*. Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayın No: 1. Ders Kitabı No: 1 s. 105-117, Tekirdağ.
- Sah, R.N., Mikkelsen, D.S., 1986b. Sorption and Bioavailability of Phosphorus during the Drainage Period of Flooded-Drained Soils. *Plant Soil*. 92:265-278.
- Sah, R.N., Mikkelsen, D.S., 1986a. Effects of anaerobic decomposition of organic matter on sorption and transformations of phosphate in drained soils: 2. Effects on amorphous iron content and phosphate transformation. *Soil Sci.* 142:346-351.

- Sah, R.N., Mikkelsen, D.S., Hafez, A.A., 1989. Phosphorus behavior in flooded-drained soils: III. phosphorus descriptions and availability. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53:1729-1732.
- Sallade, Y.E., Sims, J.T., 1997. Phosphorus transformations in the sediments of Delaware's agricultural drainageways. II. Effect of reducing conditions on phosphorus release. *Journal of Environmental Quality*, 26: 1579–1588.
- Samadi, A., 2002. Changes in Available Phosphorus With Time in Contrasting Calcareous Soils with Mediterranean Type of Climate. 7. International meeting on Soils with Mediterranean Type of Climate (selected papers). Zdruli P., Steduto P., Kapur S. (ed.). pp 205- 211. Bari - CIHEAM
- Sanyal, S.K., De Datta, S.K., 1991. Chemistry of phosphorus transformations in soil. *Advances in Soil Science*, 16: 61-72.
- Scalenghe, R., Edwards, A.C., Barberis, E., Ajmone-Marsan, F., 2012. Are agricultural soils under a continental temperature climate susceptible to episodic reducing conditions and increased leaching of phosphorus? *J. Environ. Manage.* 97:141–147.
- Schwertmann, U., Taylor R.M., 1989. Iron Oxides. In Dixon J.B. and Weed S.B. (Ed). *Minerals in Soil Environment* (379-438). Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA
- Shah, D.S., White, J.R.; Gutierrez-Wing, M.T., Rusch, K.A., 2010. Phosphorus dynamics in coastal sediments: implications for the marshland upwelling system. *Proceedings of the Water Environment Federation*, pp. 7008-7019.
- Shen J., Li R., Zhang F., Fan J., Tang C., Rengel Z., 2004. Crop yields soil fertility and phosphorus fractions in response to long-term fertilization under the rice monoculture system on a calcareous soil. *Field Crop Research* 86: 225-238
- Shenker, M., Seitelbach, S., Brand, S., Haim, A., Litaor M.I., 2005. Redox reactions and phosphorus release in re-flooded soils of an altered wetland. *European Journal of Soil Science*. 56: 515–525.
- Shober, A.L., Sims, J.T., 2009. Evaluating phosphorus release from biosolids and manure-amended soils under anoxic conditions. *J. Environ. Qual.* 38:309–318. doi:10.2134/jeq2007.0660.
- Shuman, L.M., 1988. Effect of Removal of organic matter and iron- or manganese-oxides on zinc adsorption by soil. *Soil Science*: 146- 248
- Snyder, C.S., Slaton, N., 2002. Effect of Soil Flooding and Drying on Phosphorus Reactions. Potash and Phosphate Institute (PPI) P. O. Drawer 2440, Conway, AR 72033-2440.
- Sparks, D.L., 2003. *Environmental Soil Chemistry*. 2nd Edition. Academic Press. 352p, California, USA.
- Sposito, G., 2008. *The Chemistry of Soils*. Second Edition. Oxford University Press, Inc. 329p, ISBN 978-0-19-531369-7.

