T.C.
ISPARTA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ
TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

SU BASKINI VE ORGANİK MADDE ETKİLEŞİMİNİN TETİKLEDİĞİ REDOKS POTANSİYELİNDEKİ DEĞİŞİMLERİN TOPRAKLARDA BİTKİ BESİN ELEMENTLERİ YARAYIŞLILIĞINA, FOSFOR VE ÇİNKO ADSORPSİYONUNA ETKİSİ

Süleyman ÖREN

Danışman
Prof. Dr. Veli UYGUR

ISPARTA - 2023

© 2023 [Süleyman ÖREN]

ETİK BEYANI

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak ve bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın hazırladığım bu tez çalışmasında;

Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

21/09/2023

Süleyman ÖREN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER i
ÖZET iii
ABSTRACT iv
TEŞEKKÜR v
ŞEKİLLER DİZİNİ vi
ÇİZELGELER DİZİNİ x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ xii
1. GİRİŞ 1
1.1. Topraktaki Yaygın Redoks Reaksiyonları 1
1.2. Topraklardaki Yükseltgenme İndirgenme Reaksiyonları 2
1.2.1. Elektron veren yapılar (yükseltgenenler) 2
1.2.2. Elektron alan yapılar (indirgenenler) 3
1.2.3. Su altında kalan topraklar 5
1.2.4. Redoks-su ilişkisi 5
1.3. Fosfor Adsorpsiyonu 6
1.4. Çinko Adsorpsiyonu 7
2. KAYNAK ÖZETLERİ 10
2.1. Redoks-pH İlişkisi 10
2.2. Redoks-Fosfor İlişkisi 11
2.3. Redoks-Mikroelement İlişkileri 12
2.4. Redoks-Organik Madde İlişkisi 16
2.5. Topraklarda Fosfor Adsorpsiyonu 17
2.6. Topraklarda Çinko Adsorpsiyonu 25
2.7. Topraklarda Adsorpsiyon İzoterm Eğrilerinin Elde Edilmesi 28
3. MATERYAL VE YÖNTEM 30
3.1. Materyal 30
3.2. Metot 32
3.2.1. Toprak örneklemesi ve ön hazırlıklar 32
3.2.2. Temel toprak özelliklerinin tespiti 32
3.2.2.1. Toprak pH'sı, EC'si ve ORP 32
3.2.2.2. Organik madde 33
3.2.2.3. Kireç 33
3.2.2.4. Toprak tekstürü 33
3.2.2.5. Kullanılabilir (yarayışlı) fosfor 33
3.2.2.6. Yarayışlı K, Na, Ca, Mg belirlenmesi 33
3.2.2.7. Katyon değişim kapasitesi (KDK) 33
3.2.2.8. Yarayışlı Fe, Mn, Cu, Zn belirlenmesi 34
3.2.2.9. Toplam Fe, Al, Mn, P belirlenmesi 34
3.2.2.10. Kademeli ekstraksiyon yöntemi ile katyonik mikroelementlerin fraksiyonlarının belirlenmesi 34
3.2.2.11. Kademeli ekstraksiyon ile fosfor fraksiyonlarının belirlenmesi 36
3.2.3. İnkübasyon denemesinin kurulması ve yürütülmesi 36
3.2.4. Drenaj çözeltisinde yapılan analizler 37
3.2.5. Adsorpsiyon denemesinin kurulması ve yönetilmesi 37
3.2.5.1. Fosfor adsorpsiyon çalışması 40
3.2.5.2. Çinko adsorpsiyon çalışması 41
3.2.5.3. Adsorpsiyon izoterm eğrilerinin elde edilmesi 41

3.3. İstatistiksel Değerlendirmeler 43
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 46
4.1. İnkübasyon Denemesi 46
4.1.1. İnkübasyonun toprakların tanımlayıcı özellikleri üzerine etkisi 46
4.1.2. İnkübasyon sonrasında ölçülen toprak özelliklerinin etkisi 69
4.1.3. Su baskını süresinin bazı toprak özelliklerine etkisi 75
4.1.4. Çiftlik gübresinin ve su baskını süresinin bazı redoks özelliklerine etkisi 82
4.2. Toprakların Drenaj Çözeltisinin Bileşimi 95
4.2.1. Drenajın toprakların tanımlayıcı özellikleri üzerine etkisi 95
4.2.2. Su baskını sonrası yapılan drenajın bitki besin elementlerine etkisi 107
4.2.3. Çiftlik gübresinin ve su baskını süresinin drenaj çözeltisinde bazı elementlere etkisi 111
4.3. Topraklarda Adsorpsiyon İzotermleri 118
4.3.1. Topraklarda fosfor adsorpsiyonu 118
4.3.2. Topraklarda çinko adsorpsiyonu 154
5. SONUÇ VE ÖNERİLER 188
KAYNAKLAR 194
EKLER 212
EK A. Çizelgeler 213
ÖZGEÇMİŞ 219

ÖZET

Doktora Tezi

SU BASKINI VE ORGANİK MADDE ETKİLEŞİMİNİN TETİKLEDİĞİ REDOKS POTANSİYELİNDEKİ DEĞİŞİMLERİN TOPRAKLARDA BİTKİ BESİN ELEMENTLERİ YARAYIŞLILIĞINA, FOSFOR VE ÇİNKO ADSORPSİYONUNA ETKİSİ

Süleyman ÖREN
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Veli UYGUR

Redoks reaksiyonları hem doğrudan redoks elementlerini hem de dolaylı olarak diğer tüm bitki besin elementlerinin yarayışlılığını ve reaksiyonlarını etkilemektedir. İki aşamalı yürütülen bu çalışmanın birinci aşamasında, 10 farklı toprakta çiftlik gübresi uygulamalarının (0 ve 4 t da-1) ve su baskını uygulamalarının (1:2 toprak su karışımında 0, 7, 14, 21, 40 gün) birlikte rutin olarak yapılan besin elementlerinin yarayışlılığına etkisi inkübasyon denemesiyle incelenmiştir. Çalışmada drenaj suyunun elementel bileşimi ve sonrasında kurutulan toprakta besin elementlerinin yarayışlılığı ve toprak reaksiyonu (pH), elektriksel iletkenlik (EC), oksidasyon redüksiyon potansiyeli (ORP) parametreleri belirlenmiştir. İkinci aşamada redoksa duyarlı topraklardan 5 tanesi temel bileşen analizi ile seçilerek su baskını ve çiftlik gübresi uygulamalarının toprakların çinko (Zn) ve fosfor (P) adsorpsiyonuna etkileri batch sorpsiyon tekniği ile incelenmiştir. Verilerin Langmuir ve Freundlich izortemlerine uygunluğu istatistiksel olarak test edilmiştir. Redoks reaksiyonları, bitki besin elementlerinin yarayışlılığını kısa vadede pH'daki değişimler ve demir ve mangan oksitlerin çözünmesi neticesinde arttırdığı; uzun vadede ise ikincil çökelme ve adsorpsiyon reaksiyonlarıyla azalttığı tespit edilmiştir. Yarayışlılık genellikle 21. güne kadar artma eğilimi göstermiş sonrasında kısmen dengeye ulaşmıştır. Çiftlik gübresi uygulaması redoks ve bağlı reaksiyonların daha şiddetli şekilde gerçekleşmesine neden olmuştur. Toprakların Zn ve P adsorpsiyon izotermleri her iki izoterm modeliyle tanımlanmış olmakla birlikte Langmuir izotermi daha iyi performans göstermiştir. Çiftlik gübre uygulamaları adsorpsiyonu genelde arttırmıştır. Bu durum çiftlik gübresinin toprak tampon sistemlerine katkısının ve adsorpsiyon kapasitesinin bir göstergesi olarak değerlendirilmiştir. Sonuç olarak rutin toprak analizlerine ORP parametresinin de eklenmesinin arazinin farklı dönemlerindeki analiz sonuçlarının karşılaştırılmasında faydalı olacağı, düşünülmektedir

Anahtar Kelimeler: Redoks potansiyeli, Organik madde, pH, Drenaj, P adsorpsiyonu, Zn adsorpsiyonu

2023, 219 sayfa

ABSTRACT

Ph.D. Dissertation

EFFECTS OF CHANGES IN REDOX POTENTIAL INDUCED BY FLOODING AND ORGANIC MATTER INTERACTION ON PLANT NUTRIENT ELEMENTS AVAILABILITY, PHOSPHORUS AND ZINC ADSORPTION IN SOILS

Süleyman ÖREN

Isparta University of Applied Sciences
The Institute of Graduate Education
Department of Soil Science and Plant Nutrition

Supervisor: Prof. Dr. Veli UYGUR

Redox reactions affect both directly the redox elements and indirectly the availability and reactions of all other plant nutrients. In the first phase of this two-stage study, the effect of farmyard manure (FYM) applications (0, 4 t da-1) and flooding treatments (0, 7, 14, 21, 40 days) on nutrient availability in 10 soils were investigated by incubation experiment. The elemental composition of the drainage water, nutrient availability and pH, electrical conductivity (EC), oxidation-reduction potential (ORP) parameters were determined in the soil. In the second stage, 5 redox-sensitive soils were selected and the effects of flooding and FYM applications on zinc and phosphorus adsorption were investigated by batch sorption technique. The confirmation of data were statistically tested for Langmuir and Freundlich isotherms. It was found that the redox reactions increased the plant nutrient availability in the short-term due to changes in pH and dissolution of iron and manganese oxides and decreased it in the long-term due to secondary precipitation and adsorption reactions. Generally, the availability tended to increase until day 21 and then partially reached equilibrium. The application of FYM resulted in more severe redox and related reactions. The isotherms of soils were described by both isotherm models, but Langmuir isotherm showed better performance. FYM application generally increased the adsorption. This was considered as an indication of the contribution of FYM to soil buffer systems and its adsorption capacity. It is thought that the addition of ORP parameter to routine soil analyses is suggested for comparing the results in different periods.

Key Words: Redox potential, Organic matter, pH, Drainage, P adsorption, Zn adsorption

2023, 219 pages

TEŞEKKÜR

Tezimin yürütülmesinde desteğini ve emeğini hiçbir zaman esirgemeyen tez danışmanım sayın Prof. Dr. Veli UYGUR'a, çalışma süresince bana desteklerinden dolayı Dr. Arş. Gör. Enise SUKUŞU'na teşekkürlerimi sunarım.

2021-Dl-0149 No`lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Çalışmaların yürütülmesi sırasında yardımlarını esirgemeyen bölümüm öğretim üyelerine teşekkür ederim.

Arkadaşlarım Mehmet CILBIZ, Hüsamettin BESİM, Bayram YILMAZ ve Dursun AKIN'a göstermiş oldukları özverili yardımları nedeniyle teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan biricik eşim Asuman ÖREN'e sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Süleyman ÖREN
ISPARTA, 2023

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Redoks potansiyeli ve pH'nın bazı elementlere etkisi 4
Şekil 2.1. Toprak pH'sına göre topraktaki fosforun mineral formları 11
Şekil 3.1. İnkübasyon topraklarının PC1 ve PC2 ile ilgili özelliklere bağlı olarak oluşan dağılım grafiği 40
Şekil 3.2. Çözeltiden adsorpsiyonda izoterm tipleri 42
Şekil 4.1. Tarım topraklarında fosfor döngüsü 59
Şekil 4.2. Birim çemberde PC1-PC2'ye göre toprak özelliklerinin vektörel gösterimi 68
Şekil 4.3. Birim çemberde su baskını süreleri (0, 7, 14, 21, 40 gün) sonrası PC1-PC2'ye göre faktörlerin vektörel gösterimi 72
Şekil 4.4. Toprakların inkübasyon sonrası PC1-PC2'ye göre dağılımı 75
Şekil 4.5. Birim çemberde su baskını süresinin PC1 ve PC2'ye göre toprak özelliklerine etkisi 77
Şekil 4.6. Su baskını sürelerinin PC1 ve PC2'ye göre dağılımı 79
Şekil 4.7. Çiftlik gübresinin ve su baskını süresinin pH üzerine etkisi 83
Şekil 4.8. Çiftlik gübresinin ve su baskını süresinin ORP üzerine etkisi 84
Şekil 4.9. Redoks koşullarında strengit ve variscitin vivianite dönüşüm sınırları 86
Şekil 4.10. Çiftlik gübresinin ve su baskını süresinin Olsen-P üzerine etkisi 88
Şekil 4.11. Çiftlik gübresinin ve su baskını süresinin DTPA-Fe üzerine etkisi 89
Şekil 4.12. Çiftlik gübresinin ve su baskını süresinin DTPA-Mn üzerine etkisi 92
Şekil 4.13. Çiftlik gübresinin ve su baskını süresinin DTPA-Cu üzerine etkisi 94
Şekil 4.14. Çiftlik gübresinin ve su baskını süresinin DTPA-Zn üzerine etkisi 95
Şekil 4.15. Birim çemberde PC1-PC2'ye göre toprak ve drenaj çözeltisi özelliklerinin vektörel gösterimi 106
Şekil 4.16. Birim çemberde PC1-PC2'ye göre drenaj çözeltisi özelliklerinin vektörel gösterimi 110
Şekil 4.17. Çiftlik gübresinin ve su baskını süresinin drenaj çözeltisindeki fosfor miktarına etkisi 112
Şekil 4.18. Çiftlik gübresinin ve su baskını süresinin drenaj çözeltisindeki demir miktarına etkisi 113
Şekil 4.19. Çiftlik gübresinin ve su baskını süresinin drenaj çözeltisindeki mangan miktarına etkisi 114
Şekil 4.20. Çiftlik gübresinin ve su baskını süresinin drenaj çözeltisindeki bakır miktarına etkisi 116
Şekil 4.21. Çiftlik gübresinin ve su baskını süresinin drenaj çözeltisindeki çinko miktarına etkisi 117
Şekil 4.22. Çiftlik gübresi uygulanmayan ($ÇG_0$) birinci toprakta (T_1) su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Freundlich adsorpsiyon izotermleri 123
Şekil 4.23. Çiftlik gübresi uygulanmayan ($ÇG_0$) birinci toprakta (T_1) su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Langmuir adsorpsiyon izotermleri 124
Şekil 4.24. Birinci toprakta (T_1) çiftlik gübresi ($ÇG_4$) ve su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Freundlich adsorpsiyon izotermleri 126
Şekil 4.25. Birinci toprakta (T_1) Freundlich adsorpsiyon izoterminde çiftlik gübresi (ÇG) ve su baskını süresinin etkisi 127

Şekil 4.26. Birinci toprakta (T_1) çiftlik gübresi ($ÇG_4$) ve su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Langmuir adsorpsiyon izotermleri 128
Şekil 4.27. Çiftlik gübresi uygulanmayan ($ÇG_0$) ikinci toprakta (T_2) su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Freundlich adsorpsiyon izotermleri 130
Şekil 4.28. Çiftlik gübresi uygulanmayan ($ÇG_0$) ikinci toprakta (T_2) su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Langmuir adsorpsiyon izotermleri 131
Şekil 4.29. İkinci toprakta (T_2) çiftlik gübresi ($ÇG_4$) ve su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Freundlich adsorpsiyon izotermleri 132
Şekil 4.30. İkinci toprakta (T_2) Freundlich adsorpsiyon izoterminde çiftlik gübresi (ÇG) ve su baskını süresinin etkisi 133
Şekil 4.31. İkinci toprakta (T_2) çiftlik gübresi ($ÇG_4$) ve su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Langmuir adsorpsiyon izotermleri 134
Şekil 4.32. Çiftlik gübresi uygulanmayan ($ÇG_0$) üçüncü toprakta (T_3) su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Freundlich adsorpsiyon izotermleri 136
Şekil 4.33. Çiftlik gübresi uygulanmayan ($ÇG_0$) üçüncü toprakta (T_3) su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Langmuir adsorpsiyon izotermleri 137
Şekil 4.34. Üçüncü toprakta (T_3) çiftlik gübresi ($ÇG_4$) ve su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Freundlich adsorpsiyon izotermleri 138
Şekil 4.35. Üçüncü toprakta (T_3) Freundlich adsorpsiyon izoterminde çiftlik gübresi (ÇG) ve su baskını süresinin etkisi 139
Şekil 4.36. Üçüncü toprakta (T_3) çiftlik gübresi ($ÇG_4$) ve su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Langmuir adsorpsiyon izotermleri 140
Şekil 4.37. Çiftlik gübresi uygulanmayan ($ÇG_0$) dördüncü toprakta (T_4) su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Freundlich adsorpsiyon izotermleri 142
Şekil 4.38. Çiftlik gübresi uygulanmayan ($ÇG_0$) dördüncü toprakta (T_4) su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Langmuir adsorpsiyon izotermleri 143
Şekil 4.39. Dördüncü toprakta (T_4) çiftlik gübresi ($ÇG_4$) ve su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Freundlich adsorpsiyon izotermleri 144
Şekil 4.40. Dördüncü toprakta (T_4) Freundlich adsorpsiyon izoterminde çiftlik gübresi (ÇG) ve su baskını süresinin etkisi 145
Şekil 4.41. Dördüncü toprakta (T_4) çiftlik gübresi ($ÇG_4$) ve su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Langmuir adsorpsiyon izotermleri 146
Şekil 4.42. Çiftlik gübresi uygulanmayan ($ÇG_0$) beşinci toprakta (T_5) su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Freundlich adsorpsiyon izotermleri 148

Şekil 4.43. Çiftlik gübresi uygulanmayan ($ÇG_0$) beşinci toprakta (T_5) su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Langmuir adsorpsiyon izotermleri 149
Şekil 4.44. Beşinci toprakta (T_5) çiftlik gübresi ($ÇG_4$) ve su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Freundlich adsorpsiyon izotermleri 150
Şekil 4.45. Beşinci toprakta (T_5) Freundlich adsorpsiyon izoterminde çiftlik gübresi (ÇG) ve su baskını süresinin etkisi 151
Şekil 4.46. Beşinci toprakta (T_5) çiftlik gübresi ($ÇG_4$) ve su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Langmuir adsorpsiyon izotermleri 152
Şekil 4.47. Çiftlik gübresi uygulanmayan ($ÇG_0$) birinci toprakta (T_1) su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Freundlich adsorpsiyon izotermleri 158
Şekil 4.48. Çiftlik gübresi uygulanmayan ($ÇG_0$) birinci toprakta (T_1) su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Langmuir adsorpsiyon izotermleri 160
Şekil 4.49. Birinci toprakta (T_1) çiftlik gübresi ($ÇG_4$) ve su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Freundlich adsorpsiyon izotermleri 161
Şekil 4.50. Birinci toprakta (T_1) çiftlik gübresi ($ÇG_4$) ve su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Langmuir adsorpsiyon izotermleri 162
Şekil 4.51. Çiftlik gübresi uygulanmayan ($ÇG_0$) ikinci toprakta (T_2) su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Freundlich adsorpsiyon izotermleri 163
Şekil 4.52. Çiftlik gübresi uygulanmayan ($ÇG_0$) ikinci toprakta (T_2) su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Langmuir adsorpsiyon izotermleri 165
Şekil 4.53. İkinci toprakta (T_2) çiftlik gübresi ($ÇG_4$) ve su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Freundlich adsorpsiyon izotermleri 166
Şekil 4.54. İkinci toprakta (T_2) çiftlik gübresi ($ÇG_4$) ve su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Langmuir adsorpsiyon izotermleri 167
Şekil 4.55. Çiftlik gübresi uygulanmayan ($ÇG_0$) üçüncü toprakta (T_3) su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Freundlich adsorpsiyon izotermleri 168
Şekil 4.56. Çiftlik gübresi uygulanmayan ($ÇG_0$) üçüncü toprakta (T_3) su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Langmuir adsorpsiyon izotermleri 170
Şekil 4.57. Üçüncü toprakta (T_3) çiftlik gübresi ($ÇG_4$) ve su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Freundlich adsorpsiyon izotermleri 172
Şekil 4.58. Üçüncü toprakta (T_3) çiftlik gübresi ($ÇG_4$) ve su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Langmuir adsorpsiyon izotermleri 173
Şekil 4.59. Çiftlik gübresi uygulanmayan ($ÇG_0$) dördüncü toprakta (T_4) su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Freundlich adsorpsiyon izotermleri 175

Şekil 4.60. Çiftlik gübresi uygulanmayan ($ÇG_0$) dördüncü toprakta (T_4) su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Langmuir adsorpsiyon izotermleri 176
Şekil 4.61. Dördüncü toprakta (T_4) çiftlik gübresi ($ÇG_4$) ve su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Freundlich adsorpsiyon izotermleri 177
Şekil 4.62. Dördüncü toprakta (T_4) çiftlik gübresi ($ÇG_4$) ve su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Langmuir adsorpsiyon izotermleri 178
Şekil 4.63. Çiftlik gübresi uygulanmayan ($ÇG_0$) beşinci toprakta (T_5) su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Freundlich adsorpsiyon izotermleri 179
Şekil 4.64. Çiftlik gübresi uygulanmayan ($ÇG_0$) beşinci toprakta (T_5) su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Langmuir adsorpsiyon izotermleri 181
Şekil 4.65. Beşinci toprakta (T_5) çiftlik gübresi ($ÇG_4$) ve su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Freundlich adsorpsiyon izotermleri 182
Şekil 4.66. Beşinci toprakta (T_5) çiftlik gübresi ($ÇG_4$) ve su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Langmuir adsorpsiyon izotermleri 184

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1.1. Su baskını sonucunda topraklarda meydana gelen redoks reaksiyonları ve tipik redoks potansiyelleri 4
Çizelge 3.1. Toprak örneklerinin fiziko-kimyasal özellikleri 31
Çizelge 3.2. Toprak örnekleri seri ve koordinatları 31
Çizelge 3.3. Çalışmada kullanılan çiftlik gübresi muhtevası 32
Çizelge 3.4. İnkübasyon topraklarında açıklanan toplam varyans 38
Çizelge 3.5. İnkübe edilen topraklarda temel bileşenlere ait yükleme değerleri 39
Çizelge 4.1. Toprakların tanımlayıcı özellikleri arasındaki Spearman korelasyon katsayıları 48
Çizelge 4.2. Toprakların tanımlayıcı özellikleri ile bitki besin elementleri arasındaki Spearman korelasyon katsayıları 51
Çizelge 4.3. Toprakların tanımlayıcı özellikleri ile Fe-Al oksit fraksiyonları arasındaki Spearman korelasyon katsayıları 53
Çizelge 4.4. Toprakların tanımlayıcı özellikleri ile Zn fraksiyonları arasındaki Spearman korelasyon katsayıları 56
Çizelge 4.5. Toprakların tanımlayıcı özellikleri ile P fraksiyonları arasındaki Spearman korelasyon katsayıları 58
Çizelge 4.6. Toprakların tanımlayıcı özellikleri ile 7. gün su baskını arasındaki Spearman korelasyon katsayıları 62
Çizelge 4.7. Toprakların tanımlayıcı özellikleri ile 14. gün su baskını arasındaki Spearman korelasyon katsayıları 63
Çizelge 4.8. Toprakların tanımlayıcı özellikleri ile 21. gün su baskını arasındaki Spearman korelasyon katsayıları 64
Çizelge 4.9. Toprakların tanımlayıcı özellikleri ile 40. gün su baskını arasındaki Spearman korelasyon katsayıları 65
Çizelge 4.10. Toprak özellikleri ve inkübasyon sonuçlarının temel bileşen analizi ile açıklanan toplam varyans 66
Çizelge 4.11. Toprak özellikleri ve inkübasyon sonuçlarının temel bileşenlerine ait yükleme değerleri 67
Çizelge 4.12. Su baskını süreleri (0, 7, 14, 21, 40 gün) sonrası ölçülen özelliklerin arasındaki Spearman korelasyon katsayıları 70
Çizelge 4.13. Su baskını süreleri (0, 7, 14, 21, 40 gün) sonrası ölçülen özelliklerin temel bileşen analizi ile açıklanan toplam varyans 71
Çizelge 4.14. Su baskını süreleri (0, 7, 14, 21, 40 gün) sonrası ölçülen özelliklerin temel bileşenlerine ait yükleme değerleri 72
Çizelge 4.15. Su baskını sürelerinin (0, 7, 14, 21, 40 gün) ölçülen özellikler ile temel bileşen analizi ile açıklanan toplam varyans 76
Çizelge 4.16. Su baskını sürelerinin (0, 7, 14, 21, 40 gün) ölçülen özelliklerin temel bileşenlere ait yükleme değerleri 76
Çizelge 4.17. Toprakların tanımlayıcı özellikleri ile drenaj çözeltisindeki bazı bitki besin elementleri arasındaki Spearman korelasyon katsayıları 97

Çizelge 4.18. Toprakların tanımlayıcı özellikleri ile 7 gün su baskını sonrası drenaj çözeltisi özellikleri arasındaki Spearman korelasyon katsayıları ... 100
Çizelge 4.19. Toprakların tanımlayıcı özellikleri ile 14 gün su baskını sonrası drenaj çözeltisi özellikleri arasındaki Spearman korelasyon katsayıları ... 101
Çizelge 4.20. Toprakların tanımlayıcı özellikleri ile 21 gün su baskını sonrası drenaj çözeltisi özellikleri arasındaki Spearman korelasyon katsayıları ... 102
Çizelge 4.21. Toprakların tanımlayıcı özellikleri ile 40 gün su baskını sonrası drenaj çözeltisi özellikleri arasındaki Spearman korelasyon katsayıları ... 103
Çizelge 4.22. Toprak özellikleri ve su baskını sonrası drenaj çözeltisi ölçümlerinde temel bileşen analizi ile açıklanan toplam varyans 104
Çizelge 4.23. Toprak özellikleri ve su baskını sonrası drenaj çözeltisi ölçümlerinde temel bileşenlere ait yükleme değerleri 105
Çizelge 4.24. Su baskını sonrası drenaj çözeltisi ölçümlerinde temel bileşen analizi ile açıklanan toplam varyans 108
Çizelge 4.25. Su baskını sonrası drenaj çözeltisi ölçümlerinde temel bileşenlere ait yükleme değerleri 109
Çizelge 4.26. Topraktaki Olsen-P sınır değerleri 118
Çizelge 4.27. Topraktaki toplam fosfor sınır değerleri 119
Çizelge 4.28. Toprakların P adsorpsiyonu için hesaplanan izoterm parametreleri .. 121
Çizelge 4.29. Toprakların Zn adsorpsiyonu için hesaplanan izoterm parametreleri 157
Çizelge A.1. Toprak inkübasyonlarında kontrol düzeyi Spearman korelasyonu 213
Çizelge A.2. Toprak inkübasyonlarında sb0-sb7 Spearman korelasyonu 213
Çizelge A.3. Toprak inkübasyonlarında sb0-sb14 Spearman korelasyonu 213
Çizelge A.4. Toprak inkübasyonlarında sb0-sb21 Spearman korelasyonu 213
Çizelge A.5. Toprak inkübasyonlarında sb0-sb40 Spearman korelasyonu 214
Çizelge A.6. Toprak inkübasyonlarında sb7-sb7 Spearman korelasyonu 214
Çizelge A.7. Toprak inkübasyonlarında sb7-sb14 Spearman korelasyonu 214
Çizelge A.8. Toprak inkübasyonlarında sb7-sb21 Spearman korelasyonu 214
Çizelge A.9. Toprak inkübasyonlarında sb7-sb40 Spearman korelasyonu 215
Çizelge A.10. Toprak inkübasyonlarında sb14-sb14 Spearman korelasyonu 215
Çizelge A.11. Toprak inkübasyonlarında sb14-sb21 Spearman korelasyonu 215
Çizelge A.12. Toprak inkübasyonlarında sb14-sb40 Spearman korelasyonu 215
Çizelge A.13. Toprak inkübasyonlarında sb21-sb21 Spearman korelasyonu 216
Çizelge A.14. Toprak inkübasyonlarında sb21-sb40 Spearman korelasyonu 216
Çizelge A.15. Toprak inkübasyonlarında sb40-sb40 Spearman korelasyonu 216
Çizelge A.16. İzoterm eğrilerinde kullanılan fosfor adsorpsiyon seviyeleri 217
Çizelge A.17. İzoterm eğrilerinde kullanılan çinko adsorpsiyon seviyeleri 218

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AAS	Atomik adsorpsiyon spektrofotometri
AlOx	Alüminyum oksit
AFeOx	Amorf demir oksit
AFeOx-Zn	Amorf demir oksitlere bağlı çinko
AMnOx	Amorf mangan oksit
C	Kontrol
Ca^{+2}	Kalsiyum katyonu
Ca-P	Kalsiyuma bağlı fosfor
Car-Zn	Karbonatlara bağlı çinko
Ce	Denge konsantrasyonu (mg L^{-1})
CO_3^{-2}	Karbonat anyonu
Cu^{+2}	Bakır katyonu
CBD-P	Sitrat bikarbonat dithionit ile ekstrakte edilebilen fosfor
ÇG	Çiftlik gübresi
-d	Drenaj çözeltisinde
DTPA	Dietilen triamin pentaasetik asit
EC	Elektriksel iletkenlik
Eh	Redoks potansiyeli (mV)
EPC	Denge fosfat konsantrasyonu (Equilibrium phosphate concentration)
Fe^{+2}	İndirgenmiş demir (ferrous) iyonu
Fe^{+3}	Yükseltgenmiş demir (ferrik) iyonu
FeOx	Demir oksit
HCO_3^-	Bikarbonat anyonu
ICP-OES	İndüktif eşleşmiş plazma - optik emisyon spektrofotometri
K^+	Potasyum katyonu
KDK	Katyon değişim kapasitesi
KFeOx-Zn	Kristalin demir oksitlere bağlı çinko
Mg^{+2}	Magnezyum katyonu
Mn^{+2}	İndirgenmiş mangan katyonu
Mn^{+4}	Yükseltgenmiş mangan katyonu
MnOx	Serbest mangan oksit
MnOx-Zn	Mangan oksitlere bağlı çinko
N	Azot
N	Normalite
Na^+	Sodyum katyonu
$NaHCO_3$-P	Sodyum bikarbonat ile ekstrakte edilebilir fosfor
NaOH-P	Sodyum hidroksite bağlı fosfor
NH_4OAc	Amonyum asetat
OM	Organik madde
ORP	Oksidasyon redüksiyon potansiyeli
OS-Zn	Organik ve sülfitlere bağlı çinko
P	Fosfor
$p \leq 0.01$	%1 önemli seviyesi
$p \leq 0.05$	%5 önemli seviyesi
PC1	Temel bileşen 1
PC2	Temel bileşen 2
PC3	Temel bileşen 3
PC4	Temel bileşen 4

R	Korelasyon katsayısı
R-P	Bakiye fosfor
R-Zn	Bakiye çinko
S	Kükürt
S	Birim miktar toprağın adsorbe ettiği iyon miktarı (mg kg^{-1})
SB	Su baskını
S_{max}	Maksimum adsorpsiyon
SO_4^{-2}	Sülfat anyonu
TEA	Trietanolamin
TFeOx	Toplam demir oksit
TMnOx	Toplam mangan oksit
Toplam-P	Toplam fosfor
Toplam-Zn	Toplam çinko
WS-Ex-Zn	Suda çözünebilir, değişebilir çinko
y-	Yarayışlı
Zn^{+2}	Çinko katyonu

1. GİRİŞ

Toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinde gerek sulama gerekse doğal yağışlar sebebiyle su altında kalması ya da aşırı doygun koşulların oluşması sonucunda kritik değişimler oluşmaktadır. Su ile birlikte oluşan anaerobik koşullarda topraktaki oksijen (O_2) hızla tüketilerek indirgen şartlar oluşmaktadır. Yüzeyin ve topraktaki boşlukların su ile dolu olması nedeniyle toprak sisteminde oksijen difüzyon hızı düşmekte ve toprakta meydana gelen tüm kimyasal reaksiyonlar, değişimin etkisinin tamponlama prensibi çerçevesinde hareket etmektedir. Toprakların farklı fizikokimyasal özellikleri ve su altında kalma süresi, su altında kalan toprakların karakteristik davranışlarını belirlemede önem arz etmektedir.

1.1. Topraktaki Yaygın Redoks Reaksiyonları

Elektron transferi esasına dayalı maddenin yapısında oluşan kimyasal değişimler redoks reaksiyonları olarak adlandırılmaktadır.

Değişen redoks yani oksijenin ve hidrojenin kısmi basıncındaki değişimler sonucunda bazı elementlerde aşağıdaki yarı reaksiyonlarda verildiği üzere elektron transferleri gerçekleşir (Denklem 1.1).

Oksidasyon (Yükseltgenme) ➔ elektron verme

Redüksiyon (İndirgenme) ➔ elektron alma

$$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O \qquad (1.1)$$

Örnek olarak verilen bu reaksiyonda (1.1) hidrojen (H) oksijene elektron vererek indirgenmesini sağlar ve oksijenin -2 oksidasyon basamağına geçmesine neden olur. Bu reaksiyon sonucunda hidrojen ise 1 elektronunu kaybederek +1 değerlikli bir bileşen oluşturur. Oksidasyon koşullarının üst limitini belirleyen temel etken oksijenin kısmi basıncının 1 atm olduğu durumlardır. Aynı şekilde indirgen koşullarda hidrojenin kısmi basıncının 1 atm olduğu durumda en üst limitini belirlemektedir.

Topraklarda oluşan redoks reaksiyonları (ORP) tipik olarak bu iki elementin reaksiyonları üzerinden yürümekte olup hidrojen ve oksijenin kısmi basıncı redoks reaksiyonlarının yönünü belirlemektedir (Lindsay, 2001).

1.2. Topraklardaki Yükseltgenme İndirgenme Reaksiyonları

Topraklarda elektron alışverişine dayanan oksidasyon-redüksiyon reaksiyonları her zaman beraber gerçekleşmektedir. Zira redoks reaksiyonlarında bir madde elektron verirken, bir başkasının verilen bu elektronu alması gerekmektedir.

Toprakta herhangi bir zamandaki redoks potansiyeli, toprakta meydana gelen birçok reaksiyonu etkilemektedir. Bu bağlamda değişen biota ve toprak havasının kimyasal değişimi neticesinde, bitki besin elementlerinin alınabilir fraksiyonları, toprak oluşumunda etkili olaylar, mineral fazın bileşimi, organik ve inorganik yapıların ayrışması gibi reaksiyonların hepsi etkilenmektedir. Bu nedenlerle daha önce yapılmış çalışmalar (Akgül vd., 2001; Durgun, 2016) dikkate alınarak redoks reaksiyonlarında anahtar etkiye sahip olan özelliklerden başta tekstür olmak üzere pH, organik madde (OM), kireç, amorf yapıda bulunan FeOx ve MnOx içerikleri gibi özellikler çerçevesinde Atabey Ovası'ndan on farklı toprak örneği alınmıştır. Çalışmanın amacı organik madde ve su baskını (SB) altında kalma sürelerinin tetiklediği redoks reaksiyonlarının topraklardaki temel özelliklere etkisi ve oluşan bu reaksiyonların drenaj çözeltisi ile ortamdan kayıplara etkisinin incelenmesidir. Bu şekilde elde edilen sonuçların sulama döngüsü içerisinde gübreleme ve bitki ihtiyacına katkısının değerlendirilmesinin tespit edilmesi amaçlanmıştır.

1.2.1. Elektron veren yapılar (yükseltgenenler)

Topraklarda bulunan organik karbon içeren yapılar en önemli elektron sağlayıcıdırlar ki çoğunlukla toprağa hasat artıkları ve farklı derecelerde ayrışmaya uğramış bitkisel ve/veya hayvansal kökenli kompostlar şeklinde ilave olmaktadırlar.

Karbonun dışında, amino (NH_2) ve sülfidril (-SH) içeren organik yapılardaki kükürt (S) ve azot (N) diğer önemli elektron sağlayıcıdırlar.

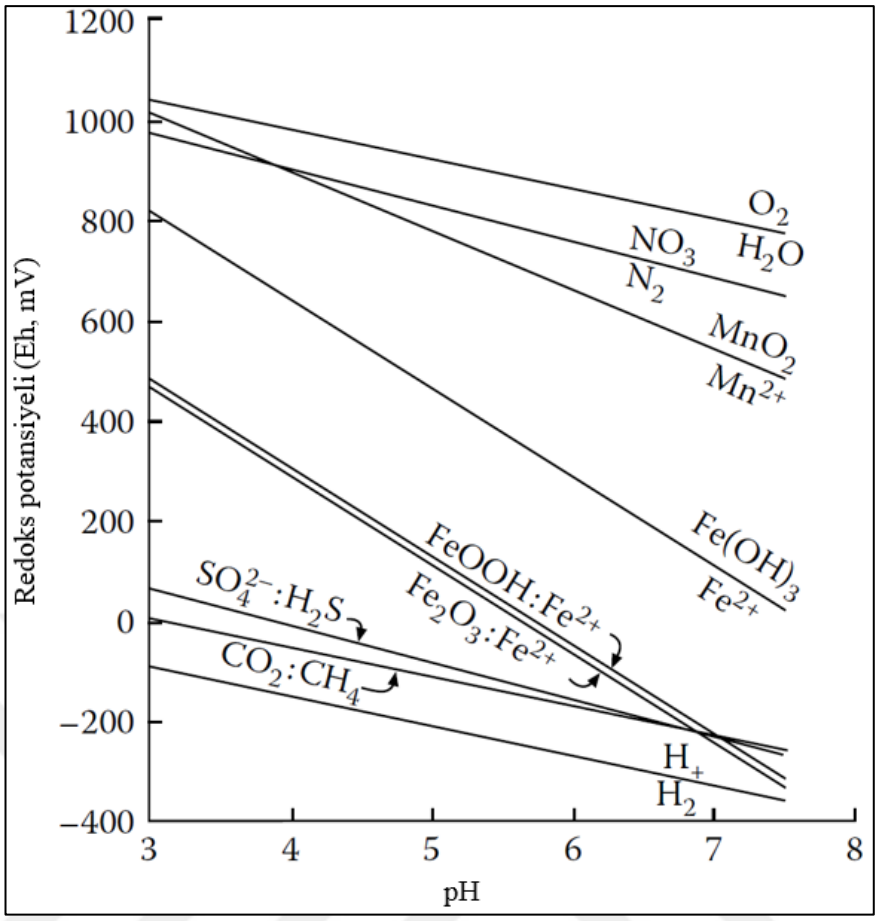
Toprağın su altında kalmasıyla toprak içindeki O_2 miktarı hızla tüketilirken difüzyon hızının düşmesi dengeyi oksijen aleyhine hızla değiştirir. Bu da mikroorganizmaların toprak havasındaki O_2 yerine, suda çözünmüş O_2 ya da yüksek oksidasyon basamağına sahip oksijen içeren NO_3^- ve SO_4^{-2} gibi iyonları kullanmasına neden olur. Bu bileşenlerde oksijen -2 oksidasyon basamağında bulunur ve dış yörüngesinde fazladan iki elektron bulunmaktadır. Buna karşılık N +7 ve S +6 oksidasyon basamağındadır ve potansiyel olarak oksidasyon basamağındaki değer kadar elektronu bağlayabilmektedir. İndirgenmenin ilerleyen seviyelerinde ise elektron alıcı olarak Fe^{+3} ve $Mn^{+3/+4}$'lü bileşikleri devreye girer.

1.2.2. Elektron alan yapılar (indirgenenler)

Doğal koşullar altında elektrona ilgisi en yüksek yapı O_2 molekülüdür. Mikroorganizmalar, elektron kabul edici olarak önce toprak havasındaki O_2'ni kullanırlar. Oksijenin yetersiz olduğu koşullarda ise ikincil elektron bağlayıcılar olan N, Fe, Mn ve S devreye girer (Şekil 1.1).

Su altında bulunan topraklarda daha az enerji oluşmakta olup canlıların hayatlarının devamlılığı için oldukça zararlı bileşikler meydana gelmektedir (Çizelge 1.1). Genelde, redoks elementlerinin indirgen formları, yükseltgen formlarından daha fazla toksiktir. Örneğin toprakların uzun süre su altında bırakıldığı çeltik tarımında, Fe^{+3} ve $Mn^{+3/+4}$'ün indirgenmiş formları olan Fe^{+2} ve Mn^{+2} nin konsantrasyonları bitkilerde toksik etki oluşturacak seviyelere ulaşabilmektedir.

Normal havalanan topraklarda ORP değerleri, su indirgen koşullardaki topraklarda göre daha homojen olmakla birlikte; ORP vertikal ya da horizontal olarak çok kısa mesafelerde bile değişiklik gösterebilmektedir.



Şekil 1.1. Redoks potansiyeli ve pH'nın bazı elementlere etkisi (Condon ve Richards, 1992; Vepraskas ve Craft, 2016) (Sınırlar çözünmüş türlerin 10^{-5} M aktiviteye sahip olduğu, O_2 ve CO_2 için kısmi basınçların sırasıyla 0.2 ve 0.8 atm olduğu ve geri kalan gazların kısmi basınçlarının 0.001 atm olduğu varsayılarak hesaplanmıştır)

Çizelge 1.1. Su baskını sonucunda topraklarda meydana gelen redoks reaksiyonları ve tipik redoks potansiyelleri (Takai vd., 1956; Datta, 1981)

Basamaklar	Etkili ana bileşen/reaksiyon	En düşük redoks potansiyeli, Volt
1. Aşama		
Birinci	O_2'in uzaklaşması	+0.6 ile +0.5
İkinci	NO_3^- indirgenmesi	+0.6 ile +0.5
Üçüncü	Mn^{+2} oluşumu	+0.6 ile +0.5
Dördüncü	Fe^{+2} oluşumu	+0.6 ile +0.3
2. Aşama		
Beşinci	SO_4^{-2}'tan SO_3^{-2} oluşumu	0.0 ile -0.19
Altıncı	H_2'nin kısmı basıncındaki artış	0.15 ile -0.22
Yedinci	CH_4 konsantrasyonundaki artış	-0.15 ile -0.19

Toprakların genel itibariyle ana bileşenlerine bakıldığında gerek toprak oluşum süreçlerinin Fe ve Mn'ın bulunması, gerekse başta gübreleme olmak üzere sonradan yapılan tarımsal uygulamalarının etkisi ve toprakların organik madde içerikleri göz

önünde bulundurulduğunda aşağıda belirtilen reaksiyonlar [Denklem (1.2), (1.3), (1.4) ve (1.5)] oksidatif veya redüktif koşullara göre iki yönlü olarak gerçekleşebilmektedir. Denklemlerde eşitliğin sağ kısmı elektron alıcı elementlerin başlıca indirgenme reaksiyonları sonucu ürünlerini göstermektedir.

$$SO_4^{-2} + 8e^- + 8H^+ \rightleftharpoons S^{-2} + 4\,H_2O \quad (1.2)$$

$$NO_3^- + 2e^- + 2H^+ \rightleftharpoons NO_2^- + H_2O \quad (1.3)$$

$$FeOOH + e^- + H^+ \rightleftharpoons Fe^{+2} + 2\,H_2O \quad (1.4)$$

$$2MnO_{1.75} + 3e^- + 7H^+ \rightleftharpoons 2Mn^{+2} + 3.5\,H_2O \quad (1.5)$$

Denklem (1.5)'te bulunan $MnO_{1.75}$ topraktaki $Mn^{+3/4}$ oksitleri göstermektedir.

1.2.3. Su altında kalan topraklar

Toprakların su baskınına uğraması sonucu redoks potansiyelleri azalmakta, Fe^{+2} ve Mn^{+2} toprak çözeltisindeki derişimleri artmaktadır. Drenaj ile fazla suyun uzaklaştırılması ile redoks potansiyeli artmakta, Fe^{+2} ve Mn^{+2} oksitlenmektedir. Fe/Mn oksit miktarı yüksek normal topraklarda indirgen koşulların oluşması veya oluşturulması, toprak çözeltisindeki potansiyel olarak çözünürlüğü yüksek, bitki için toksik olabilen, Fe^{+2} ve Mn^{+2} konsantrasyonunu toksik seviyelere çıkarabilmektedir. Bu konudaki araştırmalar, çeltik yetiştiriciliğinin tarımsal pratikleri gereğince, çeltik toprakları üzerinde yoğunlaşmıştır.

Çeltik tarlasında ekim öncesinde yükseltgen koşullar egemendir ve bu dönemde fosfor, genellikle Fe (III) ve Al fosfatlar halinde bulunurlar. Yetiştiricilik döneminde ise fosfor, indirgenerek çözünürlüğü artan Fe (II) fosfatlar şeklinde bulunma eğilimindedir. Sonuç olarak herhangi bir toprak, aerobik koşullara nispeten anaerobik koşullar altında daha yüksek fosfor yarayışlılığına sahiptir (Datta, 1981; Karagöktaş, 2018; Gökmen ve Uygur, 2022a).

1.2.4. Redoks-su ilişkisi

Topraktaki oksijenin büyük kısmını, toprak havasındaki moleküler oksijenden ziyade topraktaki bileşenlere bağlı oksijen oluşturmaktadır. Ancak bunun sadece

fotosentezdeki su ve transpirasyondaki O_2 yüksek reaktifliğe sahiptir. Toprağın su içeriği, yukarıda bahsedilen biyokimyasal reaksiyonlar açısından önemlidir. Burada suyun eksikliği stomaların kapatılması gerekçesiyle fotosentezi sınırlandırırken; fazla su köklerde ve toprak mikroorganizmalarında solunumu ve topraktaki oksidasyon temelli ayrışma olaylarını sınırlandırır.

Karbon, N, S ve O gibi elektron vericilerin yapısal değişimi, mikrobiyal enzimler vasıtasıyla gerçekleşir. Elektronlar katalizör olmadan son derece yavaş bir şekilde başka yapılara geçiş yaparlar (Usta, 1995).

1.3. Fosfor Adsorpsiyonu

Topraklarda P adsorpsiyonunu killer, Fe ve Al oksitler, kireç ve OM (katyonik köprüler yoluyla) gibi her biri farklı bağlama gücüne sahip çeşitli toprak bileşenlerinin kontrol edebildiği ileri sürülmektedir (Vistoso vd., 2012; Gérard, 2016; Yang vd., 2019). Bu nedenle, P adsorpsiyon özelliklerinde gözlemlenen farklılıkların, P'yi kontrol eden fazların yapısındaki spesifik değişikliklerinden kaynaklanmakta olduğu ifade edilebilir.

Tarım arazilerinde farklı topografik özelliklerin ve uygulamaların etkisiyle zaman zaman su altında kalan hidromorfik toprakların, Fe bakımından tükenmiş ancak organik madde bakımından zengin olduğu ve bu durumun toprakların çözünmüş ve kolloidal P desorpsiyon kapasitesini artırabileceği bildirilmiştir (Brand-Klibanski vd., 2007; Wang vd., 2019). Topraklardaki bu spesifik fiziko-kimyasal özellikler ve yüksek hidrolojik bağlantı, başta sulu tarım alanları olmak üzere sulak alanlardaki hidromorfik toprakları, çözünmüş P'nin su yollarına salınması açısından potansiyel bir kirlilik kaynağı haline getirmektedir.

Sulak alan topraklarındaki redoks koşullarındaki değişimin, zayıf kristalize Fe oksitlerin gelişimini destekleme kapasitesi ile Fe-P komplekslerinin gücünü azaltma potansiyeline sahip olduğu öne sürülmektedir (Reddy vd., 1999). Sulak alan topraklarının yüksek OM içeriği de bu duruma neden olabilir, çünkü son çalışmalar topraklara OM eklenmesinin P adsorpsiyonunu ve bağlanma enerjisini azalttığını göstermiştir (Yang vd., 2019).

Fosforlu gübreleme, P'nin topraktaki reaksiyonları nedeniyle çok yıllık bitkiler için her yıl ya da diğer bitkiler için her yetiştirme döneminde mutlaka yapılması gereken bir uygulamadır. Ancak topraklara P'li gübreleme genellikle toprakların P analizleri dikkate alınarak yapılmaktadır. Her bir toprağın özelliklerine bağlı olarak P tamponlama gücü değişkenlik göstereceğinden, toprak analizleriyle belirlenen gübre miktarları bazen yeterli olmayabilir. Bu nedenle toprakta tamponlama gücünün bir ölçüsü olan adsorpsiyon izotermleri kullanılarak gübre ihtiyacının belirlenmesi, hem ekonomik açıdan hem de çevresel açıdan daha kullanılabilir olduğu düşünülmektedir (Uygur ve İnce, 2020). Bu nedenle bu çalışmanın bir amacı da; redoks reaksiyonlarına duyarlı olacak şekilde seçilen topraklarda, çiftlik gübresi ilavesi ve su baskını ile tetiklenen sistemin P adsorpsiyonuna etkisinin adsorpsiyon izotermleriyle belirlenmesiyle bu durumun toprak özellikleriyle olan ilişkilerinin tespit edilmesidir**.**

Redoks reaksiyonlarının toprak özelliklerine etkisinin araştırılması için birinci aşamadaki inkübasyon denemesi sonrasında yapılan istatistiksel analiz sonucunda diğer topraklardan farklı davranış sergileyen beş toprak örneğinin organik madde ve su altında kalma sürelerininde P adsorpsiyon parametreleri batch adsorpsiyon tekniğiyle belirlenmiştir. Adsorpsiyon verilerinin Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izoterm modellerine uygunluğu regresyon analizleriyle tespit edilmiştir. Uygun olan modelin adsorpsiyon parametreleri ile toprak özellikleri arasındaki ilişkiler korelasyon analizi ile incelenerek istatistiksel yöntemlerle araştırılmıştır.

Toprakların gübrelemeye olan tepkisi ve su altında kalma sonucu oluşan redoks reaksiyonlarının farklı bir fonksiyonu olarak P'yi adsorbe etme kabiliyetine göre değişim göstermektedir. Yaptığımız bu çalışmada P'nin adsorpsiyon karakteristikleri ile tanımlayıcı özellikleri arasındaki ilişkiler ortaya konulmaya çalışılmıştır.

1.4. Çinko Adsorpsiyonu

Dünyanın çeşitli ülkelerinde ve ülkemizde birim alandan elde edilen verim değerlerinin düşük olmasının nedenlerinden birisinin Zn noksanlığı olduğu bildirilmiştir (Sims ve Johnson 1991; Çakmak vd., 1996, 1998; Mandal vd., 2000; Fageria vd., 2002; Fageria vd., 2005).

Topraklarda mikro elementlerin dağılımları; organik ve inorganik ligandların kompleksleşmesi, iyon değişimi, adsorpsiyon ve desorpsiyon olayları, asit-baz dengesi, katıların çökelmesi ve çözünmesi gibi çeşitli reaksiyonlar tarafından kontrol edilmektedir (Shuman, 2005; Uygur vd., 2017).