- Stevens, C.J., Tullios, D.D., 2011. Effects of temperature and site characteristics on phosphorus dynamics in four restored wetlands: implications for wetland hydrologic management and restoration. *Ecological Restoration* 29: 279-291
- Sun S., Huang S., Sun X., Wen W., 2009. Phosphorus fractions and its release in the sediments of Haihe River, China. *J Environ Sci (China)*. 21(3):291-295.
- Suter, D., Banwart, S., Stumm, W., 1990. Dissolution of Hydrous Iron (III) oxides by Reductive Mechanisms. *Langmuir* 7:809-813.
- Thomas, G.W., 1996. Soil pH and Acidity. In Sparks D.L. (Ed) *Method of Soil Analysis Part 3* (475–491). Soil Science Society of America, American Society of Agronomy. 1390p, Madison-WI.
- TSE, 1997. Soil quality-determination of cesium, chromium, cobalt, copper lead, manganese spectrometric method. STS ISO/DIS 11047.
- Tsutsuki, K., Ponnampereuma, F.N., 1987. Behavior of anaerobic decomposition products in submerged soils. *Soil Sci. Plant Nutr.* 33: 13-33.
- Turner, B.L., Haygarth, P.M., 2001. Phosphorus solubilization in rewetted soils. *Nature*. 411-258.
- Uwasawa, M., Sangtong, P., Cholitul, W., 1988. Behavior of phosphorus in paddy soils of Thailand. I. Contents of inorganic, organic, and available soil phosphorus in relation to rice plant P-nutrition. *Soil Sci. Plant Nutr.* 34: 41-53.
- Uygun, V., Karabatak, I. 2009. The effect of organic amendments on mineral phosphate fractions in calcareous soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 172(3): 336-345.
- Uygun, V., 2009. Phosphate sorption in calcareous soils: the role of iron oxide and carbonates. *Asian Journal of Chemistry*, 21(4): 3001-3009.
- Uygun, V., Rimmer, D.L., 2000. Reactions of zinc with iron oxide coated calcite surfaces at alkaline pH. *European Journal of Soil Science*, 51: 511-516.
- Uygun, V., Yetişir, H., 2009. Effects of rootstocks on some growth parameters, phosphorous and nitrogen uptake by watermelon under salt stress. *Journal of Plant Nutrition*, 32(4): 629-643.
- Vadas, P.A., Sims, J.T., 1998. Redox status, poultry litter, and phosphorus solubility in Atlantic Coastal Plain soils. *Soil Science Society of America Journal*, 62: 1025–1034.
- Villapando, R.R., Graetz, D.A., 2001. Water table effects on phosphorus reactivity and mobility in a dairy manure-impacted spodosol. *Ecological Engineering*. 18: 77–89.
- Wang, J., Liu, W.Z., Mu, H.F., Dang, T.H., 2010. Inorganic phosphorus fractions and phosphorus availability in a calcareous soil receiving 21-year super phosphate application. *Pedosphere* 20(3): 304–310.
- Willett, I.R., 1986. Phosphorus dynamics in relation to redox processes in flooded soils. 13th Int. Congr. Soil Sci. Trans. 13-20 August, Hamburg, 6:748-755.

- Williams, J.D.H., Syers, J.K., Harris, R.F., Armstrong, D.E., 1971. Fractionation of inorganic phosphate in calcareous lake sediments. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 35: 250-255.
- Wright, R.B., Lockaby, B.G., Walbridge, M.R., 2001. Phosphorus availability in an artificially flooded South eastern flood plain forest soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65:1293-1302
- Yang, J.C., Wang, Z.B., Zhou, J., Jianga, H.M., Zhanga, J.F., Pana, P., Hanb, Z., Lua, C., Lia, L.L., Geb, C.L., 2012. Inorganic phosphorus fractionation and its translocation dynamics in a low-P soil. *Journal of Environmental Radioactivity* 112:64-69.
- Yenmez, N., 2005. Ova topraklarının tuzlanmasına yeni bir örnek: harran ovası. *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi.* 8(14): 199-235.
- Yetisir, H., Uygur, V., 2010. Responses of grafted watermelon onto different gourd species to salinity stres. *Journal of Plant Nutrition*, 33(3): 315-327.
- Ylivainio K., Jauhiainen, L. Uusitalo, R., Turtola, E., 2017. Waterlogging severely retards P use efficiency of spring barley (*Hordeum vulgare*). *Journal of agronomy and crop sciences*. DOI: 10.1111/jac.12241
- Yoshida, T., 1978. Microbial metabolism in rice soils. In "Soils and Rice," pp. 445-463. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines.
- Yurtsever, N., 2011. Deneysel istatistik metotlar. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Toprak Gübre ve Su Kaynakları Araştırma Enstitüsü Yayınları, 2. Baskı, 623s, Ankara.
- Zengin, M., 2012. Toprak ve Bitki Analiz Sonuçlarının Yorumlanmasında Temel İlkeler. Karaman, M.R. (Ed), Bitki Besleme (837-960). Dumat Ofset Matbaacılık San. Tic. Ltd. Şti, 1080s, Ankara.