Toprak pH'sı Zn'nin bitkilere yarayışlılığını etkileyen etmenlerin arasında en önemlisi olup pH değeri arttıkça Zn'nin yarayışlılığı azalmaktadır. Topraklarda Zn'nin yarayışlılığı ve bitki isteği yönlerinden pH 5.5-6.5 genelde optimum sınırlar olarak kabul edilmektedir. Toprak pH'sı yükseldikçe artan adsorpsiyonun yanında çözünürlükleri çok az olan çinko hidroksit ($Zn(OH)_2$), franklinit ($ZnFe_2O_4$), smitsonit ($ZnCO_3$), hidrozinkit ($Zn_5(OH)_6(CO_3)_2$) bileşikleri oluşur (Uygur, 1998) ve Zn^{+2}'nin yarayışlılığı azalır (Kacar ve Katkat, 1998).

Toprakta yeterli miktarda toplam Zn bulunması, bitkinin optimum düzeyde yararlandığı anlamına gelmemektedir. Yapılan çalışmalar, Türkiye topraklarının %49.8'inde Zn noksanlığının bulunduğunu bildirmektedir (Eyüpoğlu vd., 1996). İnteraksiyonlarının bir fonksiyonu olarak toprak özelliklerinin büyük bir çoğunluğu Zn yarayışlılığını azaltmakta ve bitkide Zn noksanlığına neden olabilmektedir. Genellikle kireçli, kurak ve yarı kurak bölge topraklarında Zn noksanlığı tipik problemdir. Kireçli toprakların kimyasal özellikleri nedeniyle Zn, bitkiye yarayışsız formlarda toprakta adsorbe edilmekte ya da çökelmektedir. Bu durum Zn'nin farklı topraklarda çözünürlüğünü ve bitkiye yarayışlılığını da sınırlandırmaktadır. Ayrıca toprakların gübrelemeye olan tepkisi Zn'yi adsorbe etme kabiliyetine göre değişim göstermektedir.

Redoks reaksiyonlarının toprak özelliklerine etkisinin araştırılması için birinci aşamadaki inkübasyon denemesi sonrasında yapılan istatistiksel analiz sonucunda diğer topraklardan farklı davranış sergileyen beş toprak örneği organik madde ve su altında kalma sürelerinde Zn adsorpsiyon parametreleri batch adsorpsiyon tekniğiyle belirlenmiştir. Adsorpsiyon verilerinin Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izoterm modellerine uygunluğu regresyon analizleriyle tespit edilmiştir. Uygun olan modelin adsorpsiyon parametreleri ile toprak özellikleri arasındaki ilişkiler korelasyon analizi ile incelenerek istatistiksel yöntemlerle araştırılmıştır.

Toprakların gübrelemeye olan tepkisi ve su altında kalma sonucu oluşan redoks reaksiyonlarının farklı bir fonksiyonu olarak Zn'yi adsorbe etme kabiliyetine göre değişim göstermektedir. Yaptığımız bu çalışmada Zn'nin adsorpsiyon karakteristikleri ile tanımlayıcı özellikleri arasındaki ilişkiler ortaya konulmaya çalışılmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Redoks-pH İlişkisi

Su altında kalan topraklarda redoks potansiyelinin azaldığı, toprak pH'sının nötre yaklaştığı, katyonik mikro/iz elementlerin indirgenerek ya da indirgeyerek çözünen katı fazlar nedeniyle mobilitesinin arttığı bildirilmiştir (Ponnamperuma, 1972; Gorantiwar vd., 1973; Sims ve Patrick, 1978; Patrick ve Henderson, 1981; Ören vd., 2018; Gökmen ve Uygur, 2022a).

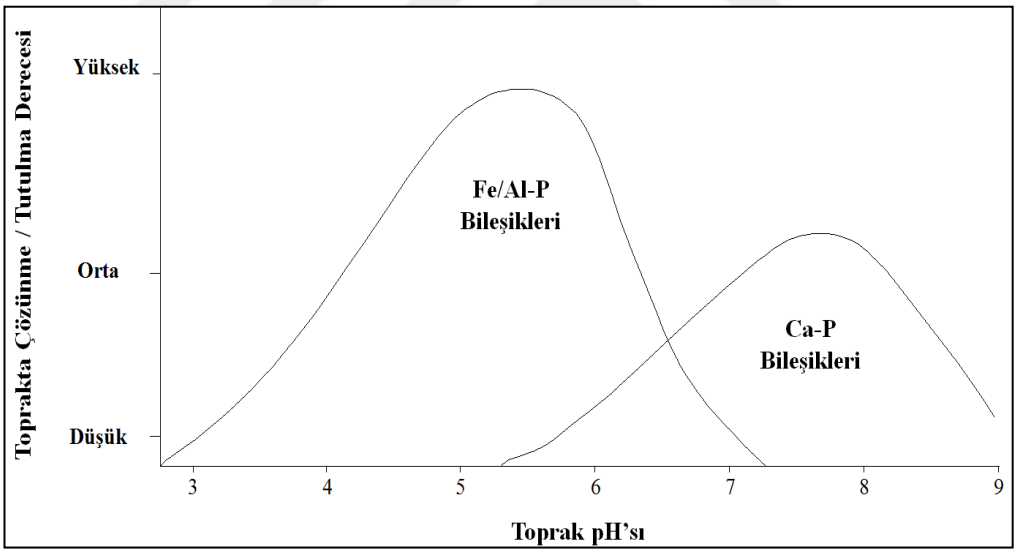
Suya doygun, başka bir ifade ile anaeorobik koşullarda toprak pH'sının düşmesi organik maddenin ayrışması sonucu oluşan karbondioksitin (CO_2), sistem içerisindeki değişimine bağlanmaktadır. Su altında kalan topraklarda pH yükselmesi ise +3 değerlikli Fe'nin +2 değerlikli Fe'ye indirgenmesi sonucu, sistemde oluşan H^+ iyonlarının, [$Fe(OH)_3 + 3H^+ + e^- \rightleftharpoons Fe^{+2} + 3H_2O$] reaksiyonunda gösterildiği şekilde, su molekülü oluşumunda kullanılmaları sonucu uzaklaşmalarına bağlanmaktadır. Ortamda kalan +3 değerlikli $Fe(OH)_3$'lerin çözünmesi [$Fe(OH)_3 \rightleftharpoons Fe^{+3} + 3OH^-$] sonucunda ortama OH^- iyonları sağlamaları ile pH yükselmektedir (Ponnamperuma, 1972; Russell, 1973; Oruç ve Sağlam, 1979; Bohn vd., 1985; Sezen, 1991; Sağlam, 1994).

Farklı karakteristiklere sahip olan asitten alkaliye değişen pH'ya sahip toprakların üç ay su altında bırakılması sonucunda genel bir reaksiyon olmak üzere ortamların nötr pH'ya yaklaştığı ve redoks potansiyelinin düştüğü ve söz konusu değişikliğin indirgen koşulların oluştuğu ilk dönemlerdeki ölçümlerde hızlı olduğu sonraki süreçlerde ise yavaşladığı ve stabil olduğu bildirilmiştir (Ponnamperuma, 1972; Gökmen ve Uygur, 2022a). Su baskını neticesinde toprak pH'sı ile ORP arasında çok yüksek bir ilişkinin bulunduğu (Ören, 2018; Ören vd., 2018; Tiwari vd., 2023) pe+pH değerinin topraklar için tipik sabit bir değere sahip olduğu bildirilmiştir (Lindsay, 2001). Topraklara elektron sağlayıcı olan çiftlik gübresi ilavesi, bu süreci hızlandırarak hem asit hem de alkali topraklarda redoks reaksiyonlarını tetikleyerek daha kısa bir süreçte nötr pH'ya ulaştırdığı belirlenmiştir (Ören ve Bozkurt, 2015).

2.2. Redoks-Fosfor İlişkisi

Asit topraklarda redüksiyon sonucu artan Fe^{+2} iyonları, diğer katyonları değişim yüzeylerinden uzaklaştırır, fosfor ve silisyumun çözünürlüğünü arttırır, ayrıca redüksiyon koşullarında ortamın pH'sı asit topraklarda yükselir (Ponnamperuma, 1972).

Asit şartlarda Fe ve Al ile alkalin şartlarda Ca ile çözünürlüğü düşük bileşikler meydana getiren fosforun, su altında kalan topraklarda çözünürlüğünün genellikle yüksek olduğu bilinmektedir. Bu da indirgeyici koşulların fosfor çözünürlüğünü artırdığını ortaya koymaktadır (Şekil 2.1). Buradaki değişim; ferrik (Fe^{+3}) fosfatın çözünürlüğü daha yüksek olan ferro (Fe^{+2}) fosfatlara dönüşmesi, fosfatı oklüde eden (hapseden) hidrate ferrik oksitlerin indirgenmesi sonucu Fe ve Al fosfatların serbest hale geçmesi, kil ve hidrate Fe ve Al oksitlerdeki anyon değişimine bağlı olarak fosfat anyonlarının serbest hale geçmesi şeklinde açıklanmaktadır (Sezen, 1995).



Şekil 2.1. Toprak pH'sına göre topraktaki fosforun mineral formları (Havlin vd., 1999)

Topraklardaki fosforun kullanılabilirliği normal şartlar altında düşük olup indirgen koşullar altında ise fosforun yarayışlılığı ve hareketliliğinde artış olmaktadır. Bu davranışta: (i) su altında kalma süresi, (ii) sıcaklık, (iii) toplam fosfor konsantrasyonu ve jeokimyasal fraksiyonları ve (iv) bitki örtüsünün bulunup bulunmaması faktörleri kritik öneme sahiptir (Shen vd., 2003; Bostic ve White, 2006; Adhami vd., 2012).

Sanyal ve De Datta (1991), yaptıkları çalışmada su baskınının tetiklediği indirgen koşullarda, toprakların bitkiye yarayışlı fosfor fraksiyonunu arttığını ve bu artışın da fraksiyonlar arasında geçişleri ve fraksiyonların oransal dağılımını etkilediğini belirtmişlerdir.

Olila vd. (1997) ve Ajmone-Marsan vd. (2006), indirgenme koşulları ile toprakların labil fosfor fraksiyonlarındaki miktarın artmış olduğunu belirtmişlerdir.

Asit karakterli toprakların su altında kalması sonucunda P_{we} fraksiyonundaki artış; Fe (III)/Al-P'nin hidrolizi, farklı mekanizmalarla adsorbe edilen fosfatların serbest bırakılması ve Fe (III) oksitlerin Fe (II) iyonuna indirgenmesi ve bileşikler oluşturması sonucunda ortaya çıkmaktadır. Yüksek pH'larda ise fosforun artan çözünürlük ve hareketliliği genellikle su altında kalmanın neticesinde toprak pH'sının düşmesinin tetiklediği Ca-P'lerin (di-, tri-, okta-kalsiyum fosfatlar ve apatit minerallerinin) çözünmesinden kaynaklanmaktadır (Stumm ve Morgan, 1970; Karagöktaş, 2018).

Willett (1986), indirgen koşullar sırasında toprak çözeltisindeki başlangıçta artan P derişiminin zamanın fonksiyonu olarak azalmasını amorf demir bileşiklerinin oluşmasıyla ilişkilendirilmiştir. Fisher (1983), çeltik topraklarına verilen fosforlu gübrelerin vivanit [$Fe_3(PO_4)_2\ 8H_2O$] oluşumunu arttırdığını, bunun da ilerleyen süreçte Fe^{+3}'ün Fe^{+2}'ye indirgenmesinin ve ilave edilen fosforla ilişkili olduğunu değerlendirmiştir (Amer vd., 1991; Sanyal ve De Datta, 1991; Karagöktaş, 2018).

2.3. Redoks-Mikroelement İlişkileri

Toprak katı fazında bulunan Fe^{+3} miktarı çok yüksektir. Bu durumun bir göstergesi olarak toprak çözeltisinde bulunan $Fe^{+2/+3}$ konsantrasyonu 10^{-5} M'a kadar çıkabilir. Aynı şekilde Mn^{+2} konsantrasyonu da 10^{-3} M'a kadar çıkabilir fakat genel olarak daha azdır. Anaerob koşulların bulunması kuvvetli asit topraklarda bu artışın temel nedenidir (Usta, 1995).

Yüksek Fe^{+2} ve Mn^{+2} konsantrasyonu, karasal bitkiler için fitotoksiktir. Bu durum özellikle oksijen yetersizliğinden kaynaklanmakta, çoğunlukla su içerisinde yetişen

bitkilerde görülmekte (Usta, 1995) ve iklim koşulları ve aşırı sulama nedeniyle uzun süre su altında kalma neticesinde tarımsal ekosistemlerde de görülebilmektedir (Sparrow ve Uren, 2014).

Toprak pH'sının azalması ile birçok mikro besin elementinin çözünürlükleri ve topraktaki konsantrasyonları yükselmektedir. Bu durumdan farklı olarak B, Mo, Cr'nin yarayışlılığı düşmekte olup özellikle molibden eksikliğine pH'nın düşük olduğu asit karakterli topraklarda sıklıkla rastlanmaktadır. Buna karşılık diğer bazı mikro besin elementlerinin miktarı ise toksik düzeylere çıkabilir (Sezen, 1995).

Oksidasyon koşullarında en stabil Fe-oksit formu götit (Fe_2O_3 H_2O) (Lindsay, 2001) olup birçok mikroelement ile adsorbsiyon ilişkisi (örneğin çinko için en yüksek, Cu için oldukça yüksek) bulunmaktadır. Ayrıca Fe-Zn, Mn-Cu birlikte davranma eğilimi göz önünde bulundurulduğunda, Zn ve Cu adsorpsiyonunun Fe/Mn oksitlerle yüksek pozitif korelasyon göstermesi yaygın bir durumdur (Uygur, 1998; Kabata-Pendias, 2011; Uygur vd., 2017). Yapılan birçok adsorpsiyon çalışmasında Zn, Cu, Cd, Ni vb. ağır metallerin topraklardaki Fe ve Al miktarı ile bunların topraklardaki farklı fraksiyonlarıyla ilişkili olduğu belirlenmiştir (Shaheen vd., 2013; Durgun, 2016; Uygur vd., 2017; Uygur ve Kaya, 2019). Dolayısıyla Fe/Mn oksitlerin indirgen şartlar nedeniyle çözünmesi daha önceden adsorbe ettikleri mikroelementlerin çözelti fazına ya da yarayışlı fraksiyonlara geçmesine neden olmaktadır.

Su altında kalmanın tetiklediği pH artışı sonucunda Fe, Mn, organik asit ve karbondioksit (CO_2) toksitesi kısmen tamponlanmakta; alkali topraklarda ise düşen pH ile Fe, Mn (Ören vd., 2018), Zn ve Ca gibi elementlerden redoks elementi olanlarda direkt olarak, olmayanlarda ise düşen pH'nın çözücü etkisiyle dolaylı olarak yarayışlılık artmaktadır (Ponnamperuma, 1978, 1981; Ponnamperuma vd., 1981; Lindsay, 2001; Fageria vd., 2011; Tiwari vd., 2023).

Badrinarayan ve Venkateswarlu (1974), DTPA-Fe ve DTPA-Mn miktarları başlangıçta ortalama 8.7 ve 7.9 mg kg^{-1} olan toprak örneklerinin bir ay su altında bırakılması sonucu yaklaşık olarak sırasıyla 120 ve 80 mg kg^{-1}'a kadar olmak üzere yaklaşık 14 ve 10 kata kadar artış gösterdiğini bildirmişlerdir.

Ghosh vd. (1976), çeltik yetiştirdikleri bir toprakta DTPA-Fe ve DTPA-Mn miktarlarının sırasıyla 9.7, 1.8 mg kg^{-1} iken indirgen koşulları oluşturmak için su altında bırakılma neticesinde 30 günde 18.6 ve 23.1 mg kg^{-1}'a arttığını, 72 gün sonra ise 15.6 ve 10.3 mg kg^{-1}'a düştüğünü tespit etmişlerdir.

Aydın ve Sezen (1995), bazı çeltik topraklarında başlangıçta DTPA ile ektsrakte edilebilen Fe, Mn, Zn ve Cu konsantrasyonlarının sırasıyla 6.3, 8.3, 2.1 ve 2.2 mg kg^{-1} olduğunu, ilerleyen süreçte su baskını öncesine göre 30. günde sırasıyla 25, 12, 4 ve 6 misli, 90. günde ise 13, 3, 3 ve 3 kez arttığını bildirmişlerdir. Ayrıca bu araştırma neticesinde; buğday ve çeltik tarımı yapılan iki toprak örneğinde toprakların yarayışlı Fe, Mn, Zn ve Cu miktarları suya doygun koşullarda başlangıç miktarlarına göre denemenin birinci ayında hızla artarak en yüksek değere ulaşmış, daha sonraki örneklemelerde azalmalar görülmüş fakat hiçbir zaman başlangıçtaki değerlere düşmediğini ileri sürmüşlerdir. Araştırmacılara göre bu elementlerin yarayışlı konsantrasyonlarının artması, su altında bırakılan topraklarda elementlerin redüksiyonuna, ilerleyen zaman içerisinde azalması ise redüksiyon şartlarının dengelenmesine ve bitkiler tarafından alımına bağlanmıştır.

Aydın ve Turan (2002), yaptıkları çalışma sonucunda DTPA ile ekstrakte edilen Fe, Mn, Zn ve Cu içeriklerinin su baskınının 40. gününe kadar artış gösterdiğini, ilerleyen günlerde ise azaldığını ve bu durumun alkalin karakterli topraklarda daha belirgin olduğunu ifade etmişlerdir.

Barik vd. (2005), toprakların su altında bırakılmasıyla, bitkiye elverişli Fe, Mn, Zn ve Cu içeriklerindeki artışın sırasıyla 15, 12, 6, 5 kat olduğunu belirtmişlerdir. Bu artışlar kuru tarım yapılan toprakta yaklaşık olarak 20, 17, 5, 9 kat, sulu tarım yapılan alınan toprakta ise yaklaşık olarak 10, 8, 5, 4 kat olduğunu ifade etmişlerdir. Sulu tarım alanlarındaki artışın kuru tarım alanlarına göre nispeten daha az olması, daha önceki sulama uygulamaları nedeniyle indirgen koşulların çözücü etkisinin azaldığının göstergesi olduğunu ifade etmişlerdir.

Shaheen ve Rinklebe (2014), araştıma yaptıkları yedi taşkın ovası toprağında; Cu, Zn ve Cr fraksiyonlarındaki (çözünebilir + değişebilir, kolayca mobil hale getirilebilen, Mn oksitlere bağlı, organik maddeye bağlı, amorf Fe oksitlere bağlı, kristalin oksitlere

bağlı, bakiye) değişimlerinde toplam ağır metal içerikleri; kristalin ve amorf Fe/Mn oksitler, organik madde, toplam kükürt, KDK ile yüksek korelasyonlar vermiştir.

Asit reaksiyonlu olan toprak örneğinde 45. günde başlangıçta 4.46 olan pH değeri 5.61'e yükselmektedir. İnkübasyonun ilerleyen günlerinde yapılan ölçümlerde ise pH'da bir miktar azalma görülmektedir. Bu durum muhtemelen sisteme göreceli olarak oksijen difüzyonunun daha fazla olması ve sistemdeki elektron vericilerin tükenmesi ile ilişkilendirilebilmektedir. Topraklarda pH artışıyla DTPA-Fe ve DTPA-Mn miktarları normal şartlarda azalma eğilimi göstermesine rağmen toprakta oluşan indirgen koşullar her iki elementin yarayışlı miktarlarını arttırmaktadır. Bu artış ilk üç günlük periyotta çok hızlı bir şekilde gerçekleşmiş olup, DTPA-Fe ve DTPA-Mn'de sırasıyla yaklaşık 3 ve 2 kat olarak bulunmuştur. Sonraki süreçte ise hem Fe hem de Mn konsantrasyonu nispeten daha dar sınırlar içerisinde, ORP'de kontrol edilemeyen sebepler nedeniyle değişim göstermektedir. Zira bu türden dalgalanmalara, ortama su ilave edilmesine kadar olan süreç içerisinde yüzeyde meydana gelen ORP'deki çok az olan yükselmelerin neden olabileceği düşünülmektedir. Hatta ortama ilave edilen su içerisindeki çözünmüş oksijen içeriğinin yüksek olması nedeniyle küçükte olsa sistemin ORP'inde farklılıklara sebep olabilmektedir (Ören, 2018).

Hafif alkalin toprakta oluşan indirgen koşulların her iki elementin yarayışlı miktarlarını da arttırdığı görülmektedir. Bu artış ilk 21 günlük periyotta çok hızlı bir şekilde gerçekleşmekte DTPA-Fe ve DTPA-Mn'de sırasıyla yaklaşık 10 ve 3 kat olarak bildirilmiştir (Ören, 2018).

Lu vd. (2022), farklı ana materyallerden oluşmuş on çeltik toprağında (8 asit karakterli ve 2 alkalin karakterli) su altında kalma ve drenaj değişimi sırasında farklı çeltik topraklarında pH değişimini etkileyen faktörleri ve pH tamponlama kapasitesi (pHBC) ile Cd türleşmesi arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Bu çalışmadaki altı çeltik toprağında başlangıç aşamasında 0.54, 0.31, 0.94, 1.24, 0.71 ve 2.33 mmol kg^{-1} olan Fe^{+2} içeriği; 15 gün su baskını neticesinde 26.1, 8.53, 22.5, 14.0, 25.4 ve 26.8 mmol kg^{-1}'a yükseldiğini belirlemişlerdir. Bu artışların yaklaşık olarak sırasıyla 47, 27, 23, 10, 35 ve 11 kat olduğu tespit edilmiştir. İnkübasyonun devamında yapılan 15 günlük drenajdan sonra, çeltik topraklarının Fe^{+2} içeriği önemli ölçüde azalmış, ancak yine de başlangıç aşamasındaki Fe^{+2} içeriğine geri dönmemiştir. Bu durumun sistemdeki

histerezis etkisinden kaynaklı olduğunu ileri sürmüşlerdir. Ayrıca çalışma neticesinde toprak pHBC'si ve toprak pH, Eh, Fe^{+2}, Mn^{+2}, SO_4^{-2} ve Cd türleşmesindeki değişiklikler belirlenmiştir. Sonuçlar, katyon değişim kapasitesi (KDK) ile bu çeltik topraklarının pHBC'si arasında önemli bir pozitif korelasyon olduğunu ve toprak KDK'sının çeltik topraklarının pHBC'sini etkileyen önemli bir faktör olduğunu göstermiştir. Demir (III) oksit indirgenmesinin H^+ tüketimine katkısı, su altında kalma sırasında Mn(IV)/Mn(III) oksitlerin ve SO_4^{-2} indirgenmesinden çok daha fazladır. Örneğin, MnOx, SO_4^{-2} ve FeOx indirgenmesinin çeltik topraklarındaki H^+ tüketimine katkısı 15 günlük su baskını neticesinde sırasıyla %1.2, %11.6 ve %87.2 olmuştur. Bu da Fe(III) oksitlerin indirgenmesinin toprak pH'sının artmasında öncü bir rol oynadığını doğrulamaktadır.

2.4. Redoks-Organik Madde İlişkisi

Organik maddenin ayrışması normal havalanan topraklara göre su altında kalan topraklarda daha yavaş olmaktadır ve bu durum su altında kalan bataklık ve turba alanlarındaki organik maddenin birikmesiyle belirgin bir şekilde görünmektedir. Diğer taraftan toprağa ilave edilen taze organik madde redoks reaksiyonlarını tetikleyen ve yeni denge oluşumuna neden olan önemli bir elektron kaynağıdır (Usta, 1995; Fageria vd., 2011; Ören ve Bozkurt, 2015).

Singh ve Ram (1977), suya doygun koşullarda toprağa ahır gübresi, P ve ahır gübresi + P uygulamalarının elverişli Fe üzerine etkisini araştırmışlardır. Denemede başlangıç elverişli Fe içeriği ortalama 0.5 mg kg^{-1} olan toprakların ahır gübresi uygulandığında 30 gün sonra Fe^{+2} miktarının 153 mg kg^{-1}'a, P uygulanması durumunda 74 mg kg^{-1}'a, ahır gübresi + P uygulananlarda ise 149 mg kg^{-1}'a yükseldiğini belirlemişlerdir. Topraklardaki ortalama Fe içeriği suya doygun koşullarda 90 gün sonra sıra ile 85.5, 52 ve 60 mg kg^{-1}'a düşmüştür. Kontrol örneklerde de benzer sonuçlar (77.5- 57 mg kg^{-1}) elde edilmiştir.

Gambrell ve Patrick (1978), anaerobik şartlarda toprakta var olan organik maddenin ayrışma oranının aerobik şartlara göre yaklaşık olarak %50 seviyesinde daha düşük olduğunu bildirmişlerdir. Uluslararası Çeltik Araştırma Enstitüsünde (IRRI) yapılan çalışmaya göre, daha önce normal tarım yapılan bir alanda altı yıl süreyle çeltik tarımı

yapılması sonrasında, başlangıçta %2.59 olan organik madde içeriğinin drene edilerek çeltik yetiştirilen ve sürekli su altında kalan olmak üzere iki parselde sırasıyla %3.22 ve %3.5'e yükseldiği ifade edilmektedir.

Organik maddenin ayrışmasını, atığın yüksek C:N oranı, düşük sıcaklık ve toprak asitliği sınırlandırmaktadır. Suyla doygun şartlarda doğal organik maddelerin ayrışması yavaşlamakta iken küçük moleküler yapıya sahip herbisit, insektisit ve fungusitlerin parçalanması ise hızlanmaktadır (Sethunathan ve Siddaramappa, 1978).

Hussain vd. (2011), organik madde ilavesi ile tetiklenen redoks reaksiyonlarının kireçli topraklarda Zn salınımında önemli bir kontrol mekanizmasının Fe/Mn oksitler olduğunu bildirmiştir.

Organik madde uygulamalarının (%10 ve 20) redoks reaksiyonlarını tetiklemesi sonucunda alkali ve asit toprakların pH'larının kısa sürede nötre yaklaştığı; organik madde uygulanmayan topraklarda ise pH'daki değişimin göreceli olarak daha dar sınırlar içinde gerçekleştiği bildirilmiştir (Ören ve Bozkurt, 2015).

Karagöktaş (2018) tarafından yapılan çalışma neticesinde, suyla doygun şartlarda saf su ve gübreli su ile inkübasyona bırakılan toprakların Olsen-P değerleri arasında yapılan t-testi neticesinde; toprakların Olsen-P fraksiyonunun, gübreli su ile inkübasyonundaki topraklarda daha yüksek olduğu ve aradaki farkın istatistiksel olarak önemli ($p<0.05$) olduğu bildirilmiştir.

2.5. Topraklarda Fosfor Adsorpsiyonu

Reddy vd. (1980), farklı iki toprak üzerinde hayvan gübrelerinin P adsorpsiyon-desorpsiyon oranına etkisini belirlemişlerdir. Sığır, kümes hayvanları ve domuz gübreleri Norfolk toprağına ilave edilmiş, 30 günlük süre boyunca tarla kapasitesindeki nem koşulları altında bozulma süreci için inkübasyona bırakılmıştır. Toprağın fosfor adsorpsiyon-desorpsiyon özellikleri inkübasyon süreci sonunda ölçülmüştür. Organik gübre uygulaması Norfolk toprağında adsorpsiyon kapasitesini azaltmış, çözünür P, asit ile ekstrakte edilebilir P, denge fosfat konsantrasyonu (EPC:

adsorpsiyon ve desorpsiyon değerlerinin birbirine eşit olması) ve P desorpsiyonunu arttırdığı bulunmuştur.

Adetunji (1994), düşük aktiviteye sahip kil içeren 15 toprağın fosfor adsropsiyon kapasitesi ile toprak özellikleri ve sorpsiyon izoterm parametrelerinin çeltiğin P gübreleme ihtiyacının belirlenmesinde kullanılabilirliğini araştırmışlardır. İzoterm parametreleri birçok toprak özelliği ile ilişkili olmasına rağmen sitrat bikarbonat dithionit (CBD) ile ekstrakte edilebilen Fe miktarının en önemli değişken olduğunu ve bu parametrenin tek başına adsorpsiyon kapasitesindeki değişkenliğin %99'unu açıkladığını bildirmişlerdir. Maksimum ürünün %95'ini elde edilmesini sağlayan fosfor ihtiyacının karşılanması için çözelti konsantrasyonunun kumlu kil tekstürlü bir toprakta 0.03 mg L^{-1} kumlu toprakta ise 0.19 mg L^{-1} olduğunu belirlemiştir. Bu bağlamda fosforlu gübre ihtiyacının 14.1-88.7 kg ha^{-1} arasında değiştiğini bildirmiştir. Araştırıcı Langmuir maksimum adsorpsiyon katsayısı ile çözelti P konsantrasyonu ve gübre ihtiyacı arasında önemli ilişkiler (R^2: 0.93) olduğunu bildirmiştir.

Sharma vd. (1995), 11 yıl süre ile mısır-buğday rotasyonunun 6 farklı gübreleme programının ($N_0P_0K_0$, $N_{120}P_0K_0$, $N_{120}P_{17.5}K_0$, $N_{120}P_{35}K_0$, $N_{120}P_{17.5}K_{33.2}$ ve $N_{120}P_{35}K_{33.2}$) uygulandığı parsellerden 0-15 cm derinlikteki toprak örneklerinde adsorpsiyon-desorpsiyon çalışması yapmışlardır. Toprakların fosfor adsorpsiyon/desorpsiyon özelliklerinin önemli ölçüde değişiklik gösterdiği belirlenmiştir. Fosfat adsorpsiyonu artan P ilavesiyle tüm topraklarda artış göstermiştir. Fosfor uygulanan parsellerde P adsorpsiyonu daha düşük bulunmuştur. Altı gübreleme programında da Langmuir ve Frendlich izotermi P adsorpsiyonunu başarı ile tanımlamıştır. Langmuir izoterminden hesaplanan maksimum adsorpsiyon değeri 123-498 mg kg^{-1} arasında değişim göstermiştir. Desorbe olan P miktarı fosforlu gübre uygulanan parsellerde uygulanmayan parsellere göre daha yüksek bulunmuştur.

Ni vd. (1995), organo–inorganik gübrelemenin ve organik materyalin maksimum adsorpsiyonda yükselişe neden olduğunu, mineral fosfor ilavesinin ise bu değerlere çok az bir etkisinin olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Anghinoni vd. (1996), 11 farklı Apalaçi toprağının fosfor sorpsiyon karakteristiklerini incelemişlerdir. Topraklarda P sorpsiyonu Temkin, Langmuir ve Freundlich izotermleri tarafından başarı ile tanımlanmıştır. Toprakların yüzey alanı ve tecezzi

derecesi gibi faktörler oldukça farklı olmasına rağmen izoterm parametreleriyle sadece toprakların serbest Fe oksit içerikleri önemli korelasyon vermiştir. 0.2 mg L^{-1} denge çözeltisine karşılık olan P ihtiyacı topraklar arasında farklılıklar göstermiş ve izoterm parametreleriyle ilişkili bulunmuştur.

Nieminen ve Jarva (1996), 20 peat toprakta P adsorpsiyonunu ve adsorpsiyonu etkileyen Al, Fe, Ca, Mg, pH ve kül miktarı gibi faktörleri incelemişlerdir. Fosfor adsorpsiyonu materyalin sınıflaması ile zayıf derecede ilişkili bulunduğu ifade edilmiştir. Buna karşılık peat materyalindeki Fe konsantrasyonu ile kuvvetli bir korelasyon tespit edildiği bildirilmiştir. Toprakların 0-30 cm derinliğinde P adsorpsiyon kapasitesi 7-673 kg P ha^{-1} arasında değiştiği bildirilmiştir. Buna göre düşük P adsorpsiyon kapasitesine sahip topraklarda rutin olarak uygulanan 40-45 kg P ha^{-1}'ın altında gübreleme yapılması ya da yavaş çözünen fosforlu gübre kullanılması tavsiye edilmiştir.

Quang vd. (1996) tarafından yapılan çalışmada, Mekong (Vietnam) deltasından alınan oldukça asit yirmi toprak örneğinin P adsorpsiyon izotermlerinin belirlenmiş olup deneysel verilerin Langmuir eşitliği tarafından iyi bir şekilde tanımlandığı ileri sürülmektedir. Sözkonusu toprakların maksimum P adsorpsiyon kapasiteleri toprak özellikleri ile yakından ilgilidir. Toprakta kil içeriğine bağlı olan düşük enerji unsurlarının P adsorpsiyon kapasitesi önemli derecede ve pH azaldıkça artış göstermektedir. Fosforu adsorbe eden kısımlar ile pozitif korelasyon, organik karbon ve kristalin Fe oksihidroksitler arasında tespit edilmiştir. Maksimum sorpsiyon kapasitesine; kil içeriği, toprak reaksiyonu, Al içeren oksihidroksitler, zayıf bir şekilde dizilmiş Fe oksihidroksitlerin doğrudan etkisi olduğu ifade edilmektedir.

Adetunji (1997), 15 killi toprakta P izotermleriyle toprak özelliklerine bağlı olarak çeltik bitkisinin gübre ihtiyacı arasındaki ilişkiyi belirlemeye çalışmışlardır. Toprakların Langmuir maksimum adsorpsiyon değerlerinin 30.9-414.3 mg kg^{-1} arasında değiştiği belirlenmiştir. Kritik denge çözeltisi konsantrasyonunun toprak özelliklerine bağlı olarak 0.03-0.19 mg L^{-1} arasında değiştiği ve buna göre toprakların standart P ihtiyacının 14.1-88.7 kg ha^{-1} arasında olduğu tespit edilmiştir.

Pereira ve De Faria (1998), 15 toprağın P adsorpsiyon özelliklerini Langmuir izotermi ile incelemişlerdir. Toprakların P adsorpsiyon maksimumları 124-805 mg kg^{-1} arasında değişmiştir. Maksimum adsorpsiyon değeri alkali topraklarda daha yüksek; asit topraklarda ise daha düşük bulunmuştur ve pH, 0.3 bar basınçtaki su içeriği, kil içeriği, organik madde, değişebilir Ca ve Mg ile pozitif korelasyon vermiştir.

Ağca ve Derici (1999), Adıyaman Çamgazi Ovası'nda yaygın olan sekiz farklı seriden alınan toprak örneklerinde fosfor konsantrasyonları 0-50 µg mL^{-1} arasında değişen 16 farklı çözelti ile yapılan çalışmada, denge çözeltilerinin P konsantrasyonları ve bu konsantrasyonlarda topraklar tarafından adsorbe edilen fosfor miktarlarını belirlemişlerdir. Elde etmiş oldukları bu verilerini çeşitli adsorpsiyon izotermleri kullanılarak değerlendirmişler, bu izotermlerin optimum uyum gösterdiği konsantrasyonu araştırmışlardır.

Derici ve Ağca (1999), Gaziantep Kayacık Ovasında yaygın olan 11 toprak serisinde P adsorpsiyon karakteristikleri, düşük denge konsantrasyonlarında tespit edilerek bazı toprak özellikleri ve fosfat mineralleri yönlerinden incelemişlerdir. Bu bağlamda Langmuir adsorpsiyon izotermi parametrelerini belirlemişlerdir. Toprakların maksimum adsorpsiyon değerlerinin (b) 58.1-113.3 µg g^{-1}, adsorpsiyon enerji katsayısı (k) değerlerinin ise 9.1-153.5 mL μg^{-1} arasında değişkenlik göstermiş olduğunu bildirmişlerdir.

Duffera ve Robarge (1999), çiftlik, araştırma enstitüsü ve kullanılmayan araziden alınan yüzey toprak örneklerinde (2 vertisol, 1 alfısol ve 1 andisol) fosfor adsorpsiyon verileri elde edilmiş ve Hedley fraksiyonlamasına göre mineral P fraksiyonları analiz edilmiştir. Alüviyal materyal üzerinde oluşan vertisollerde toprak işleme ve gübrelemenin fosfor adsorpisyonunu çok az etkilediği tespit edilmiştir. Volkanik anamateryal üzerinde oluşan vertisol, andisol ve alfisol topraklarda çiftlik arazisinden alınan topraklar; araştırma enstitüsü ve kullanım dışı arazilerin topraklarına göre daha fazla P adsorbe etmiştir. 0.2 mg P L^{-1} çözelti fosforu için en kritik P fraksiyonunun anyon değiştirici ile ekstrakte edilebilen P olduğu ve bu fraksiyonun adsorpsiyondaki %81'lik varyansı tek başına açıkladığı belirlenmiştir.

Akay ve Mikayilov (2000) tarafından yapılan bir çalışmada, Afyonkarahisar ili ve ilçelerinden alınan bazı toprak örneklerinin fosfor adsorpsiyon kapasiteleri ile bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri arasındaki ilişkilerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Toprakların 1 saat, 1, 3, 5 ve 7 günlük değinim sürelerinde doza bağlı fosfor adsorpsiyon kapasiteleri incelenmiştir. Buna göre adsorbe edilen fosfor yüzdeleri sırasıyla yaklaşık olarak %45, %53, %58, %64 ve %67 şeklinde bulunmuştur. Topraklara ilave edilen P, ilk aşamada hızlı bir şekilde adsorbe edilmiş, temas süresi uzadıkça adsorbe edilen P oranında azalan bir artış belirlenmiştir. Toprak özellikleri ve belirtilen aşamalardaki P fiksasyonu ile arasındaki çoklu regrasyon ilişkilerinde, R^2 değerleri P dozu miktarı ile pozitif yönlü doğrusal bir korelasyon sergileyerek artış göstermiştir. Elde edilen en yüksek R^2 değerleri toprak özelliklerinin zamana bağlı fosfor adsorpsiyonunda yedi günlük tepkime süresinde (0.940), doza bağlı adsorpsiyonda ise (0.973) 18 mg P kg^{-1} dozunda elde edilmiştir.

Bazı araştırmacılara göre toprakların P sorpsiyon kapasitesi; pH, kil tipi ve içeriği, organik madde içeriği ve ayrışma düzeyi, kireç miktarı, değişebilir alüminyum ve demir konsantrasyonları ile ilgilidir. Toprakların sorbsiyon kapasitesi, tekstür ile doğrudan bağlantılı olmak üzere kil içeriği ile pozitif yönlü, kum içeriği ile de negatif yönlü olmak üzere korelasyon sergilemektedir. Demir, Al ve Ca içeriklerinin fosfor sorpsiyonunu pozitif yönlü korelasyon ile etkilediği bildirilmiştir (Maguire vd., 2001; Hansen vd., 2002).

Standart fosfor gereksimi ve maksimum adsorpsiyon; tekstür, FeOx, AlOx, CBD-Fe ile ilgili olup, toprakta FeOx ve AlOx'in artışı çözünür durumdaki kullanılabilir fosforu azalmaktadır. Aynı şekilde pH artışıyla, negatif yönlü olarak bulunan korelasyona göre, sorpsiyon azalmaktadır (Nwoke vd., 2003).

Kireçli topraklarda su ve organik maddenin fosfor yarayışlılığına etkisinin araştırıldığı bir çalışmada ise toprağın organik madde kapsamı arttırıldığında Olsen-P'nin miktarında toprağın su içeriğinden bağımsız olarak önemli miktarda bir artış meydana geldiğini birdirmişlerdir. Düşük nem içeriklerinde organik madde uygulamalarının etkinliği daha yüksek bulunmuş, organik madde ilavesinden sonra toprakların adsorpsiyon izotermlerinde değişim gözlemlenmemiş, çökelme süreçlerinde ise izotermlerde önemli bir azalma meydana geldiğini belirtmişlerdir (Braschi vd., 2003).

Tınlı topraklarda fosfor yarayışlılığı ve sorpsiyonu üzerine yapılan bir çalışmada, bazı hayvan (tavuk, inek) gübrelerinin ve arıtma çamurlarının ıslah edici etkisi araştırılmış; Olsen-P ile pozitif, tüm bu fosfor kaynaklarının maksimum fosfor sorpsiyonu ve bağlanma enerjisi ile negatif olmak üzere korelasyon gösterdiği bildirilmiştir (Siddique ve Robinson, 2003, 2004).

Oklahoma (Amerika) topraklarının bazı özellikleriyle P sorpsiyon kapasitesi arasındaki ilişkiyi çoklu regresyon analizleriyle değerlendiren bir çalışmada, P sorpsiyon kapasitesiyle 52 toprağın pH'sı arasında önemsiz derecede olmak üzere, alüminyum (R^2: 0.88), demir (R^2: 0.83), organik karbon (R^2: 0.80) ve kil (R^2: 0.79) ile pozitif yönde yüksek bir korelasyon bulunduğunu bildirilmiştir (Zhang vd., 2005).

Üç farklı modelle (basit Langmuir, Freundlich ve İki-yüzeyli Langmuir eşitliği) mukayese edilen düşük organik madde içerikli kireçli bazı topraklardaki çalışmalarda fosfor adsorpsiyonunun organik maddeden etkilendiği bildirilmiştir (Kordlaghari, 2006).

Ranno vd. (2007), 16 farklı toprakta maksimum P adsorpsiyonu ile bazı toprak özellikleri arasındaki ilişkileri araştırmışlardır. Toprakların maksimum adsorpsiyonunun 71-933 mg kg^{-1} arasında değişmekte olduğunu; toprakların kil, organik madde ve dithionit ve amonyum oksalat ile ekstrakte edilebilen Fe oksit içerikleriyle ilişkili olduğunu belirlemişlerdir.

Bazı araştırmacılar çözünmüş organik madde ile fosforun adsorpsiyon alanlarının rekabetinin ilave edilen düşük konsantrasyonlarda adsorpsiyonu engellediğini bildirmişlerdir (Zhuan-Xi vd., 2009; Ayaz vd., 2010).

Uygur ve Karabatak (2009), yaptıkları çalışma neticesinde organik madde uygulamasıyla birlikte CBD-P miktarında önemli derecede bir artış görüldüğünü bildirmişlerdir. Başlangıçtaki inkübasyon süresi arttıkça azalmakta ve 45. günden sonra ölçülebilir seviyenin altına düşmekte olduğunu belirtmişlerdir. Yüksek doz uygulamalarında bu fraksiyon her iki toprakta da en yüksek seviyeye ulaşmış ve yüksek dozlarda belirlenebilir konsantrasyonlarda daha uzun süre kalmıştır. Fosfor

uygulaması CBD-P'nin inkübasyon süresince yüksek seviyelerde toprakta bulunmasına sebep olduğunu ifade etmişlerdir.

Korkmaz ve İbrikçi (2010), Güney Doğu Anadolu bölgesine ait yüksek kil ve kireç içeriğine sahip 3 toprak serisine ait yaygın olarak tarım yapılan topraklarda fosforun fraksiyonları, adsorpsiyon ve Langmuir izotermlerinde modellenmesi üzerine çalışmıştır. Elde edilen sonuçlara göre bölge topraklarında toplam fosforun büyük bir çoğunluğunu Ca-P oluşturmuş olup sırasıyla CBD-P>CB-P>A1-P+Fe-P şeklinde diziliş tespit edilmiştir. Adsorpsiyon maksimumu olan b değerleri 263-400 μg g^{-1}, adsorpsiyon enerji katsayısı olan k değerleri ise 0.70 ile 0.76 mL μg^{-1} arasında değişiklik göstermiştir. Elde edilen sonuçlara göre özellikle kurak ve yarı kurak iklim kuşağına sahip alanlardaki topraklardaki fizikokimyasal özellikleri ile fosfor adsorpsiyonu arasındaki ilişkinin oldukça karmaşık ve çok yönlü olduğu ifade edilmiştir. Toprakların fosfor adsorpsiyonunu etkileyen önemli faktörleri kil tipi, kireç ve Fe oksit içeriklerinin olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Moazed vd. (2010), 5 farklı toprak örneğinin P adsorpsiyon karakteristikleri ve bazı toprak özellikleri üzerine çalışmışlardır. Çözeltilerin konsantrasyonunu 4, 12, 25, 50, 70 mg P L^{-1} olacak şekilde belirlemişlerdir. Sonuç olarak bu çalışmada Langmuir adsorpsiyon izotermi daha iyi uygunluk göstermiştir. Fosfor adsorpsiyonu büyük ölçüde organik karbon, pH, değiştirilebilir kalsiyum ve değiştirilebilir alüminyumdan etkilenmiştir.

Pal (2011), dört farklı arazi kullanımının şeklinin fosfor adsorpsiyon/desorpsiyonuna etkisini Langmuir ve Freundlich izotermleri ile incelemişlerdir. Maksimum fosfor adsorpsiyonu bahçe topraklarında en fazla bulunmuş, bunu işlemeli tarım arazileri, orman toprakları ve çay bahçeleri izlemiştir. Farklı arazi kullanımının sorpsiyon parametreleri üzerine olan etkisinin daha çok toprakların fiziko-kimyasal özellikleri ile ilişkili olduğu tespit edilmiştir. Nitekim organik madde, Fe oksitler, katyon değişim kapasitesi önemli toprak özellikleri olarak bildirilmiştir. Adsorbe edilen fosforun desorpsiyon oranı, adsorpsiyon parametrelerine benzer davranış göstermiştir. Fosfat tamponlama kapasitesinin topraklarda çevresel ve tarımsal açıdan önemli bir eşik değer olduğu değerlendirilmiştir.

Bazı araştırmacılar toprak ana materyalinde fosfor adsorpsiyonunun azalmasının bir nedeninin de organik gübre ilavesi olduğunu bildirmişlerdir. Bu azalmanın nedeni olarak fosfor adsorpsiyon alanlarını işgal eden ortamdaki oluşan organik asitlerin, çözünen organik maddenin fosforu adsorpsiyon yüzeylerinden çıkarması ve topraktaki seski oksitlerin organik madde ile kombine olup fosfor adsorpsiyonunu sınırlandırması olduğunu ifade etmişlerdir (Yu vd., 2013).

Hadgu vd. (2014), beş farklı toprak tipinde fosfor adsorpsiyon kapasitesi ve toprak özellikleriyle ilişkilerini araştırmışlardır. Ayrıca toprakta, Fe-P, Al-P ve Ca-P'den total P ayrılmıştır ve P adsorpsiyon karakteristikleriyle ilişkileri toprak tipleri altında incelenmiştir. Bütün topraklarda korelasyon katsayısı (R^2) 0.951-0.999 aralığında bulunmuş, Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izoterm modellerinin her ikisinin de uygun sonuç verdiği görülmüştür.

Guedes vd. (2015), 12 Amozon orman toprağının maksimum fosfor adsorpsiyon kapasiteleri ile toprak özellikleri arasındaki ilişkileri araştırmışlardır. Yüzey ve yüzeyaltı horizonlarında Langmuir ve Freundlich izoterm parametreleri kil içeriği, pH, organik madde, AlOx ve FeOx ile önemli korelasyonlar elde edilmiştir.

Yurdakul ve Usta (2017), fosfor adsorpsiyonunu artıran bir etki olarak ortamda organik maddenin bulunması olduğunu ve bu durumun organik maddenin kendisinin de fosfor adsorplama kabiliyetiyle ilişkili olduğunu bildirmişlerdir.

Couic vd. (2022), Batı Fransa'nın Brittany bölgesindeki 69 hidromorfik toprak örneğinde adsorpsiyon çalışması yapmışlardır. Adsorpsiyon izotermleri, toprağın bulunduğu yerin bir fonksiyonu olarak P sorpsiyon özelliklerinde şaşırtıcı derecede yüksek bir değişkenlik olduğunu ortaya koymuştur (maksimum P adsorpsiyon kapasitesi 500 ila 1 850 mg kg^{-1} arasında değişmektedir). Bu da toprakta P sorpsiyonunu kontrol eden fazlardaki (toprağın bulunduğu yere bağlı olarak kilden organik maddeye ve/veya demir ve alüminyum oksitlere) değişikliklerden kaynaklanmakta olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca Al-oksitlerin sulak alan topraklarında başlıca fosfor taşıyıcı fazı olduğuna işaret eden önceki bazı çalışmalarda (Bridgham vd., 2001; Bruland ve Richardson, 2004; Cohen vd., 2007) olduğu gibi bu beş farklı örnekleme alanlarının dördünden elde edilen sonuçların benzer davranış

sergilediğini ve bu iki fazın (kil ve AlOx) topraklardaki tüm P kompleks fazları arasında en yüksek afinite sabitlerine sahip olduğunu (Rajan ve Perrott, 1975; Gérard, 2016) ifade etmişlerdir.

2.6. Topraklarda Çinko Adsorpsiyonu

Topraklarda çinkonun adsorpsiyonunda, oksit bileşiklerinin önemli rol oynadığı (Jenne, 1968), yapılan bir çok araştırmada Zn'nun Fe-oksitler, Mn-oksitler ve Al-oksitlerce adsorbe edildiği tespit edilmiştir (McKenzie, 1972; Forbes vd., 1976; Shuman, 1977; Uygur, 1998; Uygur ve Rimmer, 2000).

Lindsay (1972), toprakların toplam Zn içeriğinin, oldukça kapsamlı araştırmalara göre, genellikle 10-300 mg kg^{-1} aralığında olduğunu bildirmiştir. Çinko, topraktaki konsantrasyonu nedeniyle, bir eser element olarak kabul edilebilir. Litosferin içinde en çok sfalerit (ZnS) minerali olarak bulunmaktadır. Çinko (II)'nun çözünürlüğünün büyük oranda toprak reaksiyonu ile önem derecesi yüksek korelasyon gösterdiği ve her 1 pH birimlik artışla Zn çözünürlüğünü yaklaşık 100 kat azaldığını ileri sürülmektedir.

Thompson ve Troeh (1973) tarafından yapılan bir çalışmada, tarım topraklarında toplam Zn miktarı 10-300 mg kg^{-1} arasında değişmekte olduğu ancak bunun çok az bir bölümünün bitkiye yarayışlı formlarda bulunduğunu bildirmiştir.

McBridge ve Blasiak (1979), siltli tın tekstürlü toprağa artan miktarlarda Zn ilavesi ile Zn adsorpsiyonunun pH 7 ve pH 8'de en yüksek olduğunu ve Zn'nin sulu oksitlerin yüzeylerinde adsorbe edildiğini tespit etmişlerdir. Araştırıcılar denge çözeltisindeki Zn konsantrasyonunun pH 5.0'den pH 7.0'ye doğru her bir birim artışta 30 kata kadar düşüş gösterdiğini ve bu düşüşün ise oksit yüzeylerindeki Zn adsorpsiyonlarıyla ilişkili olabileceğini belirtmişlerdir. Benzer şekilde Herms ve Bruemmer (1980), topraklarda Zn'nun yarayışlılığı yönünden pH 5.5 ile 7.0 arasında her bir birim artışında, denge çözeltisinin çinko konsantrasyonunun 45 kata kadar azaldığını bildirmiştir.

Aydeniz ve Brohi (1982)'ye göre tarım topraklarında Zn noksanlığının sebepleri arasında; toprağın yüksek pH'sı, yüksek kireç içeriği, uygun olamayan tekstür, ana

materyalde doğal Zn kapsamının düşüklüğü ve uygulanan Zn'nin fiksasyonu yer almaktadır. Bu bağlamda Türkiye topraklarının kireç içeriklerinin büyük bir çoğunlukla yüksek olması nedeniyle Zn yarayışlılığını etkileyen en önemli toprak özelliklerinden olduğunu bildirmiştir.

Singh vd. (1986), yapmış oldukları çalışmada Wisconsin'de 42 toprak örneğinde pH ile mısır bitkisinin Zn içeriği arasında önemli negatif ilişki olduğunu belirlemişlerdir.

Shuman (1988), toprakta Zn'nin yarayışlılığının organik maddenin artışına bağlı olarak artış gösterdiğini; toplam Zn ile kil miktarı, pH (Taylor vd., 1995), organik madde (Tagwira vd., 1993), P, Fe, Mn ve Cu arasında önemli korelasyonların tespit edildiğini bildirmiştir.

Mengel ve Kirkby (1991), düşük toprak pH değerlerinde bitkilerin Zn^{+2} alınımının yüksek olduğu, yükselen pH ile bitkilerin Zn'yi $ZnOH^{+}$ iyonu olarak alabildiğini ancak pH 7 ve 8 değerlerinde Zn'nin toprak çözeltisindeki konsantrasyonunun azaldığını bildirmişlerdir. Zira Zn'nin çözünürlüğü büyük oranda pH'ya bağlı olup pH'nın 5.5 ile 7.0 arasındaki her bir pH birimi yükselişi ile toprak çözeltisinde çözünmüş halde bulunan Zn miktarının 30-45 kat azalmakta olduğu bildirilmiştir (Marschner, 1983). Ayrıca bazı araştırmacılar pH'nın her birim yükselmesiyle bu oranın 100-150 kat olduğunu ifade etmişlerdir (Graham vd., 1992; Barrow, 1993; Lindsay, 2001).

Ortamda yüksek seviyede Fe^{+2} (Alpaslan ve Taban, 1996; Mandal vd., 2000; Brady ve Weil, 2008) ve Mn^{+2} (Mandal vd., 2000) bulunması durumunda bitkilerin Zn alımının sınırlandırıldığını ve bitkilerde Zn noksanlığının ortaya çıktığını bildirmişlerdir.

Uygur (1998), $CaCO_3$ ile Zn etkileşimlerini araştırdıkları çalışmalarında; kireçli toprakların Zn içeriklerinin bitkilerin normal gelişmelerini sağlayacak miktarlarda ve yeterli olmalarına rağmen Zn eksikliğinin çoğunlukla kireçli ve alkali topraklarda görüldüğünü, $CaCO_3$'ın ağır metallarin adsorbe ederek Zn'yi zinkit ve/veya simitsonite dönüştürerek bitkilere olan yarayışlılığını büyük ölçüde azalttığını bildirmişlerdir.

Krishnasamy ve Mathan (2001), Zn adsorpsiyonunu iz (path) analizi yöntemiyle incelemişlerdir. Çinko maksimum adsorpsiyon kapasitesinde, kil, organik karbon ve kil içeriğinin baskın rol aldığını gösterirken; iz analizi Zn adsorpsiyonunda kilin önemli direkt etkiye ve KDK'nın önemli dolaylı etkiye sahip olduğunu göstermiştir.

Covelo vd. (2004), İspanya'nın Galicia Bölgesindeki topraklarda Zn adsorbsiyonuna etki eden etmenleri inceledikleri çalışmalarında, pH nötre yakın olduğunda Zn adsorbsiyonunu etkileyen birinci bileşen organik madde; asit pH koşullarda ise Zn adsorbsiyonunu belirleyen birincil etkenin oksitler olduğunu bildirmişlerdir. Bu nedenle topraklarda Zn adsorbsiyonunu belirleyen ana bileşenin toprak pH'sı olduğu sonucuna varmışlardır.

Saltalı ve Bilgili (2005), Tokat'ın yarı kurak bölgelerinde Zn adsorpsiyon ve desorpsiyon özelliklerinin ve bunların bazı toprak özellikleri ile ilişkilerinin incelendiği çalışmalarında, Zn adsorpsiyon verileri Langmuir, Freundlich ve Temkin izotermlerin doğrusal formuna yerleştirilmiş, ancak Freundlich ve Linear Langmuir modeline uyum, Temkin modelinden istatistiksel olarak daha iyi bulunmuştur. Toprakların ortalama dağılım katsayıları kd 414 ile 1001 mL μg^{-1} arasında değişmektedir ve daha yüksek kd değerleri daha yüksek kil ve $CaCO_3$ olan topraklarda hesaplanmıştır. Benzer şekilde, Zn maksimum adsorpsiyonu, kil ve $CaCO_3$ içeriği yüksek olan toprakların katyon değişim kapasitesi değerlerini aşmaktadır. Bunu, kilin iç yüzeyi üzerindeki adsorpsiyona ve uygulanan Zn'nin toprakta çökelmesine bağlamışlardır. Ayrıca, yüksek killi ve $CaCO_3$ içeriği olan topraklarda tutulan Zn'lerin DTPA ile ekstrakte edilebilen değerleri, diğer topraklardan daha düşük bulunmuştur. Gözlemlenen bulgulara göre topraktaki kil ve $CaCO_3$ içeriği, Zn'nin adsorpsiyonu ve desorpsiyonunu etkileyen en önemli toprak özellikleri olduğunu bildirmişlerdir.
Bazı araştırmacılar, topraklarda kil fraksiyonunun Zn dağılımının yaklaşık %60'ını kontrol ettiğini; alkalin pH koşullarında Zn'nun kimyasal bağlanmaya maruz kaldığını; Al, Fe ve Mn oksit ve hidroksitlerin, karbonatların ve fosfat bileşiklerinin ise çinkonun bitkiler tarafından yararlanılamaz forma dönüştürülmesinde etkili olduğunu vurgulamıştır (Kabata–Pendias ve Mukherjee, 2007).

Glinska-Lewczuk vd. (2014), Lyna Nehrinin post glasiyel vadisinde 3 farklı katenada toplam Zn ve yarayışlı Zn formlarının toprakların fizikokimyasal özellikleri ile olan

ilişkilerini incelemişlerdir. Yarayışlı fraksiyonun toplam Zn kapsamına oranının organik madde içeriğiyle ilgili olduğu ve bu değerin %51.4'e kadar ulaşabildiği gözlenmiştir.

Chittamart vd. (2016), Tayland kireçli topraklarında Zn fraksiyonlarını ve adsorpsiyon izotermlerini incelemişlerdir. Ardışık ekstraksiyonların sonuçları, Zn'nin esas olarak bakiye fraksiyonda, ardından organik-bağlı, demir ve manganez oksitlere bağlı, karbonatlara bağlı ve değişebilir fraksiyonlarında bulunduğunu göstermiştir. Çinko adsorpsiyonu Langmuir ve Freundlich izotermleri tarafından iyi bir şekilde temsil edilmiş ve toprakların yüksek Zn adsorpsiyon kapasitesine sahip olduğu anlaşılmıştır. Toprak pH'sı, kalsiyum karbonat, organik madde, KDK ve ekstrakte edilebilir kalsiyumun bu topraklarda Zn adsorpsiyon izotermlerini etkileyen ana toprak özellikleri olarak belirtmişlerdir.

Yu vd. (2023), su altında kalan topraklarda bazı ağır metallerin (Cd, Pb, Cu ve Zn) adsorpsiyon desorpsiyon özelliklerini incelemişler; Zn adsorpsiyonunda maksimum adsorpsiyonu yaklaşık 4 000 mg kg^{-1} olarak tespit etmişlerdir. Ayrıca sıcaklığın 25°C'den 45°C'ye artırılması neticesinde maksimum adsorpsiyonda yaklaşık %100 oranında artış olduğunu bildirmişlerdir. Termodinamik hesaplamalara göre, sedimentlerin adsorpsiyonunun sözkonusu dört ağır metal üzerindeki adsorpsiyon süreçlerinin tamamının ısı alan reaksiyonlar olduğunu bildirmişlerdir.

2.7. Topraklarda Adsorpsiyon İzoterm Eğrilerinin Elde Edilmesi

Toprakların homojen bir yapıda olmaması yani farklı P adsorpsiyon yüzeylerinin bulunması (örneğin: Fe oksitler, karbonat mineralleri, kil mineralleri, vb.) Langmuir izoterminin temel varsayımlarından olan homojen yüzey şartını topraklarda çoğu zaman sağlamamaktadır (Sanyal ve Datta, 1991). Hatta çoğu zaman aynı mineral üzerinde bağlanma enerjileri ve adsorpsiyon kapasiteleri farklı adsorpsiyon yüzeyleri de bulunmaktadır (Sposito, 2008). Diğer taraftan topraklarda özellikle yüksek konsantrasyonlarda çökelme reaksiyonlarının olması hem Freundlich hem de Langmuir adsorpsiyon izoterminin kullanımında önemli problemler oluşturmaktadır (Veith ve Sposito, 1977).

Olsen ve Khasawneh (1980), tek tabakalı Langmuir adsorpsiyon modelinde yapılan varsayımların, özellikle yüksek konsantrasyonlarda yüzeylerde oluşan çökelme reaksiyonlarına bağlı olarak geçersiz olmakta olduğunu bildirmiştir. Langmuir izotermi iki ayrı kısma ayrılarak (adsorpsiyon ve çökelme reaksiyonlarının baskın olduğu kısımlar) çözümlendiği durumda, düşük konsantrasyonlardaki izoterm maksimum adsorpsiyonun ve bağlanma enerjisinin belirlenmesinde bir çok araştırıcı tarafından kullanılmıştır (Shukla ve Mittal, 1979; Matar vd., 1992).

Langmuir izoterminin çökelme reaksiyonlarını da tanımladığı belirtilmekle beraber çökelmenin başında meydana gelen ilgili katı fazın çözünürlük çarpımına göre yüksek miktarda P'nin çözeltide bulunması yanında aşırı doymuşluk ve sonrasında linear Langmuir izotermindeki Ce/X değerinde meydana gelen azalma nedeniyle Langmuir izoterminden sapmalara neden olmaktadır. Ce'nin Ce/X ile geniş konsantrasyon sınırlarında eğiminin sabit olmaması, bağlanma enerjisinin sabit olmayıp daha çok adsorpsiyonun bir fonksiyonu olduğunu ve tam olarak tanımlanmış bir maksimum adsorpsiyonun da olmadığını göstermektedir (Harter, 1984). Bu sapmanın muhtemel nedenleri arasında yüzeyde adsorbe edilen P'nin, zamanla minerallerin iç kısımlara doğru girmesiyle ilgilidir. Bu açıdan karbonat mineralleri son derece aktif bir yüzeye sahiptir (Stipp ve Hochella, 1991).

Kullanılan başlangıç konsantrasyon sınırları içinde toprakların fosfor adsorpsiyonunu Freundlich izotermi daha iyi tanımlamıştır. Ancak, maksimum adsorpsiyon ve bağlanma enerjisiyle ilgili katsayı tahmininin yapıldığı alt kısım dikkate alındığında Langmuir izotermi de yüksek regresyon katsayısı vermiştir. Bunun nedeni Freundlich adsorpsiyon izoterminin ampirik sonuçlara dayalı olarak geliştirilmiş olmasıdır (Sanyal ve Datta, 1991).

Atabey ovasından alınan 24 farklı toprak örneğinde yapılan adsorpsiyon çalışması gerek Langmuir gerekse Freundlich adsorpsiyon izoterm modelleri ile başarılı bir şekilde tanımlanabildiği ve modellerin yakın performans gösterdiği bildirilmiştir. Langmuir modelinin düşük konsantrasyonlarda Zn'nin organik maddeyle oluşturduğu şelatlar ve yüksek konsantrasyonlarda çökelme reaksiyonları nedeniyle verilerin temsil kabiliyetlerinin azaldığını dolayısıyla veri setinin orta bölgelerinin kullanılmasının daha uygun olduğu ifade edilmiştir (Uygur ve Kaya, 2019).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Toprak örneklerinin alındığı Isparta ilinin Atabey merkez, Pembeli, Harmanören, İslamköy, Büyükgökçeli, Küçükgökçeli köyü arazilerinin tamamı ile Bayat ve Kuleönü köyü arazilerinin doğusunu kapsayan 37°52'30" - 38°00'00" kuzey enlemleri, 30°37'30" - 30°45'00" doğu boylamları arasında yer almaktadır.

Atabey Ovası kireçli ana materyal üzerinde oluşmuş, Entisol, Mollisol, İnseptisol ve Vertisol ordosunda sınıflandırılan topraklardan oluşmaktadır (Akgül vd., 2001).

Akgül vd. (2001)'nin belirlemiş olduğu Atabey Ovası toprak serilerinden farklılığın daha iyi gözlemlenebilmesi için yukarıda bahsi geçen dört farklı toprak ordosundan örnekleme yapılmasına dikkat edilmiştir. Bu bağlamda Durgun (2016) tarafından 71 farklı noktadan alınan toprak örneklerindeki tanımlayıcı analizler esas alınarak redoks reaksiyonlarında anahtar etkiye sahip olan özelliklerden başta tekstür olmak üzere pH, OM, kireç, amorf yapıda bulunan FeOx ve MnOx içeriklerinin en fazla ve en az bulunmasına göre uç tepkimelerin belirlenebilmesi için seçilmiştir. Bu toprak örneklerinin bazı fiziko-kimyasal özellikleri Çizelge 3.1'de, koordinatları Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çalışmada kullanılmak üzere Isparta Merkez Büyükgökçeli Köyünden yanmış büyükbaş hayvan gübresi temin edilmiş, homojenize edilerek analizler için hazırlanmıştır. Çiftlik gübresinin muhtevasının tespiti Kacar (2014)'a göre yapılmış olup analiz sonuçları Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.1. Toprak örneklerinin fiziko-kimyasal özellikleri

Toprak No		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	a	4	15	16	25	33	35	42	56	59	63
pH		7.71	7.68	7.72	7.82	7.50	7.80	6.78	8.00	7.90	7.32
EC	$\mu S\ cm^{-1}$	127.8	212	212	265	473	192.6	123	244	370	377
OM		20.6	5.1	17.3	20.4	32.5	16.6	19.8	8.3	13.5	69.4
Kireç		6.6	15.9	15.4	374.7	65.7	415.3	13.2	130.9	58.2	232.3
Kum	$g\ kg^{-1}$	675	529	425	333	582	653	293	467	6	506
Silt		159	187	310	371	164	200	204	263	295	222
Kil		167	284	265	296	254	147	503	271	699	272
KDK		17.1	23.2	21.8	23.4	38.2	11.2	34.7	27.5	48.8	36.8
Ca		8.1	11.7	14.5	30.4	23.2	22.2	17.6	27.4	35.6	27.2
K	$cmol\ kg^{-1}$	0.482	1.019	0.954	2.051	2.390	0.413	1.029	1.461	2.331	1.830
Mg		4.958	4.650	7.493	3.402	5.955	1.203	3.504	5.244	3.810	6.126
Na		0.534	0.542	0.545	0.633	0.609	0.678	0.545	0.532	0.610	0.663
P		23.08	35.75	61.58	44.92	216.25	14.25	2.50	13.67	22.17	368.00
Cu		19.90	2.59	37.38	2.32	33.85	0.92	1.84	9.19	2.63	6.04
Fe		8.80	4.98	7.54	3.21	7.09	3.32	13.54	4.26	1.68	20.97
Mn		8.37	11.41	18.21	15.97	21.44	5.35	9.21	18.07	2.12	12.34
Zn		4.92	0.81	2.98	1.39	4.21	0.90	0.22	0.90	0.35	10.84
MnOx	$mg\ kg^{-1}$	139	135	152	105	146	53	162	153	176	78
AMnOx		99	96	171	22	3317	8	68	77	137	52
TMnOx		422	407	459	335	3652	191	309	462	520	337
AFeOx		2 280	6 158	8 441	666	3 924	880	2 071	1 795	1 736	1 247
TFeOx		18 285	20 083	19 122	10 759	18 017	8 572	21 067	17 216	20 950	14 353
Bitki Örtüsü		Kiraz	Domates	Kiraz	Nadas	Şeftali	Nadas	Orman	Elma	Buğday	Mısır

a : Durgun (2016)'a göre yapılan numaralandırma

Çizelge 3.2. Toprak örnekleri seri ve koordinatları

Örnek No([a])	Seri Adı[b]	Toprak Serisi[b]	Enlem	Boylam	Ana Materyal[b]	Büyük Toprak Grubu[b]	Alt Grup[b]
1 (4)	Serenli	M1Bd2c2	295231.974	4193746.974	Koluviyal depo	Mollisol	Typic Haploxeroll
2 (15)	Kuştepe	T2Ad1	297203.901	4195341.295	Kireçli	Inceptisol	Calcic Haploxeprept
3 (16)	Kuştepe	T2Bd2	297275.338	4195349.233	Kireçli	Inceptisol	Calcic Haploxeprept
4 (25)	İslamköy	I1Ad1c1	294103.369	4199507.973	Aluviyal depo	Inceptisol	Typic Calcixerept
5 (33)	Pembeli	P2Bd1	299151.000	4198152.000	Kireçli aluviyal dolgu	Entisol	Typic Zerofluvent
6 (35)	Yaka bağları	Y2Ad3	293798.793	4203892.392	Kireçli Koluviyal	Inceptisol	Petrocalcic Calcixerept
7 (42)	Kırlar	ÃA1	290514.262	4202377.729	Koluviyal depo	Entisol	Typic Zerofluvent
8 (56)	Karaağaç	K4Ad1	296797.124	4200987.991	İnce bünyeli dolgu	Vertisol	Udic Haploxerept
9 (59)	Çay akıntısı	C3Aod1	298130.626	4197761.391	Aluviyal depo	Inceptisol	Typic Haploxerept
10 (63)	Orkav	V4Aod1	296466.738	4195385.326	Aluviyal dolgu	Mollisol	Vertic Haploxeroll

a Durgun (2016)'a göre yapılan numaralandırma
b Akgül vd. (2001)'ne göre yapılan sınıflama

Çizelge 3.3. Çalışmada kullanılan çiftlik gübresi muhtevası

Parametre	Birim	Sonuç
Rutubet	g kg^{-1}	104.9
OM	g kg^{-1}	330.1
P	g kg^{-1}	1.89
$P_{(su\ ekstraktında)}$	mg kg^{-1}	67.3
K	g kg^{-1}	1.97
Mg	g kg^{-1}	1.59
Ca	g kg^{-1}	4.09
Fe	mg kg^{-1}	2348
Mn	mg kg^{-1}	464
Zn	mg kg^{-1}	294
Cu	mg kg^{-1}	66

3.2. Metot

3.2.1. Toprak örneklemesi ve ön hazırlıklar

Atabey Ovası'nda 4 toprak serisine ait farklı fiziko-kimyasal özelliklere sahip olması itibariyle seçilen 10 koordinattan 02.09.2020 tarihinde 0-20 cm derinlikte toprak örnekleri alınarak bir hafta gölgede serilerek hava kuru durumuna getirilmiştir. İnkübasyon denemesi için gerekli olan miktar homojenizasyona dikkat edilerek 2 mm'lik elekten geçirilip polietilen torbalarda saklanmıştır. Bu örneklerde toprakların tanımlayıcı analizleri yapılarak inkübasyon denemeleri kurulmuştur.

3.2.2. Temel toprak özelliklerinin tespiti

3.2.2.1. Toprak pH'sı, EC'si ve ORP

Toprakların pH'sı Thomas (1996), redoks potansiyeli Lindsay ve Sadiq (1980), EC'si ise Rhoades (1996) tarafından belirlenildiği şekilde 1:2 toprak-su süspansiyonunda pH metre (Thermo/Orion Star A211/2012), ORP metre (Thermo/Orion Star A211, 2012), ve EC metre (Wtw series Inolab Cond 720, 2000) ile belirlenmiştir.

3.2.2.2. Organik madde

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

3.2.2.3. Kireç

Loeppert ve Suarrez (1996) tarafından belirtildiği şekilde Scheibler Kalsimetresi ile toprakların kireç içerikleri tespit edilmiştir.

3.2.2.4. Toprak tekstürü

Toprakların tekstürü Bouyoucos (1962) tarafından belirtildiği şekilde sodyum hekzametafosfat $(NaPO_3)_6$ ile disperse edildikten sonra belirlenmiştir.

3.2.2.5. Kullanılabilir (yarayışlı) fosfor

Toprakların yarayışlı fosfor miktarları, Olsen (1954) tarafından belirtildiği şekilde pH'sı 8.5 olan 0.5 *N* $NaHCO_3$ ile 1:20 oranındaki toprak ekstraksiyonunda belirlenmiştir.

3.2.2.6. Yarayışlı K, Na, Ca, Mg belirlenmesi

Helmke ve Sparks (1996) tarafından belirtildiği şekilde; toprakların değişebilir katyon miktarları pH'sı 7 olan 1 N NH_4OAc ekstraksiyonu ile elde edilen çözeltide AAS cihazında (Varian AA 240FS) tespit edilmiştir.

3.2.2.7. Katyon değişim kapasitesi (KDK)

Topraklar önce pH sı 8.2 ye ayarlanmış molar Na-asetat ile doyurulmuş; daha sonra kolloidal yüzeylerde tutulan Na, pH'sı 7'ye ayarlanmış molar NH_4-asetat çözeltisiyle

ektrakte edilmiştir. Elde edilen süzüğün konsantrasyonları alev fotometresi ile belirlenmiştir (Rhoades, 1982).

3.2.2.8. Yarayışlı Fe, Mn, Cu, Zn belirlenmesi

Toprakların DTPA ile ekstrakte edilebilir Fe, Mn, Cu ve Zn miktarları; Lindsay ve Norvell (1978) tarafından belirtildiği şekilde DTPA, TEA ve $CaCl_2$ karışımı pH'sı 7.3'e ayarlanmış çözelti ile elde edilen süzükte AAS cihazında tespit edilmiştir.

3.2.2.9. Toplam Fe, Al, Mn, P belirlenmesi

Toplam Fe, Mn, P ve Al miktarları TSE ISO 11047 (2015)'e göre toprak örneğinin 1/3 oranındaki (v/v) kral suyu karışımı ile yaş yakılarak elde edilen çözeltide indüktif eşleşmiş plazma - optik emisyon spektrofotometri (ICP-OES; Perkin Elmer Optima 2 100) ile belirlenmiştir.

3.2.2.10. Kademeli ekstraksiyon yöntemi ile katyonik mikroelementlerin fraksiyonlarının belirlenmesi

Parat vd. (2003), Leleyter ve Probst (1999), Shuman (1983, 1985) ve Tessier vd. (1979)'nın önerileri göz önünde bulundurularak toprakta 7 farklı jeokimyasal fraksiyon belirlenmiştir. Bu yöntemin esası, çözünürlüğü ya da yarayışlılığı en yüksek olandan en düşük olana doğru bir ekstraksiyon sırasının takip edilmesine dayanmaktadır. Bu fraksiyonlar:

a. **Suda çözünebilir ve değişebilir fraksiyon (WS-Ex):** 2 mm'lik elekten elenmiş 1 g toprak, pH'sı 5'e ayarlanmış 10 mL 1 M $Mg(NO_3)_2$ ile 2 saat çalkalandıktan sonra santrifüj edilerek sıvı faz ayrılmıştır. 40 mL saf su eklenerek yıkama yapılıp elde edilen iki süzük karıştırılarak Fe, Mn, Cu ve Zn konsantrasyonu belirlenmiştir.

b. **Karbonatlara bağlı fraksiyon (Car-Fe/Mn):** pH'sı 4.5'e ayarlanmış 1 M sodyum asetatın (NaOAc) 10 mL'si ile bir önceki aşamadan kalan toprak örneği 5 saat çalkalanıp sıvı faz santfüj edilerek ve mavibant filtre kağıdından süzülerek ayrılmıştır. Toprak örneği 25mL 1 M NaCl ile çalkalanarak bakiye iyonlar çözelti

fazına geçirilip önceki süzük ile birleştirilerek Fe, Mn, Cu ve Zn konsantrasyonu belirlenmiştir.

c. **Mangan Oksitlere bağlı fraksiyon (MnOx-Fe/Mn):** Önceki aşamadan kalan toprak örneği üzerine pH'sı 3.5'e ayarlanmış 10 mL 0.1 M hidroksilamin hidroklorür ($NH_2OH.HCl$) eklenerek 30 dakika çalkalanmıştır. Santrifüjleme ve sonrasında mavibant filtre kağıdından süzülerek ekstrakt ayrılmıştır. Daha sonra 25 mL NaCl ile yıkama yapılıp önceki süzük ile birleştirilip Fe, Mn, Cu ve Zn konsantrasyonu belirlenmiştir.

d. **Amorf Fe/Al Oksitlere bağlı fraksiyon (AFeOx-FE/Mn):** Önceki aşamadan kalan toprak örneği üzerine 10 mL 0.2 M oksalat tamponu ([$(NH_4)_2C_2O_4$, pH=3.0] eklenip 4 saat karanlıkta çalkalanarak sıvı faz santfüjleme ve filtreleme ile ayrılmıştır. Akabinde 25 mL 1 M NaCl ile yıkama yapılıp elde edilen süzükler birleştirilerek Fe, Mn, Cu ve Zn konsantrasyonu belirlenmiştir.

e. **Kristalin Fe Oksitlere bağlı fraksiyon (KFeOx-Fe/Mn):** Bir önceki aşamadan kalan toprak örneği, 4. Aşamada belirtilen tampon çözelti içerisinde hazırlanarak ve pH'sı 2.25'e ayarlanmış 0.1 M askorbik asit çözeltisinin 10 mL'si ile 80°C su banyosunda kapakları kapalı halde 30 dakika bekletilerek kristalin oksitler çözülmüştür. Sıvı faz santrifüjleme ve filtreleme ile ayrılmıştır. Daha sonra 1 M 25 mL NaCl ile yıkama yapılıp elde edilen süzükler karıştırılıp Fe, Mn, Cu ve Zn konsantrasyonu belirlenmiştir.

f. **Organik ve sülfitlere bağlı fraksiyon (OS-FE/Mn):** Önceki aşamadan kalan toprak örneği üzerine 3 mL 0.02 M HNO_3 + 8 mL H_2O_2 (karışım çözeltisinin pH'sı 2'ye ayarlanmış) ekleyip 85°C'de su banyosunda kapaklar gevşek şekilde ara sıra karıştırılarak 5 saat bekletilmiştir. 5 mL 3.2 M amonyum asetat eklenip 30 dakika daha 85°C su banyosunda bekletilmiştir. Toprak çözelti karışımı soğuduktan sonra sıvı faz santrifüjlenip süzülmüş ve süzüğün Fe, Mn, Cu ve Zn konsantrasyonu belirlenmiştir.

g. **Bakiye fraksiyon (R-Fe/Mn):** Bu aşama için bir önceki aşamadan elde edilen toprak bakiyesi 40°C'de etüvde kurutulmuştur. Etüvde kurutulan örnekler

erlenlere aktarılarak üzerlerine 10'ar mL kral suyu (HNO_3/HCl, 3/1, V/V) eklenip yaş yakma işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen süzüklerin Fe, Mn, Cu ve Zn içeriği belirlenmiştir. İkinci aşamadan itibaren her fraksiyonlamada bir önceki aşamadan kalan toprak bakiyesi kullanılmıştır. Fraksiyonlama sonunda toprak saf su ile yıkanmış ve bakiye element uzaklaştırıldıktan sonra 40°C kurutulup takip eden fraksiyonlama işlemi gerçekleştirilmiştir.

3.2.2.11. Kademeli ekstraksiyon ile fosfor fraksiyonlarının belirlenmesi

Toprak örneklerinin 2 mm'den elenmiş hava-kuru olacak şekilde hazırlanan üç tekerrürlü olarak 1 g alınıp ekstraksiyon işlemleri sırasıyla yapılmıştır. Kireçli topraklar için Kuo (1996) tarafından önerilen ekstraksiyon metotları uygulanmıştır. Ancak mobil fosforun daha detaylı incelenebilmesi için $NaHCO_3$ aşaması eklenmiştir. Ayrıca Hedley fraksiyonlamasında olduğu gibi mobil fraksiyon içerisindeki organik ve inorganik fraksiyonlar ayrı ayrı analiz edilmiştir. Bu bağlamda birinci aşamada Labil-P, ikinci aşamada CBD-P, üçüncü aşamada Ca-P ve son aşamada ise Bakiye-P fraksiyonları detayları Mahdi (2017) tarafından belirtildiği şekilde tespit edilmiştir.

3.2.3. İnkübasyon denemesinin kurulması ve yürütülmesi

İnkübasyon için hazırlanan toprak örnekleri plastik kaplarda 100 g örnek olacak şekilde redoks potansiyeli ve organik madde etkileşiminin gözlemlenmesi için kontrol ve 4 ton da^{-1} çiftlik gübresi uygulamaları ile üç tekerrürlü olarak tekrar eden ölçümler deneme desenine göre 0, 7, 14, 21, 40 günlük su altında bırakılmıştır. Denemede 10 toprak x 2 çiftlik gübre dozu x 5 periyot x 3 tekerrür =300 örnek farklı inkübasyon süreleri arasındaki cihaz kalibrasyon farklılıklarını azaltmak amacıyla eş zamanlı olarak ölçüm yapılacak şekilde 1:2 toprak:su süspansiyonunda 22±3°C'de inkübe edilmiştir.

İndirgen koşulların oluşmasını sağlamak için inkübasyon Dungan vd. (1999)'nin önerdiği toprak su oranı modifiye edilerek değiştirilmiş, alg oluşumuna karşı da deneme karanlıkta sürdürülmüştür.

İnkübasyon sonucunda süspansiyonda pH (Thomas, 1996) ve ORP (Lindsay ve Sadiq, 1980) ölçümleri yapılmıştır. Süspansiyonlar sıvı fazı ayrıldıktan sonra 40°C'de kurutulmuştur. Bu örnekler homojenize edildikten sonra sodyum bikarbonat yöntemi ile fosfor (Sağlam, 1997; Kacar, 2009); amonyum asetat ekstraksiyonu yoluyla Ca, Mg, Na ve K (Sağlam, 1997); DTPA ekstraksiyonu ile yarayışlı Fe, Mn, Cu ve Zn (Lindsay ve Norwell, 1978) analizleri yapılmıştır.

Toprakların başlangıçtaki durumunu gözlemlemek için kontrol (0 gün su baskını) uygulaması yapılmıştır. İnkübasyon süresi dolan diğer toprakların yukarıda bahsi geçen analizlerine sırasıyla devam edilmiştir.

3.2.4. Drenaj çözeltisinde yapılan analizler

İnkübasyon denemesi (10 toprak örneği x 2 organik gübre dozu x 5 zaman periyodu x 3 tekerrür = 300 örnek) sonrasında toprakların drenajı sağlanmıştır. Drene süspansiyonunda pH (TS EN ISO 10523, 2013), EC (TS 9748 EN 27888, 1996) ve bazı bitki besin elementlerinin (P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Cu, Zn) analizleri (TS EN ISO 6878, 2006; TS EN ISO 17294-1, 2007; TS EN ISO 17294-2, 2017) yapılmıştır.

3.2.5. Adsorpsiyon denemesinin kurulması ve yönetilmesi

İnkübasyon denemesinden sonra elde edilen veriler ışığında redoks reaksiyonlarında doğrudan veya dolaylı olarak yer alan toprak özelliklerinden pH, ORP, Fe, Mn, Zn, Cu sonuçları ile yapılan temel bileşen analizinde PC1 ve PC2 ile kümülatif olarak yaklaşık %65'lik bir değeri açıklayabilmek mümkün olmaktadır (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4. İnkübasyon topraklarında açıklanan toplam varyans

Bileşen	Başlıca Özdeğerler[a]		
	Özdeğer	Açıklanan Varyans Yüzdesi	Açıklanan Kümülatif Yüzde
1	10.209	34.031	34.03
2	9.215	30.717	64.75
3	3.928	13.094	77.84
4	1.680	5.601	83.44
5	1.551	5.169	88.61
6	1.075	3.583	92.20
7	0.693	2.310	94.51
8	0.433	1.443	95.95
9	0.350	1.165	97.11
10	0.244	0.813	97.93
11	0.188	0.628	98.56
12	0.163	0.545	99.10
13	0.117	0.389	99.49
14	0.052	0.173	99.66
15	0.041	0.136	99.80
16	0.030	0.099	99.90
17	0.016	0.052	99.95
18	0.009	0.029	99.98
19	0.007	0.022	100

a Ekstraksiyon yöntemi: Temel bileşen analizi

İnkübasyon denemesinde kullanılan zaman periyotlarının temel bileşenlere etkisi incelendiğinde, özellikle ORP ve pH'nın farklı zamanlardaki ölçümlerinin PC1 üzerinde, yarayışlı Mn ve Cu periyotlarının ise PC2 üzerinde önemli yük potansiyeline sahip oldukları belirlenmiş olup Çizelge 3.5'te verilmiştir.

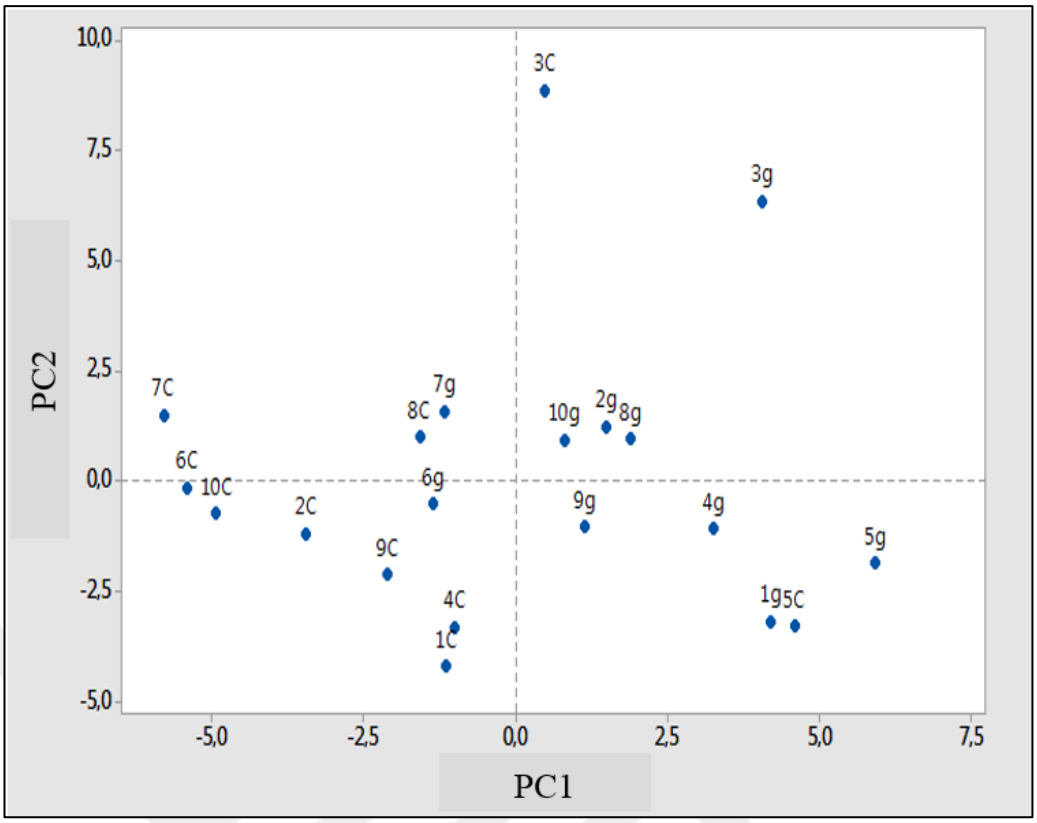
Çizelge 3.5. İnkübe edilen topraklarda temel bileşenlere ait yükleme değerleri

	Bileşen[a,b]					
	1	2	3	4	5	6
ORP21	-0.979					
pH21	0.976					
pH14	0.922					
ORP14	-0.901					
ORP40	-0.894					
pH40	0.889					
pH7	0.860				0.405	
ORP7	-0.858				-0.412	
MnC	-0.731	0.459				
pHC	0.720	-0.356	0.317	-0.443		
ORPC	-0.710	0.350	-0.333	0.447		
Cu7		0.903		-0.311		
Cu14		0.890		-0.350		
Cu40		0.853		-0.353		
Cu21		0.810	-0.341	-0.417		
Mn40		0.796	0.321			
Mn21		0.795	0.326			-0.330
CuC		0.790	-0.362			
Zn7	0.499	0.787				
Zn40	0.500	0.741				
Zn14	0.590	0.700				
Zn21	0.610	0.687				
ZnC	0.625	0.648				
Mn7		0.646	0.553			
Mn14		0.612	0.447	0.401		
Fe7			0.809			
Fe14			0.809		-0.394	
Fe21		0.384	0.741		-0.336	
Fe40		0.391	0.729			
FeC	-0.446				0.418	0.618

a Ekstraksiyon yöntemi: Temel bileşen analizi

b Altı bileşen analiz edildi

Yapılan temel bileşen analizi sonucunda PC1 ve PC2 üzerine toprakların dağılımı Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. İnkübasyon topraklarının PC1 ve PC2 ile ilgili özelliklere bağlı olarak oluşan dağılım grafiği

Adsorbsiyon çalışması için diğer topraklara göre belirgin şekilde nispeten daha farklı tepkiler gösteren 1, 3, 5, 7 ve 10. toprak örnekleri 2 mm'lik elekten elenmiş plastik kaplarda 200 g örnek olacak şekilde redoks potansiyeli ve organik madde etkileşiminin gözlemlenmesi için kontrol ve 4 ton da^{-1} çiftlik gübresi uygulamaları ile üç tekerrürlü olarak tekrar eden ölçümler deneme desenine göre 0, 7, 14, 21, 40 günlük su altında bırakılmıştır. Denemede 5 toprak x 2 çiftlik gübre dozu x 5 periyot x 3 tekerrür =150 örnek 1:2 toprak su süspansiyonunda 22±3°C'de karanlık ortamda inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonrasında 40°C'de kurutularak homojenize edilmiş, P ve Zn adsorbsiyon çalışması yapılmıştır.

3.2.5.1. Fosfor adsorpsiyon çalışması

Fosfor adsorpsiyon çalışmalarında, 2 g toprak tartılarak, üzerine 0, 5, 10, 20, 30, 40 mg P L^{-1} içeren 25 mL 0.01 M $CaCl_2$ çözeltisi ile 20°C sabit sıcaklıkta 24 saat dengeye getirildikten sonra 3000 devir/dakika ile 10 dakika santrifüj edilerek ve mavi band filtre kağıdından süzülerek sıvı faz ayrılmıştır. Elde edilen ekstraktların fosfor konsantrasyonları, modifiye edilmiş askorbik asit yöntemine göre Murphy ve Riley

(1962) tarafından bildirildiği şekilde 880 nm dalga boyunda spektrofotometre (Thermo Genesys 10S UV-VIS-2013) ile belirlenmiştir.

3.2.5.2. Çinko adsorpsiyon çalışması

Çinko adsorpsiyon çalışmalarında, 2 g toprak tartılarak üzerine 0, 10, 20, 50, 100, 200 ve 400 mg Zn L^{-1} içeren [$Zn(NO_3)_2$ $6H_2O$'den hazırlanmıştır] 25 mL 0.01 M $CaCl_2$ çözeltisi ile 20°C sabit sıcaklıkta 24 saat dengeye getirildikten sonra 3000 devir/dakika ile 10 dakika santrifüj edilerek ve mavi band filtre kağıdından süzülerek sıvı faz ayrılmıştır. Elde edilen ekstraktların Zn konsantrasyonları, AAS ile belirlenmiştir.

3.2.5.3. Adsorpsiyon izoterm eğrilerinin elde edilmesi

Adsorpsiyon izoterm eğrilerinin hazırlanmasında Giles sınıflandırmasından yararlanılmıştır. Bu sınıflandırmaya göre kolloidal yüzeylerin moleküllere olan ilgisi, moleküllerin yüzeydeki pozisyonu, adsorpsiyondaki bağlanmalar hakkında adsorpsiyon eğrilerinin tipinden yararlanılarak bilgi edinilir. Giles incelemiş olduğu farklı adsorpsiyon izotermleri neticesinde, izotermin düşük konsantrasyonlardaki eğimine dayanan bir gruplama belirlemiştir. Buna göre Giles'in önermiş olduğu sınıflandırmada dört farklı izoterm tipi bulunmakta olup; S, L, H ve C tipleridir (Şekil 3.2). Yüksek derişimlerin olduğu durumlarda ise, alt sınıflardan da bahsedilir (Giles vd., 1960; Myers, 1999).

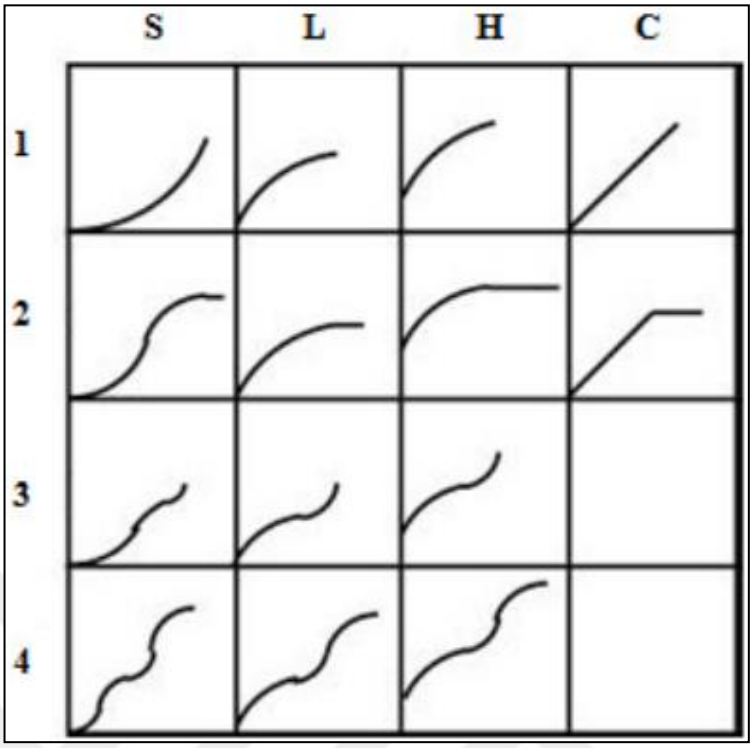
S-tipi adsorpsiyon izoterminde, başlangıç eğiminin değişimi derişim arttıkça adsorpsiyonun kolaylaştığını gösterir. Pratikte S tipi şu koşullarda ortaya çıkar:

Adsorbat molekülü,

• tek fonksiyonlu ise (tek birim olup misel halinde olmayan adsorplanmaya neden olur),

• moleküller arası etkileşim varsa (adsorbe edilen molekülün kendi cinsinden olan materyal ile etkileşimi sebep olur),

• kolloidal yüzey için (konsantrasyon arttıkça adsorpsiyonun zayıflamasına, çözeltide bulunan moleküllerin bu mekanizmayı zayıflattığına sebep olur) güçlü bir rekabet durumunda (Giles vd., 1960).



Şekil 3.2. Çözeltiden adsorpsiyonda izoterm tipleri (Myers, 1999)

En yaygın adsorpsiyon izotermi olan L-tipinde; başlangıç eğiminin değişimi, kolloidal yüzeyler doldukça moleküllerin boş adsorpsiyon bölgeleri bulmalarının zorluğundaki artışı gösterir. Çözücü ile kuvvetli bir rekabetin bulunmadığı bu izotermlerde adsorplanmış moleküller dikey olarak yerleşmemektedir. Bu izoterm tipi şu koşullarda ortaya çıkar:

• tek tabakalı adsorplama eğilimi yüksektir,

• adsorbat art arda adsorplanmış ise, çözücü ile az miktarda rekabet oluşur (örneğin; adsorbat ve adsorbanın fazla polar mekanizmaları, moleküller arası çekimin çok güçlü olduğu monofonksiyonel iyonik maddelerin olduğu sistemler (Giles vd., 1960).

Adsorbatın adsorbana olan yüksek ilgisini gösteren, L-tipinin özel bir şekli olan H-tipi izoterm düşük konsantrasyonlarda dikeydir. Adsorbat, iyonik miseller ya da polimerik moleküller gibi genelde büyük birimlerdir. Fakat bazen bu adsorplanmış türlerin kolloidal yüzeye ilgisinin az olduğunu gösteren diğer türler ile değişilen tek iyonlar olduğu da görülür (Giles vd., 1960).

Maksimum adsorpsiyona kadar yüzeyde tutunan maddenin mümkün olan çözelti ve kolloidal yüzey arasında sabit bölüşüldüğünü gösteren C-tipi izotermde ise maksimum

adsorpsiyonda ani bir değişimle yatay bir plato oluşur. Bu izoterm tipi şu koşullarda ortaya çıkar:

• Farklı kristallenme dereceleri olan bölgeler ve esnek moleküller taşıyan gözenekli bir adsorbanın olması,

• Kolloidal yüzeylere çözücüden daha yüksek ilgi gösteren bir molekülün olması,

• Kolloidal yüzeylerin kristal bölgelerine bağlanma gücü çözücüden daha iyi olan bir molekülün olması.

Doğrusallık, adsorpsiyon bölgeleri sayısının stabil olduğunu, yani daha çok molekül yüzeylerde tutundukça yeni adsorpsiyon bölgeleri oluşması şeklinde olduğunu ifade etmektedir (Giles vd., 1960).

Kimyasal adsorpsiyon için üretilmiş olan Langmuir izotermi tek tabakalı fiziksel ve çözeltiden adsorplanma için de geçerlidir (Sarıkaya, 1993).

Üç temel varsayıma dayanmaktadır:

• Adsorpsiyon tek tabakayla sınırlıdır.

• Bütün adsorpsiyon yüzeyleri homojendir

• Bağlanma yüzeyleri açısından istatistiksel olarak bağlanma potansiyelleri aynıdır. (Sarıkaya, 1993; Atkins, 2001).

3.3. İstatistiksel Değerlendirmeler

Her bir toprak örneğinin su altında kalması sonucu oluşan bitki besin elementlerinin yarayışlı konsantrasyonlarındaki değişimlere tekrar eden ölçümler deneme desenine göre varyans analizi uygulanmıştır. Bu şekilde örnekler ve ölçüm zamanları arasındaki farklılıklar Bonferroni testi ile $p \leq 0.05$ seviyesinde karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Kemometrik analizler ve konvansiyonel korelasyon analizleri ile ölçülen parametreler ve toprak özellikleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Kemometrik analizler kapsamında temel bileşen analizi Minitab ve RStudio paket programında gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda normal dağılım kontrolü Shapiro-Wilk testi (Shapiro ve Wilk, 1965) ile yapılmıştır. Normal dağılım göstermediği tespit edilen analiz sonuçlarının birbirleri ile aralarında herhangi bir ilişkinin bulunup bulunmadığı, eğer

varsa bu ilişkinin yönünü ve gücünün belirlenmesinde Spearman korelasyon analizi kullanılmıştır. Verilerin değerlendirilmesinde rstatix (v 0.7.2) R paketi kullanılmıştır (Kassambara, 2021).

Çok sayıda parametrenin araştırıldığı şartlarda kullanılan bir veri indirgeme yöntemi olan temel bileşen analizi ile toprak özelliklerinin hangisinin su altında kalma ile elverişli bitki besin elementi konsantrasyon değişimini açıklayabildiği ortaya konulabilmiştir. Normal şartlar altında sözkonusu yöntem bir değişkenin varyansını açıklayan p sayıdaki değişken yerine bu değişkenlerden üretilen daha az sayıdaki temel bileşenlerle veri setinin varyansını açıklama metotudur (Landau ve Everitt, 2004).

Elde edilen verilerin adsorbsiyon çalışması ile Freundlich ve Langmuir modellerine uygunlukları, regresyon analizi ile kontrol edilerek tespit edilmiştir. Çalışmada kullanılan Denklemler Langmuir (3.1) ve Freundlich (3.2) modelleri için aşağıda verilmiştir:

$$Ce/S = Ce/b+1/Kl^{*}b \quad (3.1)$$

Denklemde; *S* birim miktar toprağın adsorbe ettiği P veya Zn konsantrasyonu (mg kg^{-1}), *Ce* denge koşullarındaki çözeltinin Zn veya P miktarı (mg L^{-1}), *Kl* ve *b* sırasıyla bağlanma enerjisi ve maksimum adsorpsiyonla alakalı katsayılardır.

$S= Kf \,.\, C^{1/n}$ şeklinde verilen Freundlich izotermi log tabanlı olmak üzere aşağıdaki gibi lineer şekle çevrilebilir:

$$Log\ (S) = Log\ Kf + 1/n\ log\ Ce \quad (3.2)$$

S birim miktar toprağın adsorbe ettiği iyon miktarı (mg kg^{-1}), *Ce* denge konsantrasyonu (mg L^{-1}), *Kf* ve *n* ise katsayıdır.

Gerektiğinde toprakların sahip olduğu toplam P veya Zn miktarı kullanılarak regresyon hattının determinasyon katsayısını yükseltmek için modellerde modifikasyon yapılmıştır (Uygur ve Kaya, 2019).

Fosfor ve çinko adsorpsiyon izotermlerinin hazırlanmasında regresyon güven aralık seviyesi Çetin ve Kavruk (2011) tarafından hazırlanan çalışmada belirtildiği üzere Gavin Andrews yöntemine göre %94.6 olarak baz alınarak değerlendirilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. İnkübasyon Denemesi

4.1.1. İnkübasyonun toprakların tanımlayıcı özellikleri üzerine etkisi

Topraklarda başlangıç aşamasındaki tanımlayıcı özelliklerden elde edilen korelasyonlar, toprak oluşum süreçlerinin uzun vadedeki bir göstergesi olarak ortaya çıkmaktadır. Toprakların minerolojik yapısına sıcaklık ve nem rejiminin etkisiyle oluşan redoks reaksiyonları topraklarda süregelen bir durumdur. Bu nedenle ilk olarak başlangıçta ölçülen tanımlayıcı analizlerin korelasyonu incelenmiştir.

Toprak pH'sı ile toprağın redoks potansiyeli arasında tarımsal uygulamalar ve iklimin etkisiyle toprakların su altında kalması veya bırakılması sonucunda doğrusal bir bağlantının bulunduğunun (Ören ve Bozkurt, 2015; Ören vd., 2018; Tiwari vd., 2023) çalışma yapılan topraklarda da benzer şekilde bir ifadesi olarak toprakların tanımlayıcı özelliklerinin incelenmesi neticesinde pH ile ORP arasında inkübasyon sırasındaki tüm ölçüm zamanlarında son derece yüksek negatif korelasyon katsayıları elde edilmiştir. Genellikle aynı anda yapılan ölçümler arasında "-1" e yaklaşan önem derecesi çok yüksek korelasyonlar son derece beklenen bir durumdur. Zira bu iki değişken arasında aynı elektrotla ölçülmesinden dolayı olan bir sistematik ilişkiden kaynaklanmaktadır. Ayrıca farklı zamanlarda ölçülen ORP ve pH değerleri arasında da güçlü bir ilişki vardır (Çizelge 4.1). Bu korelasyonun bir sonucu olarak pH'nın diğer toprak özellikleriyle göstermiş olduğu bütün ilişkilerde redoks potansiyeli de aynı kuvvette ve zıt yüklü korelasyonlar sergilemiştir.