EKLER

Ek A: Korelasyonlar

Çizelge A.1. Begdeş serisi toprağının suyla doymun şartlarda gübresiz olarak inkübasyon sonrası belirlenen parametreler arası Pearson Korelasyonu (N=35)

	Zaman	pH	EC	Eh	P	NaOH-P	CDB-P	HCl-P
Zaman	1	-0.850**	0.786**	-0.477**	0.748**	0.803**	0.557**	0.348*
pH		1	-0.940**	0.639**	-0.807**	-0.613**	-0.617**	-0.339*
EC			1	-0.817**	0.886**	0.560**	0.705**	0.455**
Eh				1	-0.868**	-0.328	-0.659**	-0.604**
P					1	0.525**	0.657**	0.608**
NaOH-P						1	0.499**	0.171
CDB-P							1	0.447**
HCl-P								1

** . % 1 önem seviyesinde önemli (2-tailed).

Çizelge A.2. Begdeş serisi toprağının suyla doymun şartlarda gübreli olarak inkübasyon sonrası belirlenen parametreler arası Pearson Korelasyonu (N=35)

	Zaman	pH	EC	Eh	P	NaOH-P	CDB-P	HCl-P	Sorp
Zaman	1	-0.853**	0.847**	-0.451**	-0.509**	0.700**	0.581**	0.700**	0.509**
pH		1	-0.968**	0.705**	0.747**	-0.888**	-0.772**	-0.744**	-0.747**
EC			1	-0.780**	-0.815**	0.919**	0.842**	0.794**	0.815**
Eh				1	0.996**	-0.901**	-0.959**	-0.713**	-0.996**
P					1	-0.916**	-0.973**	-0.748**	-1.000**
NaOH-P						1	0.642**	0.658**	0.916**
CDB-P							1	0.776**	0.973**
HCl-P								1	0.748**
Sorp									1

** . % 1 önem seviyesinde önemli (2-tailed).

Çizelge A.3. Akçakale serisi toprağının suyla doymun şartlarda gübresiz olarak inkübasyon sonrası belirlenen parametreler arası Pearson Korelasyonu (N=35)

	Zaman	pH	EC	Eh	P	NaOH-P	CDB-P	HCl-P
Zaman	1	-0.860**	0.857**	-0.500**	0.793**	0.847**	0.498**	0.297
pH		1	-0.977**	0.747**	-0.949**	-0.976*	-0.678**	-0.233
EC			1	-0.829**	0.979**	0.963*	0.758**	0.364*
Eh				1	-0.897**	-0.711**	-0.932**	-0.425*
P					1	0.921**	0.844**	0.332
NaOH-P						1	0.625**	0.299
CDB-P							1	0.346*
HCl-P								1

** . % 1 önem seviyesinde önemli (2-tailed).

* . % 5 önem seviyesinde önemli (2-tailed).

Çizelge A.4. Akçakale serisi toprağının suyla doymun şartlarda gübrelili su ile inkübasyon sonrası belirlenen parametreler arası Pearson Korelasyonu (N=35)

	Zaman	pH	EC	Eh	P	NaOH-P	CDB-P	HCl-P	Sorp
Zaman	1	-0.865**	0.841**	-0.491**	-0.419*	0.792**	0.589**	0.480**	0.419*
pH		1	-0.969**	0.783**	0.706**	-0.930**	-0.784**	-0.419*	-0.706**
EC			1	-0.810**	-0.745**	0.923**	0.816**	0.481**	0.745**
Eh				1	0.990**	-0.889**	-0.958**	-0.505**	-0.990**
P					1	-0.843**	-0.953**	-0.522**	-1.000**
NaOH-P						1	0.906**	0.549**	0.843**
CDB-P							1	0.554**	0.953**
HCl-P								1	0.522**
Sorp									1

** . % 1 önem seviyesinde önemli (2-tailed).

* . % 5 önem seviyesinde önemli (2-tailed).