Kireç ile pH arasındaki (0.89**) önem derecesi yüksek korelasyon, kireç içeriğinin büyük çoğunluğunun Ca ve Mg karbonatlardan oluşması ve karbonatların iyonlaşması ile pH değişimi arasındaki kuvvetli ilişkiye (Lindsay, 2001) işaret etmektedir. Sulu ortamda sadece çözeltide kireç bulunduğu şartlarda 8.3-8.4 pH seviyesi ortaya çıkmaktadır. Ancak toprak çözeltisinde ortama etki eden birçok faktör bulunmaktadır. Özellikle asit iyonları üreten faktörlerin ortama etkisiyle topraktan kireç uzaklaştıkça kireçli toprakların pH'sı bir miktar düşmektedir. Toprakta kireç miktarı arttığında ise

karbonatların pH'da kontrol mekanizması başat hale gelmektedir. Bulunan bu önem derecesi yüksek korelasyon bu durumu doğrulamaktadır.

Diğer taraftan topraktaki AFeOx'lerle pH arasında (-0.64**) önem derecesi yüksek bir ilişki söz konusudur. Asit koşullarda FeOx'lerin çözünürlüğünün fazla olduğu (Lindsay, 2001) bildirilmiştir. Ancak pH'nın buradaki ilişkisi kireç ile kıyaslandığında daha zayıf kalmaktadır. Zira ortaya çıkan asit iyonları başta kireç olmak üzere başka bileşenler tarafından da tamponlanmaktadır.

Toprakta bulunan demirin fraksiyonları arasında en fazla çözünürlük ilişkisine sahip labilitesi en yüksek olan AFeOx su altında kalan topraklarda redoks reaksiyonlarının etkisiyle oluşan indirgen koşullar neticesinde ORP ile önem seviyesi yüksek pozitif yönlü korelasyon (0.64*) göstermiş olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun bir etkisi olarak ortaya çıkan toprak reaksiyonundaki azalma ile çözünürlük kapasitesi artan söz konusu özellik ile fraksiyon arasında önem seviyesi yüksek negatif bir korelasyonun (-0.64*) ortaya çıkmasına neden olduğu tespit edilmiştir. Bir başka deyişle çalışma yapılan kireçli topraklarda pH azaldıkça Fe fraksiyonlarının çözünürlüğünün artmakta olduğu, bu fraksiyonlar arasında stabilitesi en düşük olması nedeniyle bu artışın en çok AFeOx fraksiyonunda olduğu tespit edilmiştir.

Toprakta fazla bulunan amorf yapılar ise toprağın oksidasyon redüksiyon süreçlerine sıklıkla maruz kaldığı, bölgenin iklim şartları ve örnekleme zamanı göz önünde bulundurulduğunda yapılan tarımsal sulama uygulamalarının bilinçsiz ve fazla olduğu veya FeOx, MnOx, AlOx ilave edildiğinin bir göstergesi olduğu ifade edilebilmektedir. Herhangi bir toprağa yüksek miktarda element eklendiğinde toprakların tipik tamponlama karakteristikleri çerçevesinde, öncelikle amorf yapılar görev alarak çökelme eğiliminde bulunmaktadır. İlerleyen süreçte çökelen bu yapılar kristalin yapılara doğru dönüşerek daha stabil minerallere geçiş yapmaktadır. Bunun bir ispatı olarak Pourbax çözünürlük diyagramlarında en üst hat olarak amorf yapılar gelmekte, daha alt seviyelerde kristalin yapılar bulunmakta olup sisteme dışarıdan eklenme durumunda amorf yapılarda kristalleşme meydana gelmekte, termodinamik açıdan daha stabil olan kristalin formlara dönüşmektedir (Lindsay, 2001).

Çizelge 4.1. Toprakların tanımlayıcı özellikleri arasındaki Spearman korelasyon katsayıları

	Kum	Silt	Kil	pH	ORP	EC	Kireç	OM	N
Kum		**-0.78***	**-0.87****	-0.21	0.21	-0.38	-0.26	-0.49	-0.49
Silt	**-0.78***		0.52	0.25	-0.25	0.36	0.46	0.53	0.53
Kil	**-0.87****	0.52		0.27	-0.27	0.35	0.19	0.13	0.13
pH	-0.21	0.25	0.27		**-1.00****	-0.39	**0.89****	-0.21	-0.21
ORP	0.21	-0.25	-0.27	**-1.00****		0.39	**-0.89****	0.21	0.21
EC	-0.38	0.36	0.35	-0.39	0.39		-0.23	0.18	0.18
Kireç	-0.26	0.46	0.19	**0.89****	**-0.89****	-0.23		0.00	0.00
OM	-0.49	0.53	0.13	-0.21	0.21	0.18	0.00		**1.00****
N	-0.49	0.53	0.13	-0.21	0.21	0.18	0.00	**1.00****	
P	0.45	-0.20	-0.52	-0.36	0.36	0.24	-0.27	-0.22	-0.22
K	-0.19	0.26	0.15	-0.41	0.41	**0.89****	-0.29	0.28	0.28
Ca	-0.55	0.41	**0.65***	0.43	-0.43	0.32	0.50	0.15	0.15
Mg	-0.37	0.31	0.32	-0.13	0.13	**0.68***	-0.18	0.10	0.10
Na	-0.55	0.35	0.47	-0.35	0.35	0.62	-0.41	0.28	0.28
Fe	-0.30	0.03	0.24	-0.26	0.26	0.01	-0.32	0.02	0.02
Mn	-0.53	0.37	0.35	-0.60	0.60	**0.78***	-0.41	0.58	0.58
Cu	0.27	-0.16	-0.36	-0.19	0.19	0.47	-0.10	-0.15	-0.15
Zn	0.27	-0.25	-0.22	0.06	-0.06	0.13	-0.06	-0.37	-0.37
MnOx	-0.61	0.20	0.48	-0.02	0.02	0.37	0.03	0.27	0.27
AMnOx	-0.01	-0.19	-0.06	-0.09	0.09	0.38	-0.18	-0.20	-0.20
TMnOx	-0.06	-0.03	-0.01	0.26	-0.26	0.37	0.26	-0.24	-0.24
AFeOx	0.18	-0.36	-0.18	**-0.64***	**0.64***	0.54	**-0.66***	-0.06	-0.06
TFeOx	-0.44	-0.09	0.53	-0.36	0.36	0.43	-0.47	-0.02	-0.02
WS-Ex-Zn	-0.07	0.32	-0.07	-0.21	0.21	0.49	-0.09	0.13	0.13
Car-Zn	**0.72***	-0.42	**-0.73***	0.08	-0.08	-0.25	-0.01	-0.36	-0.36
MnOx-Zn	0.56	-0.54	-0.56	-0.52	0.52	0.28	-0.46	-0.22	-0.22
AFeOx-Zn	-0.15	0.24	0.07	0.16	-0.16	0.58	0.22	-0.18	-0.18
KFeOx-Zn	-0.21	-0.19	0.31	0.08	-0.08	-0.08	-0.09	-0.12	-0.12
OS-Zn	-0.01	-0.12	0.09	0.13	-0.13	-0.62	0.17	0.12	0.12
R-Zn	-0.54	0.18	0.58	-0.10	0.10	**0.70***	-0.05	0.04	0.04
Toplam-Zn	-0.59	0.25	0.55	0.08	-0.08	0.53	0.02	0.09	0.09
$NaHCO_3$-P	-0.31	0.45	0.16	0.36	-0.36	0.41	0.38	0.31	0.31
NaOH-P	0.24	-0.14	0.01	0.55	-0.55	0.01	0.44	-0.45	-0.45
CBD-P	-0.10	0.39	0.14	0.14	-0.14	0.39	0.09	-0.25	-0.25
Ca-P	0.13	0.16	-0.07	0.41	-0.41	0.10	0.33	-0.27	-0.27
Res-P	-0.45	0.27	0.36	0.30	-0.30	0.38	0.32	0.15	0.15
Toplam-P	-0.15	0.35	0.15	**0.64***	**-0.64***	0.22	0.57	-0.16	-0.16

$^{*}p\leq 0.05$ $^{**}p\leq 0.01$

Toplam P miktarı ile pH arasındaki ilişki (0.64**) toprakların oluşum süreçlerinin ve gübreleme uygulamalarının neticesinde ortaya çıkmaktadır. Gübre ile toprağa uygulanan ya da oluşum süreçleri içerisinde ortaya çıkan hareketliliği yüksek iyonlar ya adsorbe edilir ya da yıkanır. Fosfor yıkanma süreçlerine katılmadığı için toprakta fikse edilmekte, yüksek pH'larda çözünürlüğü son derece düşük olan apatit vb. mineraller meydana getirmektedir. Bu bağlamda pH arttıkça toplam P miktarıda artış göstermektedir.

ORP ve pH arasındaki duruma benzer bir ilişki de topraklardaki organik madde ve azot arasında tespit edilmiştir. Topraklarda organik madde miktarı arttıkça azot miktarınında aynı oranda (1.0**) ve doğrusal olarak arttığı tespit edilmiştir. Nitekim genel olarak yüzey topraklarındaki azotun yaklaşık olarak %95'i organik formda, %5'de NH_4^+ ve NO_3^- gibi iyonların oluşturduğu inorganik formda olduğu bilinmektedir (Sezen, 1995).

EC'nin K (0.89**), Mg (0.68*), Mn (0.78*) ve R-Zn (0.70*) ile önemli derecede ilişkisi tespit edilmiştir. Bu durum potasyum açısından incelendiğinde özellikle kil içeriği yüksek olan topraklardaki fazlalığı ve toprak çözeltisindeki çözünürlüğünün yüksek olmasından dolayı ve ayrıca gübrelemeyle topraklara fazla miktarda ilave edilmesinin bir fonksiyonu olarak EC değerine önemli bir katkı sağladığı söylenilebilir. Potasyumun iyonik gücünden ve dolayısıyla iyon değişiminden dolayı diğer bitki besin elementlerine göre nispeten çok daha yüksek korelasyon değerlerine ulaşmıştır.

EC ile Mg arasında bulunan önemli derecedeki korelasyon toprağın değişim yüzeylerinde potasyum ile arasında bulunan ilişkinin bir fonksiyonu olarak EC değerine önemli katkı sağlamaktadır. Genel olarak kurak ve yarı kurak olan bu bölge topraklarında karbonatlı yapıların fazla miktarda bulunmakta ve bu yapıların özellikle Ca ve Mg ile bileşik oluşturmakta ve değişen pH koşullarından çok hızlı bir şekilde çözünme – çökelme şeklinde etkilenmektedir. Bu bağlamda her ne kadar redoks reaksiyonlarında doğrudan görev almamış olsa da redoks reaksiyonları etkisiyle değişen pH koşullarından dolayı çözünürlük ilişkileri çerçevesinde dolaylı olarak etkilenmektedir. EC ile Mn (0.78*) arasındaki ilişkinin önem derecesinin yüksekliği su altında kalan topraklarda oluşan indirgen koşullarda alkalin karakterli topraklarda pH'nın azalmasıyla özellikle Ca ve Mg'un karbonat formundaki bileşiklerinin

çözünmesi neticesinde çözünürlüğü artan Mn'ın EC artışına katkısı olarak ifade edilebilmektedir. Bakiye Zn ile EC arasındaki korelasyonun yüksek olması; genel olarak toprak örneklerine ait topoğrafya ile ilişkili olduğuna, çevresinin dağlarla çevrili bir ova kapsamında bulunduğuna ve toprakların Zn birikim zonu bulunduğuna işaret etmektedir.

Toprakların yarayışlı fosfor içerikleri Ca (-0.71*), Cu (0.79**), Zn (0.79**), AFeOx (0.67*) ve MnOx-Zn (0.76*) ile önem derecesi yüksek korelasyonlar vermiştir (Çizelge 4.2). Genel olarak fosforun asit şartlarda Fe ve Al ile alkalin şartlarda Ca ile çözünürlüğü düşük bileşikler meydana getirdiği (Usta, 1995) bildirilmiştir. Çalışmada kullanılan topraklar alkali karakterli olup bu şartlarda apatit vb. formlarında çökelme eğiliminde (Lindsay, 2001) olan fosforun Ca ile ilişkisi bu bağlamda değerlendirilebilir. Bakır ve Zn ile ilişkide ise uygulanan gübrelerin muhtevası ön plana çıkmaktadır. Zira P'li gübrelerin hammaddesi olan apatitler fazla miktarda Cu ve Zn içermekte, dolayısıyla ilave edilen P miktarı arttıkça sözkonusu bu iki elemetin de yarayışlılığı artmaktadır. Kireçli topraklarda yoğun tarım şartlarında fosforlu gübrelerin fazlaca uygulandığı bilinmekte olduğundan mikroelementlerin artışını ve dolayısıyla önem derecesi yüksek korelasyonları da beraberinde getirmektedir. Buna bağlı olarak Durgun (2016) Atabey ovası topraklarında yapmış olduğu çalışmalarda Olsen-P ile Cu ve Zn arasında önem derecesi yüksek korelasyonlar bulmuştur. Ayrıca Eğirdir ve Gelendost ilçelerinin bazı elma bahçelerinde yapılan bir çalışmada da (Sukuşu, 2023) benzer şekilde güçlü korelasyonlar bulunmuştur. Bu bağlamda topraklarda bulunan Cu ve Zn'nin gerek fosfor gerekse birbirleriyle olan pozitif ilişkilerinin bir etkisi olarak ortaya çıkan korelasyonları sırasıyla AMnOx ile (0.81**, 0.78*), TMnOx ile (0.75*, 0.66*), AFeOx ile (0.76*, 0.64*), MnOx-Zn ile (0.85**, 0.66*), AFeOx-Zn (0.64*, 0.36) olarak tespit edilmiştir.

Çalışmada kullanılan toprakların alkalin karakterli olduğu ve bu topraklarda genellikle fosforun Ca-P formlarında bulunduğu (Havlin vd., 1999) dikkate alınarak P (-0.53), NaOH-P (-0.59) ve Ca-P (-0.50) ile korelasyon gösteren Fe'in bu topraklarda nispeten sisteme hakim olmadığı ifade edilebilir.

Toprakların Mn içeriklerinin EC (0.78*), K (0.66*), Na (0.66*) ve Res-Zn (0.66*) üzerinde önemli derecede etkilişiminin bulunduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.2. Toprakların tanımlayıcı özellikleri ile bitki besin elementleri arasındaki Spearman korelasyon katsayıları

Özellikler	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Cu	Zn
Kum	0.45	-0.19	-0.55	-0.37	-0.55	-0.30	-0.53	0.27	0.27
Silt	-0.20	0.26	0.41	0.31	0.35	0.03	0.37	-0.16	-0.25
Kil	-0.52	0.15	**0.65***	0.32	0.47	0.24	0.35	-0.36	-0.22
pH	-0.36	-0.41	0.43	-0.13	-0.35	-0.26	-0.60	-0.19	0.06
ORP	0.36	0.41	-0.43	0.13	0.35	0.26	0.60	0.19	-0.06
EC	0.24	**0.89****	0.32	**0.68***	0.62	0.01	**0.78***	0.47	0.13
Kireç	-0.27	-0.29	0.50	-0.18	-0.41	-0.32	-0.41	-0.10	-0.06
OM	-0.22	0.28	0.15	0.10	0.28	0.02	0.58	-0.15	-0.37
N	-0.22	0.28	0.15	0.10	0.28	0.02	0.58	-0.15	-0.37
P		0.25	**-0.71***	0.47	0.20	-0.53	-0.07	**0.79****	**0.79****
K	0.25		0.24	**0.66***	0.54	-0.21	**0.66***	0.47	0.15
Ca	**-0.71***	0.24		-0.07	-0.06	0.15	0.27	-0.35	-0.53
Mg	0.47	**0.66***	-0.07		**0.87***	-0.30	0.43	0.54	0.58
Na	0.20	0.54	-0.06	**0.87****		0.10	**0.66***	0.19	0.22
Fe	-0.53	-0.21	0.15	-0.30	0.10		0.37	-0.43	-0.56
Mn	-0.07	**0.66***	0.27	0.43	**0.66***	0.37		0.09	-0.28
Cu	**0.79****	0.47	-0.35	0.54	0.19	-0.43	0.09		**0.82****
Zn	**0.79****	0.15	-0.53	0.58	0.22	-0.56	-0.28	**0.82****	
MnOx	-0.04	0.07	0.20	0.39	0.50	0.27	0.53	0.24	0.14
AMnOx	0.56	0.26	-0.31	**0.66***	0.48	-0.09	0.16	**0.81****	**0.78***
TMnOx	0.43	0.21	0.02	0.56	0.27	-0.24	0.06	**0.75***	**0.66***
AFeOx	**0.67***	0.52	-0.45	0.61	0.54	-0.10	0.42	**0.76***	**0.64***
TFeOx	0.02	0.18	0.01	0.44	**0.64***	0.42	0.53	0.18	0.20
WS-Ex-Zn	0.02	0.59	0.16	0.11	0.02	0.18	0.30	0.30	-0.04
Car-Zn	0.49	0.01	-0.50	-0.07	-0.41	-0.39	-0.56	0.55	0.56
MnOx-Zn	**0.76***	0.32	-0.54	0.22	0.01	-0.25	0.07	**0.85****	**0.66***
AFeOx-Zn	0.18	0.49	0.26	0.39	0.13	0.04	0.19	**0.64***	0.36
KFeOx-Zn	-0.27	-0.16	0.08	-0.14	-0.09	0.37	-0.06	0.08	0.14
OS-Zn	-0.45	**-0.66***	0.08	**-0.77***	-0.58	0.14	-0.31	-0.61	-0.47
R-Zn	-0.04	0.39	0.45	0.53	0.59	0.22	**0.66***	0.22	0.04
Toplam-Zn	-0.38	0.36	0.54	0.30	0.36	0.52	0.50	0.15	-0.07
$NaHCO_3$-P	-0.10	0.59	0.43	0.41	0.15	-0.27	0.15	0.33	0.15
NaOH-P	0.12	0.16	0.22	0.09	-0.35	-0.59	-0.54	0.37	0.48
CBD-P	0.21	0.48	0.06	0.43	0.20	-0.16	-0.07	0.28	0.31
Ca-P	0.26	0.30	0.01	0.26	-0.14	-0.50	-0.42	0.43	0.52
Res-P	-0.52	0.26	**0.72***	0.12	0.14	0.41	0.41	-0.01	-0.31
Toplam-P	-0.01	0.33	0.37	0.36	-0.01	-0.36	-0.24	0.33	0.33

$^{*}p \leq 0.05$ $^{**}p \leq 0.01$

Çalışmada kullanılan metodun kritiği olarak DTPA'nın farklı toprak reaksiyonlarında birçok element (özellikle Fe ve Zn) ile şelatlaşma özelliği göstermesi (Lindsay, 2001; Gökmen ve Uygur, 2022b) şeklinde ifade edilebilir. Bu durum çoklu mikroelement analizinde kullanılacak olan şelatların farklı toprak pH'larında analiz edilecek elementlerle oluşturduğu şelat komplekslerinin stabilitesi ya da farklı elementlerle ilişkisi değişkenlik göstererek ortaya çıkmaktadır. Farklı özelliklere sahip olan toprak örneklerinin su baskını ile artan indirgen koşulların pH'da önemli değişiklikler şeklinde ortaya çıkması, DTPA-Fe ile DTPA-Mn miktarları üzerine metottan kaynaklanan bir değişimi de beraberinde getirmektedir.

Topraklardaki bulunan MnOx fraksiyonlarında, TFeOx (0.77*), R-Zn (0.81**), toplam Zn (0.61) ile pozitif korelasyon tespit edilmiştir (Çizelge 4.3). Topraklardaki bulunan AMnOx fraksiyonlarında Mg (0.66*), Cu (0.81**), Zn (0.78*), TMnOx (0.87**), AFeOx (0.78*), MnOx-Zn (0.64*) ve Os-Zn (-0.64*) ile korelasyon tespit edilmiştir. Topraklardaki bulunan TMnOx fraksiyonlarında, Cu ile (%75*), Zn ile (%66*), AFeOx-Zn ile (%66*) korelasyon tespit edilmiştir. Topraklardaki bulunan AFeOx fraksiyonlarında, pH (-0.64*), ORP (0.64*), kireç (-0.66*), P (0.67*), Cu (0.76*), Zn (0.64*), MnOx-Zn (0.83**) ile korelasyonlar tespit edilmiştir.

Bakiye fraksiyonlarındaki önem derecesi yüksek korelasyonlar mikroelementlerin yıkanma süreçlerine maruz kalmayıp oluşum süreçlerinde bulunan dayanıklı materyalin sorpsiyonunu ile birikme eğiliminde olmasının bir göstergesi olarak ortaya çıkmaktadır.

Fosforun sisteme etkisi ise gübreleme uygulamalarının etkisiyle ortaya çıkmaktadır. Toprak sistemine ilave edilen fosfor, AFeOx ile çökelme/adsorpsiyon reaksiyonlarının etkisinde bulunduğu şeklinde ifade edilebilmektedir. Bakır ve Zn ise bu durumdan dolaylı olarak etkilenerek korelasyon gösterdiği şeklinde yorumlanabilmektedir.

Çalışma topraklarında bulunan FeOx ve AlOx fraksiyonlarının toprak özellikleri ile ilişkilerinde AFeOx fraksiyonunun pH ve kireç ile aynı yönde benzer kuvvette etkisi kirecin pH'ya bağlı olarak çözünürlük ilişkisi ile tamponlama sistemleriyle alakalı olarak açıklanabilmektedir.

Çizelge 4.3. Toprakların tanımlayıcı özellikleri ile Fe-Al oksit fraksiyonları arasındaki Spearman korelasyon katsayıları

Özellikler	MnOx	AMnOx	TMnOx	AFeOx	TFeOx
Kum	-0.61	-0.01	-0.06	0.18	-0.44
Silt	0.20	-0.19	-0.03	-0.36	-0.09
Kil	0.48	-0.06	-0.01	-0.18	0.53
pH	-0.02	-0.09	0.26	**-0.64***	-0.36
ORP	0.02	0.09	-0.26	**0.64***	0.36
EC	0.37	0.38	0.37	0.54	0.43
Kireç	0.03	-0.18	0.26	**-0.66***	-0.47
OM	0.27	-0.20	-0.24	-0.06	-0.02
N	0.27	-0.20	-0.24	-0.06	-0.02
P	-0.04	0.56	0.43	**0.67***	0.02
K	0.07	0.26	0.21	0.52	0.18
Ca	0.20	-0.31	0.02	-0.45	0.01
Mg	0.39	**0.66***	0.56	0.61	0.44
Na	0.50	0.48	0.27	0.54	**0.64***
Fe	0.27	-0.09	-0.24	-0.10	0.42
Mn	0.53	0.16	0.06	0.42	0.53
Cu	0.24	**0.81****	**0.75***	**0.76***	0.18
Zn	0.14	**0.78***	**0.66***	**0.64***	0.20
MnOx		0.59	0.56	0.38	**0.77***
AMnOx	0.59		**0.87****	**0.78***	0.56
TMnOx	0.56	**0.87****		0.48	0.30
AFeOx	0.38	**0.78***	0.48		0.61
TFeOx	**0.77***	0.56	0.30	0.61	
WS-Ex-Zn	-0.22	0.04	-0.03	0.11	-0.12
Car-Zn	-0.52	0.27	0.21	0.20	-0.45
MnOx-Zn	0.08	**0.64***	0.43	**0.83****	0.22
AFeOx-Zn	0.24	0.56	**0.66***	0.28	0.13
KFeOx-Zn	0.37	0.27	0.07	0.16	0.54
OS-Zn	-0.09	**-0.64***	-0.62	-0.53	-0.12
R-Zn	**0.81****	0.49	0.56	0.41	**0.72***
Toplam-Zn	0.61	0.42	0.41	0.20	0.59
$NaHCO_3$-P	0.02	0.20	0.35	-0.02	-0.20
NaOH-P	-0.31	0.14	0.31	-0.06	-0.28
CBD-P	-0.36	0.12	0.10	0.03	-0.16
Ca-P	-0.41	0.16	0.22	-0.02	-0.36
Res-P	0.45	0.20	0.43	-0.12	0.18
Toplam-P	-0.13	0.24	0.47	-0.15	-0.30

*p≤ 0.05 **p≤0.01

Topraklarda bulunan amorf yapılar, genellikle kısa vadeli yapılan tarımsal uygulamaların bir göstergesi olarak büyük ölçüde değişim göstermektedir. Sulamanın etkisiyle düşen redoks potansiyelinin sisteme etkisiyle öncelikle MnOx olmak üzere, ilerleyen süreçte FeOx olmak üzere, toprağın tekstürünün ve mevsimin bir fonksiyonu olarak çözünmektedir. Gübreleme ve ilaçlama uygulamalarının indirgen koşulları takip eden oksidatif süreçlerde ise eklenmiş olan P, Fe, Mn, Cu, Zn gibi elementler genellikle Fe ve Mn'ın amorf fraksiyonları ile reaksiyon verme eğilimindedir (Lindsay, 2001). Bu çalışmada da ilişkiler dolaylı olarak bu durumun bir göstergesi olarak tespit edilmiştir. Tarımsal uygulamaların genellikle kısa vadede gerçekleşmesinin bir sonucu olarak gerçekleşen redoks reaksiyonları ile bu durumdan en çok etkilenen elementlerden biri olarak Mn öne çıkmaktadır. Demir gibi diğer redoks elementleri ve bunların interaksiyonda bulundukları diğer bitki besin elementleri ise toprakların daha uzun süre indirgen koşullara maruz kaldığı kış dönemlerinde, ilgili elementlerin tamponlanmasında ön plana çıkmaktadır. Bu durumların bir fonksiyonu olarak çalışmada da amorf yapıların korelasyonları ve öncelikle indirgen koşullarda reaksiyon önceliğinden dolayı Mn fraksiyonlarının korelasyonlarının daha yüksek bulunduğu ifade edilebilmektedir.

Genel olarak elementlerin amorf yapıları ile toplam fraksiyonları arasında önem derecesi yüksek ilişkiler bulunmaktadır. Su altında kalma ve kuruma dönemleri sonucunda oluşan indirgenme yükseltgenme süreçleri bu durumda etkili olmaktadır. Zira bu süreçler sırasında mineraller arasında bir dönüşüm olduğu şeklinde yorumlamak mümkün olabilmektedir (Tiwari vd., 2023).

Ayrıca Mn, Fe plağının ana bileşenlerinden biri olup (Huang vd., 2022), Fe ve Mn'ın oksitli bileşikleri arasındaki tespit edilen yüksek korelasyon bu durumun bir göstergesi olarak ortaya çıktığı düşünülmektedir. Ayrıca toplam fraksiyonlara göre amorf yapıların korelasyonlarında daha yüksek değerler tespit edilmektedir.

Bakır ve Zn'nin önemli korelasyonlar vermesi ise yapılan uygulamalarla ilişkili olduğu değerlendirilmiştir. Genellikle çok yıllık bitkilerin bulunduğu toprak örnekleri göz önünde bulundurulduğunda, bu durum daha net olarak anlaşılmaktadır. Toprağa uygulanan gübre ve ilaçların sözkonusu elementlerin muhteva etmesi neticesinde,

topraktaki çözünme ilişkilerini değiştirerek yüksek korelasyonlar vermesine neden olduğu şeklinde açıklanabilmektedir.

TFeOx ile Na arasındaki korelasyonun yüksek olması (0.64*), genel olarak toprak örneklerine ait topoğrafya ile ilişkilidir. Zira örnekleme yapılan bölgelerin dağlarla çevrili bir ova kapsamında bulunduğuna ve toprakların Na birikimine işaret etmektedir. Genel olarak yüksek pH'larda da Na birikme zonu gözlemlenmektedir. Erozyon vb. nedenlerle uzun bir zaman zarfında topraklarda yıkanmayı engelleyen kapalı havza nedeniyle göreceli olarak daha fazla suyun bulunmasından dolayı oluşum süreçleri nispeten daha hızlı gerçekleşmektedir (Sposito, 2008). Bu nedenle göreceli olarak daha ileri derecede gerçekleşen tecezzi nedeniyle Fe birikimi gözlemlenmekte ve ortaya çıkan korelasyon değerini açıklayabilmektedir.

Topraklardaki bulunan MnOx-Zn fraksiyonlarında P (0.76*), Cu (0.85**), AFeOx (0.83**) ile korelasyonlar bulunmuştur. WS-Ex-Zn fraksiyonunun AFeOx-Zn ile (0.70*), $NaHCO_3$-P ile (0.62*), CBD-P ile (0.70*) korelasyonu tespit edilmiştir (Çizelge 4.4).

AFeOx-Zn fraksiyonu Cu ile (0.64*), TMnOx ile (0.64*), WS-Ex-Zn ile (0.70*), Os-Zn ile (-0.65), Toplam-Zn ile (0.68*) ve $NaHCO_3$-P ile (0.68*) önemli seviyede korelasyonlar vermiştir. Amorf Fe oksitler; kısmen amorf yapıda reaktivitesi yüksek Mn oksitleride bulundurur, Zn'ye karşı affinitesi yüksek olan bir toprak bileşenidir (Alloway, 1996; Li vd., 2009; Samourgiannidis ve Matsi, 2013; Shaheen ve Rinklebe, 2014). Nitekim Zu vd. (2014), Pb ve Zn'nin fraklı fraksiyonlardaki birikimini toprağın Fe/Mn oksit ve organik madde içeriğine bağlı olarak açıklanmıştır. Diğer taraftan De Santiago-Martin vd. (2015), Fe/Mn oksitlerin ağır metal ilavelerinde stabil olmayan geçiş fraksiyonları olduğunu rapor etmiştir.

Çizelge 4.4. Toprakların tanımlayıcı özellikleri ile Zn fraksiyonları arasındaki Spearman korelasyon katsayıları

	WS-Ex -Zn	Car -Zn	MnOx - Zn	AFeOx -Zn	KFeOx -Zn	OS -Zn	R -Zn	Toplam -Zn
Kum	-0.07	**0.72***	0.56	-0.15	-0.21	-0.01	-0.54	-0.59
Silt	0.32	-0.42	-0.54	0.24	-0.19	-0.12	0.18	0.25
Kil	-0.07	**-0.73***	-0.56	0.07	0.31	0.09	0.58	0.55
pH	-0.21	0.08	-0.52	0.16	0.08	0.13	-0.10	0.08
ORP	0.21	-0.08	0.52	-0.16	-0.08	-0.13	0.10	-0.08
EC	0.49	-0.25	0.28	0.58	-0.08	-0.62	**0.70***	0.53
Kireç	-0.09	-0.01	-0.46	0.22	-0.09	0.17	-0.05	0.02
OM	0.13	-0.36	-0.22	-0.18	-0.12	0.12	0.04	0.09
N	0.13	-0.36	-0.22	-0.18	-0.12	0.12	0.04	0.09
P	0.02	0.49	**0.76***	0.18	-0.27	-0.45	-0.04	-0.38
K	0.59	0.01	0.32	0.49	-0.16	**-0.66***	0.39	0.36
Ca	0.16	-0.50	-0.54	0.26	0.08	0.08	0.45	0.54
Mg	0.11	-0.07	0.22	0.39	-0.14	**-0.77***	0.53	0.30
Na	0.02	-0.41	0.01	0.13	-0.09	-0.58	0.59	0.36
Fe	0.18	-0.39	-0.25	0.04	0.37	0.14	0.22	0.52
Mn	0.30	-0.56	0.07	0.19	-0.06	-0.31	**0.66***	0.50
Cu	0.30	0.55	**0.85****	**0.64***	0.08	-0.61	0.22	0.15
Zn	-0.04	0.56	**0.66**	0.36	0.14	-0.47	0.04	-0.07
MnOx	-0.22	-0.52	0.08	0.24	0.37	-0.09	**0.81****	0.61
AMnOx	0.04	0.27	**0.64***	0.56	0.27	**-0.64***	0.49	0.42
TMnOx	-0.03	0.21	0.43	**0.66***	0.07	-0.62	0.56	0.41
AFeOx	0.11	0.20	**0.83****	0.28	0.16	-0.53	0.41	0.20
TFeOx	-0.12	-0.45	0.22	0.13	0.54	-0.12	**0.72***	0.59
WS-Ex-Zn		0.35	0.22	**0.70***	0.20	-0.40	-0.10	0.45
Car-Zn	0.35		0.58	0.35	0.07	-0.30	-0.60	-0.24
MnOx-Zn	0.22	0.58		0.35	0.18	-0.35	0.06	-0.02
AFeOx-Zn	**0.70***	0.35	0.35		0.27	**-0.65***	0.35	**0.68***
KFeOx-Zn	0.20	0.07	0.18	0.27		0.28	0.09	0.59
OS-Zn	-0.40	-0.30	-0.35	**-0.65***	0.28		-0.35	-0.32
R-Zn	-0.10	-0.60	0.06	0.35	0.09	-0.35		**0.64***
Toplam-Zn	0.45	-0.24	-0.02	**0.68***	0.59	-0.32	**0.64***	
$NaHCO_3$-P	**0.62***	0.28	-0.03	**0.68***	0.08	-0.52	0.07	0.49
NaOH-P	0.23	0.56	0.19	0.45	0.22	-0.16	-0.18	0.07
CBD-P	**0.70***	0.38	0.03	0.61	0.01	-0.55	-0.14	0.21
Ca-P	0.54	**0.67***	0.18	0.58	0.14	-0.37	-0.35	0.07
Res-P	0.29	-0.25	-0.24	0.59	0.15	-0.35	0.58	**0.81****
Toplam-P	0.47	0.42	-0.08	**0.72***	0.04	-0.53	-0.01	0.36

*p≤ 0.05 **p≤0.01

Diğer bazı yarayışlı elementlerle olan pozitif korelasyonlar uygulanan gübreleme programlarının bir sonucudur. Topraklara ilave edilen Zn topraktaki amorf Fe/Mn oksitler tarafından toprak çözeltisinden uzaklaştırılmaktadır. Stietiya ve Wang (2011), atık çamurla ilave edilen Zn'nin büyük oranda amorf Fe/Mn oksitler tarafından tamponlandığını bildirmiştir. Shaheen ve Rinklebe (2014), toprakların toplam Zn içeriklerinin amorf ve kristalin Fe/Mn oksitlerle önem derecesi yüksek korelasyonlar verdiğini belirlemiştir. Zu vd. (2014), ağır metallerin, Zn dahil, toprak profilindeki hareketliliğinde ve fraksiyonlar arasındaki dağılımında toprakların Fe/Mn oksit içeriklerinin kritik öneme sahip olduğunu rapor etmiştir. Kristalin Fe ile elde edilen önemli negatif korelasyon ise zamanla bu fraksiyondaki Zn'nin kristalin yapılara dönüştüğünün belirtisi olarak kabul edilebilir.

$NaHCO_3$-P ile WS-Ex-Zn (0.62^{*}) ve AFeOx-Zn (0.68^{*}) arasında korelasyon tespit edilmiştir (Çizelge 4.5). Topraklardaki bulunan toplam fosfor miktarının; pH (0.64^{*}), ORP (-0.64^{*}), AFeOx-Zn (0.72^{*}) ile korelasyonları tespit edilmiştir. Toprakların Olsen-P fraksiyonlarının NaOH-P, CBD-P, Ca-P ve toplam-P arasındaki çok önemli seviyedeki pozitif ilişki genelde gübreleme uygulamalarıyla açıklanabilir. Çünkü herhangi bir toprağa ne kadar fazla fosforlu gübre uygulanırsa ilk dönemlerde elverişliliği fazla ($NaHCO_3$-P ve NaOH-P), ilerleyen süreçlerde ise fazla miktardaki ilavelerin tamponlanmasına dönük olarak nispeten çözünürlüğü daha az olan (CBD-P, Ca-P ve toplam P) fraksiyonlarda artış gerçekleşmektedir. CBD-P, FeOx yüzeylerine bağlanmış olan fosfor olduğu bilinmektedir.

Kolayca çözünmeyen mineral yapıların içinde bulunan Res-P ile Ca (0.72^{*}) ve toplam Zn (0.81^{**}) ile önemli korelasyon tespit edilmiştir. Çalışma topraklarının kireç içeriğinin yüksek olduğu göz önünde bulundurulduğunda ilişkinin durumu daha iyi değerlendirilebilmektedir. Uygulanan gübrelerin kireç ile oluşturduğu bileşikler uzun vadede Res-P fraksiyonların şeklinde birikmekte ilişkinin önemini ifade etmektedir.

Toplam Zn ile olan bu ilişki bitki örtüsü kaynaklı P idaresinin bir fonksiyonu ve genelde özellikle de son yıllarda Zn katkılı birincil element gübrelerinin yoğun olarak kullanımını ya da fosforlu gübrelerin içerisinde üretim teknolojisinden kaynaklanan Zn'nin yüksekliğiyle açıklanabilmektedir.

Çizelge 4.5. Toprakların tanımlayıcı özellikleri ile P fraksiyonları arasındaki Spearman korelasyon katsayıları

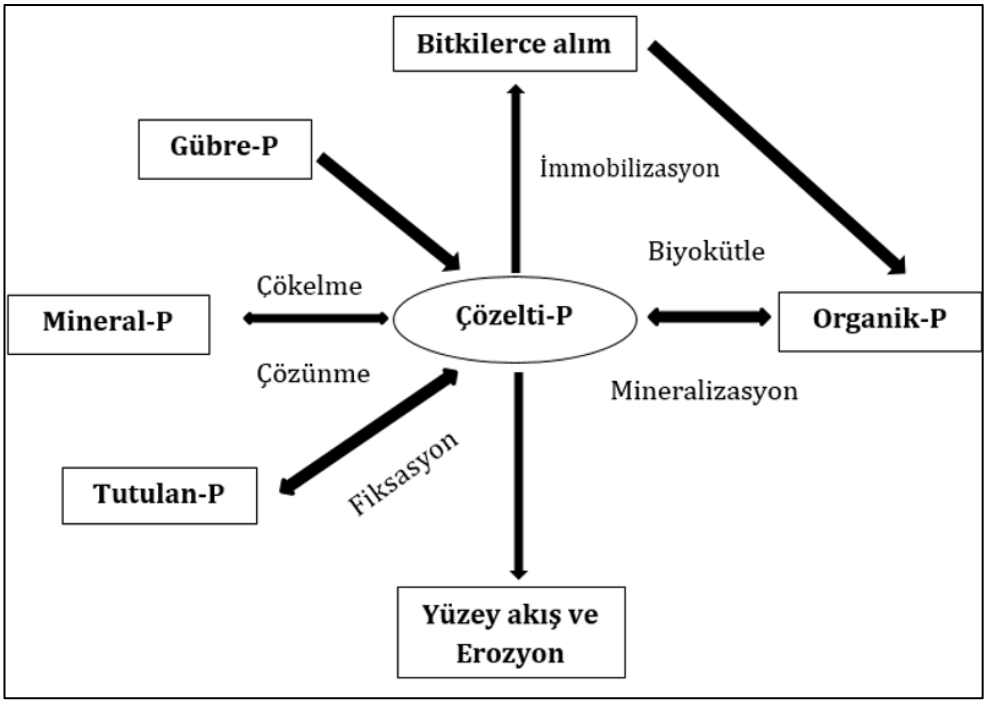
	$NaHCO_3$-P	NaOH-P	CBD-P	Ca-P	Res-P	Toplam-P
Kum	-0.31	0.24	-0.10	0.13	-0.45	-0.15
Silt	0.45	-0.14	0.39	0.16	0.27	0.35
Kil	0.16	0.01	0.14	-0.07	0.36	0.15
pH	0.36	0.55	0.14	0.41	0.30	**0.64***
ORP	-0.36	-0.55	-0.14	-0.41	-0.30	**-0.64***
EC	0.41	0.01	0.39	0.10	0.38	0.22
Kireç	0.38	0.44	0.09	0.33	0.32	0.57
OM	0.31	-0.45	-0.25	-0.27	0.15	-0.16
N	0.31	-0.45	-0.25	-0.27	0.15	-0.16
P	-0.10	0.12	0.21	0.26	-0.52	-0.01
K	0.59	0.16	0.48	0.30	0.26	0.33
Ca	0.43	0.22	0.06	0.01	**0.72***	0.37
Mg	0.41	0.09	0.43	0.26	0.12	0.36
Na	0.15	-0.35	0.20	-0.14	0.14	-0.01
Fe	-0.27	-0.59	-0.16	-0.50	0.41	-0.36
Mn	0.15	-0.54	-0.07	-0.42	0.41	-0.24
Cu	0.33	0.37	0.28	0.43	-0.01	0.33
Zn	0.15	0.48	0.31	0.52	-0.31	0.33
MnOx	0.02	-0.31	-0.36	-0.41	0.45	-0.13
AMnOx	0.20	0.14	0.12	0.16	0.20	0.24
TMnOx	0.35	0.31	0.10	0.22	0.43	0.47
AFeOx	-0.02	-0.06	0.03	-0.02	-0.12	-0.15
TFeOx	-0.20	-0.28	-0.16	-0.36	0.18	-0.30
WS-Ex-Zn	**0.62***	0.23	**0.70***	0.54	0.29	0.47
Car-Zn	0.28	0.56	0.38	**0.67***	-0.25	0.42
MnOx-Zn	-0.03	0.19	0.03	0.18	-0.24	-0.08
AFeOx-Zn	**0.68***	0.45	0.61	0.58	0.59	**0.72***
KFeOx-Zn	0.08	0.22	0.01	0.14	0.15	0.04
OS-Zn	-0.52	-0.16	-0.55	-0.37	-0.35	-0.53
R-Zn	0.07	-0.18	-0.14	-0.35	0.58	-0.01
Toplam-Zn	0.49	0.07	0.21	0.07	**0.81****	0.36
$NaHCO_3$-P		0.53	0.58	**0.67***	0.54	**0.85****
NaOH-P	0.53		0.52	**0.84****	0.03	**0.76***
CBD-P	0.58	0.52		**0.83****	0.03	**0.72***
Ca-P	**0.67***	**0.84****	**0.83****		-0.06	**0.84****
Res-P	0.54	0.03	0.03	-0.06		0.43
Toplam-P	**0.85****	**0.76***	**0.72***	**0.84****	0.43	

$^{*}p\leq 0.05$ $^{**}p\leq 0.01$

NaOH-P fraksiyonu topraklarda orta derecede yarayışlı olan genellikle oksit minereallerinin hidroksi yüzeylerinde nispeten daha düşük enerji ile tutulmuş bir fraksiyondur. Çoğunlukla bu fraksiyonda bulunan fosforun Al oksit yüzeyleriyle ilişkili olduğu bildirilmektedir. Uygulanan aşırı gübrelemenin orta vadede ortaya çıkan bir etkisi olarak değerlendirilebilir.

Tandon (1987), Hindistan'da yaptığı bir çalışma neticesinde çoğu nötr ile kireçli olan topraklarda Ca-P'nin, toplam P'nin yaklaşık %40-50'sini oluşturduğu bildirmişlerdir. Söz konusu fraksiyonun diğer fosfor fraksiyonlarıyla olan önemli korelasyonları, bu durumun bir ifadesi olarak ortaya çıkmaktadır.

Topraklardaki dinamik denge çerçevesinde fosfor fraksiyonlarının toprak çözeltisindeki konsantrasyonu, değişim komplekslerinde bulunan ve değişebilir miktarları arasındaki kompleks reksiyonlar sonucunda ortaya çıkmaktadır (Şekil 4.1). Ancak bu etkenler; iyonun toprak çözeltisindeki konsantrasyonu, intensite faktörü, göreceli etkisi çevre şartları ve elementin özelliklerine bağlı olarak önemli ölçüde değişim gösterebilir.



Şekil 4.1. Tarım topraklarında fosfor döngüsü (Karaman, 2012)

Topraklara fosforlu gübre uygulanması ile kısa vadede öncelikle toprak çözeltisindeki konsantrasyon artmaktadır. İkinci aşamada ise nispeten düşük bağlanma enerjisi ile $Al(OH)_3$ ve $Fe(OH)_2$ yüzeylerinde tutulmaktadır. Daha sonraki aşamada ise kireçli topraklarda daha aktif rol alan Ca ile birlikte Ca-P fraksiyonları şeklinde stabilitesi yüksek formda tutulmaktadır.

Toprakların 7 gün su altında bırakılması neticesinde toprak sisteminde değişime uğrayan pH'nın; ORP (-0.79^{**}), kireç içeriği (0.50), OM miktarı (-0.55), Mn (-0.60), NaOH-P (0.60) ve toplam-P miktarı (0.52) üzerine doğrudan veya dolaylı etkisi bulunduğu ve korelasyonları tespit edilmiştir (Çizelge 4.6). Aynı süreçte (sb7) yarayışlı fosfor miktarı ile Cu (0.85^{**}), Zn (0.77^{*}) ve MnOx-Zn (0.72^{**}) arasında önemli korelasyonlar tespit edilmiştir. Topraklardaki yarayışlı Fe ile Res-P (0.72^{*}) arasında korelasyon tespit edilmiştir. Topraklardaki yarayışlı Mn ile OM (0.73^{*}) arasında da korelasyon tespit edilmiştir. Topraklardaki yarayışlı Cu ile AMnOx (0.68^{*}), TMnOx (0.82^{**}), AFeOx-Zn (0.81^{**}), OS-Zn (-0.68^{*}), $NaHCO_3$-P (0.72^{*}) ve Toplam-P (0.67^{*}) arasında korelasyonlar tespit edilmiştir.

Zhao vd. (2011), çeltik topraklarında MnOx-Zn fraksiyonunun nispeten daha da önemli olduğunu bildirmektedir. Zira indirgenme ve oksitlenme sürecinde serbest Mn oksitler çözünerek oksidasyon sürecinde, toprak çözeltisinde bulunan Zn ile tekrar çökelebilmektedir. Benzer yaklaşımla model toprakta çalışan Rozanski (2013) ilave edilen ağır metallerin Fe/Mn oksit fraksiyonunda birikim gösterdiğini belirlemiştir. Samourgiannidis ve Matsi (2013), asit topraklarda Zn'nin yarayışlı miktarlarının Tessier metodundaki Fe/Mn oksit ve organik maddeye bağlı fraksiyonlarla önemli pozitif korelasyon verdiğini bildirmiştir.

Toprakların 14 gün su altında bırakılması neticesinde toprak sisteminde değişime uğrayan pH'nın; ORP (-0.72^{**}), OM (-0.56), N (-0.56), Mn (-0.55), NaOH-P (0.64^{*}) ve toplam-P miktarı (0.53) üzerine doğrudan veya dolaylı etkisi çerçevesinde korelasyonlar tespit edilmiştir (Çizelge 4.7). İki hafta indirgen koşullarda redoks reaksiyonlarının etkisinde kalan topraklarda yarayışlı fosfor miktarı ile Ca (-0.54), Fe (-0.50), Cu (0.82^{**}), Zn (0.73^{*}), AMnOx (0.58), TMnOx (0.54), AFeOx (0.61) ve MnOx-Zn (0.71^{*}) arasında yüksek korelasyonlar tespit edilmiştir. Aynı süreçte topraklardaki yarayışlı Fe ile OM (0.50), P (-0.49), Cu (-0.55), Zn (-0.62), MnOx-Zn

(-0.65*), NaOH-P (-0.65*), Ca-P (-0.58) arasında korelasyonlar tespit edilmiştir. Topraklardaki yarayışlı Cu ile Mg (0.65*), Zn (0.61), TMnOx (0.67*). AFeOx-Zn (0.62), $NaHCO_3$-P (0.72*) ve toplam-P (0.70*) arasında korelasyonlar tespit edilmiştir.

Toprakların 21 gün su altında bırakılması neticesinde toprak sisteminde değişime uğrayan pH'nın; Mn (-0.78*) üzerine doğrudan veya dolaylı etkisi neticesinde korelasyonlar tespit edilmiştir (Çizelge 4.8). Üç hafta indirgen koşullarda redoks reaksiyonlarının etkisinde kalan topraklarda yarayışlı fosfor miktarı ile Cu (0.72*) ve Zn (0.68*) arasında yüksek korelasyonlar tespit edilmiştir. Aynı süreçte topraklardaki yarayışlı Fe ile; OM (0.56), P (-0.50), Ca (0.53), Mn (0.60), Zn (-0.61), MnOx (0.54), Car-Zn (-0.61), NaOH-P (-0.56), Ca-P (-0.58) ve Res-P (0.72*) arasında korelasyonlar tespit edilmiştir. Topraklardaki yarayışlı Mn ile $NaHCO_3$-P (0.64*) arasında korelasyon tespit edilmiştir. Topraklardaki yarayışlı Cu ile P (0.64*), K (0.66*), Mg (0.71*), Fe (-0.71*), Zn (0.66*), OS-Zn (-0.64*), $NaHCO_3$-P (0.64*) ve Toplam-P (0.55) arasında korelasyonlar tespit edilmiştir.

Toprakların 40 gün su altında bırakılması neticesinde toprak sisteminde değişime uğrayan pH'nın; kireç içeriği (0.67*) ve Mn (-0.65*) üzerine doğrudan veya dolaylı etkisi bulunduğu ve korelasyonları tespit edilmiştir (
Çizelge 4.9). İndirgen koşullarda redoks reaksiyonlarının etkisinde 40 kalan topraklarda yarayışlı fosfor miktarı ile Cu (0.79**), Zn (0.77*), AMnOx (0.64*), AFeOx (0.66*) ve MnOx-Zn (0.75*) arasında yüksek korelasyonlar tespit edilmiştir. Aynı süreçte topraklardaki yarayışlı Fe ile silt fraksiyonu (0.77*) ve OM (0.70*) arasında korelasyonlar tespit edilmiştir. Topraklardaki yarayışlı Mn ile OM (0.64*) ve $NaHCO_3$-P (0.71*) arasında korelasyon tespit edilmiştir. Topraklardaki yarayışlı Cu ile EC (0.66*), K (0.75*), Mg (0.81*), TMnOx (0.65*), OS-Zn (-0.76*) ve $NaHCO_3$-P (0.64*) arasında korelasyon tespit edilmiştir.

Çizelge 4.6. Toprakların tanımlayıcı özellikleri ile 7. gün su baskını arasındaki Spearman korelasyon katsayıları

	pH7	ORP7	EC7	P7	K7	Ca7	Mg7	Na7	Fe7	Mn7	Cu7	Zn7
Kum	-0.13	0.13	-0.22	0.31	-0.24	-0.60	-0.35	-0.08	-0.55	-0.45	-0.22	0.19
Silt	-0.10	0.10	0.30	-0.06	0.42	0.53	0.31	0.01	0.44	0.43	0.37	-0.19
Kil	0.37	-0.37	0.13	-0.45	0.22	**0.67***	0.31	0.13	0.27	0.07	-0.02	-0.22
pH	**0.79****	**-0.79****	-0.38	-0.20	-0.21	0.48	-0.15	-0.43	0.03	-0.02	0.22	-0.08
ORP	**-0.79****	**0.79****	0.38	0.20	0.21	-0.48	0.15	0.43	-0.03	0.02	-0.22	0.08
EC	-0.31	0.31	**0.89****	0.27	**0.88****	0.41	**0.84****	0.39	0.22	0.35	0.52	0.13
Kireç	0.50	-0.50	-0.24	-0.02	-0.07	0.57	-0.15	-0.48	0.22	0.10	0.35	-0.18
OM	-0.55	0.55	0.10	-0.12	0.13	0.15	-0.02	-0.37	0.56	**0.73***	0.15	-0.18
N	-0.55	0.55	0.10	-0.12	0.13	0.15	-0.02	-0.37	0.56	**0.73***	0.15	-0.18
P	-0.18	0.18	0.28	**0.94****	0.36	-0.59	0.41	0.07	-0.50	0.07	0.39	**0.82****
K	-0.38	0.38	**0.79****	0.21	**0.93****	0.32	**0.75***	0.15	0.04	0.38	0.48	0.15
Ca	0.20	-0.20	0.20	-0.55	0.24	**0.98****	0.10	-0.08	0.53	0.07	0.09	**-0.64***
Mg	0.09	-0.09	**0.67***	0.44	**0.71***	0.07	**0.93****	0.20	-0.07	0.52	0.61	**0.66***
Na	-0.10	0.10	**0.64***	0.14	0.49	0.01	**0.78***	0.41	0.18	0.52	0.30	0.41
Fe	-0.15	0.15	0.07	-0.53	-0.35	0.03	-0.13	**0.66***	0.49	-0.08	-0.31	-0.52
Mn	-0.60	0.60	**0.72***	-0.02	0.49	0.26	0.53	0.38	0.60	0.53	0.21	-0.14
Cu	-0.01	0.01	0.42	**0.85****	0.52	-0.22	0.59	-0.02	-0.28	0.32	**0.76***	**0.76***
Zn	0.38	-0.38	0.08	**0.77***	0.28	-0.39	0.47	-0.12	-0.61	0.12	0.54	**0.95****
MnOx	0.14	-0.14	0.26	0.16	0.02	0.20	0.41	0.10	0.54	0.56	0.41	0.24
AMnOx	0.27	-0.27	0.39	0.62	0.26	-0.24	**0.67***	0.20	-0.09	0.43	**0.68***	**0.79****
TMnOx	0.41	-0.41	0.43	0.60	0.28	0.10	**0.65***	0.06	0.10	0.44	**0.82****	0.61
AFeOx	-0.21	0.21	0.48	0.60	0.41	-0.42	0.60	0.26	-0.24	0.27	0.36	**0.70***
TFeOx	0.12	-0.12	0.26	0.02	0.09	-0.02	0.44	0.42	0.13	0.16	0.06	0.27
WS-Ex-Zn	-0.30	0.30	0.40	0.02	0.59	0.23	0.30	0.24	-0.01	0.11	0.40	-0.16
Car-Zn	0.13	-0.13	-0.18	0.42	0.04	-0.44	-0.07	-0.21	-0.61	-0.12	0.30	0.43
MnOx-Zn	-0.22	0.22	0.22	**0.72***	0.26	-0.50	0.27	0.06	-0.41	0.04	0.35	0.61
AFeOx-Zn	0.20	-0.20	0.53	0.31	0.58	0.37	0.62	0.25	0.08	0.27	**0.81****	0.20
KFeOx-Zn	0.39	-0.39	-0.38	-0.22	-0.20	0.06	-0.13	-0.04	-0.14	-0.09	0.01	0.03
OS-Zn	0.01	-0.01	**-0.81****	-0.42	**-0.66***	-0.02	**-0.87****	-0.41	0.01	-0.42	**-0.68***	-0.48
R-Zn	0.08	-0.08	**0.64***	0.09	0.36	0.45	**0.66***	0.37	0.50	0.35	0.36	0.08
Toplam-Zn	0.22	-0.22	0.39	-0.25	0.28	0.54	0.48	0.32	0.44	0.36	0.44	-0.13
$NaHCO_3$-P	0.15	-0.15	0.33	0.01	0.60	0.54	0.45	-0.28	0.13	0.54	**0.72***	0.07
NaOH-P	0.60	-0.60	-0.15	0.13	0.32	0.32	0.12	-0.41	-0.56	-0.25	0.33	0.22
CBD-P	0.18	-0.18	0.35	0.13	**0.67***	0.21	0.50	0.26	-0.41	-0.10	0.39	0.18
Ca-P	0.39	-0.39	-0.01	0.24	0.49	0.16	0.26	-0.24	-0.58	-0.08	0.48	0.32
Res-P	0.16	-0.16	0.44	-0.32	0.16	**0.68***	0.35	0.19	**0.72***	0.44	0.45	-0.36
Toplam-P	0.52	-0.52	0.21	0.08	0.49	0.50	0.43	-0.18	-0.13	0.20	**0.67***	0.16

*p≤ 0.05 **p≤0.01

Çizelge 4.7. Toprakların tanımlayıcı özellikleri ile 14. gün su baskını arasındaki Spearman korelasyon katsayıları

	pH14	ORP14	EC14	P14	K14	Ca14	Mg14	Na14	Fe14	Mn14	Cu14	Zn14
Kum	-0.03	0.03	-0.33	0.30	-0.14	-0.54	-0.27	-0.12	-0.42	-0.39	-0.26	0.14
Silt	-0.16	0.16	0.36	-0.04	0.26	0.52	0.26	0.03	0.44	0.30	0.48	-0.10
Kil	0.31	-0.31	0.20	-0.41	0.14	**0.67***	0.27	0.19	0.12	0.03	0.02	-0.21
pH	**0.72***	**-0.72***	-0.35	-0.27	-0.21	0.61	-0.10	-0.39	0.21	-0.08	0.32	0.02
ORP	**-0.72***	**0.72***	0.35	0.27	0.21	-0.61	0.10	0.39	-0.21	0.08	-0.32	-0.02
EC	-0.19	0.19	**0.93****	0.33	**0.84****	0.36	**0.75***	0.47	-0.26	0.24	0.37	0.06
Kireç	0.43	-0.43	-0.16	-0.09	-0.16	0.60	-0.18	-0.44	0.33	-0.10	0.42	-0.07
OM	-0.56	0.56	0.22	-0.15	0.07	-0.08	-0.06	-0.39	0.50	0.54	0.22	-0.12
N	-0.56	0.56	0.22	-0.15	0.07	-0.08	-0.06	-0.39	0.50	0.54	0.22	-0.12
P	-0.01	0.01	0.22	**0.95****	0.39	-0.48	0.39	0.04	-0.49	-0.08	0.44	**0.78***
K	-0.21	0.21	**0.81****	0.25	**0.94****	0.30	**0.76***	0.22	-0.38	0.25	0.41	0.09
Ca	0.16	-0.16	0.30	-0.54	0.15	**0.87****	0.03	0.01	0.24	-0.02	-0.02	-0.62
Mg	0.27	-0.27	**0.66***	0.45	**0.77**	0.21	**0.93****	0.22	-0.26	0.42	**0.65***	0.62
Na	0.02	-0.02	0.62	0.18	0.53	0.08	**0.75****	0.39	0.02	0.54	0.31	0.36
Fe	-0.37	0.37	0.07	-0.50	-0.35	-0.06	-0.20	**0.65****	0.41	0.31	-0.52	-0.55
Mn	-0.55	0.55	**0.79****	0.03	0.44	0.07	0.38	0.39	0.20	0.49	0.06	-0.20
Cu	0.10	-0.10	0.44	**0.82****	0.61	-0.18	0.58	0.03	-0.55	0.18	**0.67***	**0.72***
Zn	0.49	-0.49	0.06	**0.73***	0.41	-0.20	0.54	-0.09	-0.62	0.01	0.61	**0.94****
MnOx	0.09	-0.09	0.41	0.14	0.03	0.07	0.22	0.12	0.26	0.49	0.27	0.22
AMnOx	0.33	-0.33	0.42	0.58	0.42	-0.14	**0.64***	0.22	-0.32	0.45	0.56	**0.75***
TMnOx	0.49	-0.49	0.48	0.54	0.39	0.19	0.55	0.09	-0.14	0.37	**0.67***	0.59
AFeOx	-0.08	0.08	0.48	0.61	0.53	-0.42	0.58	0.27	-0.54	0.25	0.25	0.60
TFeOx	0.08	-0.08	0.32	0.06	0.14	-0.07	0.36	0.44	-0.16	0.25	-0.07	0.20
WS-Ex-Zn	-0.40	0.40	0.40	0.02	0.59	0.23	0.40	0.34	-0.28	0.21	0.30	-0.16
Car-Zn	0.14	-0.14	-0.25	0.35	0.19	-0.28	0.12	-0.19	-0.52	-0.06	0.32	0.44
MnOx-Zn	-0.14	0.14	0.22	**0.71***	0.37	-0.53	0.27	0.08	**-0.65***	-0.02	0.22	0.54
AFeOx-Zn	0.15	-0.15	0.56	0.27	**0.64***	0.44	0.62	0.36	-0.28	0.32	0.62	0.19
KFeOx-Zn	0.15	-0.15	-0.28	-0.26	-0.13	0.01	-0.04	0.04	-0.31	0.03	-0.06	0.04
OS-Zn	-0.16	0.16	**-0.73***	-0.41	**-0.78***	-0.20	**-0.88****	-0.43	0.22	-0.50	-0.58	-0.42
R-Zn	0.15	-0.15	**0.72***	0.13	0.35	0.37	0.45	0.41	0.08	0.28	0.15	0.01
Toplam-Zn	0.09	-0.09	0.49	-0.27	0.35	0.49	0.44	0.42	0.02	0.50	0.22	-0.15
$NaHCO_3$-P	0.16	-0.16	0.39	-0.07	**0.66***	0.59	0.56	-0.19	-0.10	0.44	**0.72***	0.12
NaOH-P	**0.64***	**-0.64***	-0.15	0.09	0.38	0.48	0.27	-0.30	**-0.65***	-0.38	0.39	0.25
CBD-P	0.18	-0.18	0.26	0.15	**0.67***	0.45	**0.66***	0.35	-0.45	-0.03	0.47	0.19
Ca-P	0.39	-0.39	-0.04	0.20	0.54	0.38	0.47	-0.14	-0.58	-0.14	0.60	0.37
Res-P	0.10	-0.10	0.53	-0.37	0.21	0.61	0.25	0.25	0.37	0.55	0.20	-0.37
Toplam-P	0.53	-0.53	0.21	0.02	0.55	**0.70***	0.55	-0.08	-0.22	0.16	**0.70***	0.21

$^{*}p \leq 0.05$ $^{**}p \leq 0.01$

Çizelge 4.8. Toprakların tanımlayıcı özellikleri ile 21. gün su baskını arasındaki Spearman korelasyon katsayıları

	pH21	ORP21	EC21	P21	K21	Ca21	Mg21	Na21	Fe21	Mn21	Cu21	Zn21
Kum	0.33	-0.33	-0.25	0.14	-0.22	-0.48	-0.39	-0.04	-0.37	-0.32	-0.02	0.35
Silt	-0.38	0.38	0.35	0.10	0.38	0.50	0.38	-0.04	0.60	0.53	0.26	-0.30
Kil	-0.12	0.12	0.10	-0.18	0.21	**0.65***	0.38	0.20	-0.03	-0.07	-0.13	-0.35
pH	0.62	-0.62	-0.33	-0.25	-0.28	0.24	-0.06	-0.48	0.02	0.20	0.02	-0.02
ORP	-0.62	0.62	0.33	0.25	0.28	-0.24	0.06	0.48	-0.02	-0.20	-0.02	0.02
EC	-0.48	0.48	**0.88****	0.43	**0.87****	0.47	**0.72***	0.41	0.10	0.31	0.54	-0.02
Kireç	0.41	-0.41	-0.15	-0.07	-0.14	0.30	-0.12	-0.57	0.29	0.33	0.15	-0.13
OM	-0.60	0.60	0.18	-0.25	0.21	0.14	-0.04	-0.42	**0.65***	0.49	0.20	-0.32
N	-0.60	0.60	0.18	-0.25	0.21	0.14	-0.04	-0.42	**0.65***	0.49	0.20	-0.32
P	0.26	-0.26	0.26	**0.88****	0.33	-0.39	0.38	0.36	-0.14	0.19	**0.64***	**0.84****
K	-0.48	0.48	**0.77***	0.28	**0.95****	0.52	**0.67***	0.25	0.03	0.35	**0.66***	0.01
Ca	-0.20	0.20	0.25	-0.43	0.22	**0.77**	0.03	-0.31	0.18	0.06	-0.09	**-0.70***
Mg	0.03	-0.03	0.62	0.49	**0.67***	0.19	**0.95****	0.35	0.03	0.53	**0.71***	0.53
Na	-0.26	0.26	0.58	0.24	0.48	0.12	**0.81****	0.41	0.18	0.39	0.33	0.25
Fe	-0.53	0.53	0.06	-0.42	-0.36	-0.19	-0.18	0.28	0.13	-0.20	**-0.71***	-0.54
Mn	**-0.78***	**0.78***	**0.73***	0.06	0.53	0.24	0.38	0.20	0.42	0.30	0.16	-0.31
Cu	0.19	-0.19	0.43	**0.72***	0.49	-0.24	0.49	0.24	-0.20	0.38	**0.79****	**0.72***
Zn	0.59	-0.59	0.04	**0.68***	0.25	-0.30	0.52	0.31	-0.44	0.20	**0.66***	**0.95****
MnOx	-0.06	0.06	0.31	0.12	0.01	-0.13	0.28	0.03	0.22	0.32	0.12	0.12
AMnOx	0.28	-0.28	0.38	0.49	0.21	-0.39	0.60	0.30	-0.19	0.41	0.53	**0.73***
TMnOx	0.43	-0.43	0.47	0.44	0.20	-0.20	0.53	-0.02	0.02	0.55	0.59	0.59
AFeOx	-0.07	0.07	0.43	0.54	0.43	-0.31	0.50	0.49	-0.30	0.10	0.48	0.61
TFeOx	-0.14	0.14	0.21	0.14	0.10	-0.08	0.39	0.54	-0.26	-0.14	-0.08	0.15
WS-Ex-Zn	-0.59	0.59	0.40	0.11	0.59	0.31	0.30	0.32	-0.04	0.21	0.30	-0.23
Car-Zn	0.35	-0.35	-0.19	0.22	0.03	-0.36	-0.02	0.01	-0.39	0.09	0.37	0.52
MnOx-Zn	0.07	-0.07	0.21	0.59	0.28	-0.43	0.15	0.33	-0.39	-0.02	0.47	0.61
AFeOx-Zn	-0.08	0.08	0.55	0.32	0.50	0.18	0.55	0.24	-0.08	0.44	0.52	0.14
KFeOx-Zn	0.01	-0.01	-0.39	-0.18	-0.16	-0.06	-0.08	0.30	-0.58	-0.33	-0.22	-0.03
OS-Zn	0.03	-0.03	**-0.77***	-0.37	-0.59	-0.02	**-0.82****	-0.25	-0.09	-0.61	**-0.64***	-0.42
R-Zn	-0.13	0.13	**0.65***	0.18	0.32	0.22	0.49	0.18	0.15	0.21	0.16	-0.03
Toplam-Zn	-0.32	0.32	0.41	-0.19	0.26	0.26	0.41	0.20	-0.04	0.24	0.04	-0.26
$NaHCO_3$-P	-0.13	0.13	0.37	-0.08	0.59	0.48	0.48	-0.24	0.12	**0.64***	**0.64***	-0.04
NaOH-P	0.54	-0.54	-0.16	0.14	0.30	0.39	0.19	-0.04	-0.59	-0.07	0.43	0.26
CBD-P	-0.07	0.07	0.28	0.35	0.61	0.44	**0.65***	0.49	-0.25	0.18	0.43	0.14
Ca-P	0.28	-0.28	-0.03	0.28	0.45	0.33	0.41	0.15	-0.41	0.18	0.56	0.32
Res-P	-0.24	0.24	0.50	-0.39	0.12	0.26	0.20	-0.28	0.33	0.45	0.02	-0.43
Toplam-P	0.27	-0.27	0.22	0.07	0.42	0.43	0.50	-0.12	-0.09	0.48	0.55	0.14

*p≤ 0.05 **p≤0.01

Çizelge 4.9. Toprakların tanımlayıcı özellikleri ile 40. gün su baskını arasındaki Spearman korelasyon katsayıları

	pH40	ORP40	EC40	P40	K40	Ca40	Mg40	Na40	Fe40	Mn40	Cu40	Zn40
Kum	0.33	-0.33	-0.18	0.37	-0.14	**-0.64***	-0.39	-0.10	**-0.65***	-0.47	-0.08	0.19
Silt	-0.26	0.26	0.25	-0.21	0.26	**0.66***	0.38	-0.16	**0.77***	0.58	0.26	-0.19
Kil	-0.28	0.28	0.02	-0.38	0.14	**0.73***	0.38	0.22	0.24	0.10	-0.04	-0.22
pH	**0.68***	**-0.68***	-0.30	-0.28	-0.21	0.48	-0.06	-0.55	0.14	0.19	-0.03	-0.08
ORP	**-0.68***	**0.68***	0.30	0.28	0.21	-0.48	0.06	0.55	-0.14	-0.19	0.03	0.08
EC	-0.45	0.45	**0.75***	0.28	**0.84****	0.41	**0.72***	0.60	0.26	0.37	**0.66***	0.13
Kireç	**0.67***	**-0.67***	-0.12	-0.18	-0.16	0.53	-0.12	**-0.63***	0.43	0.32	0.08	-0.18
OM	-0.30	0.30	0.20	-0.37	0.07	0.08	-0.04	-0.33	**0.70***	**0.64***	0.16	-0.18
N	-0.30	0.30	0.20	-0.37	0.07	0.08	-0.04	-0.33	**0.70***	**0.64***	0.16	-0.18
P	0.13	-0.13	0.30	**0.94****	0.39	-0.49	0.38	0.36	-0.09	0.14	0.60	**0.82**
K	-0.44	0.44	**0.64***	0.15	**0.94****	0.35	**0.67***	0.38	0.10	0.43	**0.75***	0.15
Ca	0.03	-0.03	0.18	-0.58	0.15	**0.85***	0.03	-0.20	0.26	0.13	-0.02	**-0.64***
Mg	-0.19	0.19	0.60	0.42	**0.77***	0.18	**0.95****	0.50	0.22	0.59	**0.81****	**0.66***
Na	-0.50	0.50	0.56	0.16	0.53	0.10	**0.81****	0.58	0.30	0.45	0.47	0.41
Fe	-0.54	0.54	-0.03	-0.39	-0.35	-0.03	-0.18	0.36	0.07	-0.28	-0.61	-0.52
Mn	**-0.65***	**0.65***	**0.67***	-0.04	0.44	0.18	0.38	0.45	0.48	0.37	0.28	-0.14
Cu	0.20	-0.20	0.39	**0.79****	0.61	-0.26	0.49	0.42	0.01	0.39	**0.78***	**0.76***
Zn	0.33	-0.33	0.06	**0.77***	0.41	-0.31	0.52	0.36	-0.21	0.24	0.62	**0.95****
MnOx	0.01	-0.01	0.36	0.15	0.03	0.03	0.28	0.39	0.54	0.43	0.19	0.24
AMnOx	0.15	-0.15	0.39	**0.64***	0.42	-0.30	0.60	0.60	0.06	0.41	0.59	**0.79****
TMnOx	0.48	-0.48	0.52	0.56	0.39	-0.02	0.53	0.31	0.24	0.50	**0.65***	0.61
AFeOx	-0.24	0.24	0.42	**0.66***	0.53	-0.45	0.50	**0.75***	-0.16	0.16	0.54	**0.70***
TFeOx	-0.39	0.39	0.18	0.18	0.14	-0.07	0.39	**0.79****	0.01	-0.01	0.03	0.27
WS-Ex-Zn	-0.49	0.49	0.13	-0.06	0.59	0.31	0.30	0.22	0.04	0.21	0.30	-0.16
Car-Zn	0.32	-0.32	-0.24	0.35	0.19	-0.39	-0.02	-0.10	-0.44	0.01	0.27	0.43
MnOx-Zn	0.04	-0.04	0.19	**0.75***	0.37	-0.58	0.15	0.49	-0.31	-0.01	0.44	0.61
AFeOx-Zn	0.01	-0.01	0.37	0.26	**0.64***	0.35	0.55	0.37	0.15	0.41	0.56	0.20
KFeOx-Zn	-0.14	0.14	-0.54	-0.16	-0.13	0.01	-0.08	0.33	-0.24	-0.15	-0.26	0.03
OS-Zn	0.10	-0.10	**-0.72***	-0.39	**-0.78***	-0.07	**-0.82****	-0.43	-0.08	-0.49	**-0.76***	-0.48
R-Zn	-0.10	0.10	**0.66***	0.18	0.35	0.31	0.49	0.55	0.35	0.26	0.32	0.08
Toplam-Zn	-0.28	0.28	0.25	-0.24	0.35	0.43	0.41	0.45	0.22	0.31	0.15	-0.13
$NaHCO_3$-P	0.04	-0.04	0.24	-0.21	**0.66***	0.54	0.48	-0.18	0.28	**0.71***	**0.64***	0.07
NaOH-P	0.47	-0.47	-0.26	0.10	0.38	0.37	0.19	-0.14	-0.42	0.01	0.37	0.22
CBD-P	-0.28	0.28	0.06	0.13	**0.67***	0.48	**0.65***	0.25	-0.14	0.15	0.44	0.18
Ca-P	0.16	-0.16	-0.20	0.15	0.54	0.35	0.41	-0.07	-0.24	0.21	0.49	0.32
Res-P	0.04	-0.04	0.45	-0.38	0.21	0.48	0.20	0.03	0.39	0.41	0.14	-0.36
Toplam-P	0.30	-0.30	0.10	-0.04	0.55	0.58	0.50	-0.15	0.07	0.47	0.55	0.16

*p≤ 0.05 **p≤0.01

Toprakların temel karakteristik özellikleri ve su baskını sürelerinde ölçülen ve redoks reaksiyonlarında doğrudan veya dolaylı olarak yer alan toprak özellikleri ile yapılan temel bileşen analizinde beş temel bileşen ile kümülatif olarak yaklaşık %70'lik bir varyansı açıklayabilmek mümkün olmaktadır (Çizelge 4.10).

Çizelge 4.10. Toprak özellikleri ve inkübasyon sonuçlarının temel bileşen analizi ile açıklanan toplam varyans

Bileşen	Başlıca Özdeğerler[a]		
	Özdeğer	Açıklanan Varyans Yüzdesi	Açıklanan Kümülatif Yüzde
1	7.3	19.8	19.8
2	5.8	15.7	35.6
3	5.3	14.4	49.9
4	3.8	10.4	60.3
5	2.6	7.1	67.4
6	2.4	6.6	74.0
7	2.1	5.7	79.6
8	2.0	5.5	85.1
9	1.2	3.3	88.5
10	1.1	2.9	91.4
11	0.9	2.5	93.9
12	0.7	1.9	95.8
13	0.4	1.1	96.9
14	0.3	0.9	97.8
15	0.3	0.7	98.5
16	0.2	0.6	99.1
17	0.2	0.5	99.6
18	0.1	0.2	99.7
19	0.1	0.1	99.9
20	0.0	0.1	100.0

a Ekstraksiyon yöntemi: Temel bileşen analizi

Bileşen matrisine göre kum, WS-Ex-Zn, Car-Zn, AFeOx-Zn, $NaHCO_3$-P, NaOH-P, CBD-P, Ca-P, Toplam-P'nin pozitif yönde kil, OM, N, MnOx, OS-Zn'nin negatif yönde olmak üzere PC1 üzerine etkisi bulunmaktadır. Kil, MnOx, TFeOx, AFeOx-Zn, R-Zn, Toplam-Zn, Res-P'nin pozitif yönde, kum fraksiyonunun ise negatif yönde olmak üzere PC2 üzerine etkisi bulunmaktadır (Çizelge 4.11).

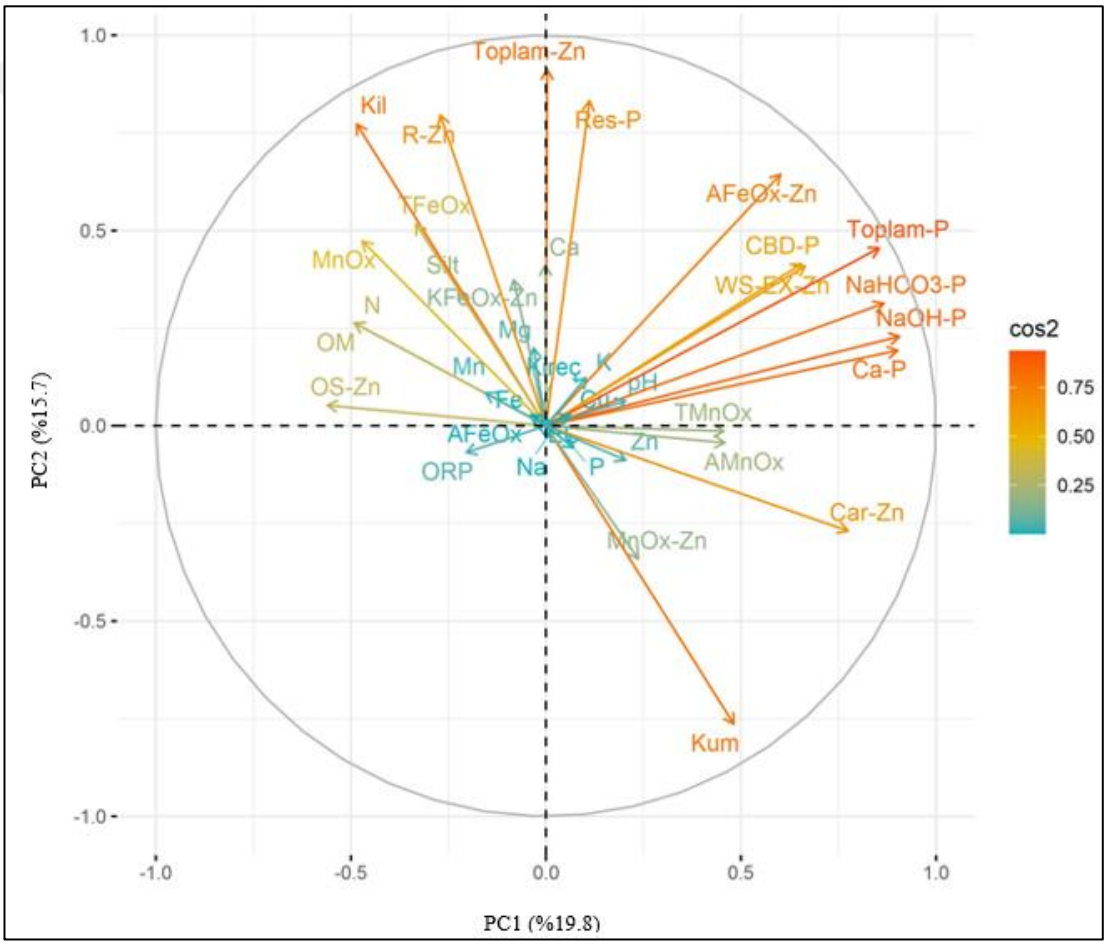
Çizelge 4.11. Toprak özellikleri ve inkübasyon sonuçlarının temel bileşenlerine ait yükleme değerleri

	Bileşen[a,b]				
	1	2	3	4	5
Kum	**0.482**	**-0.764**	0.154	-0.042	-0.273
Silt	-0.225	0.348	-0.263	**0.546**	**0.404**
Kil	**-0.485**	**0.773**	-0.074	-0.182	0.158
Kireç	-0.018	0.026	**-0.467**	0.335	**0.552**
OM	**-0.491**	0.263	0.052	0.293	-0.243
N	**-0.491**	0.263	0.052	0.293	-0.243
MnOx	**-0.471**	**0.473**	**0.459**	**-0.458**	0.163
AMnOx	**0.459**	-0.043	0.345	**-0.495**	0.179
TMnOx	**0.456**	-0.014	0.349	**-0.505**	0.205
AFeOx	-0.034	0.022	**0.715**	0.016	-0.177
TFeOx	-0.333	**0.517**	**0.543**	**-0.488**	-0.133
WS-Ex-Zn	**0.665**	**0.409**	-0.272	0.237	-0.381
Car-Zn	**0.775**	-0.269	0.354	-0.348	0.011
MnOx-Zn	0.237	-0.341	**0.592**	**-0.408**	-0.111
AFeOx-Zn	**0.602**	**0.644**	0.199	0.103	-0.079
KFeOx-Zn	-0.083	0.374	0.052	-0.380	-0.399
OS-Zn	**-0.561**	0.052	-0.142	-0.178	-0.340
R-Zn	-0.271	**0.796**	0.173	-0.289	0.210
Toplam-Zn	0.003	**0.912**	0.175	-0.299	-0.056
$NaHCO_3$-P	**0.866**	0.313	0.017	-0.069	-0.162
NaOH-P	**0.907**	0.229	-0.073	-0.111	-0.111
CBD-P	**0.655**	**0.414**	-0.074	**0.435**	-0.257
Ca-P	**0.902**	0.193	-0.160	0.208	0.107
Res-P	0.112	**0.832**	-0.204	-0.010	0.079
Toplam-P	**0.855**	**0.455**	-0.168	0.155	0.016
pH	0.204	0.064	**-0.448**	-0.352	**0.562**
ORP	-0.204	-0.068	**0.451**	0.349	**-0.563**
EC	-0.006	0.023	**0.626**	**0.404**	0.212
P	0.071	-0.056	**0.501**	0.294	0.385
K	0.103	0.123	**0.607**	**0.549**	0.061
Ca	-0.001	**0.411**	-0.157	0.309	-0.190
Mg	-0.032	0.199	**0.704**	0.395	0.109
Na	0.002	-0.031	**0.540**	0.417	0.247
Fe	-0.039	0.029	0.006	-0.089	0.112
Mn	-0.155	0.084	0.196	0.055	-0.062
Cu	0.061	0.027	**0.641**	0.260	0.063
Zn	0.205	-0.088	**0.526**	-0.036	0.459

a Ekstraksiyon yöntemi: Temel bileşen analizi

b Beş bileşen tespit edildi

Temel toprak özelliklerinin inkübasyonun değişen zamanlardaki etkisinde birim çemberde gösterimi ile PC1 ve PC2'nin fonksiyonu olarak vektörel büyüklüğü ve yükleme değerini gösteren şekilde yarıçapı 1 olan ve orjini (0,0) noktasında bulunan bir korelasyon çemberi görülmektedir. Değişkenler ise vektör büyüklükler ile ifade edilmiştir. Bu vektörler çembere yaklaştıkça ilgili değişkenin temel bileşenler analizinde önemli bir yere sahip olduğu söylenebilir. Toprak özelliğinin ordinata olan uzaklığı özelliğin PC1 ile pozitif veya negatif yükleme değerlerine sahip olma oranını, apsise olan uzaklığı ise özelliğin PC2 ile pozitif veya negatif yükleme değerlerine sahip olma oranını ifade etmektedir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Birim çemberde PC1-PC2'ye göre toprak özelliklerinin vektörel gösterimi

Toplam-Zn değişkenine ait vektöre bakıldığında, orjinden birinci temel bileşen bakımından çok az uzaklaşmışken; ikinci temel bileşen bakımından oldukça uzakta kalmıştır. Bu değişkenin ilk temel bileşene katkısı bulunmazken ikinci temel bileşene katkısı ise %91.2'dir. Bu yüzden ikinci temel bileşen bakımından orjinden

uzaklaşırken birinci temel bileşen bakımından çok fazla uzaklaşmamıştır. Bu durum tekstürün ve özellikle de kil fraksiyonunun etkisiyle ortaya çıkmaktadır.

Ayrıca bu grafikle değişkenler arasındaki ilişkiler de gözlenebilmektedir. Buna göre; orjine göre aynı istikamette olan değişkenler arasında pozitif bir ilişki varken, orjine göre ters istikamette olan değişkenler arasında ise negatif ilişki vardır. Örneğin kum ve kil arasındaki korelasyon değeri -0.87** olarak tespit edilmiştir. Bu durum birim çemberde negatif yüklü korelasyonun farklı açıdan bir göstergesi olarak ön plana çıkmaktadır.

Bu topraklarda $NaHCO_3$-P, NaOH-P, CBD-P, Ca-P ve Toplam-P'nin birbirleriyle korelasyonları ve pozitif yönlü interaksiyonları tespit edilmiştir. Fosforun bu fraksiyonları çalışma topraklarında PC1 için sırasıyla yaklaşık %87, %91, %66, %90 ve %86 oranında sisteme etki etmekte olduğu tespit edilmiştir. Söz konusu fraksiyonlar PC2 için yaklaşık olarak sırasıyla %31, %23, %41, %19 ve %46 oranında etki etmekte oldukları söylenebilmektedir. Ancak toprakların Res-P fraksiyonu PC1 ve PC2 üzerine sırasıyla %11.2 ve %83.2 oranında etki ederek topraklardaki diğer fosfor fraksiyonlarından farklı bir davranış sergilemektedir. Topraklara aşırı fosforlu gübreleme uygulamalarının neticesinde fosfor fraksiyonlarının birim çemberdeki etkisi PC1'de büyük yükleme değerleri şeklinde ortaya çıkmaktadır.

Ayrıca toprakların bünyesini oluşturan fraksiyonlarının incelenmesinde, kil fraksiyonlarının genel olarak kum fraksiyonları ile zıt yönlü ve yaklaşık aynı büyüklükte yükleme değerlerine sahip olduğu ve temel bileşen matrislerine antagonistik etkide bulundukları tespit edilmiştir.

4.1.2. İnkübasyon sonrasında ölçülen toprak özelliklerinin etkisi

Beş farklı su baskını süresinin etkisini incelemek için yapılan 0, 7, 14, 21 ve 40 gün inkübasyon sonrasında elde edilen veriler ışığında toprakların su altında kalması veya bırakılması sonucunda toprak pH'sı ile toprağın oksidasyon redüksiyon potansiyeli arasında doğrusal bir bağlantının bulunduğu (Ören ve Bozkurt, 2015; Ören vd., 2018; Tiwari vd., 2023) çalışma yapılan topraklarda da benzer şekilde bir ifadesi olarak pH ile ORP arasında inkübasyon sürelerindeki tüm ölçümlerde son derece yüksek negatif

korelasyon katsayıları elde edilmiştir. Temelde aynı anda yapılan ölçümler arasında "-1" e yaklaşan önem derecesi çok yüksek korelasyonlar beklenen bir durumdur. Çünkü bu iki değişken arasında aynı elektrotla ölçülmesinden kaynaklanan bir sistematik ilişki söz konusudur. Diğer taraftan farklı zamanlarda ölçülen ORP ve pH değerleri arasında da güçlü bir ilişki vardır (Çizelge 4.12). Bu korelasyonun bir sonucu olarak pH'nın diğer toprak özellikleriyle göstermiş olduğu bütün korelasyonlarda redoks potansiyeli de aynı kuvvette ve zıt yönlü korelasyonlar göstermiştir.

Ayrıca su baskını sürelerinin birbiri arasındaki detaylı Spearman korelasyon katsayıları Ek-A'da verilmiştir.

Çizelge 4.12. Su baskını süreleri (0, 7, 14, 21, 40 gün) sonrası ölçülen özelliklerin arasındaki Spearman korelasyon katsayıları

	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Cu	Zn	pH	ORP	EC
P		**0.563***	0.006	0.293	**0.646***	0.045	-0.071	0.217	**0.558****	-0.018	0.022	**0.667***
K	**0.563***		0.421	**0.763***	**0.644***	-0.171	-0.113	0.461	0.325	-0.309	0.311	**0.560***
Ca	0.006	0.421		0.207	0.198	-0.260	-0.292	-0.179	-0.256	-0.069	0.066	-0.147
Mg	0.293	**0.763***	0.207		**0.520***	-0.131	-0.010	**0.670***	0.355	-0.345	0.344	0.441
Na	**0.646***	**0.644***	0.198	**0.520***		-0.112	-0.135	0.140	0.354	-0.199	0.201	**0.568***
Fe	0.045	-0.171	-0.260	-0.131	-0.112		**0.606****	0.172	-0.055	0.177	-0.177	0.363
Mn	-0.071	-0.113	-0.292	-0.010	-0.135	**0.606****		0.284	-0.021	-0.132	0.128	0.501
Cu	0.217	0.461	-0.179	**0.670***	0.140	0.172	0.284		0.487	-0.315	0.314	0.437
Zn	**0.558****	0.325	-0.256	0.355	0.354	-0.055	-0.021	0.487		0.162	-0.161	0.384
pH	-0.018	-0.309	-0.069	-0.345	-0.199	0.177	-0.132	-0.315	0.162		**-0.999****	-0.262
ORP	0.022	0.311	0.066	0.344	0.201	-0.177	0.128	0.314	-0.161	**-0.999****		0.262
EC	**0.667***	**0.560***	-0.147	0.441	**0.568***	0.363	0.501	0.437	0.384	-0.262	0.262	

*p≤ 0.05 **p≤0.01

Demir ile Mn arasında önem seviyesi yüksek (0.606**) ilişki söz konusudur. Benzer büyüklükte bir ilişki P ve Zn arasında (0.558**) mevcuttur. Çinko ile olan bu ilişki bitki örtüsü kaynaklı P idaresinin bir fonksiyonu ve özellikle de son yıllarda Zn katkılı birincil element gübrelerinin yoğun olarak kullanımını ya da fosforlu gübrelerin içerisinde üretim teknolojisinden kaynaklanan Zn'nin yüksekliğiyle açıklanabilmektedir. Ayrıca meyve bahçelerinde yüksek P ve Zn katkılı fungusitlerin kullanımın da bu ilişkide önemli etkisi olduğu düşünülmektedir (Sukuşu, 2023)

Toprakların su baskını sürelerinde ölçülen ve redoks reaksiyonlarında doğrudan veya dolaylı olarak yer alan toprak özellikleri ile yapılan temel bileşen analizinde beş temel

bileşen ile kümülatif olarak yaklaşık %95'lik bir varyansın açıklanabilmesi mümkün olmaktadır (Çizelge 4.13).

Çizelge 4.13. Su baskını süreleri (0, 7, 14, 21, 40 gün) sonrası ölçülen özelliklerin temel bileşen analizi ile açıklanan toplam varyans

Bileşen	Başlıca Özdeğerler[a]		
	Özdeğer	Açıklanan Varyans Yüzdesi	Açıklanan Kümülatif Yüzde
1	5.47	45.56	45.56
2	2.60	21.67	67.23
3	1.52	12.71	79.94
4	1.03	8.59	88.52
5	0.76	6.33	94.86
6	0.50	4.13	98.99
7	0.08	0.67	99.66
8	0.04	0.32	99.98
9	0.00	0.02	100.00

a Ekstraksiyon yöntemi: Temel bileşen analizi

Bileşen matrisine göre K, Mg, Na, Mn, Cu, ORP ve EC'nin pozitif yönde pH'nın negatif yönde olmak üzere PC1 ile yüksek yükleme değerlerine sahiptir. Fosfor ve Zn'nun pozitif yönde, Ca'nın ise negatif yönde olmak üzere PC2 üzerine etkisi bulunmaktadır (Çizelge 4.14).

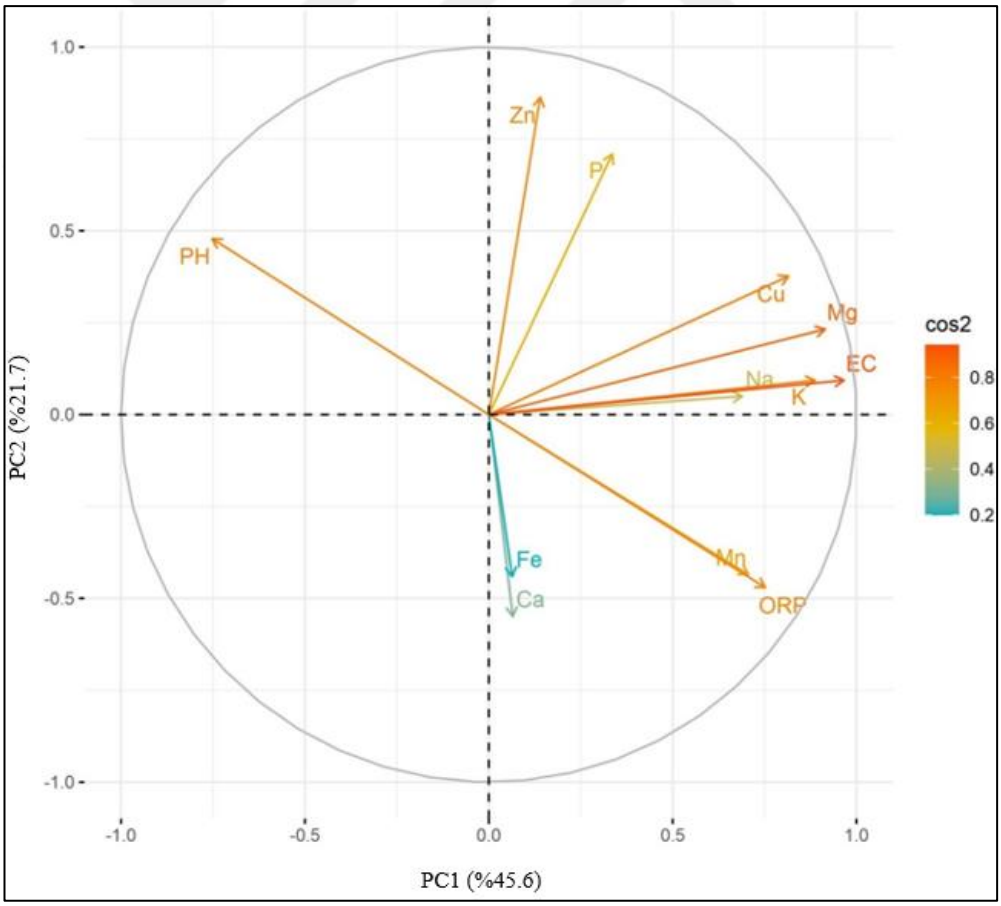
İnkübasyon sonrasında ölçülen toprak özelliklerinin etkisinde birim çemberde gösterimi ile PC1 ve PC2'nin fonksiyonu olarak vektörel büyüklüğü ve yükleme değerini gösteren şekilde yarıçapı 1 olan ve orjini (0,0) noktasında bulunan bir korelasyon çemberi görülmektedir. Değişkenler ise vektör büyüklükler ile ifade edilmiştir. Bu vektörlerin yükleme değerleri yükseldikçe ilgili değişkenin temel bileşenler analizinde önemli bir yere sahip olduğu söylenebilir. Toprak özelliğinin ordinata olan uzaklığı özelliğin PC1 ile pozitif veya negatif yükleme değerlerine sahip olma oranını, apsise olan uzaklığı ise özelliğin PC2 ile pozitif veya negatif yükleme değerlerine sahip olma oranını birdirmektedir (Şekil 4.3).

Çizelge 4.14. Su baskını süreleri (0, 7, 14, 21, 40 gün) sonrası ölçülen özelliklerin temel bileşenlerine ait yükleme değerleri

	Bileşen[a.b]				
	1	2	3	4	5
P	0.336	0.709	0.108	-0.181	0.508
K	0.887	0.093	-0.353	0.042	0.248
Ca	0.065	-0.550	-0.517	0.537	0.368
Mg	0.915	0.232	-0.128	0.190	-0.153
Na	0.690	0.050	-0.426	0.015	-0.461
Fe	0.064	-0.441	0.811	0.226	0.017
Mn	0.706	-0.435	0.305	0.426	-0.084
Cu	0.815	0.376	0.354	0.162	0.140
Zn	0.140	0.863	0.182	0.234	-0.198
pH	-0.752	0.478	-0.085	0.417	-0.027
ORP	0.752	-0.470	0.080	-0.426	0.035
EC	0.966	0.093	0.017	-0.042	-0.032

a Ekstraksiyon yöntemi: Temel bileşen analizi

b Beş bileşen tespit edildi



Şekil 4.3. Birim çemberde su baskını süreleri (0, 7, 14, 21, 40 gün) sonrası PC1-PC2'ye göre faktörlerin vektörel gösterimi

Örneğin Zn değişkenine ait vektöre bakıldığında, orjinden birinci temel bileşen bakımından çok az uzaklaşmışken, ikinci temel bileşen bakımından oldukça uzaklaşmıştır. Bu değişkenin ilk temel bileşene katkısı %14 iken ikinci temel bileşene katkısı ise %86.3'tür. Bu yüzden ikinci temel bileşen bakımından orjinden uzaklaşırken birinci temel bileşen bakımından çok fazla uzaklaşmamıştır.

Ayrıca bu grafikle değişkenler arasındaki ilişkileride gözlemleyebilmek mümkün olmaktadır. Buna göre orjine göre aynı istikamette olan değişkenler arasında pozitif bir ilişki varken; orjine göre ters istikamette olan değişkenler arasında ise negatif ilişki vardır. Örneğin PC2 üzerine P'un etkisi pozitif yönde %71 ve Zn'nin etkisi pozitif yönde %86 olarak bulunmuştur. Bu durum bahse konu iki toprak özelliğinin arasında pozitif ve çok güçlü bir korelasyonun bulunduğunu göstermektedir. Aynı şekilde P'un Ca, Fe ve Mn ile negatif bir korelasyon gösterdiği net bir şekilde gözlemlenmektedir. Buna göre toprakların kireç içeriği arttıkça yarayışlı P ve Zn içeriği azalmakta, kireç içeriği azaldıkça yarayışlı P ve Zn içeriği artmaktadır. Demir ve Mn içeriği arttıkça, yarayışlı P içeriğinin azaldığı görülmektedir.

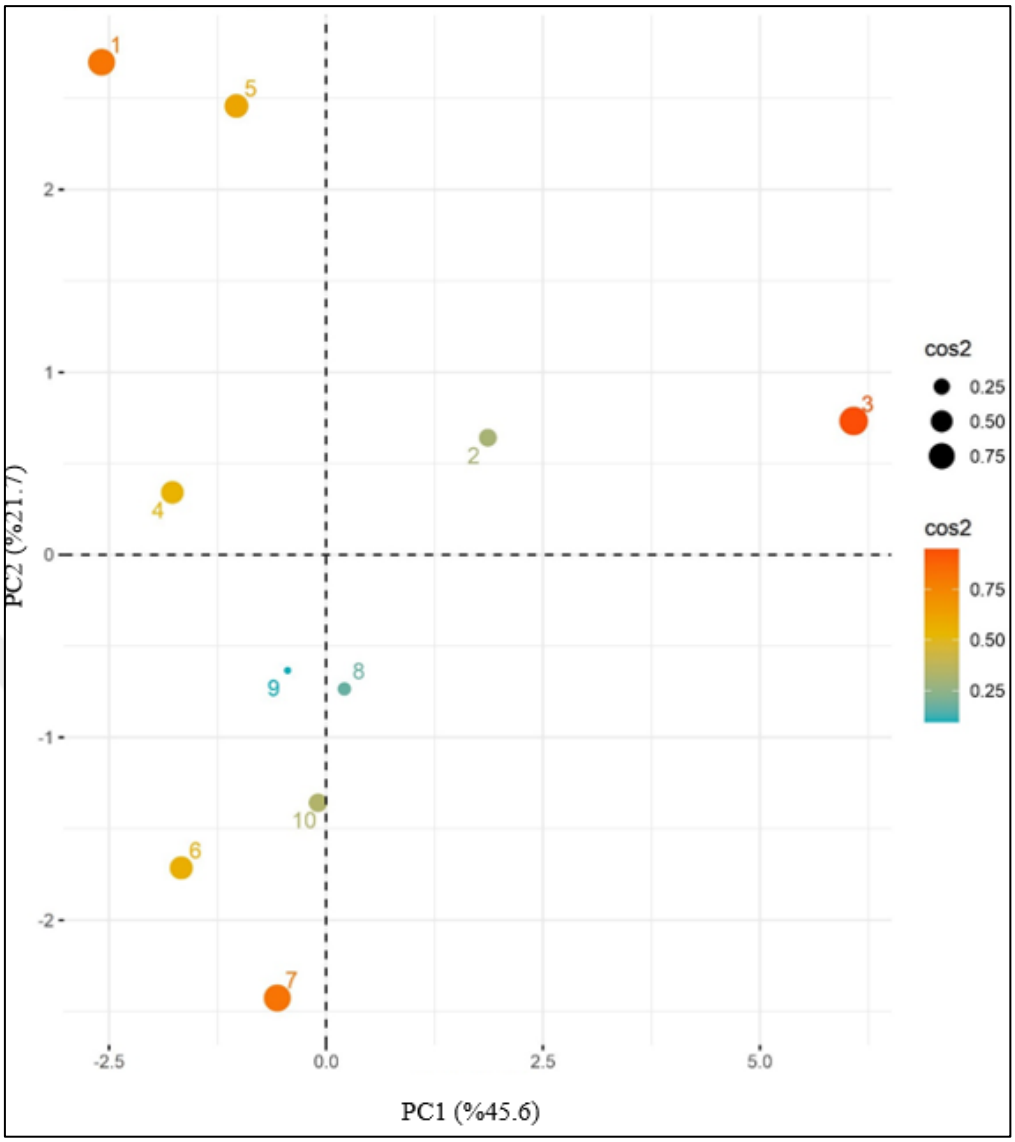
Ayrıca şekile göre Ca ile Fe arasında kuvvetli bir pozitif korelasyon bulunmaktadır. Gerek PC1 yönünden gerekse PC2 yönünden aynı yönde ve yaklaşık aynı büyüklükte bir vektörel büyüklük söz konusudur. Kalsiyum ve Fe'in PC1 üzerine sırasıyla 0.065 ve 0.064 olmak üzere pozitif etkisi, PC2 üzerine sırasıyla -0.550 ve -0.441 olmak üzere negatif etkisi tespit edilmiştir.