Çizelge A.5. Harran serisi toprağının suyla doymun şartlarda gübresiz olarak inkübasyon sonrası belirlenen parametreler arası Pearson Korelasyonu (N=35)

	Zaman	pH	EC	Eh	P	NaOH-P	CDB-P	HCl-P
Zaman	1	-0.808**	0.803**	-0.492**	0.736**	0.952**	0.348*	0.607**
pH		1	-0.930**	0.701**	-0.867**	-0.798**	-0.424*	-0.472**
EC			1	-0.871**	0.970**	0.838**	0.640**	0.559**
Eh				1	-0.916**	-0.575**	-0.827**	-0.551**
P					1	0.770**	0.686**	0.550**
NaOH-P						1	0.474**	0.609**
CDB-P							1	0.552**
HCl-P								1

** . % 1 önem seviyesinde önemli (2-tailed).

* . % 5 önem seviyesinde önemli (2-tailed).

Çizelge A.6. Harran serisi toprağının suyla doymun şartlarda gübrelili olarak inkübasyon sonrası belirlenen parametreler arası Pearson Korelasyonu (N=35)

	Zaman	pH	EC	Eh	P	NaOH-P	CDB-P	HCl-P	Sorp
Zaman	1	-0.852**	0.858**	-0.483**	-0.527**	0.553**	0.490**	0.703**	0.527**
pH		1	-0.942**	0.728**	0.730**	-0.735**	-0.652**	-0.580**	-0.730**
EC			1	-0.830**	-0.846**	0.854**	0.792**	0.735**	0.846**
Eh				1	0.995**	-0.971**	-0.956**	-0.682**	-0.995**
P					1	-0.974**	-0.969**	-0.733**	-1.000**
NaOH-P						1	0.949**	0.705**	0.974**
CDB-P							1	0.734**	0.969**
HCl-P								1	0.733**
Sorp									1

** . % 1 önem seviyesinde önemli (2-tailed).

Çizelge A.7. Begdeş serisi toprağının tarla kapasitesinde gübresiz ve gübreli olarak inkübasyon sonrası belirlenen parametreler arası Pearson Korelasyonu (N=35)

	Zaman	SP1	SP2	SP3	GP1	GP2	GP3
Zaman	1	-0.566**	0.655**	-0.478*	0.728**	0.167	0.255
SP1		1	-0.194	0.136			
SP2			1	-0.616**			
SP3				1			
GP1					1	0.543*	0.206
GP2						1	-0.157
GP3							1

** . % 1 önem seviyesinde önemli (2-tailed).

* . % 5 önem seviyesinde önemli (2-tailed).

Çizelge A.8. Akçakale serisi toprağının tarla kapasitesinde gübresiz ve gübreli olarak inkübasyon sonrası belirlenen parametreler arası Pearson Korelasyonu

	Zaman	SP1	SP2	SP3	GP1	GP2	GP3
Zaman	1	0.527*	0.600**	0.412	0.569**	0.685**	0.323
SP1		1	0.715**	0.046			
SP2			1	-0.073			
SP3				1			
GP1					1	0.920**	-0.065
GP2						1	-0.002
GP3							1

** . % 1 önem seviyesinde önemli (2-tailed).

* . % 5 önem seviyesinde önemli (2-tailed).

Çizelge A.9. Harran serisi toprağının tarla kapasitesinde gübresiz ve gübreli olarak inkübasyon sonrası g belirlenen parametreler arası Pearson Korelasyonu (N=35)

	Zaman	SP1	SP2	SP3	GP1	GP2	GP3
Zaman	1	0.503*	0.272	0.083	0.585**	0.333	-0.336
SP1		1	0.493*	0.347			
SP2			1	0.122			
SP3				1			
GP1					1	0.833**	-0.105
GP2						1	-0.056
GP3							1

** . % 1 önem seviyesinde önemli (2-tailed).

* . % 5 önem seviyesinde önemli (2-tailed).