Benzer bir durumda ORP ile Mn arasında mevcut olup kuvvetli bir korelasyon bulunduğunu göstermektedir. Gerek PC1 yönünden gerekse PC2 yönünden aynı yönde ve yaklaşık aynı büyüklükte bir vektörel büyüklük söz konusudur. ORP ve Mn'ın, PC1 üzerine sırasıyla 0.752 ve 0.706 olmak üzere pozitif etkisi; PC2 üzerine sırasıyla -0.470 ve -0.435 olmak üzere negatif etkisi tespit edilmiştir. Bu durum bilindiği üzere su altında kalan topraklarda oluşan redoks reaksiyonlarının en kısa sürede ve en çok etkilediği elementlerden biri olan Mn'ın etkileşim oranını farklı bir açıdan göstermektedir.

ORP ile pH arasında kuvvetli bir negatif yönlü korelasyon bulunmaktadır. Gerek PC1 yönünden gerekse PC2 yönünden zıt yönde ve yaklaşık aynı büyüklükte bir vektörel

büyüklük söz konusudur. ORP ve pH'nın PC1 üzerine sırasıyla 0.752 ve -0.752 olmak üzere PC2 üzerine sırasıyla -0.470 ve 0.478 olmak üzere etkisi tespit edilmiştir. Bu durum bilindiği üzere su altında kalan topraklarda oluşan redoks reaksiyonlarının toprak reaksiyonu ile ne kadar çok bağlantılı olduğunu doğrular nitelikte olup, bu ilişkiyi farklı bir açıdan göstermektedir.

Toprakların inkübasyon sonrası elde edilen verilere göre PC1 ve PC2'ye göre dağılımı Şekil 4.4'te gösterilmiştir. Buna göre orjine göre aynı istikamette olan topraklar arasında pozitif bir benzer karakteristik özellikler, orjine göre ters istikamette olan topraklar arasında ise negatif benzer karakteristik özellikler olduğu ifade edilebilir. PC2'ye 1 ve 5 nolu toprak pozitif yönde 6, 10 ve 7 nolu topraklar negatif yönde en çok etkilenen topraklardır. PC1 açısından en çok etkilenen topraklar pozitif yönde 3 nolu toprak, negatif yönde 1 nolu topraktır. 1 nolu toprak pH, P ve Zn değişimlerinde en fazla etkilenen toprak olarak tespit edilmiştir. 7 nolu toprak ise Ca, Fe, Mn ve redoks potansiyelinden çok fazla derecede etkilenmiştir. 3 nolu toprak ise K, Mg, EC ve ORP etkisiyle diğer topraklardan ayrılmaktadır.



Şekil 4.4. Toprakların inkübasyon sonrası PC1-PC2'ye göre dağılımı

Bütün inkübasyon sonuçları sonrasında yapılan bu istatistiki değerlendirmede elde edilen bulgular dikkate alındığında redoks reaksiyonlarında önem arzeden pH, ORP, P, Fe, Mn analizi sonuçlarına göre daha önceki kısımlarda belirtildiği üzere seçilen 5 toprağın (1, 3, 5, 7 ve 10. toprak) adsorpsiyon denemesi için kullanılmasında verilen kararı doğrular niteliktedir.

4.1.3. Su baskını süresinin bazı toprak özelliklerine etkisi

Toprakların su baskını sürelerinde ölçülen ve redoks reaksiyonlarında doğrudan veya dolaylı olarak yer alan toprak özelliklerine etkisinin tespiti için yapılan temel bileşen analizinde dört temel bileşen ile kümülatif olarak %100'lük bir değeri açıklayabilmek mümkün olmaktadır (Çizelge 4.15).

Çizelge 4.15. Su baskını sürelerinin (0, 7, 14, 21, 40 gün) ölçülen özellikler ile temel bileşen analizi ile açıklanan toplam varyans

Bileşen	Başlıca Özdeğerler[a]		
	Özdeğer	Açıklanan Varyans Yüzdesi	Açıklanan Kümülatif Yüzde
1	8.29	69.07	69.07
2	3.23	26.93	96.00
3	0.26	2.20	98.20
4	0.22	1.80	100.00

a Ekstraksiyon yöntemi: Temel bileşen analizi

Su baskını süresine göre ölçülen özelliklerin bileşen matrisine göre P, K, Ca, Mg, Na ve Zn'nin pozitif yönde; Fe, Mn, Cu ve EC'nin negatif yönde olmak üzere PC1 üzerine etkisi bulunmaktadır. Bakır, Zn ve ORP'nin pozitif yönde; pH'nın ise negatif yönde olmak üzere PC2 üzerine etkisi bulunmaktadır (Çizelge 4.16).

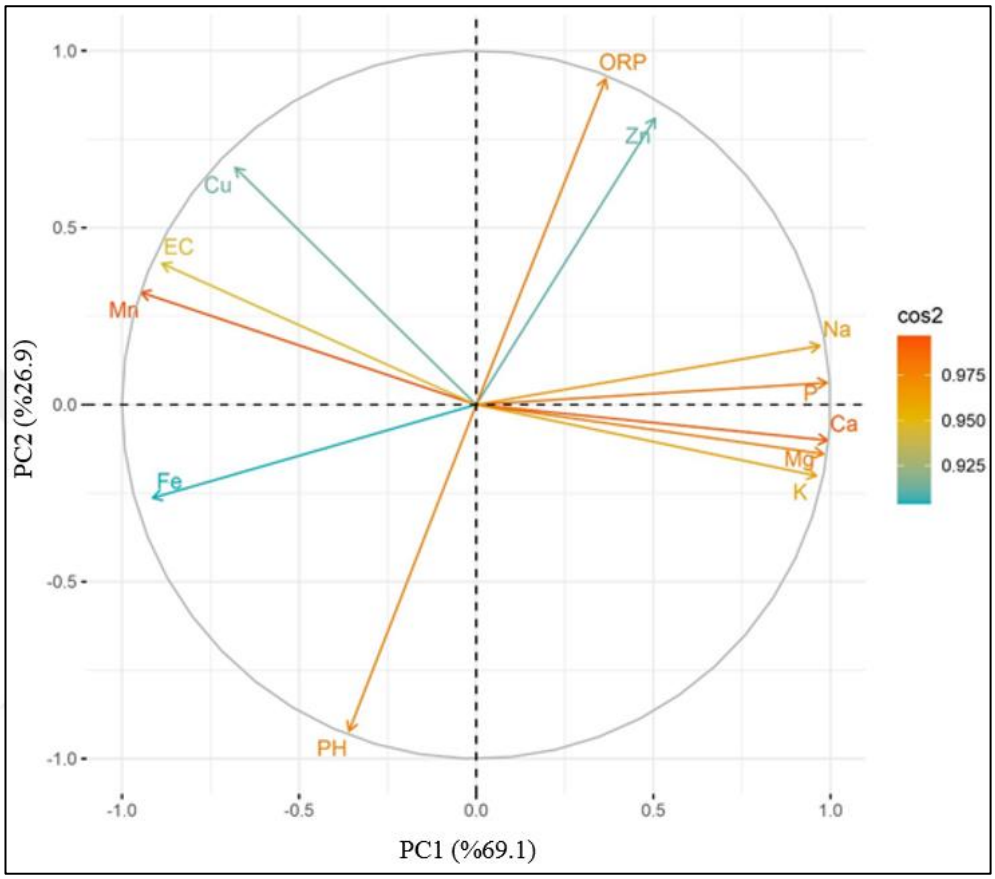
Çizelge 4.16. Su baskını sürelerinin (0, 7, 14, 21, 40 gün) ölçülen özelliklerin temel bileşenlere ait yükleme değerleri

	Bileşen[a,b]			
	1	2	3	4
P	0.990	0.062	0.120	0.034
K	0.960	-0.201	0.189	-0.039
Ca	0.992	-0.101	0.078	-0.002
Mg	0.981	-0.139	0.138	0.011
Na	0.970	0.166	0.000	0.178
Fe	-0.913	-0.263	0.244	0.192
Mn	-0.947	0.317	-0.053	0.021
Cu	-0.681	0.670	0.204	0.214
Zn	0.505	0.809	-0.227	0.195
pH	-0.359	-0.922	-0.075	0.123
ORP	0.366	0.921	0.060	-0.124
EC	-0.888	0.399	0.153	-0.172

a Ekstraksiyon yöntemi: Temel bileşen analizi
b Dört bileşen tespit edildi

Su baskını sürelerinin toprak özelliklerinin etkisinde birim çemberde gösterimi ile PC1 ve PC2'nin fonksiyonu olarak vektörel büyüklüğü ve yükleme değerini gösteren şekilde yarıçapı 1 olan ve orjini (0,0) noktasında bulunan bir korelasyon çemberi aşağıda verilmiştir (Şekil 4.5). Değişkenler ise vektör büyüklükleri ile ifade edilmiştir. Bu vektörler çembere yaklaştıkça ilgili değişkenin temel bileşen analizinde önemli bir

yere sahip olduğu söylenebilir. Toprak özelliğinin ordinata olan uzaklığı özelliğin PC1 ile pozitif veya negatif yükleme değerlerine sahip olma oranını, apsise olan uzaklığı ise özelliğin PC2 ile pozitif veya negatif yükleme değerlerine sahip olma oranını ifade etmektedir.



Şekil 4.5. Birim çemberde su baskını süresinin PC1 ve PC2'ye göre toprak özelliklerine etkisi

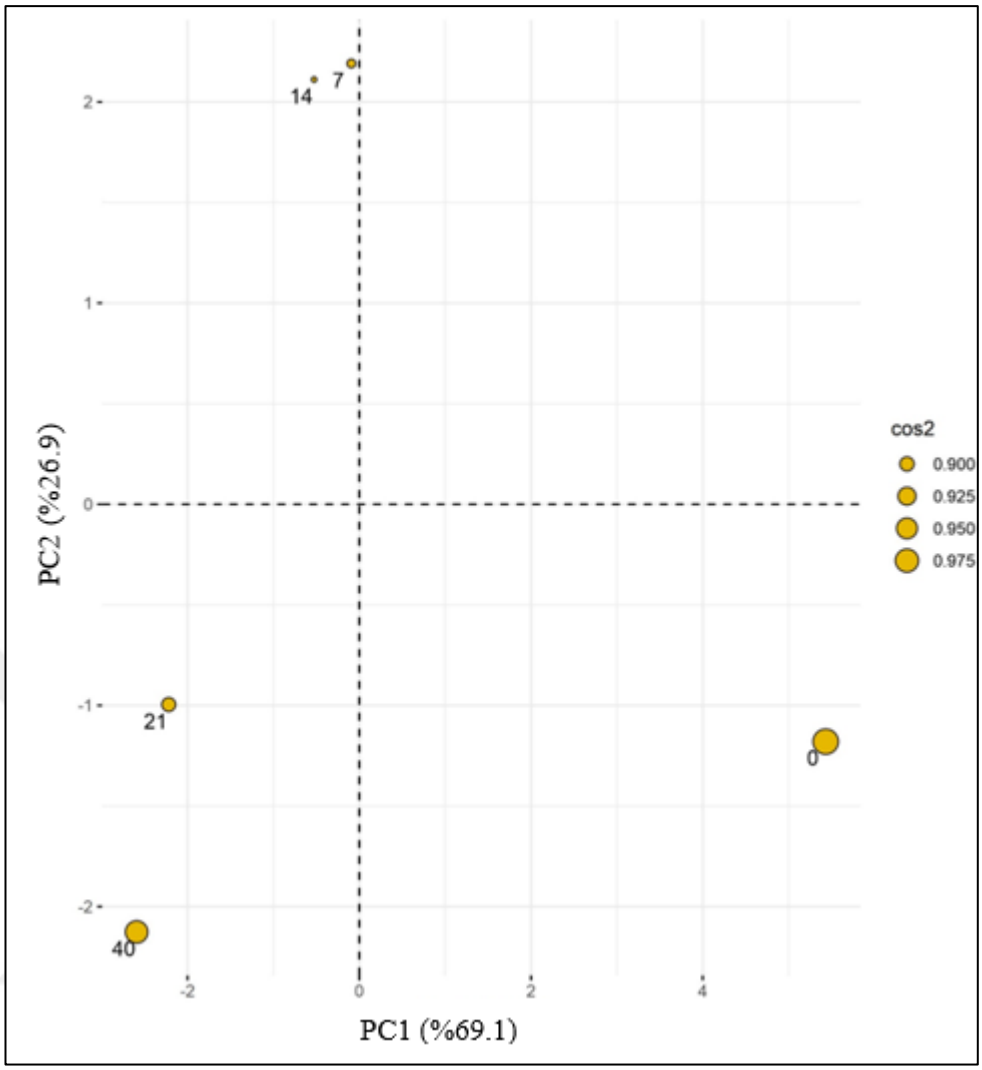
Fosfor, Ca, Mg, Na ve K PC1 ile pozitif yönde; Fe, Mn, EC ve Cu ise PC1 ile negatif yönde olmak üzere yüksek yükleme değerlerine sahiptir. Mangan, Cu, Zn, EC ve ORP, PC2 ile pozitif yükleme değerlerine sahiptir. Demir, K ve pH PC2 ile negatif yükleme değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Demirin PC1'e katkısı negatif yönlü olarak %91 iken; PC2 bakımından negatif yönde %26'lık bir katkı sağladığı görülmektedir. Aynı şekilde fosforun PC1'e %99'luk bir etki ettiği söylenebilmektedir.

ORP ve pH arasındaki zıt yönlü olmak üzere aynı büyüklükteki ilişki ikili arasındaki korelasyonun ne kadar güçlü olduğunu ifade etmektedir. İki özellikte de PC2 üzerine etki etmektedir.

Demir, Ca ve P incelendiğinde, fosforun topraktaki davranışı dikkate alınarak çalışmaların alkalin topraklarda yapıldığı ifade edilebilmektedir. Kalsiyum ve P'un sırasıyla, PC1 üzerine 0.992 ve 0.990 oranında etki ettiği göz önünde bulundurulunca ikilinin alkalin topraklardaki uyumu öne çıkmaktadır. Fosfor ve demirin PC1 ve PC2 üzerine farklı yönlerdeki etkisi de bu durumu doğrular niteliktedir.

Toprakların su altında bırakılması çalışmasında kullanılan sürelerin PC1 ve PC2 üzerine yapmış oldukları etkilerin incelenmesi neticesinde, toprakların 7 ve 14 gün su altında kalmalarında benzer reaksiyonların devam ettiği, PC2 üzerinde benzer etkileşim içerisinde bulundukları tespit edilmiştir (Şekil 4.6). Bileşen matrisi incelendiğinde PC2 üzerine yüksek etkiye sahip olan pH (-0.922) ve ORP (0.921)'nin toprakların 7 ve 14 gün su altında bırakılmasında sistemi kontrol altında bulundurduğu tespit edilmiştir. İnkübasyonun ilerleyen günlerinde, topraklardaki farklı tampon sistemlerin devreye girmesi neticesinde pH ve ORP'nin etkisi nispeten azaldığı diğer toprak özelliklerinin etkisinin arttığı ifade edilebilmektedir. Genel olarak topraklarda bulunan makro ve mikro bitki besin elementlerinin PC1 ile yükleme değerleri göstermesi göz önünde bulundurulduğunda, su altında bırakılmayan toprakların oksidatif koşullarında indirgen koşulların aksine pH ve ORP'nin mevcut sisteme etkisinin nispeten çok daha az olduğu ifade edilebilmektedir.



Şekil 4.6. Su baskını sürelerinin PC1 ve PC2'ye göre dağılımı

Su baskınının olmadığı topraklarda (0 gün) sistemin temel toprak özellikleri ve pH tarafından kontrol altında olduğu ifade edilebilmektedir. Toprak örneklerinin yaz dönemi sonrasında alındığı, dönem boyunca oksidatif koşullara maruz kaldığı dikkate alındığında su baskınının kısa vadede etkisi daha iyi gözlemlenebilmektedir. Bunun bir etkisi olarak su baskını sürelerinde topraklarda Mn ve Fe kontrol düzeyindeki toprakları redoks reaksiyonlarıyla farklılaştırarak PC1 ve PC2 üzerinde sırasıyla yaklaşık 5.5 ve -1.3 bölgesinden 0.3 ve 2.3 grafiksel bölgeye taşımıştır. Bu durum toprakların 7 gün su altında kalmasının oluşturduğu değişimi farklı bir yönde ortaya koymaktadır. Ayrıca 7, 14, 21 ve 40. günler arasında bir miktar farklılıklarla beraber nispeten doğrusal bir hat oluşturulabileceği görülmektedir. Bu durum toprakların su altında kalmasının bu bağlamda benzer tepkimeler verebileceğini ifade etmektedir. Daha önce de ifade edildiği üzere manganın toprak sistemlerinde 14 gün indirgen

koşullarda öncelikle çözelti fazına geçtiği, ilerleyen süreçte demirin redoks üzerine etkisi (Ören, 2018) şeklinde ortaya çıkmaktadır.

Toprakların su altında kalması çalışmasının sonucunda elde edilen veriler doğrultusunda, genel olarak su altında kalma sürelerinin etkisiyle, topraklarda redoks potansiyeli -4.34 ila -57.06 mV arasında değişim göstermiştir. En düşük değer 5 numaralı toprak örneğinin 40 gün su altında bırakılmasıyla ($T_5ÇG_0SB_{40}$); en yüksek değer ise 3 numaralı toprağın su baskını öncesinde yapılan kontrol düzeyinde ($T_3ÇG_0SB_0$) tespit edilmiştir. Toprakların su altında kalması sonucunda redoks potansiyeli, genel olarak düşme eğilimi göstermiştir. Bu düşüş inkübasyon süresince devam etmiş olup, bu süreç doğrusal olarak gerçekleşmemiştir. Su baskınının 7, 14 ve 21. günlerinde topraklarda farklı günlerde iniş çıkışlar gözlemlenmiş ve bu durumun redoks reaksiyonlarını doğrudan ve dolaylı olarak etkileyen temel toprak özelliklerinden kaynaklandığı ve tamponlama sistemlerinin etkisi olarak ortaya çıktığı şeklinde yorumlamak mümkün olmaktadır.

Topraklarda su altında kalma sürelerinin etkisiyle pH 7.06 ila 7.96 arasında değişim göstermiştir. En düşük değer 3 numaralı toprağın su baskını öncesinde yapılan kontrol düzeyinde ($T_3ÇG_0SB_0$), en yüksek değer ise 5 numaralı toprak örneğinin 40 gün su altında bırakılması ($T_5ÇG_0SB_{40}$) sonucunda tespit edilmiştir. Toprakların su altında kalması sonucunda toprak reaksiyonu genel olarak düşme eğilimi göstermiştir. Ancak nötr pH seviyesine yakın olan 3 numaralı toprak örneğinde artış şeklinde gözlemlenmiş ve 7.46 olarak bulunmuştur. Genel bir bilgi olarak toprakların su altında kalması sonucunda oluşan redoks reaksiyonlarının pH'yı nötre yakınlaştırdığını (Ponnamperuma, 1972; Gorantiwar vd., 1973; Sims ve Patrick, 1978; Patrick ve Henderson, 1981, Ören vd., 2018; Tiwari vd., 2023), ancak farklı karakteristik özelliklere sahip topraklarda çok az miktarda da olsa farklı davranış sergilediğini göstermektedir. Bu durumda toprakların su altında kalması ile oluşan indirgenme reaksiyonlarının bir etkisi olarak, toprak pH'sının 7.0-7.5 arasındaki denge noktasına doğru değişim göstermesi fizikokimyasal özelliklerdeki farklılıkların bir fonksiyonu olarak ortaya çıktığı ifade edilebilmektedir.

Topraklarda su altında kalma sürelerinin etkisiyle $NaHCO_3$ ile ekstrakte edilebilen P miktarı 5.6 ile 70.5 mg kg^{-1} aralığında değişim göstermiştir. En düşük değer 7 numaralı

toprak örneğinin 40 gün su altında bırakılması ($T_7ÇG_0SB_{40}$) sonucunda, en yüksek değer ise 3 numaralı toprağın su baskını öncesinde yapılan kontrol düzeyinde ($T_3ÇG_0SB_0$) tespit edilmiştir. Toprakların su altında kalması sonucunda $NaHCO_3$ ile ekstrakte edilebilen P miktarı, genel olarak artma eğilimi göstermiştir. Ancak ormanlık araziden alınan 7 numaralı toprak örneğinde beklenilen durumun aksine stabil bir süreç işlemiş ve öncelikle bir miktar düşüş, ilerleyen süreçte artış gözlemlenmiş ve başlangıçtaki 6.3 mg kg^{-1} olan değer 40 gün su baskını sonucunda yatay çizgisini koruyarak 5.6 mg kg^{-1} olarak bulunmuştur. Bu durum söz konusu toprağın; tekstürünün %50'sinden daha fazla miktarının kil fraksiyonu tarafından oluşturulması, lokasyon bakımından diğer topraklara göre nispeten çok daha yüksek bir kotta bulunduğu, üzerindeki bitki örtüsü nedeniyle çok daha fazla yağış aldığı ve bu nedenle biriken organik maddenin de etkisiyle daha önceki redoks süreçlerinin etkisi olarak ortaya çıktığı şeklinde ifade edilebilir.

Topraklarda meydana gelen indirgenme koşullarında adsorpsiyon yüzeylerinde değişen pH'ya bağlı olarak mineral fazlardaki çözünme miktarı, özellikle Fe ve Mn oksitli bileşiklerinin çözünürlükleri artmaktadır. Bu bağlamda topraklarda su altında kalma sürelerinin etkisiyle DTPA ile ekstrakte edilebilen Fe miktarı 2.7 ile 28.1 mg kg^{-1} aralığında değişim göstermiştir. En düşük değer 4 numaralı toprağın su baskını öncesinde yapılan kontrol düzeyinde ($T_4ÇG_0SB_0$), en yüksek değer ise 8 numaralı toprak örneğinin 40 gün su altında bırakılması ($T_8ÇG_0SB_{40}$) sonucunda tespit edilmiştir. Toprakların su altında kalmasıyla oluşan indirgenme reaksiyonları neticesinde yarayışlı Fe miktarı genel olarak artış göstermiştir. Su altında kalma süresince ilk günlerde çok hızlı bir artış gözlemlenmiş olup yedi gün su altında kalma sonrasında maksimum artış oranı 8 numaralı toprak örneğinde yaklaşık dört kata kadar olacak şekilde tespit edilmiştir. İlerleyen inkübasyon sürecinde ise yarayışlı Fe konsantrasyonundaki artış azalarak artan şeklinde devam etmiş ve 40 gün indirgen koşullar sonrasında başlangıç ölçümlerine göre yaklaşık 9 kat olarak tespit edilmiştir. Bu durum redoks reaksiyonlarının temel etkisi olarak oluşan indirgenme süreci ile açıklanabilmektedir.

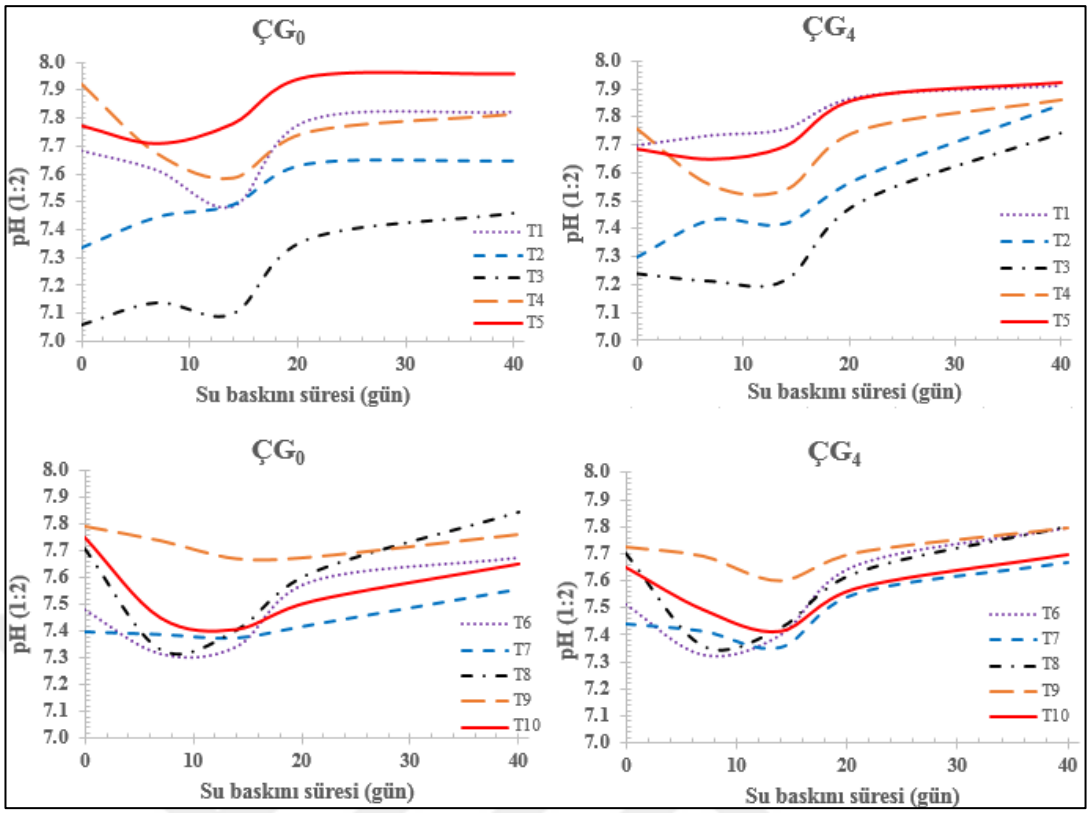
Topraklarda su altında kalma sürelerinin etkisiyle, DTPA ile ekstrakte edilebilen Mn miktarı 8.3 ile 33.1 mg kg^{-1} aralığında değişim göstermiştir. En düşük değer 1 numaralı toprağın su baskını öncesinde yapılan kontrol düzeyinde ($T_1ÇG_0SB_0$), en yüksek değer

ise 3 numaralı toprak örneğinin 7 gün su altında bırakılması ($T_3ÇG_0SB_7$) sonucunda tespit edilmiştir. Toprakların su altında kalması neticesinde oluşan indirgenme reaksiyonları neticesinde yarayışlı Mn miktarı genel olarak artış göstermiştir. Bu artış su altında kalma süresince ilk günlerde çok hızlı gerçekleşmiş olup, yedi gün su altında kalma sonrasında maksimum artış oranı 1 ve 5 numaralı toprak örneğinde yaklaşık üç kata kadar olacak şekilde tespit edilmiştir. İlerleyen inkübasyon sürecinde yarayışlı Mn konsantrasyonu nispeten daha dar sınırlar içerisinde değişim göstermiştir. Bu durum Mn indirgenme reaksiyonlarının tamamlanması (Takai vd., 1956; Datta, 1981) ve tamponlama sistemlerinin bir refleksi olarak yorumlanabilmektedir.

4.1.4. Çiftlik gübresinin ve su baskını süresinin bazı redoks özelliklerine etkisi

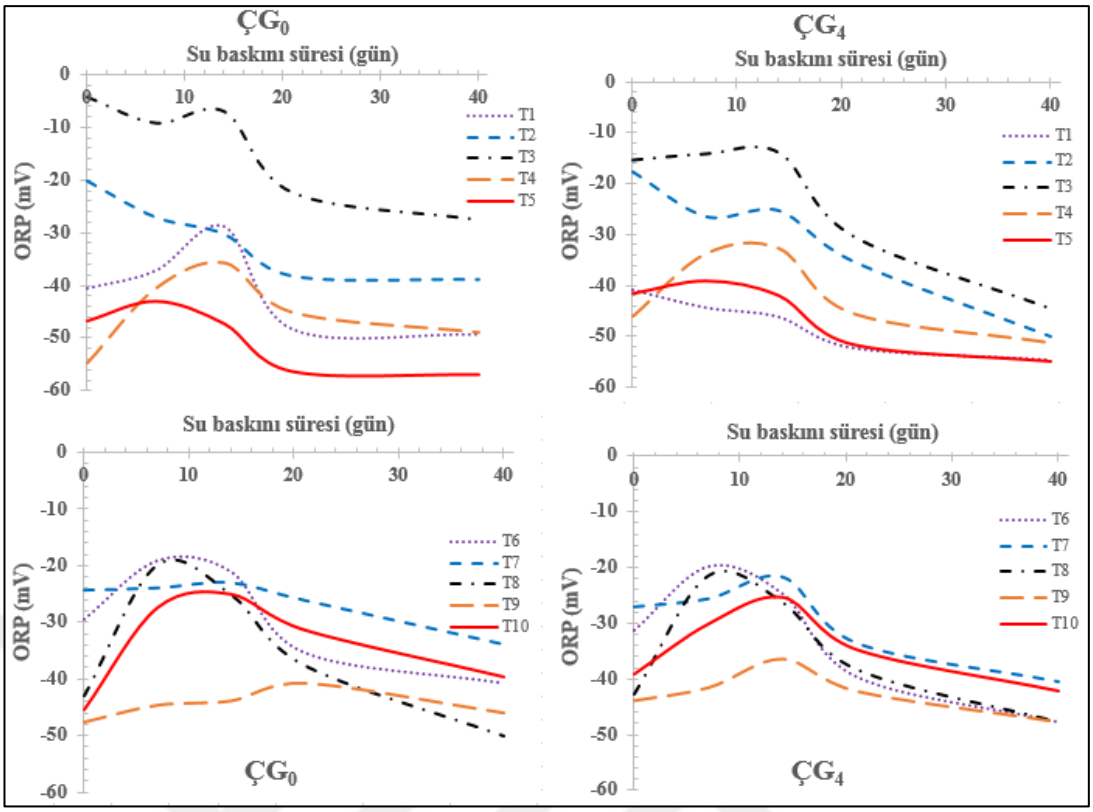
Toprakların su baskını altında bırakılması sonucunda oluşan redoks reaksiyonlarından doğrudan ve dolaylı olarak en fazla etkilenen toprak özelliklerinden pH, ORP, Olsen-P, DTPA-Fe, DTPA-Mn, DTPA-Cu ve DTPA-Zn (Ören, 2018) analiz sonuçları ile su baskını sürelerinde toprak sistemindeki durumu incelenmiştir. Çalışmada araştırılan diğer toprak özellikleri genellikle pH değişimine bağlı olarak değişimler göstermekte olup, doğrudan ya da dolaylı olarak redoks reaksiyonlarında görev almadığı için bu bağlamda değerlendirmeye alınmamıştır.

Toprakların su baskını altında bırakılması sonucunda oluşan redoks reaksiyonlarının etkisi olarak ortaya çıkan pH değişimi (Ören, 2018; Tiwari vd., 2023) çalışma topraklarında da tespit edilmiştir. Genel olarak su baskınının 14. gününe kadar olan süreçte alkalin karakterli olan topraklarda nötr pH'ya yaklaşma eğilimi görülmekle birlikte ilerleyen süreçte toprak tamponlama sistemlerinin etkisi ile stabilizasyonunu koruduğu ifade edilebilmektedir. Özellikle 4. ve 10. topraklarda ilk 14 günlük bu süreçte toprak reaksiyonunda yaklaşık 0.5 birimlik sert düşüşler gözlemlenmiş olup bu durumun redoks reksiyonlarından kaynaklandığı ifade edilebilmektedir (Şekil 4.7). Çiftlik gübresinin ilavesi ile oluşan ortamın toprak pH'sını bir miktar değiştirdiği ifade edilebilmekle birlikte bu değişimin çok fazla gözlemlenememektedir. Bu duruma çalışmada kullanılan toprakların ve çiftlik gübresinin birbirine yakın reaksiyonda olması şeklinde açıklanabilmektedir.



Şekil 4.7. Çiftlik gübresinin ve su baskını süresinin pH üzerine etkisi

Toprakların su baskını altında bırakılması sonucunda oluşan redoks reaksiyonlarının etkisi olarak ortaya çıkan ORP değişimi (Ören, 2018; Tiwari vd., 2023) çalışma topraklarında da tespit edilmiştir. Genel olarak su baskınının 14. gününe kadar olan süreçte alkalin karakterli olan topraklarda ORP'de artma eğilimi görülmekle birlikte ilerleyen süreçte toprak tamponlama sistemlerinin etkisi ile stabilizasyonunu koruduğu ifade edilebilmektedir. Özellikle 4. ve 10. topraklarda ilk 14 günlük bu süreçte ORP'de yaklaşık 0.25 mV seviyesinde hızlı artış gözlemlenmiş olup bu durumun redoks reksiyonlarından kaynaklandığı ifade edilebilmektedir (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. Çiftlik gübresinin ve su baskını süresinin ORP üzerine etkisi

Redoks potansiyeli normal şartlar altında havalanan topraklarda, 0.8 – 0.3 V arasında değişirken; indirgenmiş topraklarda, 0.2 – 0.4 V arasında değişmektedir. Redoks potansiyeli ve pH arasındaki bağıntı ile ilgili olarak p*e* + p*H* değeri sulu ortamın redoks statüsünü göstermekte olup 0 (indirgen şartlar, H_2'in kısmi basıncı 1 atm) ile 20.78 (oksidasyon şartları, O_2'in kısmi basıncı 1 atm) arasında değişim göstermektedir. Oksijenin kısmi basıncı 0.2 atm (atmosferdeki O_2 oranında) olduğunda p*e* + p*H* değeri 20.61 olarak bulunmaktadır. Topraklarda elektron aktivitesi arttıkça O_2'in kısmi basıncı azalmakta, H_2'in ise artmaktadır. İndirgen koşullarda redoks limiti aşağıdaki Denklemlerde [(4.1), (4.2), (4.3)] verildiği şekilde gerçekleşmektedir.

$$H_2O + e^- \rightleftharpoons \tfrac{1}{2} H_{2(g)} + OH^- \quad (4.1)$$

$$H^+ + OH^- \rightleftharpoons H2O \quad (4.2)$$

$$H^+ + e^- \rightleftharpoons \tfrac{1}{2} H_{2(g)} \quad (4.3)$$

Bu reaksiyonda toplam denge sabiti (K°) aşağıdaki Denklem (4.4)'e göre şu şekilde olmaktadır.

$$\log K° = ½ \log H_{2(g)} – \log(H^+) – \log(e^-) \quad (4.4)$$

İndirgen koşullar altında gelişen redoks reaksiyonları çerçevesinde fosforun reaksiyonları [Denklem (4.5), (4.6), (4.7), (4.8), (4.9) ve (4.10)] fosforik asitte,

$$H_3PO_3^0 \rightleftharpoons H^+ + H_2PO_3^- \quad (\log K°:-1.5) \quad (4.5)$$

$$H_2PO_3^- \rightleftharpoons H^+ + HPO_3^{-2} \quad (\log K°:-6.79) \quad (4.6)$$

$$H_2PO_4^- + 2H^+ + 2e^- \rightleftharpoons H_2PO_3^- + H_2O \quad (\log K°:-10.87) \quad (4.7)$$

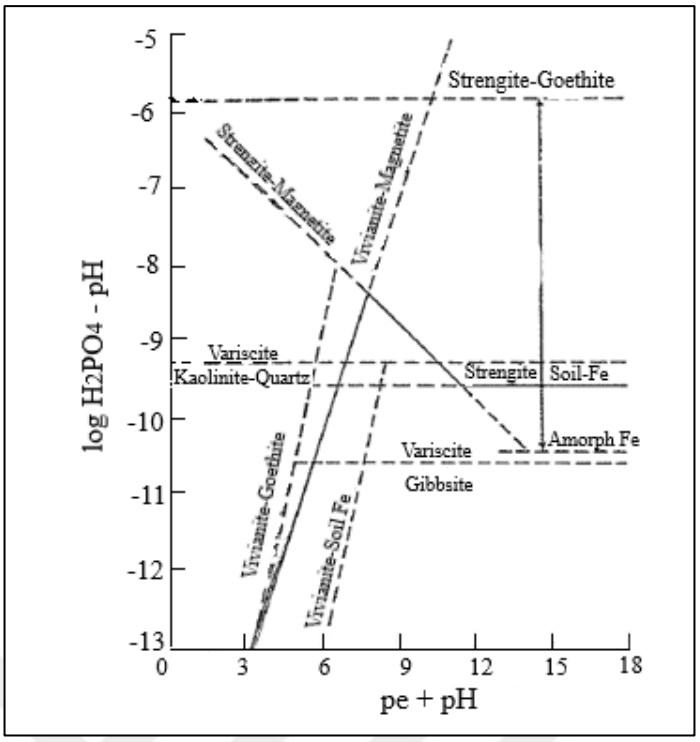
şeklinde meydana gelmekte, elementel fosforda ise

$$H_3PO_4 + 5H^+ + 5e^- \rightleftharpoons P_{(c,beyaz)} + 4H_2O \quad (\log K°:-35.21) \quad (4.8)$$

$$H_2PO_4^- + 9H^+ + 8e^- \rightleftharpoons PH_{3(g)} + 4H_2O \quad (\log K°:-36.73) \quad (4.9)$$

$$PH_{3(g)} \rightleftharpoons PH_3^0 \quad (\log K°:2.09) \quad (4.10)$$

olarak meydana gelmektedir (Lindsay, 2001). Topraklarda indirgen koşullar altında Fe çözünürlüğü değişmekte ve bu durum demir fosfatların çözünürlüğünü etkilemektedir (Williams ve Patrick, 1973). Topraklarda Fe ve Al fosfatların redoks reaksiyonlarındaki durumları Şekil 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.9. Redoks koşullarında strengit ve variscitin vivianite dönüşüm sınırları (Lindsay, 2001)

Asit karakterli topraklarda p*e* + p*H* değeri 11.53'ten daha da azaldığı koşullarda manyetit daha stabil bir durumda bulunmaktadır. Bu durum Fe^{+3} aktivitesini baskılamakta ve aşağıdaki denklemde gösterildiği üzere fosfatlı bileşikler arasında strengiti intensitesini artırmaktadır (Denklem 4.11).

$$3FePO_4\ 2H_2O_{(strengit)} + e^- \rightleftharpoons Fe_3O_{4(manyetit)} + 3H_2PO_4^- + 2H^+ + 2H_2O (\log K°: -17.1) \quad (4.11)$$

İndirgen koşulların devam etmesi halinde ise vivianit strengite göre daha stabil bir şekilde bulunmaktadır. Buradaki vivianit reaksiyonu (Denklem 4.12);

$$Fe_3(PO_4)_2\ 8H_2O_{(vivianit)} \rightleftharpoons Fe_3O_{4(manyetit)} + 2H_2PO_4^- + 4H^+ + 2e^- \quad (\log K°: -32.58) \quad (4.12)$$

şeklinde meydana gelmektedir. Bu bağlamda p*e* + p*H* değeri 7.92'den düşük olduğu ileri derecede indirgen koşullarda strengit vivianite dönüşmekte ve vivianit stabil fosfat fazı halinde bulunmaktadır. Akabinde p*e* + p*H* değeri 4.96'dan daha da düşük olduğu koşullarda goethite Fe çönürlüğününde baskın halde bulunmakta, variskit vivianite dönüşmektedir (Lindsay, 2001).

Alkali karakterli topraklarda ise indirgen koşullar altında meydana gelen anaerobik ayrışma sonucunda ortaya çıkan CO_2'nin suda çözünmesi sonucunda düşen toprak pH'sından dolayı orta kalsiyum fosfat, β-trikalsiyum fosfat, hidroksi apatit ve florapatitin çözünürlüğünün artacağı bilinmektedir (Ponnamperuma, 1985). 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 artırabileceği belirtilmiştir. Bu koşullarda meydana gelen reaksiyonlar aşağıdaki denklemlerde [Denklem (4.13), (4.14), (4.15), (4.16), (4.17), (4.18)] belirtildiği şekilde oluşmaktadır (Lindsay, 2001).

$$Ca(H_2PO_4)_2\ H_2O_{(monoCP)} \rightleftharpoons Ca^{+2} + 2H_2PO_4^- + H_2O \quad (\log K°:-1.15)\ (4.13)$$

$$CaHPO_4\ 2H_2O_{(brushite)} + H^+ \rightleftharpoons Ca^{+2} + H_2PO_4^- + 2H_2O \quad (\log K°:0.63)\ (4.14)$$

$$CaHPO_{4(monetite)} + H^+ \rightleftharpoons Ca^{+2} + H_2PO_4^- \quad (\log K°:0.30)\ (4.15)$$

$$Ca_4H(PO_4)_3\ 2.5H_2O_{(octaCP)} + 5H^+ \rightleftharpoons 4Ca^{+2} + 3H_2PO_4^- + 2.5H_2O \quad (\log K°:11.76)\ (4.16)$$

$$Ca_5(PO_4)_3OH_{(hidroksiapatit)} + 7H^+ \rightleftharpoons 5Ca^{+2} + 3H_2PO_4^- + H_2O \quad (\log K°:14.46)\ (4.17)$$

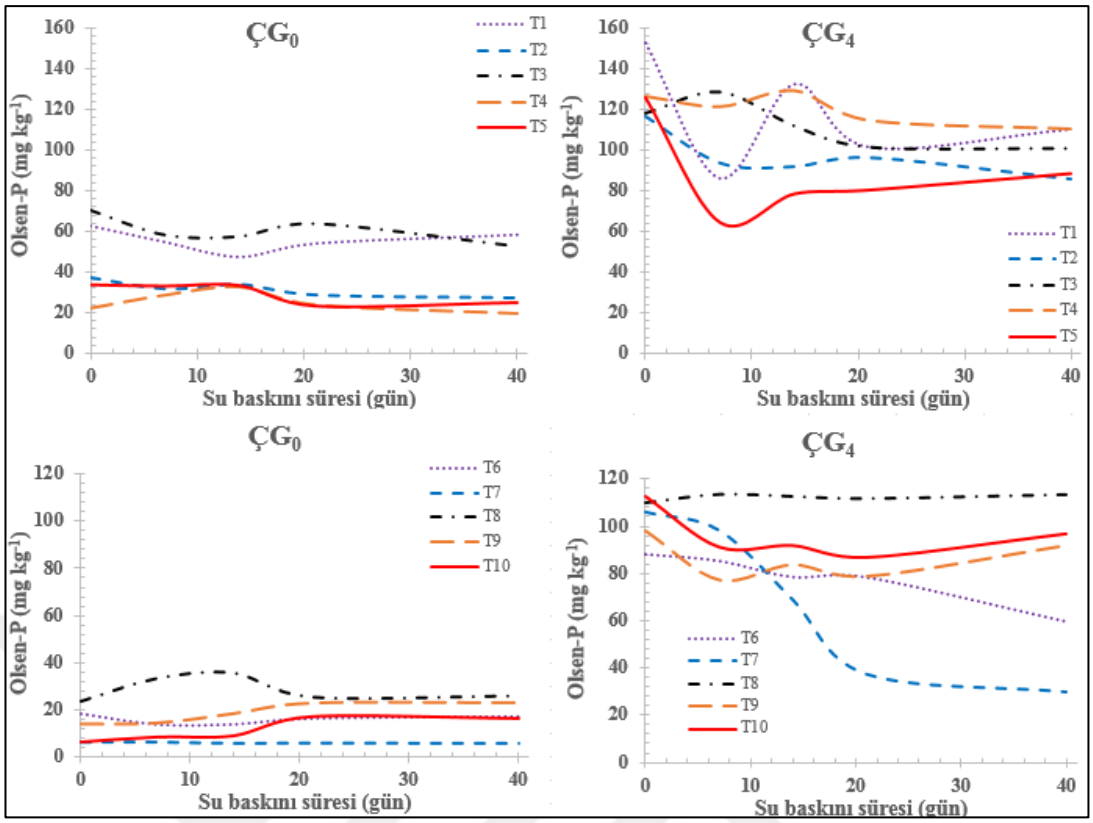
$$Ca_5(PO_4)_3F_{(florapatit)} + 6H^+ \rightleftharpoons 5Ca^{+2} + 3H_2PO_4^- + F^- \quad (\log K°:-0.21)\ (4.18)$$

Ayrıca fosfor topraklarda Mn ile de aşağıda verilen bileşikleri oluşturmaktadır [Denklem (4.19) ve (4.20)]. Bu bağlamda Mn çözünürlüğü dolaylı olarak fosfor çözünürlük ilişkilerini de etkilemektedir.

$$MnHPO_4 + H^+ \rightleftharpoons Mn^{+2} + H_2PO_4^- \quad (\log K°:-5.74) \quad (4.19)$$

$$Mn_3(PO_4)_2 + 4H^+ \rightleftharpoons 3Mn^{+2} + 2H_2PO_4^- \quad (\log K°:11.78) \quad (4.20)$$

Bütün bu tepkimeler dikkate alındığında toprakların su baskını altında bırakılması sonucunda oluşan redoks reaksiyonlarının etkisi olarak ortaya çıkan Olsen-P artışı (Ören, 2018) çalışma topraklarında da tespit edilmiştir. Bu artış özellikle 4. ve 8. topraklarda daha belirgin olup yaklaşık olarak %100 oranında gerçekleşmiştir (Şekil 4.10). Topraklara ilave edilen çiftlik gübresinin su altında kalan topraklarda yarayışlı fosfor miktarında büyük bir artışa neden olduğu ifade edilebilmekte olup, bu artışın en belirgin katkısının çiftlik gübresinin kimyasal yapısından kaynaklandığı şeklinde açıklanabilmektedir.



Şekil 4.10. Çiftlik gübresinin ve su baskını süresinin Olsen-P üzerine etkisi

Redoks reaksiyonlarındaki Fe minerallerinin reaksiyonları [Denklem (4.21), (4.22), (4.23), (4.24), (4.25) ve (4.26)];

$$Fe_{(c)} \rightleftharpoons Fe^{+2} + 2e- \quad (\log K°:15.98) \quad (4.21)$$

$$Fe^{+3} + e^{-} \rightleftharpoons Fe^{+2} \quad (\log K°:13.04) \quad (4.22)$$

$$Fe_3O_{4(magnetite)} + 8H^{+} + 2e^{-} \rightleftharpoons 3Fe^{+2} + 4H_2O \quad (\log K°:35.69) \quad (4.23)$$

$$Fe_3O_{4(magnetite)} + 8H^{+} \rightleftharpoons 3Fe^{+2} + e- + 4H_2O \quad (\log K°:-3.42) \quad (4.24)$$

$$Fe_3(OH)_{8(ferrosik\ oksitmagnetite)} + 8H^{+} + 2e^{-} \rightleftharpoons 3Fe^{+2} + 8H_2O \quad (\log K°:43.75) \quad (4.25)$$

$$Fe_{0.95}O_{(wustite)} + 2H^{+} + 0.10e^{-} \rightleftharpoons 0.95Fe^{+2} + H_2O \quad (\log K°:12.42) \quad (4.26)$$

şeklinde meydana gelmektedir (Lindsay, 2001).

Toprakların su baskını altında bırakılması sonucunda oluşan redoks reaksiyonlarının etkisiyle DTPA-Fe artışı (Ören, 2018) ortaya çıkmaktadır. Bu süreçte temel olarak aşağıdaki reaksiyonlar gerçekleşmektedir [Denklem (4.27), (4.28) ve (4.29)].

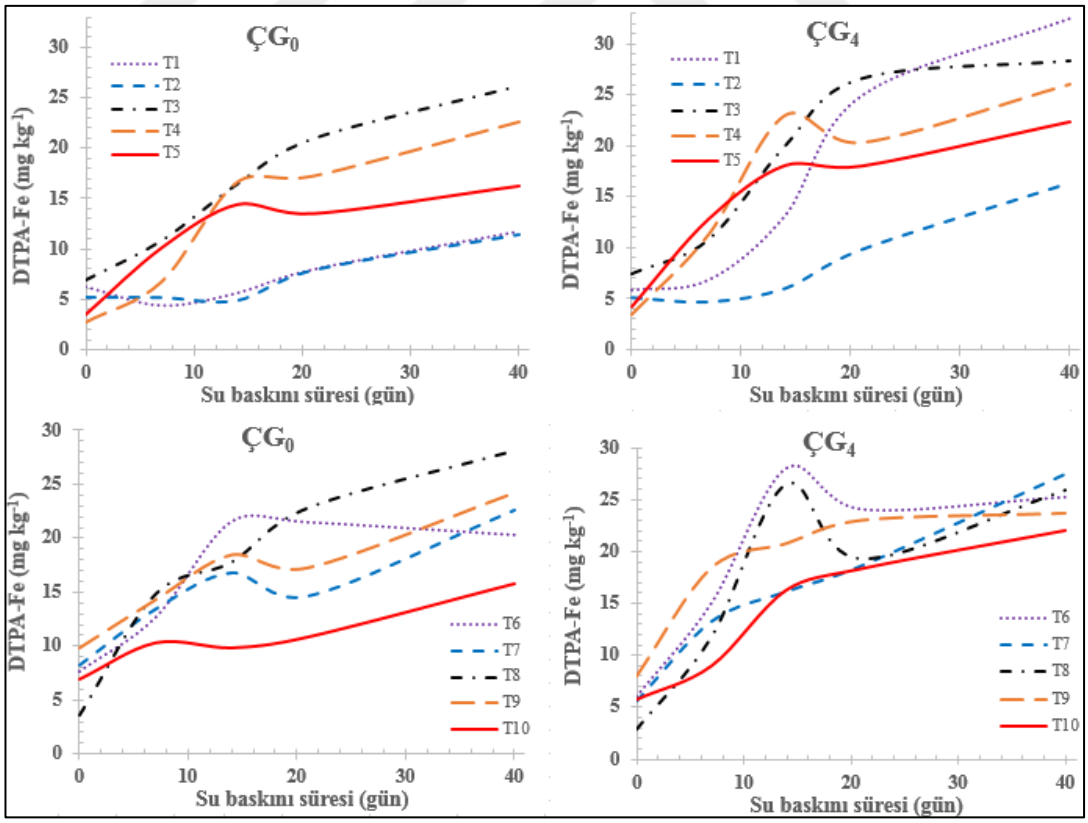
$Fe_3O_{4(magnetite)} + 8H^+ + 2e^- \rightleftharpoons 3Fe^{+2} + 4H_2O$ (log K°:35.69) (4.27)

$3Fe^{+2} + 9H_2O \rightleftharpoons 3Fe(OH)_{3(toprak)} + 9H^+ + 3e^-$ (logK°:3(-15.74) (4.28)

$Fe_3O_{4(magnetite)} + 5H_2O \rightleftharpoons 3Fe(OH)_{3(toprak)} + H^+ + e^-$ (logK°:-11.53) (4.29)

Son verilen denklem önceki iki denklemin taraf şeklinde toplanmış genel durumunu ifade etmektedir. Bu bağlamda p*e* + p*H* değerinin 11.53 olduğu durumlarda $Fe_{(toprak)}$ ve magnetit bir arada bulunabilmekte olup daha düşük redoks koşullarında manyetit, daha yüksek koşullarda ise elementel Fe daha stabil bulunmaktadır. Bu değer 20.61 ile 11.53 aralığında bulunduğu durumlarda Fe^{+2} çözünürlük ilişkileri elementel Fe tarafından, 11.53'ten daha aşağıda bulunduğu şartlarda manyetit tarafından kontrol edilmektedir.