SP1: Gübresiz toprağın NaOH-P fraksiyonu, GP1: Gübreli toprağın NaOH-P fraksiyonu

SP2: Gübresiz toprağın CDB-P fraksiyonu, GP2: Gübreli toprağın CDB-P fraksiyonu

SP3: Gübresiz toprağın HCl-P fraksiyonu, GP3: Gübreli toprağın HCl-P fraksiyonu

Çizelge A.10. Begdeş serisi toprağında pamuk yetiştirilen saksıların drenaj suyu kalite parametreleri ve besin maddesi içerikleri arasındaki Pearson Korelasyonu (N=20)

	Zaman	pH	EC	P	B	Ca	Cu	K	Mg	Mn	Na	Fe	S	Cl	CO ₃	HCO ₃
Zaman	1	-0.848**	0.210	0.351	-0.443	-0.740**	-0.505*	-0.835**	-0.091	0.575**	-0.797**	0.482*	-0.968**	-0.436	0.699**	0.551*
pH		1	-0.224	-0.113	0.601**	0.587**	0.343	0.630**	-0.025	-0.677**	0.736**	-0.617**	0.781**	0.543*	-0.583**	-0.205
EC			1	0.508*	-0.024	0.334	0.034	0.032	0.627**	0.473*	0.068	0.327	-0.215	0.050	0.020	0.337
P				1	0.452*	0.059	-0.420	-0.360	0.394	0.272	0.091	0.197	-0.458*	0.303	0.438	0.607**
B					1	0.317	-0.311	0.109	0.023	-0.608**	0.706**	-0.503*	0.334	0.704**	-0.164	-0.102
Ca						1	0.489*	0.815**	0.621**	-0.100	0.789**	-0.173	0.740**	0.373	-0.654**	-0.298
Cu							1	0.737**	0.332	0.138	0.326	0.025	0.508*	-0.091	-0.320	-0.040
K								1	0.312	-0.274	0.666**	-0.292	0.856**	0.365	-0.687**	-0.386
Mg									1	0.402	0.368	0.323	0.079	0.011	-0.072	0.076
Mn										1	-0.464*	0.824**	-0.579**	-0.558*	0.403	0.489*
Na											1	-0.425	0.755**	0.583**	-0.532*	-0.322
Fe												1	-0.496*	-0.462*	0.412	0.375
S													1	0.418	-0.750**	-0.639**
Cl														1	-0.254	0.009
CO ₃															1	0.547*
HCO ₃																1

** . % 1 önem seviyesinde önemli (2-tailed).

* . % 5 önem seviyesinde önemli (2-tailed).

Çizelge A.11. Akçakale serisi toprağında pamuk yetiştirilen saksıların drenaj suyu kalite parametreleri ve besin maddesi içerikleri arasındaki Pearson Korelasyonu (N=20)

	Zaman	pH	EC	P	B	Ca	Cu	K	Mg	Mn	Na	Fe	S	Cl	CO ₃	HCO ₃
Zaman	1	-0.597**	0.284	0.586**	0.164	-0.736**	-0.624**	-0.421	0.311	0.721**	0.779**	0.691**	-0.891**	0.837**	0.467*	0.515*
pH		1	0.190	0.025	0.504*	0.682**	-0.183	0.575**	0.082	-0.695**	-0.870**	-0.535*	0.785**	-0.369	-0.333	-0.415
EC			1	0.558*	0.642**	0.172	-0.476*	0.472*	0.794**	-0.120	0.168	0.317	-0.019	0.546*	0.177	0.221
P				1	0.722**	-0.130	-0.844**	0.113	0.686**	0.135	0.234	0.161	-0.200	0.759**	-0.167	0.649**
B					1	0.187	-0.782**	0.382	0.706**	-0.368	-0.277	-0.061	0.220	0.415	-0.091	0.165
Ca						1	0.214	0.734**	0.044	-0.511*	-0.717**	-0.663**	0.859**	-0.423	-0.608**	-0.184
Cu							1	0.018	-0.538*	-0.158	-0.058	-0.231	0.266	-0.686**	-0.134	-0.322
K								1	0.233	-0.526*	-0.416	-0.435	0.616**	-0.167	-0.485*	0.026
Mg									1	-0.068	0.185	0.413	-0.015	0.585**	0.119	0.330
Mn										1	0.724**	0.586**	-0.800**	0.516*	0.327	0.398
Na											1	0.740**	-0.874**	0.623**	0.415	0.530*
Fe												1	-0.763**	0.546*	0.752**	0.153
S													1	-0.608**	-0.597**	-0.356
Cl														1	0.212	0.670**
CO ₃															1	-0.409
HCO ₃																1