Bu mekanizmaların çözünürlük ilişkileri çerçevesinde ortaya çıkan Fe^{+2} artışı özellikle 8. toprakta yaklaşık olarak %600 oranında gerçekleşmiş olup en belirgin şekli ile göze çarpmaktadır (Şekil 4.11).



Şekil 4.11. Çiftlik gübresinin ve su baskını süresinin DTPA-Fe üzerine etkisi

Topraklara ilave edilen çiftlik gübresinin su altında kalan topraklarda yarayışlı demir miktarında artışa neden olduğu ifade edilebilmekte olup bu artışın en belirgin katkısının çiftlik gübresinin kimyasal yapısından kaynaklandığı ve redoks reaksiyonlarını artırdığı (Ören ve Bozkurt, 2015) şeklinde açıklanabilmektedir. Zira topraklara ilave edilen çiftlik gübresi veya taze organik madde yeni elektron sağlayıcı olarak redoks reaksiyonlarının hızlanmasına neden olmaktadır. Bu durum hem OM'nin yapısında bulunan hem de toprakta bulunan Fe oksitlerin hızla indirgenerek toprak çözeltisine geçmesine neden olmaktadır. Bu süreçte OM'nin daha fazla elektron sağlaması DTPA-Fe içeriğinin daha yüksek konsantrasyonlara ulaşmasında birincil rol oynadığı düşünülmektedir. Bu artış özellikle 8. toprakta yaklaşık olarak %200 oranında gerçekleşmiştir.

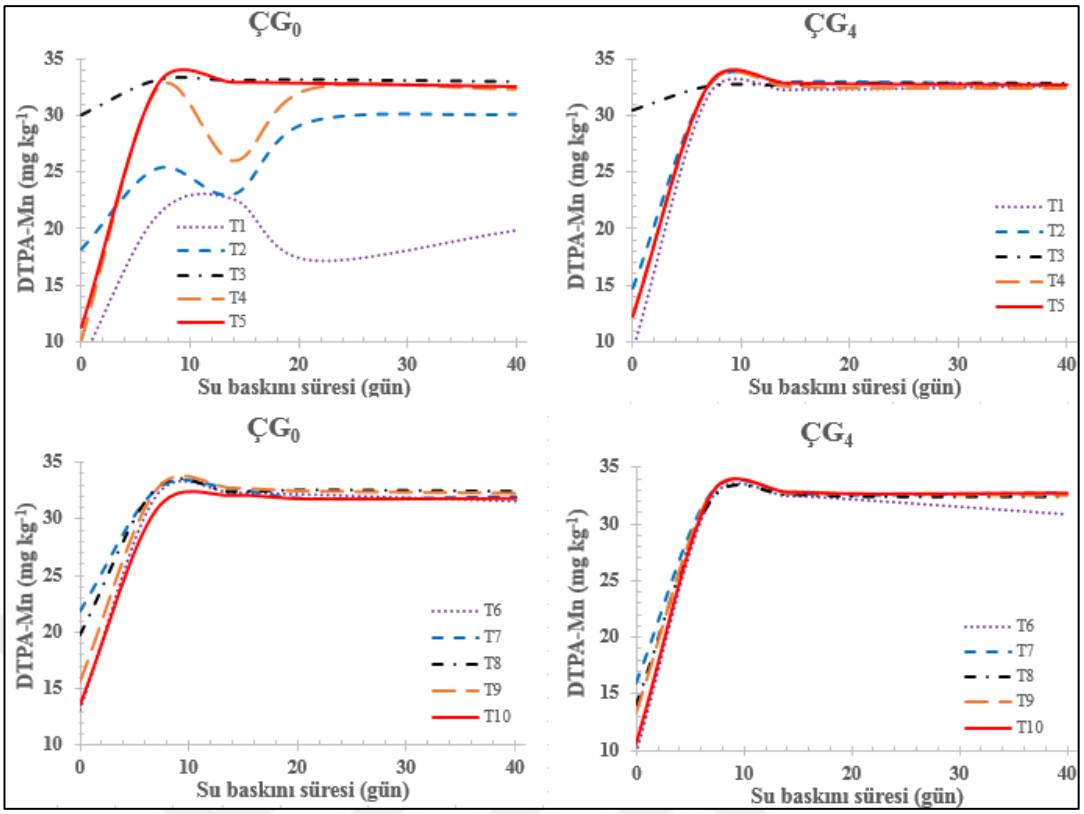
Topraklarda Mn mineralleri yaygın bir şekilde oksitler, karbonatlar, silikatlar ve sülfatlar ile bileşikler şeklinde bulunmaktadır (Taylor vd., 1964; McKenzie, 1977). Redoks reaksiyonlarındaki Mn minerallerinin reaksiyonları 0[Denklem (4.30), (4.31), (4.32), (4.33), (4.34) ve (4.35)] ise aşağıdaki şekilde meydana gelmektedir (Lindsay, 2001).

$Mn^{+4} + e^-$	$\rightleftharpoons Mn^{+3}$	(log K°:25.51)	(4.30)
$Mn^{+3} + e^-$	$\rightleftharpoons Mn^{+2}$	(log K°:25.55)	(4.31)
$Mn^{+4} + 2e^-$	$\rightleftharpoons Mn^{+2}$	(log K°:51.06)	(4.32)
$Mn^{+2} + 2e^-$	$\rightleftharpoons \alpha\text{-}Mn_{(c)}$	(log K°:-40.40)	(4.33)
$MnO_4^{-2} + 8H^+ + 4e^-$	$\rightleftharpoons Mn^{+2} + 4H_2O$	(log K°:118.31)	(4.34)
$MnO^-_4 + 8H^+ + 5e^-$	$\rightleftharpoons Mn^{+2} + 4H_2O$	(log K°:127.71)	(4.35)

Oksidasyon koşulları altında en stabil Mn mineral formu pyrolusit olup p*e* + p*H* değeri 20.61 seviyesinde bulunmaktadır. Bu değerin (p*e* + p*H*) 16.62 seviyesinde bulunması durumunda genel olarak Mn mineralleri denge durumunda bulunmaktadır. Bu durumda gerçekleşen denge reaksiyonları [Denklem (4.36), (4.37) ve (4.38)];

$\beta\text{-}MnO_{2(pyrolusite)} + 4H^+ + 2e^-$	$\rightleftharpoons Mn^{+2} + 2H_2O$	(log K°:41.89)	(4.36)
$Mn^{-2} + 2H_2O$	$\rightleftharpoons \gamma\text{-}MnOOH_{(manganite)} + 3H^+ + e^-$	(log K°:-25.27)	(4.37)
$\beta\text{-}MnO_{2(pyrolusite)} + 4H^+ + 2e^-$	$\rightleftharpoons \gamma\text{-}MnOOH_{(manganite)}$	(log K°:16.62)	(4.38)

Redoks koşullarında pyrolusite çözünmekte, Mn^{+4} indirgenerek Mn^{+3} formuna dönüşmekte, manganit formunda stabilitesini korumaktadır. Bu şekilde oksidasyon koşullarından başlayarak ilerleyen redoks koşullarında Mn mineralleri arasında pyrolusite > nsutite > birnessite > mangenite > bixbyte > hausmannite > pyrochroite > rhodochrosite şeklinde değişim meydana gelmektedir. Buna bağlı olarak toprakların su baskını altında bırakılması sonucunda oluşan redoks reaksiyonları DTPA-Mn'da artışa neden olmaktadır (Ören, 2018). Bu artış; bütün topraklarda yedi günlük çok kısa bir sürede gözlemlenmiş, özellikle 5. toprakta yaklaşık olarak %300 oranında gerçekleşmiş olup en belirgin şekli ile göze çarpmaktadır (Şekil 4.12). İki haftadan daha sonraki su baskını sürecinde, tamponlama sistemlerinin etkisi altında stabilizasyon gözlemlenmekte olup bu duruma sözkonusu element fraksiyonlarında bulunan oksijenin tükenmesi şeklinde açıklanabilmesi mümkün olmaktadır. Topraklara ilave edilen çiftlik gübresinin su altında kalan topraklarda yarayışlı mangan miktarında artışa neden olduğu ifade edilebilmekte olup bu artışın en belirgin katkısının çiftlik gübresinin kimyasal yapısından kaynaklandığı ve redoks reaksiyonlarını artırdığı (Ören ve Bozkurt, 2015) şeklinde açıklanabilmektedir. Çünkü topraklara ilave edilen çiftlik gübresi veya taze organik madde yeni elektron sağlayıcı olarak redoks reaksiyonlarının hızlanmasına neden olmaktadır. Bu durum hem OM'nin yapısında bulunan hem de toprakta bulunan Mn oksitlerin hızla indirgenerek toprak çözeltisine geçmesine nedeniyle olmaktadır. Bu süreçte OM'nin daha fazla elektron sağlaması DTPA-Mn içeriğinin daha yüksek konsantrasyonlara ulaşmasında birincil rol oynadığı düşünülmektedir. Ayrıca su baskını süresinin ilerleyen günlerinde 1., 2. ve 4. toprak örneklerinde dalgalanmalar tespit edilmiş olup bu durumun toprak özellikleri ile ilişkili olduğu değerlendirilmiştir. Bu topraklarda çiftlik gübresi ilavesinin tamponlama sistemlerine katkısının bir fonksiyonu olarak daha stabil davranış gösterdiği tespit edilmiştir.



Şekil 4.12. Çiftlik gübresinin ve su baskını süresinin DTPA-Mn üzerine etkisi

Redoks koşullarında bakırın kimyasal yapısındaki değişimler aşağıdaki denklemlerde gösterilmiştir [Denklem (4.39), (4.40) ve (4.41)].

$Cu^{+2} + e^{-} \leftrightarrow Cu^{+}$ (log K°=2.62) (4.39)

$Cu^{+} + e^{-} \leftrightarrow Cu_{(k)}$ (log K°=8.87) (4.40)

$Cu^{+2} + 2e^{-} \leftrightarrow Cu_{(k)}$ (log K°=11.49) (4.41)

Bu bağlamda gerçekleşen birinci denklemde hafif seviyedeki redoks koşullarınının sisteme hakim olduğu görülmekte olup +1 değerlikli forma dönüşüm gözlemlenmektedir. İkinci denklem ise ileri seviyede gerçekleşen redoks koşullarına işaret etmekte olup burada elementel ($_k$) forma doğru değişim gözlemlenmektedir. Üçüncü verilen denklem ise redoks reaksiyonlarının başlangıç aşamasından sürecin devam ettirildiği aşamada toplam olarak elde edilen denklemi göstermektedir (Lindsay, 2001).

Toprakta bulunan p*e* + p*H* değeri 14.89 olduğu koşullarda $Cu_{(k)}$ stabil olarak bulunmaktadır. Bu değerlerin düştüğü, redoks koşullarının arttığı durumlarda ise

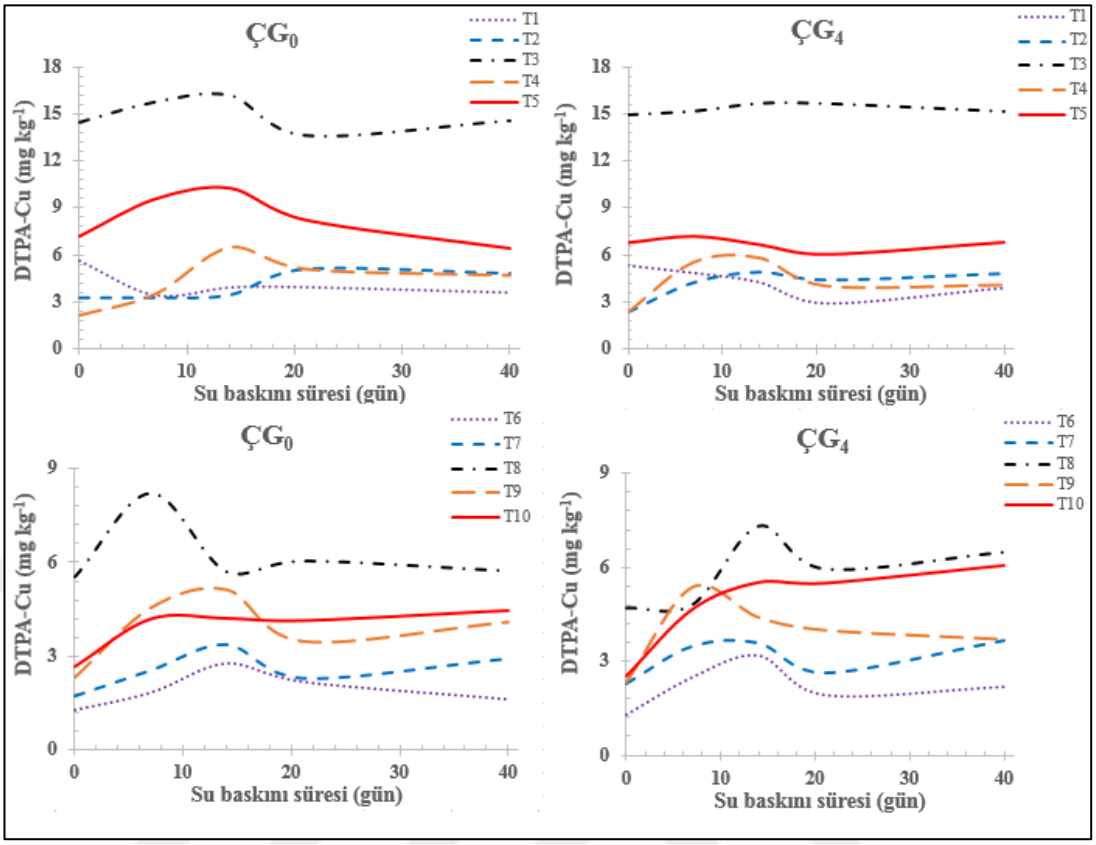
$Cu_2Fe_2O_4$ (cuprous ferrite) $Fe_{(k)}$ ile birlikte stabil formu oluşturan Cu minerali olarak öne çıkmaktadır.

İndirgen koşulların ilerleyen süreçlerinde p*e* + p*H* değeri 11.53'ten daha da azalmakta olup bu koşullar altında magnetit (Fe_3O_4) minerali toprakta demir çözünürlüğünü ve dolayısıyla bakır çözünürlüğünü kontrol eden mekanizma olarak ortaya çıkmaktadır.

Redoks koşullarında $Cu_2Fe_2O_4$ (cuprous ferrite) p*e* + p*H* değeri 2.43'e kadar bulunan seviyelerde stabilitesini koruyabilmektedir. Bu eşik noktasının azalması neticesinde Cu çözünürlük mekanizmasında etkin rolü $Cu_{(k)}$ üstlenmektedir.

Toprakların su baskını altında bırakılması sonucunda topraklardaki DTPA-Cu miktarında ilk günlerde bazı topraklarda artışlar tespit edilmiştir. Su baskınının ilerleyen günlerinde p*e* + p*H* değerindeki değişimin bir etkisi olarak redoks reaksiyonlarına dahil olan elementlerden başta $Cu_2Fe_2O_4$ (cuprous ferrite) minerali halinde Fe olmak üzere farklı adsorpsiyon mekanizmalarının sisteme dahil olması sonucunda bakır miktarında düşüş tespit edilmiştir. Topraklara ilave edilen çiftlik gübresininde yapısında bulunan bakırın ilavesi neticesinde redoks reaksiyonları ile artan Fe^{+2} konsantrasyonunun bu reaksiyonlar artırmasıyle $Cu_2Fe_2O_4$ (cuprous ferrite) mineralinin Cu'nun çözünürlük ilişkilerinde ön plana çıktığı düşünülmektedir.

DTPA-Cu artışı bütün topraklarda gözlemlenmiş olup özellikle 5. toprakta yaklaşık olarak %50 oranında gerçekleşmiş olup en belirgin şekli ile göze çarpmaktadır (Şekil 4.13). Topraklara ilave edilen çiftlik gübresinin su altında kalan topraklarda yarayışlı bakır miktarında artışa neden olduğu ifade edilebilmekte olup, bu artışın en belirgin katkısının çiftlik gübresinin kimyasal yapısından kaynaklandığı ve redoks reaksiyonlarını artırdığı (Ören ve Bozkurt, 2015) şeklinde açıklanabilmektedir. Özellikle 4. ve 9. toprakta su baskını neticesi redoks reaksiyonları ile 14 günde artış gösteren sistemdeki yarayışlı bakır miktarına çiftlik gübresi ilavesi neticesinde reaksiyonların tetiklenmesi ile 7 günlük süreçte yaklaşık olarak ulaşıldığı tespit edilmiştir. Bu durum sözkonusu toprakta çiftlik gübresinin redoks reaksiyonlarınında süreci yaklaşık iki kat hızlandırdığı şeklinde ifade edilebilmektedir. Su baskınının ilerleyen günlerinde ise sistemde bulunan bakırın tamponlama sistemlerinin etkisi altında daha stabil bir eğilimde bulunduğu ifade edilebilmektedir.

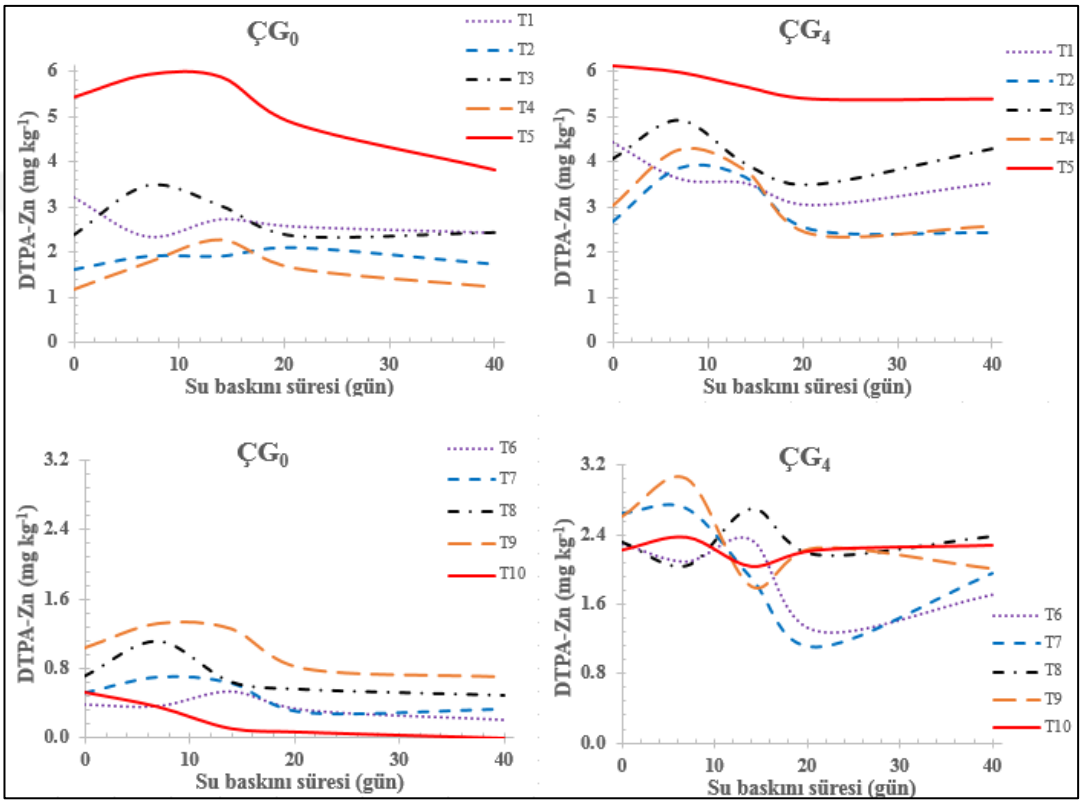


Şekil 4.13. Çiftlik gübresinin ve su baskını süresinin DTPA-Cu üzerine etkisi

Topraklarda bulunan Zn mineralleri çözünürlükleri kolay çözünenden zora doğru olmak üzere;

$Zn(OH)_{2(amorf)}$ > α-$Zn(OH)_2$ > β-$Zn(OH)_2$ > γ-$Zn(OH)_2$ > ε-$Zn(OH)_2$ > $ZnCO_{3(smithsonit)}$ > $ZnO_{(zinkit)}$ > $Zn_2SiO_{4(villemit)}$ > $Zn_{(elementel)}$ > $ZnFe_2O_{4(franklinit)}$ şeklinde meydana gelmektedir. Franklinit bu mineraller arasında en zor çözünebilmekte olup ayrıca Fe^{+3} aktivitesini kontrol eden FeOx bileşiklerinden biridir. Ayrıca bu çözünürlük ilişkilerinin temeli pH'ya dayanmakta olup her bir birimlik değişimde yaklaşık 100 kata kadar Zn çözünürlüğünde değişim görülebilmektedir (Lindsay, 2001). Bu bağlamda toprakların su baskını altında bırakılması sonucunda oluşan redoks reaksiyonlarının etkisi olarak ortaya çıkan DTPA-Zn artışı (Ören, 2018) çalışma topraklarında da tespit edilmiştir. Bu artış bütün topraklarda gözlemlenmiş olup özellikle 3. toprakta yaklaşık olarak %50 oranında gerçekleşmiş olup en belirgin şekli ile göze çarpmaktadır (Şekil 4.14). Topraklara ilave edilen çiftlik gübresinin su altında kalan topraklarda yarayışlı çinko miktarında artışa neden olduğu ifade edilebilmekte olup bu artışın en belirgin katkısının çiftlik gübresinin kimyasal yapısından kaynaklandığı ve redoks reaksiyonlarını artırdığı (Ören ve Bozkurt, 2015) şeklinde

açıklanabilmektedir. Özellikle 4. toprakta su baskını neticesi redoks reaksiyonları ile 14 günde artış gösteren sistemdeki yarayışlı çinko miktarı artış oranına çiftlik gübresi ilavesi neticesinde reaksiyonların tetiklenmesi ile 7 günlük süreçte yaklaşık olarak ulaşıldığı tespit edilmiştir. Bu durum sözkonusu toprakta çiftlik gübresinin redoks reaksiyonlarınında süreci yaklaşık iki kat hızlandırdığı şeklinde ifade edilebilmektedir. Su baskınının ilerleyen günlerinde ise sistemde bulunan çinkonun tampon sistemlerinin etkisi altında daha stabil bir eğilimde bulunduğu ifade edilebilmektedir.



Şekil 4.14. Çiftlik gübresinin ve su baskını süresinin DTPA-Zn üzerine etkisi

4.2. Toprakların Drenaj Çözeltisinin Bileşimi

4.2.1. Drenajın toprakların tanımlayıcı özellikleri üzerine etkisi

Su baskını inkübasyonu sonrasında elde edilen drenaj çözeltilerinin analiz sonuçlarında korelasyon analizlerinin hazırlanmasında K, Ca, Mg, Na mmol g^{-1}, Fe, Mn, Cu, Zn µmol g^{-1} birimleri ile kullanılmıştır.

Toprak pH'sı ile toprağın redoks potansiyeli arasında doğrusal bir bağlantının bulunduğunun (Ören ve Bozkurt, 2015; Ören vd., 2018; Tiwari vd., 2023) çalışma yapılan topraklarda da benzer şekilde bir ifadesi olarak toprakların tanımlayıcı özelliklerinin incelenmesi neticesinde ORP ile pH arasında inkübasyon süresince yapılan bütün ölçümlerde yüksek negatif korelasyon katsayıları elde edilmiştir (Çizelge 4.17). Temelde aynı anda yapılan ölçümler arasında "-1" e yaklaşan önem derecesi çok yüksek korelasyonlar son derece beklenen bir durumdur. Çünkü bu iki değişenken arasında aynı elektrotla ölçülmesinden kaynaklanan bir sistematik ilişki söz konusudur.

Diğer taraftan farklı zamanlarda ölçülen pH ve ORP değerleri arasında da kuvvetli bir ilişki vardır. Bu korelasyonun bir sonucu olarak pH'nın diğer toprak özellikleriyle göstermiş olduğu bütün korelasyonlarda redoks potansiyeli de aynı kuvvette ve zıt yüklü korelasyonlar göstermiştir.

Ayrıca korelasyon analizi, çalışmada kullanılan topraklarda pH'nın kireç (0.89^{**}), AFeOx (-0.64^{*}) ve toplam P miktarı (0.64^{*}) ile olan etkileşimini ortaya koymuştur. Fosforun asit şartlarda Fe ve Al ile alkalin şartlarda Ca ile çözünürlüğü düşük bileşikler meydana getirmesinde toprak reaksiyonundaki değişimin temel etken özellik olarak ön plana çıkmakta olduğu tespit edilmiştir.

Toprakta bulunan demirin fraksiyonları arasında en fazla çözünürlük ilişkisine sahip labilitesi en yüksek olan AFeOx su altında kalan topraklarda redoks reaksiyonlarının etkisiyle oluşan indirgen koşullar neticesinde ORP ile önem seviyesi yüksek pozitif yönlü korelasyon (0.64^{*}) göstermiş olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun etkisiyle ortaya çıkan toprak reaksiyonundaki azalma ile çözünürlük kapasitesi artan söz konusu özellik ile fraksiyon arasında önem seviyesi yüksek negatif bir korelasyonun (-0.64^{*}) ortaya çıkmasına neden olduğu tespit edilmiştir. Bir başka deyişle çalışma yapılan kireçli topraklarda pH azaldıkça Fe fraksiyonlarının çözünürlüğünün artmakta olduğu, bu fraksiyonlar arasında stabilitesi en düşük olması nedeniyle bu artışın en çok AFeOx fraksiyonunda olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.17. Toprakların tanımlayıcı özellikleri ile drenaj çözeltisindeki bazı bitki besin elementleri arasındaki Spearman korelasyon katsayıları

Özellik	pH	ORP	EC	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Cu	Zn
Kum	-0.21	0.21	-0.38	0.47	0.04	-0.20	-0.10	0.16	-0.07	0.21	0.48	0.20
Silt	0.25	-0.25	0.36	-0.27	0.12	0.53	0.19	-0.07	-0.19	-0.28	-0.20	-0.33
Kil	0.27	-0.27	0.35	-0.58	-0.12	0.12	0.06	-0.18	0.13	0.07	-0.59	-0.17
pH	**1.00****	**-1.00****	-0.39	-0.06	-0.39	-0.42	-0.19	-0.30	0.44	**0.70***	-0.22	0.11
ORP	**-1.00****	**1.00****	0.39	0.06	0.39	0.42	0.19	0.30	-0.44	**-0.70***	0.22	-0.11
EC	-0.39	0.39	**1.00****	-0.10	0.58	**0.75***	**0.68***	0.42	**-0.77***	-0.37	0.32	-0.59
Kireç	**0.89****	**-0.89****	-0.23	0.02	-0.15	-0.15	-0.11	-0.28	0.23	0.45	-0.11	-0.11
OM	-0.21	0.21	0.18	-0.13	0.16	0.22	-0.21	-0.38	0.14	-0.51	-0.12	0.13
N	-0.21	0.21	0.18	-0.13	0.16	0.22	-0.21	-0.38	0.14	-0.51	-0.12	0.13
P	-0.36	0.36	0.24	**0.87****	**0.77***	0.26	**0.70***	**0.87****	-0.45	0.02	**0.87****	0.15
K	-0.41	0.41	**0.89****	-0.07	0.55	**0.72***	0.50	0.26	**-0.65***	-0.25	0.43	-0.36
Ca	0.43	-0.43	0.32	**-0.68***	-0.26	0.18	-0.18	-0.54	-0.03	0.06	-0.48	-0.51
Mg	-0.13	0.13	**0.68***	0.26	0.54	0.39	**0.81****	**0.65***	-0.42	0.00	0.42	0.02
Na	-0.35	0.35	0.62	-0.04	0.31	0.37	0.61	0.47	-0.32	-0.34	0.04	0.01
Fe	-0.26	0.26	0.01	**-0.64***	-0.58	-0.10	-0.22	-0.22	-0.04	-0.53	-0.58	-0.43
Mn	-0.60	0.60	**0.78***	-0.31	0.32	0.58	0.33	0.09	-0.50	**-0.76****	-0.04	-0.44
Cu	-0.19	0.19	0.47	**0.73***	**0.72***	0.15	**0.70***	**0.72***	-0.47	0.15	**0.94****	-0.06
Zn	0.06	-0.06	0.13	**0.81****	0.56	-0.14	0.61	**0.76***	-0.10	0.51	**0.77***	0.35
MnOx	-0.02	0.02	0.37	0.07	0.21	-0.15	0.36	0.21	0.01	-0.20	-0.06	-0.09
AMnOx	-0.09	0.09	0.38	0.55	0.41	-0.15	**0.71***	**0.72***	-0.26	0.15	0.61	0.05
TMnOx	0.26	-0.26	0.37	0.50	0.35	-0.10	**0.71***	0.59	-0.31	0.26	0.56	-0.15
AFeOx	**-0.64***	**0.64***	0.54	0.49	**0.64***	0.14	0.62	**0.70***	-0.41	-0.15	**0.65***	0.07
TFeOx	-0.36	0.36	0.43	-0.09	0.18	-0.09	0.35	0.33	-0.06	-0.17	-0.12	-0.04
WS-Ex-Zn	-0.21	0.21	0.49	-0.23	0.11	0.49	0.11	0.02	-0.49	-0.21	0.30	-0.55
Car-Zn	0.08	-0.08	-0.25	0.54	0.09	-0.21	0.03	0.24	-0.03	0.45	**0.70***	0.22
MnOx-Zn	-0.52	0.52	0.28	**0.67***	0.62	0.03	0.43	0.60	-0.37	0.01	**0.84****	0.03
AFeOx-Zn	0.16	-0.16	0.58	0.06	0.20	0.24	0.52	0.35	-0.53	0.12	0.48	-0.58
KFeOx-Zn	0.08	-0.08	-0.08	-0.15	-0.18	-0.52	-0.27	-0.16	0.42	0.31	-0.14	0.10
OS-Zn	0.13	-0.13	-0.62	-0.20	-0.28	-0.41	**-0.77***	-0.61	**0.67***	0.07	-0.56	0.29
R-Zn	-0.10	0.10	**0.70***	-0.15	0.26	0.22	0.56	0.30	-0.39	-0.24	-0.06	-0.44
Toplam-Zn	0.08	-0.08	0.53	-0.44	-0.15	-0.01	0.18	-0.06	-0.16	-0.07	-0.14	-0.47
$NaHCO_3$-P	0.36	-0.36	0.41	-0.09	0.09	0.21	0.14	-0.13	-0.14	0.24	0.30	-0.17
NaOH-P	0.55	-0.55	0.01	0.19	0.12	-0.13	0.04	0.02	0.08	**0.85****	0.37	0.06
CBD-P	0.14	-0.14	0.39	-0.08	0.14	0.48	0.38	0.32	-0.43	0.23	0.30	-0.31
Ca-P	0.41	-0.41	0.10	0.21	0.18	0.12	0.18	0.18	-0.09	0.62	0.48	0.01
Res-P	0.30	-0.30	0.38	-0.48	-0.33	0.01	0.08	-0.26	-0.20	-0.12	-0.20	-0.57
Toplam-P	**0.64***	**-0.64***	0.22	0.01	-0.02	0.09	0.25	0.06	-0.14	0.55	0.30	-0.19

*p≤ 0.05 **p≤0.01

Toprakta fazla bulunan amorf yapılar ise toprağın oksidasyon redüksiyon süreçlerine sıklıkla maruz kaldığı, bölgenin iklim şartları ve örnekleme zamanı göz önünde bulundurulduğunda yapılan tarımsal sulama uygulamalarının bilinçsiz ve fazla olduğu ifade edilebilir. Veya FeOx, MnOx, AlOx ilave edildiğinin göstergesidir. Herhangi bir toprağa yüksek miktarda element eklendiğinde toprakların tipik tamponlama karakteristikleri çerçevesinde öncelikle amorf yapılar görev alarak çökelme eğiliminde bulunmaktadır. İlerleyen süreçte çökelen bu yapılar kristalin yapılara doğru dönüşme eğiliminde bulunmakta ve daha stabil formlara dönüşmektedir. Bunun bir ispatı olarak Pourbax çözünürlük diyagramlarında en üst hat olarak amorf yapılar gelmektedir. Daha alt seviyelerde kristalin yapılar bulunmaktadır. Sisteme dışarıdan eklenme durumunda amorf yapılarda kristalleşme meydana gelmekte, termodinamik açıdan daha stabil olan kristalin formlara dönüşmektedir.

Drenaj çözeltisinde bulunan fosforun topraktaki yarayışlı fosfor miktarı (0.87^{**}), Ca (-0.68^{*}), Fe (-0.64^{*}), Cu (0.73^{*}), Zn (0.81^{**}), MnOx-Zn (0.67^{*}) ile önem seviyesi yüksek korelasyonlar tespit edilmiştir.

Drenaj çözeltisinde bulunan Mn'nin pH (0.70^{*}), ORP (-0.70^{*}), DTPA-Mn (0.76^{**}), NaOH-P (0.85^{**}) ile önem derecesi yüksek korelasyonlar tespit edilmiştir.

Drenaj çözeltisinde bulunan Cu'nun y-P (0.87^{**}), DTPA-Cu (0.94^{**}), DTPA-Zn (0.77^{*}), AFeOx (0.65^{*}), Car-Zn (0.70^{*}), MnOx-Zn (0.84^{**}) ile önem derecesi yüksek korelasyonlar tespit edilmiştir.

Çalışma topraklarında bulunan CBD-P miktarının yedi gün su baskını sonrasında elde edilen dreanaj çözeltisindeki Fe (-0.70^{*}), Cu (-0.71^{*}), Zn (-0.71^{*}) ile önemli korelasyonu tespit edilmiştir (Çizelge 4.18).

Aynı süreçte tespit edilen fosfor miktarının y-P (0.98^{**}), Ca (-0.73^{*}), Cu (0.81^{**}), Zn (0.84^{**}), MnOx-Zn (0.78^{*}) ile önem derecesi yüksek korelasyonları tespit edilmiştir.

Topraklarda bulunan yarayışlı Cu ve Zn miktarları ile sırasıyla bu süreçteki P7 (0.81^{**}, 0.84^{**}), K7 (0.84^{**}, 0.55), Mg7 (0.81^{**}, 0.75^{*}), Na7 (0.55, 0.77^{*}) ile korelasyonları tespit edilmiştir.

Çalışma topraklarında bulunan CBD-P miktarının 14 gün su baskını sonrasında elde edilen dreanaj çözeltisindeki Fe (-0.65*) ve Cu (-0.65*) ile önemli korelasyonu tespit edilmiştir (Çizelge 4.19).

Aynı süreçte tespit edilen fosfor miktarının y-P (0.96**), Ca (-0.77*), Cu (0.77**), Zn (0.83**), MnOx-Zn (0.77*) ile önem derecesi yüksek korelasyonları tespit edilmiştir.

Topraklarda bulunan yarayışlı Cu ve Zn miktarları ile sırasıyla bu süreçteki P14 (0.77*, 0.83**), K14 (0.78*, 0.54), Mg14 (0.79**, 0.68*), Na14 (0.70*, 0.73*) ile korelasyonları tespit edilmiştir.

Çalışma topraklarında 21 gün su baskını sonrasında elde edilen dreanaj çözeltisindeki tespit edilen fosfor miktarının y-P (0.95**), Ca (-0.77*), Cu (0.71**), Zn (0.76**), AFeOx (0.70*), MnOx-Zn (0.78*) ile önem derecesi yüksek korelasyonları tespit edilmiştir (Çizelge 4.20).

Topraklarda bulunan yarayışlı Cu ve Zn miktarları ile sırasıyla bu süreçteki P21 (0.71*, 0.76**), K21 (0.72*, 0.50), Mg21 (0.73*, 0.70*), Na21 (0.71*, 0.60) ile korelasyonları tespit edilmiştir.

Çalışma topraklarında 40 gün su baskını sonrasında elde edilen dreanaj çözeltisindeki tespit edilen fosfor miktarının y-P (0.90**), Ca (-0.73*), Cu (0.76*), Zn (0.81**), AFeOx (0.73*), MnOx-Zn (0.81*) ile önem derecesi yüksek korelasyonları tespit edilmiştir (Çizelge 4.21).

Topraklarda bulunan yarayışlı Cu ve Zn miktarları ile sırasıyla bu süreçteki P21 (0.71*, 0.81**), K21 (0.64*, 0.48), Ca21 (-0.54, -0.79**), Mg21 (0.72*, 0.71*), Na21 (0.72*, 0.83**) ile korelasyonları tespit edilmiştir.

Çizelge 4.18. Toprakların tanımlayıcı özellikleri ile 7 gün su baskını sonrası drenaj çözeltisi özellikleri arasındaki Spearman korelasyon katsayıları

Özellik	pH7	ORP7	EC7	P7	K7	Ca7	Mg7	Na7	Fe7	Mn7	Cu7	Zn7
Kum	-0.13	0.13	-0.22	0.54	0.25	-0.10	-0.09	-0.16	0.48	-0.21	0.33	0.16
Silt	-0.10	0.10	0.30	-0.31	-0.16	0.32	0.15	0.04	-0.55	0.26	-0.42	-0.53
Kil	0.37	-0.37	0.13	-0.59	-0.39	0.03	0.01	0.15	-0.47	-0.16	-0.43	-0.13
pH	**0.79****	**-0.79****	-0.38	-0.24	-0.45	-0.60	-0.09	-0.26	0.31	0.12	0.33	-0.08
ORP	**-0.79****	**0.79****	0.38	0.24	0.45	0.60	0.09	0.26	-0.31	-0.12	-0.33	0.08
EC	-0.31	0.31	**0.89****	0.08	0.48	**0.68***	**0.64***	0.42	**-0.70***	0.20	-0.55	-0.28
Kireç	0.50	-0.50	-0.24	-0.18	-0.26	-0.42	-0.06	-0.37	0.29	0.28	0.35	-0.11
OM	-0.55	0.55	0.10	-0.28	0.25	0.13	-0.01	-0.18	-0.12	0.52	0.06	0.15
N	-0.55	0.55	0.10	-0.28	0.25	0.13	-0.01	-0.18	-0.12	0.52	0.06	0.15
P	-0.18	0.18	0.28	**0.98****	**0.70***	0.10	**0.70***	**0.65***	0.02	-0.01	-0.04	-0.02
K	-0.38	0.38	**0.79****	0.10	0.55	**0.65**	0.61	0.28	**-0.66***	0.18	-0.53	-0.28
Ca	0.20	-0.20	0.20	**-0.73***	-0.31	0.12	-0.18	-0.47	-0.21	0.16	-0.09	-0.13
Mg	0.09	-0.09	**0.67***	0.36	0.41	0.25	**0.90****	**0.83****	-0.54	0.21	-0.41	-0.27
Na	-0.10	0.10	**0.64***	0.06	0.18	0.37	0.62	**0.77***	**-0.64***	0.18	-0.49	-0.25
Fe	-0.15	0.15	0.07	-0.56	-0.47	0.30	-0.48	-0.12	-0.25	0.02	-0.18	-0.06
Mn	-0.60	0.60	**0.72***	-0.22	0.33	**0.65***	0.28	0.22	-0.56	0.37	-0.37	-0.06
Cu	-0.01	0.01	0.42	**0.81****	**0.84****	0.03	**0.81****	0.55	0.02	0.28	0.08	0.16
Zn	0.38	-0.38	0.08	**0.84****	0.55	-0.31	**0.75***	**0.72***	0.12	-0.03	0.07	0.16
MnOx	0.14	-0.14	0.26	-0.04	0.25	-0.18	0.36	0.42	0.03	0.48	0.20	0.42
AMnOx	0.27	-0.27	0.39	0.59	0.55	-0.14	**0.78***	**0.77***	0.01	0.36	0.13	0.23
TMnOx	0.41	-0.41	0.43	0.48	0.45	-0.20	**0.77***	0.53	0.13	0.54	0.30	0.12
AFeOx	-0.21	0.21	0.48	0.62	**0.76***	0.19	**0.68***	**0.72***	-0.15	0.09	-0.12	0.29
TFeOx	0.12	-0.12	0.26	-0.03	0.15	0.03	0.27	0.60	-0.25	-0.06	-0.21	0.33
WS-Ex-Zn	-0.30	0.30	0.40	-0.06	0.21	0.59	0.11	-0.08	-0.59	0.05	-0.51	-0.39
Car-Zn	0.13	-0.13	-0.18	0.59	0.33	-0.19	0.19	0.02	0.26	-0.03	0.20	0.02
MnOx-Zn	-0.22	0.22	0.22	**0.78***	**0.83****	0.06	0.49	0.39	0.16	0.04	0.13	0.38
AFeOx-Zn	0.20	-0.20	0.53	0.16	0.31	0.25	0.52	0.24	-0.35	0.33	-0.19	-0.23
KFeOx-Zn	0.39	-0.39	-0.38	-0.19	-0.03	-0.38	-0.21	0.03	0.09	-0.22	0.03	0.53
OS-Zn	0.01	-0.01	**-0.81****	-0.37	-0.36	-0.44	**-0.81****	-0.59	0.49	-0.38	0.30	0.47
R-Zn	0.08	-0.08	**0.64***	-0.12	0.20	0.21	0.47	0.41	-0.27	0.33	-0.10	0.08
Toplam-Zn	0.22	-0.22	0.39	-0.41	-0.01	0.15	0.18	0.14	-0.38	0.31	-0.19	0.04
$NaHCO_3$-P	0.15	-0.15	0.33	-0.12	0.22	0.09	0.41	-0.04	-0.32	0.43	-0.13	-0.23
NaOH-P	0.60	-0.60	-0.15	0.20	0.12	-0.32	0.22	-0.08	0.10	-0.24	0.02	-0.01
CBD-P	0.18	-0.18	0.35	0.13	-0.04	0.42	0.36	0.28	**-0.70***	-0.26	**-0.71***	**-0.71***
Ca-P	0.39	-0.39	-0.01	0.28	0.13	-0.06	0.33	0.10	-0.22	-0.19	-0.27	-0.33
Res-P	0.16	-0.16	0.44	-0.52	-0.12	0.14	0.09	-0.19	-0.16	0.62	0.12	-0.08
Toplam-P	0.52	-0.52	0.21	0.02	-0.01	-0.06	0.41	0.04	-0.24	0.20	-0.13	-0.40

$^{*}p\leq 0.05$ $^{**}p\leq 0.01$

Çizelge 4.19. Toprakların tanımlayıcı özellikleri ile 14 gün su baskını sonrası drenaj çözeltisi özellikleri arasındaki Spearman korelasyon katsayıları

Özellik	pH14	ORP14	EC14	P14	K14	Ca14	Mg14	Na14	Fe14	Mn14	Cu14	Zn14
Kum	-0.03	0.03	-0.33	0.49	0.22	-0.31	-0.19	-0.07	0.24	-0.31	-0.07	0.02
Silt	-0.16	0.16	0.36	-0.32	-0.14	0.49	0.26	0.04	-0.22	0.19	-0.19	-0.32
Kil	0.31	-0.31	0.20	-0.55	-0.36	0.15	0.02	0.12	-0.22	-0.02	-0.03	0.01
pH	**0.72***	**-0.72***	-0.35	-0.28	-0.36	-0.33	0.04	-0.16	0.21	0.06	0.48	0.19
ORP	**-0.72***	**0.72***	0.35	0.28	0.36	0.33	-0.04	0.16	-0.21	-0.06	-0.48	-0.19
EC	-0.19	0.19	**0.93****	0.06	0.41	0.56	0.59	0.59	**-0.85****	0.18	-0.35	-0.42
Kireç	0.43	-0.43	-0.16	-0.23	-0.14	-0.19	0.13	-0.26	0.21	0.19	0.45	0.10
OM	-0.56	0.56	0.22	-0.21	0.27	0.12	0.08	-0.38	-0.02	**0.66***	0.12	0.25
N	-0.56	0.56	0.22	-0.21	0.27	0.12	0.08	-0.38	-0.02	**0.66***	0.12	0.25
P	-0.01	0.01	0.22	**0.96****	**0.68***	-0.13	0.61	0.61	-0.21	-0.18	-0.24	-0.07
K	-0.21	0.21	**0.81****	0.07	0.47	0.44	0.52	0.48	**-0.88****	0.18	-0.43	-0.32
Ca	0.16	-0.16	0.30	**-0.77***	-0.27	0.24	-0.09	-0.26	-0.24	0.26	0.19	-0.11
Mg	0.27	-0.27	**0.66***	0.37	0.38	0.15	**0.83****	**0.79****	**-0.71***	0.14	-0.18	-0.16
Na	0.02	-0.02	0.62	0.12	0.14	0.31	0.55	0.60	-0.55	0.18	-0.21	-0.20
Fe	-0.37	0.37	0.07	-0.54	-0.58	0.56	-0.42	-0.10	0.02	0.06	-0.02	-0.32
Mn	-0.55	0.55	**0.79****	-0.18	0.27	0.58	0.28	0.18	-0.53	0.45	-0.16	-0.25
Cu	0.10	-0.10	0.44	**0.77***	**0.78***	-0.07	**0.79****	**0.70***	-0.56	0.18	0.03	0.05
Zn	0.49	-0.49	0.06	**0.83****	0.54	-0.39	**0.68***	**0.73***	-0.31	-0.13	0.03	0.23
MnOx	0.09	-0.09	0.41	0.04	0.27	-0.03	0.48	0.25	-0.19	0.59	0.53	0.29
AMnOx	0.33	-0.33	0.42	0.60	0.49	-0.09	**0.79****	**0.78***	-0.52	0.28	0.27	0.11
TMnOx	0.49	-0.49	0.48	0.45	0.45	-0.10	**0.85****	0.62	-0.45	0.41	0.48	0.03
AFeOx	-0.08	0.08	0.48	**0.66***	**0.67***	-0.02	0.58	**0.68***	-0.54	0.12	-0.12	0.08
TFeOx	0.08	-0.08	0.32	0.06	0.10	0.06	0.24	0.47	-0.32	0.10	0.07	0.16
WS-Ex-Zn	-0.40	0.40	0.40	-0.16	0.04	**0.68***	0.11	0.30	**-0.68***	-0.03	-0.51	-0.46
Car-Zn	0.14	-0.14	-0.25	0.50	0.25	-0.20	0.15	0.25	-0.14	-0.18	-0.08	0.05
MnOx-Zn	-0.14	0.14	0.22	**0.77***	**0.75***	-0.14	0.42	0.49	-0.35	0.02	-0.07	0.14
AFeOx-Zn	0.15	-0.15	0.56	0.07	0.19	0.44	0.59	0.62	**-0.78***	0.19	-0.02	-0.34
KFeOx-Zn	0.15	-0.15	-0.28	-0.16	-0.12	-0.16	-0.18	0.12	-0.10	-0.02	0.16	0.46
OS-Zn	-0.16	0.16	**-0.73***	-0.31	-0.26	-0.42	**-0.76***	**-0.77***	**0.81****	-0.16	0.18	0.51
R-Zn	0.15	-0.15	**0.72***	-0.08	0.21	0.22	0.50	0.39	-0.47	0.38	0.25	-0.11
Toplam-Zn	0.09	-0.09	0.49	-0.42	-0.12	0.42	0.26	0.35	**-0.64***	0.38	0.18	-0.10
$NaHCO_3$-P	0.16	-0.16	0.39	-0.19	0.16	0.21	0.47	0.24	**-0.67***	0.39	0.03	-0.06
NaOH-P	**0.64***	**-0.64***	-0.15	0.10	0.12	-0.33	0.19	0.25	-0.30	-0.26	-0.01	0.16
CBD-P	0.18	-0.18	0.26	0.02	-0.15	0.48	0.28	0.61	**-0.65***	-0.44	**-0.65***	-0.55
Ca-P	0.39	-0.39	-0.04	0.18	0.07	-0.01	0.30	0.43	-0.45	-0.31	-0.31	-0.10
Res-P	0.10	-0.10	0.53	-0.55	-0.16	0.41	0.24	0.03	-0.45	0.61	0.43	-0.21
Toplam-P	0.53	-0.53	0.21	-0.09	-0.04	0.12	0.45	0.38	-0.55	0.06	0.02	-0.19

$^{*}p \leq 0.05$ $^{**}p \leq 0.01$

Çizelge 4.20. Toprakların tanımlayıcı özellikleri ile 21 gün su baskını sonrası drenaj çözeltisi özellikleri arasındaki Spearman korelasyon katsayıları