** . % 1 önem seviyesinde önemli (2-tailed).

* . % 5 önem seviyesinde önemli (2-tailed).

Çizelge A.12. Harran serisi toprağında pamuk yetiştirilen saksıların drenaj suyu kalite parametreleri ve besin maddesi içerikleri arasındaki Pearson Korelasyonu (N=20)

	Zaman	pH	EC	P	B	Ca	Cu	K	Mg	Mn	Na	Fe	S	Cl	CO ₃	HCO ₃
Zaman	1	-0.815**	0.489*	0.594**	-0.351	-0.415	-0.342	-0.505*	0.243	0.379	-0.728**	0.682**	-0.905**	0.647**	0.908**	0.484*
pH		1	-0.414	-0.286	0.609**	0.314	-0.064	0.488*	-0.207	-0.525*	0.777**	-0.717**	0.629**	-0.456*	-0.557*	-0.028
EC			1	0.754**	0.132	0.534*	-0.387	-0.022	0.886**	0.371	0.000	0.359	-0.358	0.188	0.526*	0.464*
P				1	0.288	0.154	-0.757**	-0.322	0.772**	0.280	-0.023	0.384	-0.614**	0.420	0.725**	0.867**
B					1	0.358	-0.572**	0.357	0.339	-0.496*	0.778**	-0.439	0.211	0.007	-0.039	0.375
Ca						1	-0.071	0.422	0.600**	-0.009	0.568**	-0.373	0.513*	-0.546*	-0.294	-0.012
Cu							1	0.120	-0.506*	0.230	-0.176	-0.004	0.419	-0.301	-0.577**	-0.756**
K								1	-0.017	-0.439	0.555*	-0.387	0.477*	-0.367	-0.412	-0.266
Mg									1	0.338	0.285	0.285	-0.173	0.120	0.323	0.471*
Mn										1	-0.363	0.674**	-0.226	0.135	0.172	0.117
Na											1	-0.497*	0.591**	-0.302	-0.493*	0.004
Fe												1	-0.714**	0.648**	0.496*	0.238
S													1	-0.794**	-0.889**	-0.568**
Cl														1	0.587**	0.380
CO ₃															1	0.672**
HCO ₃																1

** . % 1 önem seviyesinde önemli (2-tailed).

* . % 5 önem seviyesinde önemli (2-tailed).

Çizelge A.13. Begdeş serisi toprağında saksıda yetiştirilen pamuk yapraklarının besin maddesi içerikleri arasındaki korelasyonlar (N=15)

	Zaman	Ca	K	Mg	Na	P	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B	N
Zaman	1	0.676**	-0.860**	0.474	0.706**	-0.815**	0.471	0.681**	0.924**	-0.523*	-0.611*	0.520*	-0.258
Ca		1	-0.703**	0.359	0.466	-0.540*	0.746**	0.745**	0.792**	-0.217	-0.432	0.017	-0.518*
K			1	-0.571*	-0.689**	0.669**	-0.553*	-0.517*	-0.833**	0.443	0.493	-0.423	0.243
Mg				1	0.801**	-0.352	0.472	0.062	0.560*	-0.030	-0.492	0.519*	0.104
Na					1	-0.592*	0.598*	0.218	0.745**	-0.254	-0.471	0.675**	0.117
P						1	-0.369	-0.448	-0.642**	0.687**	0.690**	-0.197	0.131
S							1	0.442	0.672**	-0.133	-0.180	0.216	-0.162
Fe								1	0.756**	-0.216	-0.336	-0.029	-0.636*
Mn									1	-0.337	-0.536*	0.518*	-0.390
Cu										1	0.510	-0.191	-0.079
Zn											1	-0.201	0.064
B												1	0.253
N													1

** . % 1 önem seviyesinde önemli (2-tailed).

* . % 5 önem seviyesinde önemli (2-tailed).

Çizelge A.14. Akçakale serisi toprağında saksıda yetiştirilen pamuk yapraklarının besin maddesi içerikleri arasındaki korelasyonlar (N=15)

	Zaman	Ca	K	Mg	Na	P	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B	N
Zaman	1	-0.568*	-0.946**	0.227	0.887**	-0.908**	0.625*	0.912**	0.290	0.679**	-0.907**	0.854**	-0.033
Ca		1	0.650**	0.251	-0.738**	0.764**	-0.340	-0.324	-0.018	-0.731**	0.723**	-0.761**	-0.284
K			1	-0.105	-0.912**	0.910**	-0.635*	-0.827**	-0.216	-0.774**	0.902**	-0.885**	-0.096
Mg				1	0.121	-0.173	0.244	0.271	0.488	0.018	-0.182	0.116	-0.553*
Na					1	-0.988**	0.780**	0.680**	0.146	0.918**	-0.974**	0.987**	0.108
P						1	-0.759**	-0.704**	-0.202	-0.889**	0.971**	-0.979**	-0.083
S							1	0.461	0.030	0.787**	-0.707**	0.755**	0.141
Fe								1	0.310	0.458	-0.723**	0.631*	-0.161
Mn									1	0.060	-0.100	0.146	-0.751**
Cu										1	-0.848**	0.928**	0.254
Zn											1	-0.963**	-0.074
B												1	0.129
N													1

**. % 1 önem seviyesinde önemli (2-tailed).

*. % 5 önem seviyesinde önemli (2-tailed).

Çizelge A.15. Harran serisi toprağında saksıda yetiştirilen pamuk yapraklarının besin maddesi içerikleri arasındaki korelasyonlar (N=15)

	Zaman	Ca	K	Mg	Na	P	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B	N
Zaman	1	0.671**	-0.708**	0.499	0.872**	-0.838**	0.435	0.776**	0.585*	0.069	-0.689**	-0.517*	-0.207
Ca		1	-0.635*	0.634*	0.532*	-0.515*	0.118	0.533*	0.499	0.165	-0.345	-0.325	-0.480
K			1	-0.405	-0.388	0.386	-0.093	-0.323	-0.251	-0.340	0.448	0.773**	0.597*
Mg				1	0.566*	-0.559*	0.222	0.530*	0.450	0.412	-0.492	0.083	0.016
Na					1	-0.979**	0.530*	0.950**	0.490	0.061	-0.673**	-0.209	0.115
P						1	-0.401	-0.960**	-0.404	-0.075	0.641*	0.167	-0.082
S							1	0.377	0.647**	-0.118	-0.310	-0.267	0.205
Fe								1	0.404	0.055	-0.591*	-0.162	0.136
Mn									1	-0.254	-0.370	-0.216	-0.008
Cu										1	0.231	0.033	-0.025
Zn											1	0.269	0.040
B												1	0.575*
N													1

** . % 1 önem seviyesinde önemli (2-tailed).

* . % 5 önem seviyesinde önemli (2-tailed).

Çizelge A.16. Akçakale serisi toprağında pamuk yetiştirilen saksıların fosfor fraksiyonları arasındaki korelasyonlar (N=25)

	Zaman	AP1	AP2	AP3
Zaman	1	0.985**	0.059	-0.845**
AP1		1	0.049	-0.840**
AP2			1	-0.232
AP3				1

** . % 1 önem seviyesinde önemli (2-tailed).

* . % 5 önem seviyesinde önemli (2-tailed).

AP1: Akçakale serisi toprağının NaOH-P fraksiyonu

AP2: Akçakale serisi toprağının CDB-P fraksiyonu

AP3: Akçakale serisi toprağının HCl-P fraksiyonu

Çizelge A.17. Beğdeş serisi toprağında pamuk yetiştirilen saksıların fosfor fraksiyonları arasındaki korelasyonlar (N=25)

	Zaman	BP1	BP2	BP3
Zaman	1	0.967**	0.953**	-0.420*
BP1		1	0.927**	-0.348
BP2			1	-0.382
BP3				1

** . % 1 önem seviyesinde önemli (2-tailed).

* . % 5 önem seviyesinde önemli (2-tailed).

BP1: Beğdeş serisi toprağının NaOH-P fraksiyonu

BP2: Beğdeş serisi toprağının CDB-P fraksiyonu

BP3: Beğdeş serisi toprağının HCl-P fraksiyonu

Çizelge A.18. Harran serisi toprağında pamuk yetiştirilen saksıların fosfor fraksiyonları arasındaki korelasyonlar (N=25)

	Zaman	HP1	HP2	HP3
Zaman	1	0.947**	-0.279	0.401*
HP1		1	0.021	0.392
HP2			1	-0.102
HP3				1

** . % 1 önem seviyesinde önemli (2-tailed).

* . % 5 önem seviyesinde önemli (2-tailed).

HP1: Harran serisi toprağının NaOH-P fraksiyonu

HP2: Harran serisi toprağının CDB-P fraksiyonu

HP3: Harran serisi toprağının HCl-P fraksiyonu

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mehmet KARAGÖKTAŞ
Doğum Yeri ve Yılı : Gaziantep, 1987
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : mkaragoktas@gmail.com



Eğitim Durumu

Lise : Oğuzeli Çok Programlı Lisesi, Gaziantep, 2005.
Lisans : KSU, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü
Kahramanmaraş, 2009.
Yüksek Lisans : KSU, Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme
Bölümü, Kahramanmaraş, 2012.

Mesleki Deneyim

KSU, Fen Bilimleri Enstitüsü , Kahramanmaraş 2010-2012
GAP Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Şanlıurfa 2012-2016

Yayınları

Karagöktaş M., Dikici H., Sarıkoç M. (2011). Peat Yangınlarının Azot, Fosfor ve Potasyum Besin Elementlerinin Yarıyışlılığı Üzerine Etkisi. Prof. Dr. Nuri Munsuz Ulusal Toprak ve Su Sempozyumu. p.341-348.

Yakupoğlu, T., Saltalı, K., **Karagöktaş, M.**, Abacı, A.A., Demirci, D., (2012). Mechanical differences among soils having same textural class. 8th International Soil Science Congress on "Land Degradation and Challenges in Sustainable Soil Management" May 15-17, Çeşme, İzmir, Turkey. Proceedings Vol. III, (Eds: Okur, N., Bolca, M., Esetlili, M.T), pp: 565-570.

Yakupoğlu T., Şişman A. Ö., **Karagöktaş M.**, Demir Ö. F. (2013). Toprakların Doygun Koşullardaki Hidrolik İletkenlik Değerlerinin Pedotransfer Eşitlikler ile Tahminlenmesi. SDÜ Ziraat Fak. Derg., 8 (1):84-92, 2013.

Karagoktas, M., Uygur V., Aydoğdu M., Rastgeldi İ. (2014). The effects of pistachio nut hull compost on soil fertility: A comparative study with manure, 9th International Soil Science Congress on "The Soul of Soil and Civilization"Side, Antalya / Turkey, 2014.

Aytop, H., Yılmaz C.H., **Karagöktaş, M.**, Akkuş, H.N., Erayman, H.M., Demir, Ö.F., Dikici, H., Gezginç, H. (2015). Harran Ovası'nda Sulanan Arazilerin Verimlilik Durumlarının Toprak Analizleri ile Belirlenmesi. IV. Uluslararası Katılımlı Toprak ve Su Kaynakları Kongresi, 01-04 Eylül, Kahramanmaraş.