Özellik	pH21	ORP21	EC21	P21	K21	Ca21	Mg21	Na21	Fe21	Mn21	Cu21	Zn21
Kum	0.33	-0.33	-0.25	0.49	0.28	-0.13	-0.15	0.02	0.41	-0.44	-0.31	-0.14
Silt	-0.38	0.38	0.35	-0.35	-0.18	0.20	0.15	-0.13	-0.06	0.24	0.09	-0.32
Kil	-0.12	0.12	0.10	-0.52	-0.43	0.20	0.09	0.01	-0.60	0.21	0.20	0.14
pH	0.62	-0.62	-0.33	-0.43	-0.43	-0.52	-0.21	-0.37	0.37	0.12	0.53	-0.04
ORP	-0.62	0.62	0.33	0.43	0.43	0.52	0.21	0.37	-0.37	-0.12	-0.53	0.04
EC	-0.48	0.48	**0.88****	0.10	0.31	0.58	**0.67***	**0.65***	-0.36	0.28	-0.18	-0.16
Kireç	0.41	-0.41	-0.15	-0.36	-0.19	-0.47	-0.17	-0.44	0.49	0.11	0.49	-0.25
OM	-0.60	0.60	0.18	-0.16	0.25	-0.06	0.03	-0.35	0.18	0.33	0.32	0.39
N	-0.60	0.60	0.18	-0.16	0.25	-0.06	0.03	-0.35	0.18	0.33	0.32	0.39
P	0.26	-0.26	0.26	**0.95****	**0.73***	-0.12	**0.70***	0.56	0.31	-0.07	-0.31	-0.31
K	-0.48	0.48	**0.77***	0.13	0.33	0.54	0.61	0.50	-0.14	0.15	-0.21	-0.01
Ca	-0.20	0.20	0.25	**-0.77***	-0.39	0.21	-0.20	-0.25	-0.20	0.19	0.34	0.03
Mg	0.03	-0.03	0.62	0.35	0.28	0.16	**0.93****	**0.70***	-0.10	0.49	0.09	0.05
Na	-0.26	0.26	0.58	0.14	0.09	0.35	**0.72***	0.59	-0.41	0.56	0.08	0.18
Fe	-0.53	0.53	0.06	-0.53	-0.53	0.44	-0.43	0.10	**-0.71***	0.16	-0.14	0.06
Mn	**-0.78***	**0.78***	**0.73***	-0.09	0.24	0.54	0.38	0.36	-0.45	0.45	0.00	0.14
Cu	0.19	-0.19	0.43	**0.71***	**0.72***	-0.18	**0.73***	**0.71***	0.29	0.15	-0.10	-0.06
Zn	0.59	-0.59	0.04	**0.76***	0.50	-0.39	**0.70***	0.60	0.28	0.04	-0.05	0.02
MnOx	-0.06	0.06	0.31	0.01	0.25	-0.24	0.42	0.36	-0.25	**0.70***	0.51	0.37
AMnOx	0.28	-0.28	0.38	0.50	0.43	-0.22	**0.75***	**0.83****	0.01	0.52	0.18	0.21
TMnOx	0.43	-0.43	0.47	0.31	0.37	-0.32	**0.68***	**0.65***	0.24	0.61	0.42	0.02
AFeOx	-0.07	0.07	0.43	**0.70***	**0.65***	0.09	**0.73***	**0.81****	-0.17	0.21	-0.19	0.24
TFeOx	-0.14	0.14	0.21	0.10	0.09	0.13	0.39	0.58	**-0.69***	0.35	0.03	0.39
WS-Ex-Zn	-0.59	0.59	0.40	-0.16	-0.06	0.53	0.02	0.30	-0.18	-0.22	-0.54	-0.25
Car-Zn	0.35	-0.35	-0.19	0.42	0.21	-0.25	0.03	0.19	0.51	-0.33	-0.28	-0.08
MnOx-Zn	0.07	-0.07	0.21	**0.78***	**0.75***	-0.09	0.47	0.61	0.14	-0.12	-0.33	0.05
AFeOx-Zn	-0.08	0.08	0.55	-0.04	0.06	0.18	0.38	0.62	-0.06	0.22	-0.09	-0.22
KFeOx-Zn	0.01	-0.01	-0.39	-0.16	-0.16	-0.21	-0.22	0.13	-0.42	-0.16	-0.09	0.47
OS-Zn	0.03	-0.03	**-0.77***	-0.22	-0.15	-0.35	**-0.73***	**-0.78***	-0.03	-0.48	0.02	0.16
R-Zn	-0.13	0.13	**0.65***	-0.08	0.15	0.20	0.54	0.53	-0.42	**0.64***	0.34	0.10
Toplam-Zn	-0.32	0.32	0.41	-0.47	-0.25	0.24	0.14	0.44	-0.51	0.44	0.16	0.28
$NaHCO_3$-P	-0.13	0.13	0.37	-0.27	-0.03	0.02	0.26	0.13	0.26	0.25	0.21	0.13
NaOH-P	0.54	-0.54	-0.16	0.04	-0.02	-0.25	0.09	0.06	0.30	-0.35	-0.04	-0.06
CBD-P	-0.07	0.07	0.28	-0.02	-0.25	0.44	0.27	0.39	-0.15	-0.26	-0.52	-0.47
Ca-P	0.28	-0.28	-0.03	0.10	-0.06	-0.06	0.19	0.18	0.26	-0.35	-0.28	-0.23
Res-P	-0.24	0.24	0.50	**-0.65***	-0.30	0.16	0.01	0.18	-0.14	**0.64***	0.48	0.16
Toplam-P	0.27	-0.27	0.22	-0.22	-0.21	-0.06	0.24	0.19	0.28	0.12	0.14	-0.16

$^{*}p\leq 0.05$ $^{**}p\leq 0.01$

Çizelge 4.21. Toprakların tanımlayıcı özellikleri ile 40 gün su baskını sonrası drenaj çözeltisi özellikleri arasındaki Spearman korelasyon katsayıları

Özellik	pH40	ORP40	EC40	P40	K40	Ca40	Mg40	Na40	Fe40	Mn40	Cu40	Zn40
Kum	0.33	-0.33	-0.18	0.42	0.24	0.08	-0.10	-0.08	0.57	-0.43	-0.27	-0.14
Silt	-0.26	0.26	0.25	-0.35	-0.22	-0.08	0.12	0.02	-0.43	0.14	0.10	-0.32
Kil	-0.28	0.28	0.02	-0.47	-0.38	0.02	-0.02	0.08	**-0.67***	0.25	-0.01	0.14
pH	**0.68***	**-0.68***	-0.30	-0.37	-0.35	-0.42	-0.18	-0.20	0.09	0.10	-0.02	-0.04
ORP	**-0.68**	**0.68**	0.30	0.37	0.35	0.42	0.18	0.20	-0.09	-0.10	0.02	0.04
EC	-0.45	0.45	**0.75***	0.09	0.15	0.14	0.54	0.50	**-0.81****	0.27	0.34	-0.16
Kireç	**0.67***	**-0.67***	-0.12	-0.32	-0.13	-0.35	-0.15	-0.28	0.07	0.07	0.07	-0.25
OM	-0.30	0.30	0.20	-0.08	0.24	0.01	0.09	-0.20	0.07	0.31	0.51	0.39
N	-0.30	0.30	0.20	-0.08	0.24	0.01	0.09	-0.20	0.07	0.31	0.51	0.39
P	0.13	-0.13	0.30	**0.90****	**0.65***	-0.47	**0.71***	**0.73***	0.16	-0.21	0.14	-0.31
K	-0.44	0.44	**0.64***	0.13	0.12	0.13	0.50	0.42	**-0.63***	0.14	0.33	-0.01
Ca	0.03	-0.03	0.18	**-0.73***	-0.41	0.33	-0.30	-0.41	-0.57	0.30	0.08	0.03
Mg	-0.19	0.19	0.60	0.37	0.18	-0.42	**0.89****	**0.88****	-0.55	0.38	0.46	0.05
Na	-0.50	0.50	0.56	0.15	0.03	-0.13	**0.70***	**0.70***	-0.60	0.49	0.39	0.18
Fe	-0.54	0.54	-0.03	-0.54	-0.44	0.56	-0.44	-0.30	-0.27	0.27	-0.12	0.06
Mn	**-0.65***	**0.65***	**0.67***	-0.08	0.16	0.36	0.32	0.19	-0.61	0.48	0.46	0.14
Cu	0.20	-0.20	0.39	**0.76***	**0.64***	-0.54	**0.72***	**0.72***	-0.04	0.08	0.48	-0.06
Zn	0.33	-0.33	0.06	**0.81****	0.48	**-0.79****	**0.71***	**0.83****	0.12	-0.07	0.25	0.02
MnOx	0.01	-0.01	0.36	0.13	0.38	-0.32	0.43	0.37	-0.31	**0.71***	**0.69***	0.37
AMnOx	0.15	-0.15	0.39	0.59	0.44	-0.59	**0.77***	**0.83****	-0.18	0.47	0.61	0.21
TMnOx	0.48	-0.48	0.52	0.38	0.38	-0.58	**0.71***	**0.65***	-0.24	0.56	**0.65***	0.02
AFeOx	-0.24	0.24	0.42	**0.73***	0.59	-0.25	**0.71***	**0.77***	-0.17	0.19	0.45	0.24
TFeOx	-0.39	0.39	0.18	0.18	0.18	-0.09	0.33	0.50	-0.45	0.39	0.30	0.39
WS-Ex-Zn	-0.49	0.49	0.13	-0.16	-0.23	0.22	-0.08	0.02	-0.36	-0.20	-0.05	-0.25
Car-Zn	0.32	-0.32	-0.24	0.43	0.13	-0.35	0.08	0.16	0.47	-0.37	-0.06	-0.08
MnOx-Zn	0.04	-0.04	0.19	**0.81****	**0.68***	-0.26	0.45	0.52	0.17	-0.13	0.28	0.05
AFeOx-Zn	0.01	-0.01	0.37	0.01	-0.04	-0.20	0.31	0.38	-0.49	0.22	0.32	-0.22
KFeOx-Zn	-0.14	0.14	-0.54	-0.02	-0.04	-0.22	-0.27	0.01	0.02	-0.06	0.03	0.47
OS-Zn	0.10	-0.10	**-0.72***	-0.20	0.02	0.14	**-0.72***	**-0.68***	0.51	-0.41	-0.39	0.16
R-Zn	-0.10	0.10	**0.66***	-0.04	0.18	0.03	0.47	0.41	**-0.72***	**0.67***	0.51	0.10
Toplam-Zn	-0.28	0.28	0.25	-0.36	-0.24	0.04	0.07	0.15	**-0.64***	0.54	0.41	0.28
$NaHCO_3$-P	0.04	-0.04	0.24	-0.18	-0.16	-0.26	0.24	0.13	-0.31	0.24	0.42	0.13
NaOH-P	0.47	-0.47	-0.26	0.09	-0.09	-0.39	0.02	0.13	-0.02	-0.33	-0.12	-0.06
CBD-P	-0.28	0.28	0.06	-0.07	-0.43	-0.10	0.16	0.37	-0.46	-0.33	-0.30	-0.47
Ca-P	0.16	-0.16	-0.20	0.13	-0.19	-0.43	0.13	0.27	-0.06	-0.41	-0.16	-0.23
Res-P	0.04	-0.04	0.45	-0.58	-0.30	0.20	-0.01	-0.14	-0.53	**0.73***	0.50	0.16
Toplam-P	0.30	-0.30	0.10	-0.18	-0.32	-0.37	0.20	0.21	-0.30	0.08	0.14	-0.16

$^{*}p \leq 0.05$ $^{**}p \leq 0.01$

Toprakların temel karakteristik özellikleri ve su baskını sürelerinden sonra drenaj çözeltisinde ölçülen ve redoks reaksiyonlarında doğrudan veya dolaylı olarak yer alan toprak özellikler ile yapılan temel bileşen analizinde beş temel bileşen ile kümülatif olarak yaklaşık %65'lik bir değeri açıklayabilmek mümkün olmaktadır (Çizelge 4.22).

Çizelge 4.22. Toprak özellikleri ve su baskını sonrası drenaj çözeltisi ölçümlerinde temel bileşen analizi ile açıklanan toplam varyans

Bileşen	Başlıca Özdeğerler[a]		
	Özdeğer	Açıklanan Varyans Yüzdesi	Açıklanan Kümülatif Yüzde
1	8.1	17.2	17.2
2	7.4	15.7	32.9
3	5.9	12.6	45.4
4	4.3	9.2	54.7
5	3.8	8.1	62.8
6	2.6	5.5	68.3
7	2.4	5.1	73.4
8	2.0	4.3	77.7
9	1.8	3.8	81.6
10	1.4	3.1	84.6
11	1.4	2.9	87.6
12	1.2	2.5	90.1
13	0.9	1.9	92.0
14	0.8	1.8	93.8
15	0.6	1.2	95.1
16	0.5	1.0	96.1
17	0.4	0.8	96.9
18	0.3	0.6	97.5
19	0.3	0.6	98.1
20	0.2	0.4	98.5
21	0.2	0.4	99.0

a Ekstraksiyon yöntemi: Temel bileşen analizi

Bileşen matrisine göre; Car-Zn, EC, P, K, Mg, Na, Cu, Zn, P-d, K-d, Ca-d, Mg-d, Na-d'nin pozitif yönde olmak üzere PC1 üzerine etkisi bulunmaktadır (Çizelge 4.23). AMnOx, WS-Ex-Zn, Car-Zn, AFeOx-Zn, $NaHCO_3$-P, NaOH-P, CBD-P, Ca-P, Toplam-P'nin pozitif yönde OM, N, MnOx, OS-Zn'nin ise negatif yönde olmak üzere PC2 üzerine etkisi bulunmaktadır.

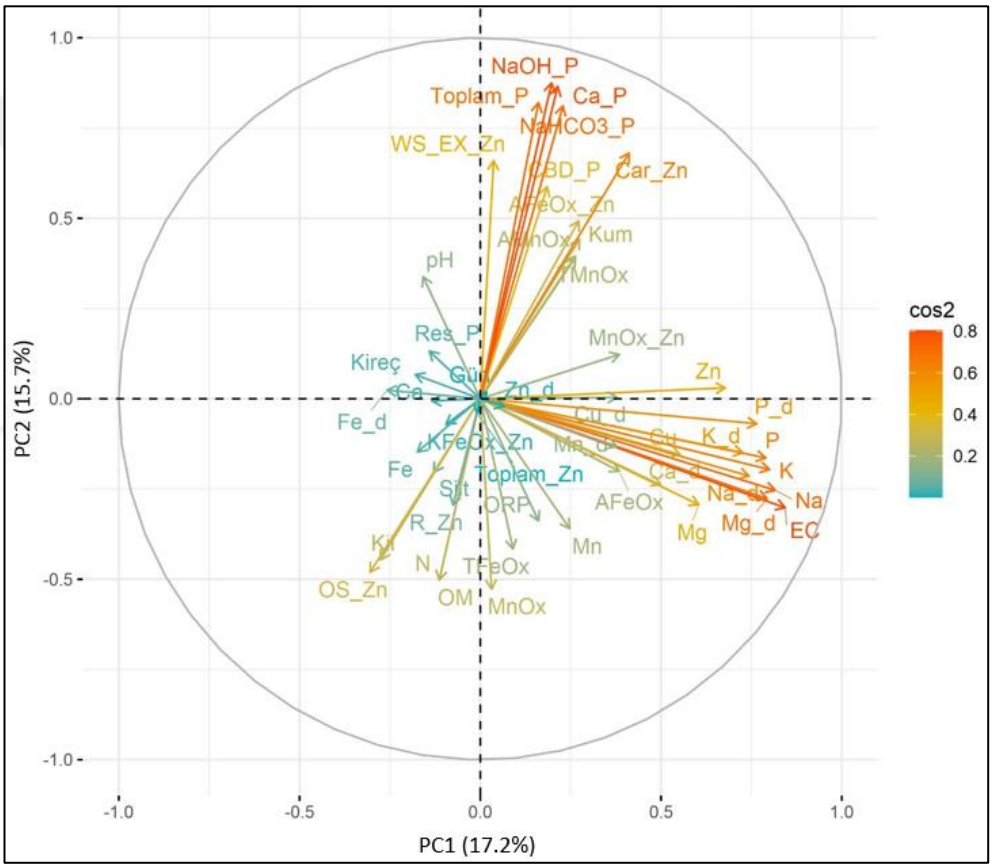
Çizelge 4.23. Toprak özellikleri ve su baskını sonrası drenaj çözeltisi ölçümlerinde temel bileşenlere ait yükleme değerleri

Özellik	Bileşen[a,b]				
	1	2	3	4	5
Kum	0.275	0.442	-0.704	0.093	-0.309
Silt	-0.128	-0.204	0.326	-0.548	0.133
Kil	-0.276	-0.446	0.709	0.121	0.316
Kireç	-0.180	0.067	-0.020	-0.516	0.365
OM	-0.113	-0.502	0.242	-0.155	-0.129
N	-0.113	-0.502	0.242	-0.155	-0.129
MnOx	0.031	-0.527	0.425	0.617	0.174
AMnOx	0.263	0.395	-0.033	0.577	0.059
TMnOx	0.263	0.392	-0.005	0.587	0.077
AFeOx	0.385	-0.201	0.082	0.385	-0.450
TFeOx	0.090	-0.416	0.496	0.688	0.007
WS-Ex-Zn	0.037	0.660	0.454	-0.302	-0.125
Car-Zn	0.412	0.681	-0.215	0.461	-0.130
MnOx-Zn	0.385	0.123	-0.301	0.623	-0.211
AFeOx-Zn	0.273	0.493	0.701	0.061	-0.176
KFeOx-Zn	-0.095	-0.071	0.337	0.353	0.127
OS-Zn	-0.305	-0.481	-0.017	0.081	0.167
R-Zn	-0.075	-0.295	0.761	0.327	0.220
Toplam-Zn	-0.010	-0.040	0.894	0.358	0.142
$NaHCO_3$-P	0.229	0.811	0.360	0.095	-0.081
NaOH-P	0.197	0.875	0.267	0.069	0.004
CBD-P	0.185	0.588	0.485	-0.347	-0.275
Ca-P	0.214	0.865	0.245	-0.234	-0.030
Res-P	-0.141	0.132	0.816	-0.078	0.195
Toplam-P	0.161	0.820	0.500	-0.186	-0.009
pH	-0.158	0.338	-0.016	-0.006	0.754
ORP	0.161	-0.338	0.011	0.010	-0.752
EC	0.844	-0.302	0.119	-0.254	-0.041
P	0.790	-0.164	-0.048	-0.162	0.398
K	0.800	-0.196	0.177	-0.259	-0.091
Ca	-0.134	-0.006	0.384	-0.351	-0.092
Mg	0.604	-0.293	0.251	0.004	-0.312
Na	0.816	-0.253	0.009	-0.224	0.202
Fe	-0.174	-0.147	0.218	0.043	-0.410
Mn	0.247	-0.360	0.232	-0.015	-0.628
Cu	0.553	-0.154	0.064	0.156	-0.275
Zn	0.678	0.030	-0.123	0.229	0.479
P-d	0.765	-0.069	-0.208	0.078	0.307
K-d	0.727	-0.149	-0.096	-0.083	0.392
Ca-d	0.499	-0.239	0.134	-0.320	-0.221
Mg-d	0.794	-0.277	0.097	-0.178	0.012
Na-d	0.744	-0.214	0.021	-0.226	0.241
Fe-d	-0.258	0.024	-0.198	0.217	0.219
Mn-d	0.378	-0.132	0.059	-0.175	0.048
Cu-d	0.378	0.004	-0.103	0.165	0.306
Zn-d	0.067	-0.021	-0.059	0.062	0.135

a Ekstraksiyon yöntemi: Temel bileşen analizi

b Beş bileşen tespit edildi

Temel toprak özelliklerinin inkübasyonun değişen zamanlardaki drenaj çözeltisine etkisinde birim çemberde gösterimi ile PC1 ve PC2'nin fonksiyonu olarak vektörel büyüklüğü ve yükleme değerini gösteren şekilde yarıçapı 1 olan ve orjini (0,0) noktasında bulunan bir korelasyon çemberi görülmektedir (Şekil 4.15). Değişkenler ise vektör büyüklükler ile ifade edilmiştir. Bu vektörler çembere yaklaştıkça ilgili değişkenin temel bileşenler analizinde önemli bir yere sahip olduğu söylenebilir. Toprak özelliğinin ordinata olan uzaklığı; özelliğin PC1 ile pozitif veya negatif yükleme değerlerine sahip olma oranını, apsise olan uzaklığı ise özelliğin PC2 ile pozitif veya negatif yükleme değerlerine sahip olma oranını ifade etmektedir.



Şekil 4.15. Birim çemberde PC1-PC2'ye göre toprak ve drenaj çözeltisi özelliklerinin vektörel gösterimi

Drenaj çözeltisinde bulunan P (P-d) değişkenine ait vektöre bakıldığında, orjinden birinci temel bileşen bakımından çok fazla uzaklaşmışken, ikinci temel bileşen bakımından oldukça az uzaklaşmıştır. Bu değişkenin ilk temel bileşene katkısı %76.5 iken ikinci temel bileşene katkısı ise az miktarda olup yaklaşık %7'dir. Bu yüzden birinci temel bileşen bakımından orjinden uzaklaşırken ikinci temel bileşen

bakımından çok fazla uzaklaşmamıştır. Bu durum tekstürün ve diğer temel toprak özelliklerinin bir fonksiyonu olarak ortaya çıkmaktadır.

Ayrıca bu grafikle değişkenler arasındaki ilişkide ortaya konmaktadır. Buna göre orjine göre aynı istikamette olan değişkenler arasında pozitif bir ilişki varken, orjine göre ters istikamette olan değişkenler arasında ise negatif ilişki vardır. Bu durum birim çemberde negatif yüklü korelasyonun farklı açıdan bir göstergesi olarak ön plana çıkmaktadır.

Bu topraklarda $NaHCO_3$-P, NaOH-P, CBD-P, Ca-P, Toplam-P'nin birbirleriyle korelasyonları ve pozitif yönlü interaksiyonları tespit edilmiştir. Fosforun bu fraksiyonları, çalışma topraklarında PC2 için sırasıyla yaklaşık %81, %88, %59, %87 ve %82 oranında sisteme etki etmekte olduğu tespit edilmiştir. Söz konusu fraksiyonlar PC1 için yaklaşık olarak sırasıyla %23, %20, %19, %22 ve %16 oranında etki etmekte olduğu görülmektedir. Ancak toprakların Res-P fraksiyonu PC1 ve PC2 üzerine sırasıyla %14 (negatif) ve %13 oranında etki ederek topraklardaki diğer fosfor fraksiyonlarından farklı bir davranış sergilemektedir. Topraklara aşırı fosforlu gübreleme uygulamalarının etkisiyle fosfor fraksiyonlarının birim çemberdeki etkisi PC2'de büyük etkileşim şeklinde ortaya çıkmaktadır.

Ayrıca toprakların tekstürü göz önüne alındığında kil fraksiyonunun genel olarak kum fraksiyonu ile zıt yönlü ve aynı büyüklükte yükleme değerlerine sahip olduğu ve temel bileşen matrislerine antagonistik etkide bulundukları tespit edilmiştir.

4.2.2. Su baskını sonrası yapılan drenajın bitki besin elementlerine etkisi

Toprakların su baskını sürelerinden sonra elde edilen drenaj çözeltisinde ölçülen ve redoks reaksiyonlarında doğrudan veya dolaylı olarak yer alan toprak özellikler ile yapılan temel bileşen analizinde beş temel bileşen ile kümülatif olarak yaklaşık %80'lik bir değeri açıklayabilmek mümkün olmaktadır (Çizelge 4.24).

Çizelge 4.24. Su baskını sonrası drenaj çözeltisi ölçümlerinde temel bileşen analizi ile açıklanan toplam varyans

Bileşen	Başlıca Özdeğerler[a]		
	Özdeğer	Açıklanan Varyans Yüzdesi	Açıklanan Kümülatif Yüzde
1	7.6	34.7	34.7
2	3.6	16.5	51.3
3	2.6	11.6	62.9
4	2.0	9.0	71.9
5	1.4	6.4	78.4
6	1.0	4.5	82.9
7	0.9	4.1	87.0
8	0.7	3.0	89.9
9	0.6	2.8	92.7
10	0.4	1.7	94.4
11	0.3	1.4	95.8
12	0.2	1.1	96.9
13	0.2	0.9	97.8
14	0.1	0.5	98.4
15	0.1	0.4	98.8
16	0.1	0.4	99.2
17	0.1	0.3	99.4
18	0.1	0.2	99.7
19	0.0	0.1	99.8
20	0.0	0.1	99.9
21	0.0	0.1	100

a Ekstraksiyon yöntemi: Temel bileşen analizi

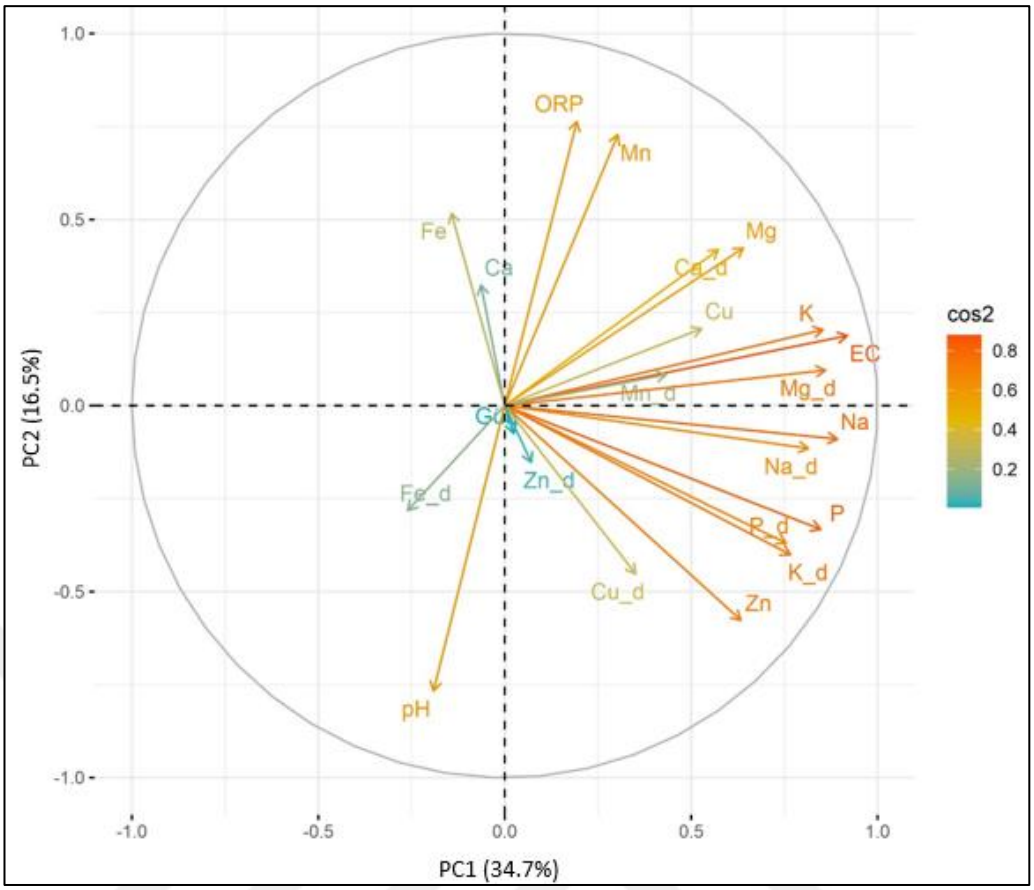
Bileşen matrisine göre EC, P, K, Mg, Na, Cu, Zn, P-d, K-d, Ca-d, Mg-d, Na-d'nin pozitif yönde olmak üzere PC1 üzerine etkisi bulunmaktadır (Çizelge 4.25). Redoks potansiyeli (ORP), Fe, Mn'nin pozitif yönde; pH, Zn'nin ise negatif yönde olmak üzere PC2 üzerine etkisi bulunmaktadır.

Çizelge 4.25. Su baskını sonrası drenaj çözeltisi ölçümlerinde temel bileşenlere ait yükleme değerleri

Özellik	Bileşen[a,b]				
	1	2	3	4	5
Gün	0.024	-0.075	0.481	0.672	0.246
pH	-0.191	-0.767	0.336	0.433	0.010
ORP	0.194	0.764	-0.336	-0.432	-0.015
EC	0.919	0.188	0.251	-0.010	0.102
P	0.848	-0.333	0.160	-0.171	-0.153
K	0.854	0.204	0.147	-0.068	-0.171
Ca	-0.064	0.324	0.658	-0.348	0.083
Mg	0.640	0.423	-0.242	0.375	-0.016
Na	0.893	-0.090	0.163	-0.101	-0.205
Fe	-0.143	0.517	0.015	0.104	0.117
Mn	0.303	0.728	-0.384	0.288	0.091
Cu	0.528	0.207	-0.618	0.450	-0.013
Zn	0.633	-0.577	-0.273	0.161	0.096
P_d	0.755	-0.370	-0.284	-0.054	-0.256
K_d	0.767	-0.401	-0.071	-0.215	-0.055
Ca_d	0.573	0.419	0.486	-0.173	-0.005
Mg_d	0.860	0.095	0.014	0.314	0.158
Na_d	0.815	-0.115	0.294	-0.243	-0.012
Fe_d	-0.261	-0.282	-0.413	-0.345	0.188
Mn_d	0.433	0.083	0.233	0.061	0.732
Cu_d	0.351	-0.452	-0.466	-0.231	0.316
Zn_d	0.071	-0.152	-0.143	-0.348	0.666

a Ekstraksiyon yöntemi: Temel bileşen analizi
b Beş bileşen tespit edildi

Topraklardaki bazı bitki besin elementlerinin su baskını inkübasyonunda değişen zamanlardaki drenaj çözeltisine etkisinde birim çemberde gösterimi ile PC1 ve PC2'nin fonksiyonu olarak vektörel büyüklüğü ve yükleme değerini gösteren şekilde yarıçapı 1 olan ve orjini (0,0) noktasında bulunan bir korelasyon çemberi görülmektedir (Şekil 4.16). Değişkenler ise vektör büyüklükler ile ifade edilmiştir. Bu vektörler çembere yaklaştıkça ilgili değişkenin temel bileşenler analizinde önemli bir yere sahip olduğu söylenebilir. Toprak özelliğinin ordinata olan uzaklığı özelliğin PC1 ile pozitif veya negatif yükleme değerlerine sahip olma oranını, apsise olan uzaklığı ise özelliğin PC2 ile pozitif veya negatif yükleme değerlerine sahip olma oranını ifade etmektedir.



Şekil 4.16. Birim çemberde PC1-PC2'ye göre drenaj çözeltisi özelliklerinin vektörel gösterimi

ORP ile pH arasında kuvvetli bir negatif yönlü korelasyon bulunmaktadır. Gerek PC1 yönünden gerekse PC2 yönünden zıt yönde ve yaklaşık aynı büyüklükte bir vektörel büyüklük söz konusudur. ORP ve pH'nın PC1 üzerine sırasıyla 0.194 ve -0.191 olmak üzere, PC2 üzerine sırasıyla 0.764 ve -0.767 olmak üzere etkisi tespit edilmiştir. Bu durum bilindiği üzere su altında kalan topraklarda oluşan redoks reaksiyonlarının toprak reaksiyonu ile ne kadar çok interaksiyonda olduğunu doğrular nitelikte olup bu oranı farklı bir açıdan göstermektedir.

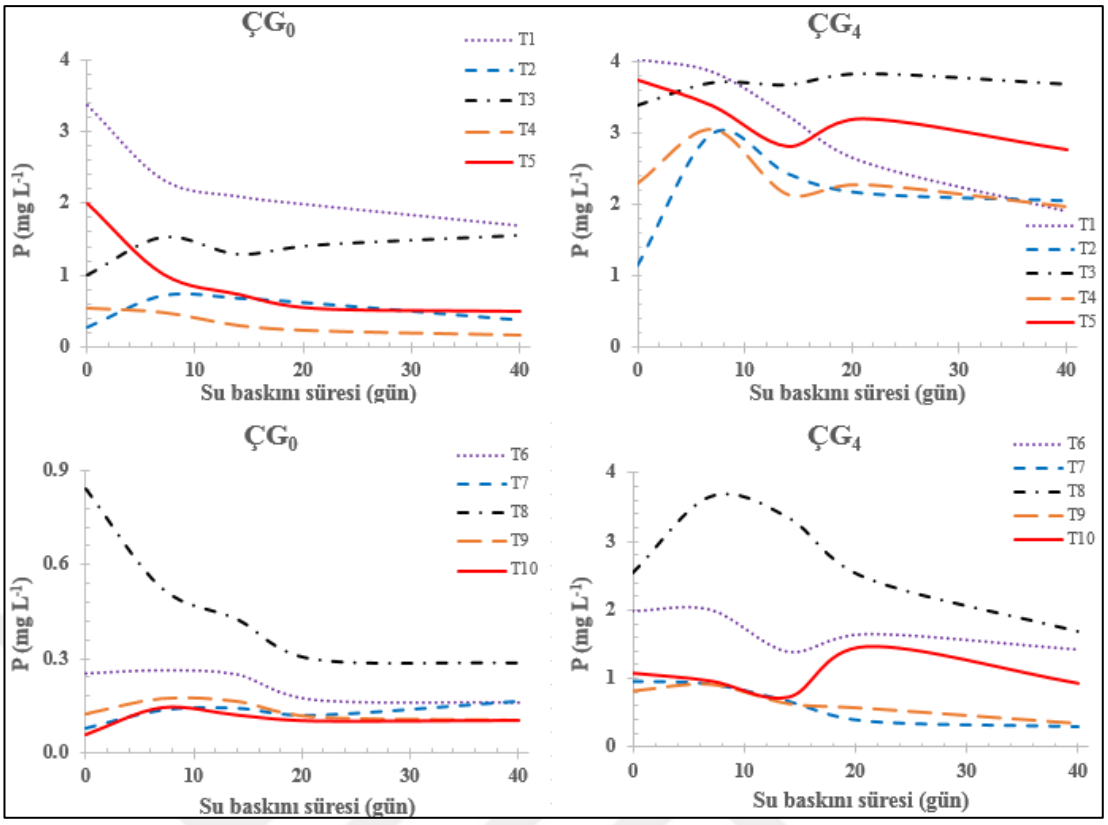
Drenaj çözeltisinde bulunan P (P-d) değişkenine ait vektöre bakıldığında, orjinden birinci temel bileşen bakımından çok fazla uzaklaşmışken, ikinci temel bileşen bakımından oldukça az uzaklaşmıştır. Bu değişkenin ilk temel bileşene katkısı %75.5 iken ikinci temel bileşene katkısı ise az miktarda ve negatif yönde olup yaklaşık %30.7'dir. Bu yüzden birinci temel bileşen bakımından orjinden uzaklaşırken ikinci temel bileşen bakımından çok fazla uzaklaşmamıştır. Bu durum temel toprak özelliklerinin bir fonksiyonu olarak ortaya çıkmaktadır.

Bu grafikle değişkenler arasındaki ilişkide ortaya konmaktadır. Buna göre orjine göre aynı istikamette olan değişkenler arasında pozitif bir ilişki varken, orjine göre ters istikamette olan değişkenler arasında ise negatif ilişki vardır. Bu durum birim çemberde negatif yüklü korelasyonun farklı açıdan bir göstergesi olarak ön plana çıkmaktadır. Toprakta bulunan fosfor miktarı arttıkça drenaj çözeltisinde bulunan fosfor miktarında da artış tespit edilmiştir. Bu durum toprakların aşırı derecede fosforlu gübreler uygulanmasının etkisiyle toprağın adsorpsiyon mekanizmalarında doygunluğa ulaşma noktalarına yaklaştığının bir fonksiyonu olarak ortaya çıkmaktadır.

4.2.3. Çiftlik gübresinin ve su baskını süresinin drenaj çözeltisinde bazı elementlere etkisi

Toprakların drenaj çözeltilerinde su baskını altında bırakılma sonucunda oluşan redoks reaksiyonlarından doğrudan ve dolaylı olarak en fazla etkilenen toprak özelliklerinden P, Fe, Mn, Cu, Zn analiz sonuçları ile su baskını sürelerinin fonksiyonunda toprak sisteminden kaybı incelenerek aşağıdaki şekiller hazırlanmıştır. Drenaj çalışmasında araştırılan diğer toprak özellikleri genellikle pH'nın etkisiyle değişimler göstermekte olup doğrudan ya da dolaylı olarak redoks reaksiyonlarında görev almadığı için bu bağlamda değerlendirmeye alınmamıştır.

Toprakların su baskını altında bırakılması sonucunda elde edilen drenaj çözeltilerinde fosfor miktarında ilk günlerde yüksek kayıplar tespit edilmiştir. Su baskınının ilerleyen günlerinde farklı adsorpsiyon mekanizmalarının sisteme dahil olması sonucunda fosfor miktarında düşüş tespit edilmiştir. Bu durum 8. toprak örneğinde en yüksek oranına ulaşmış ve yaklaşık iki kata kadar azalış tespit edilmiştir (Şekil 4.17).

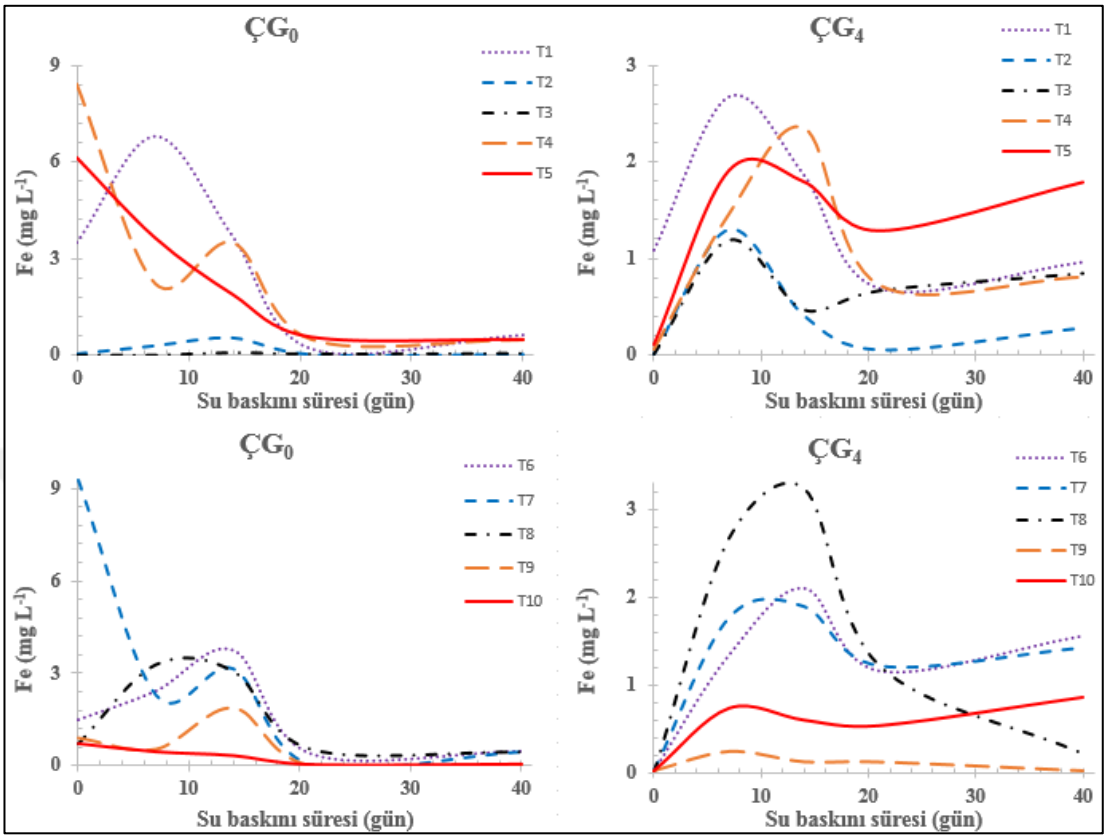


Şekil 4.17. Çiftlik gübresinin ve su baskını süresinin drenaj çözeltisindeki fosfor miktarına etkisi

Ayrıca çalışmada kullanılan çiftlik gübresinde bulunan fosforun büyük bir kısmı (labil-P ve CBD-P) sisteme yarayışlı fosfor fraksiyonuna benzer bir davranışta bulunmakta (Uygur ve Karabatak, 2009) olup fosfor stabilizasyon mekanizmasının değişmesi neticesinde çiftlik gübresi ilave edilmemiş topraklara göre su baskınının ilk günlerinde nispeten daha yüksek fosfor miktarı tespit edilmiştir. Su baskınının ilerleyen günlerinde drenaj çözeltisindeki fosfor miktarları azalma eğilimi göstermiş olup bu durumun su baskını ile oluşan indirgen koşullardaki fosfor adsorpsiyonundaki artışın bir fonksiyonu olarak ortaya çıktığı ifade edilebilmektedir.

Toprakların su baskını altında bırakılması sonucunda elde edilen drenaj çözeltilerinde demir miktarında ilk günlerde yüksek kayıplar tespit edilmiştir. Su baskınının ilerleyen günlerinde farklı adsorpsiyon mekanizmalarının sisteme dahil olması sonucunda demir miktarında düşüş tespit edilmiştir. Özellikle su baskınının 21. gününden itibaren toprakların demir kayıpları çok az bir düzeyde gerçekleşmiştir. Bu hızlı şekildeki demir kaybı azalışı 4. ve 7. toprak örneğinde en yüksek oranına ulaşmış ve yaklaşık dokuz kata kadar olacak şekilde tespit edilmiştir (Şekil 4.18). Su baskını neticesinde

oluşan redoks reaksiyonlarında ilk 21 günlük süreçte sistemde bulunan demirin farklı fraksiyonlarındaki oksijenin tükenmesi ile bu durum izah edilebilmektedir.

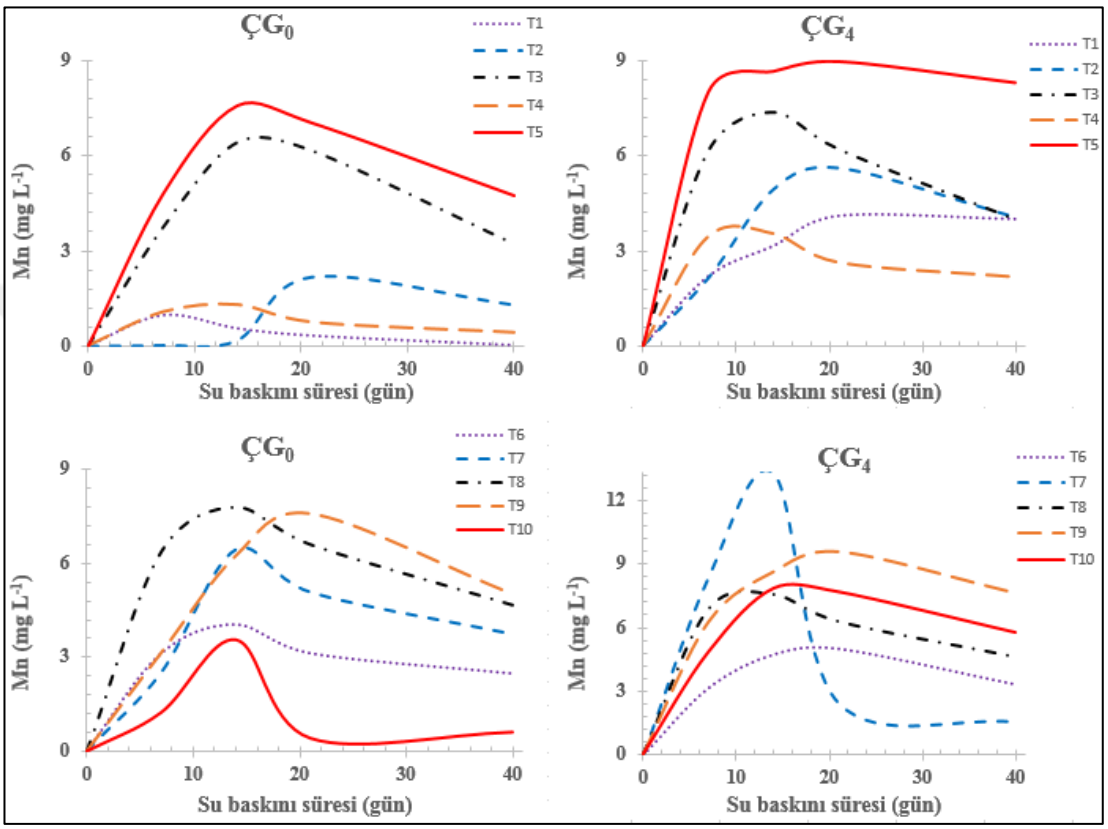


Şekil 4.18. Çiftlik gübresinin ve su baskını süresinin drenaj çözeltisindeki demir miktarına etkisi

Çalışmada kullanılan çiftlik gübresinde bulunan demirin ortama ilavesi neticesinde çiftlik gübresi ilave edilmemiş topraklara göre su baskınının ilk günlerinde nispeten daha yüksek demir miktarları tespit edilmiştir. Su baskınının 7-14 günleri arasında bu durum artış göstermiştir. Su baskınının ilerleyen günlerinde ise drenaj çözeltisindeki demir miktarları azalma eğilimi göstermiş olup bu durumun su baskını ile oluşan indirgen koşullardaki demir adsorpsiyonundaki artışın bir fonksiyonu olarak ortaya çıktığı ifade edilebilmektedir.

Toprakların su baskını altında bırakılması sonucunda elde edilen drenaj çözeltilerinde mangan miktarında ilk günlerde yüksek kayıplar tespit edilmiştir. Özellikle su baskınının 14. gününden itibaren toprakların mangan kayıpları nispeten daha az bir düzeyde gerçekleşmiştir. Bu hızlı şekildeki mangan kaybı azalışı 3. ve 5. toprak örneğinde en yüksek oranına ulaşmış ve yaklaşık %50 seviyesine ulaştığı tespit

edilmiştir (Şekil 4.19). Su baskını neticesinde oluşan redoks reaksiyonlarında ilk 14 günlük süreçte sistemde bulunan Mn okaitlerin farklı fraksiyonlarındaki oksijeni tüketmesi ile bu durum izah edilebilmektedir. Su baskınının ilerleyen günlerinde farklı adsorpsiyon/çökelme reaksiyonlarının devreye girmesi neticesinde çözelti fazındaki mangan miktarında düşüş tespit edilmiştir.

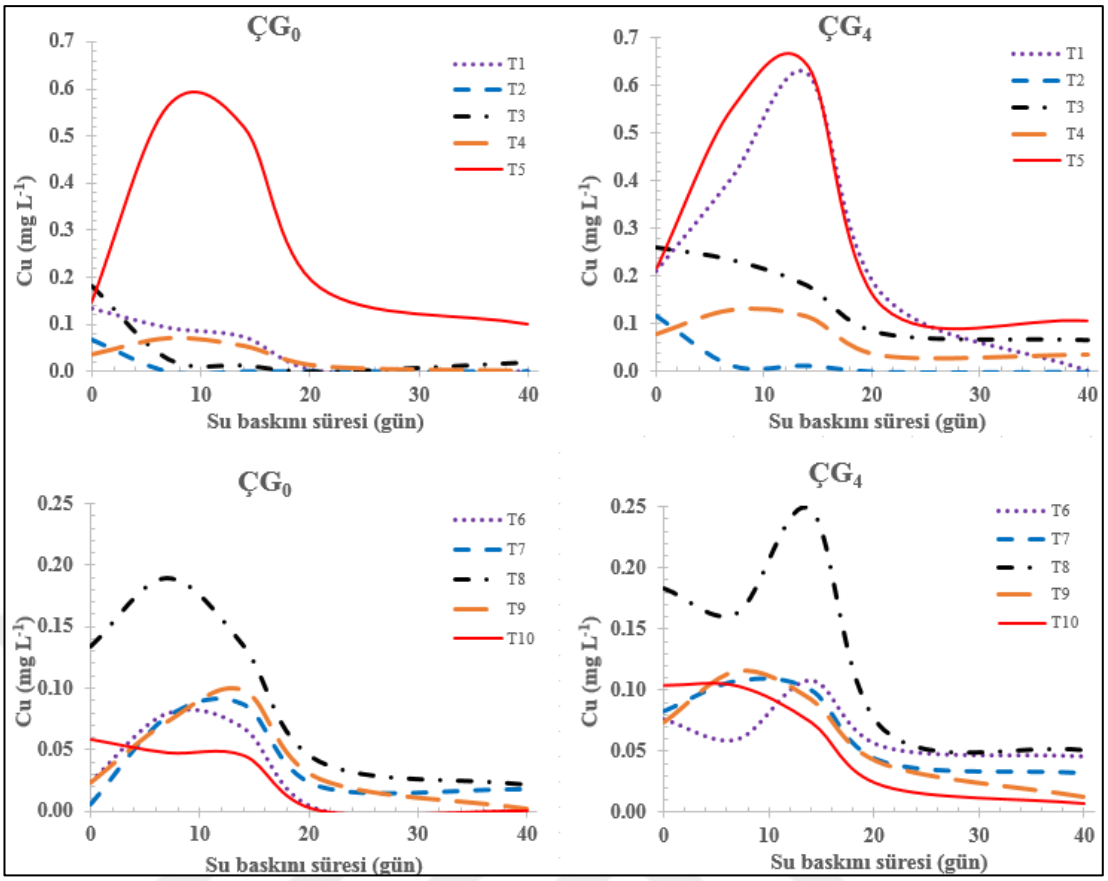


Şekil 4.19. Çiftlik gübresinin ve su baskını süresinin drenaj çözeltisindeki mangan miktarına etkisi

Topraklara ilave edilen çiftlik gübresi veya taze organik madde yeni elektron sağlayıcı olarak redoks reaksiyonlarının hızlanmasına neden olmaktadır. Bu durum hem OM'nin yapısında bulunan hem de toprakta bulunan Mn oksitlerin hızla indirgenerek toprak çözeltisine geçmesine neden olmaktadır. Bu süreçte OM'nin daha fazla elektron sağlaması DTPA-Mn içeriğinin daha yüksek konsantrasyonlara ulaşmasında birincil rol oynadığı düşünülmektedir. Bu durum genel olarak su baskınının 14. gününe kadar olan süreçte artış göstermiştir. Su baskınının ilerleyen günlerinde ise drenaj çözeltisindeki mangan miktarları azalma eğilimi göstermiş olup su baskını ile oluşan indirgen koşullardaki mangan adsorpsiyonundaki artışın etkisinin göstergesi olarak ortaya çıktığı ifade edilebilmektedir.

Toprakların su baskını altında bırakılması sonucunda elde edilen drenaj çözeltilerinde bakır miktarında ilk günlerde bazı topraklarda yüksek kayıplar tespit edilmiştir. Su baskınının ilerleyen günlerinde p*e* + p*H* değerindeki değişimin bir etkisi olarak redoks reaksiyonlarına dahil olan elementlerden başta $Cu_2Fe_2O_4$ (cuprous ferrite) minerali halinde Fe olmak üzere farklı adsorpsiyon mekanizmalarının sisteme dahil olması sonucunda bakır miktarında düşüş tespit edilmiştir. Topraklara ilave edilen çiftlik gübresininde yapısında bulunan bakırın ilavesi neticesinde redoks reaksiyonları ile artan Fe^{+2} konsantrasyonunun bu reaksiyonlar artırmasıyle $Cu_2Fe_2O_4$ (cuprous ferrite) mineralinin Cu'nun çözünürlük ilişkilerinde ön plana çıktığı düşünülmektedir. Bunun bir etkisi olarak özellikle su baskınının 21. gününden itibaren toprakların bakır kayıpları çok az bir düzeyde gerçekleşmiştir. Bu hızlı şekildeki bakır kaybı azalışı 5. ve 8. toprak örneğinde en yüksek oranına ulaşmış ve yaklaşık altı kata kadar olacak şekilde tespit edilmiştir (Şekil 4.20). Daha kısa bir ifade ile su baskını neticesinde oluşan redoks reaksiyonlarında ilk 21 günlük süreçte sistemde bulunan bakırın özellikle demir başta olmak üzere diğer elementler ile bileşik formlarında bulunduğu ve bu süreçte demirin farklı fraksiyonlarındaki oksijenin tükenmesi ile bu durum izah edilebilmektedir.

Çalışmada kullanılan çiftlik gübresinde bulunan bakırın ortama ilavesi neticesinde çiftlik gübresi ilave edilmemiş topraklara göre su baskınının ilk günlerinde nispeten daha yüksek bakır miktarları tespit edilmiştir. Su baskınının 7-14 günleri arasında bu durum artış göstermiştir. Su baskınının ilerleyen günlerinde ise drenaj çözeltisindeki bakır miktarları azalma eğilimi göstermiş olup bu durumun bakırın özellikle demir başta olmak üzere diğer elementler ile bileşik formlarında bulunduğu ve su baskını ile oluşan indirgen koşullardaki demir adsorpsiyonundaki artışın bir fonksiyonu olarak ortaya çıktığı ifade edilebilmektedir.

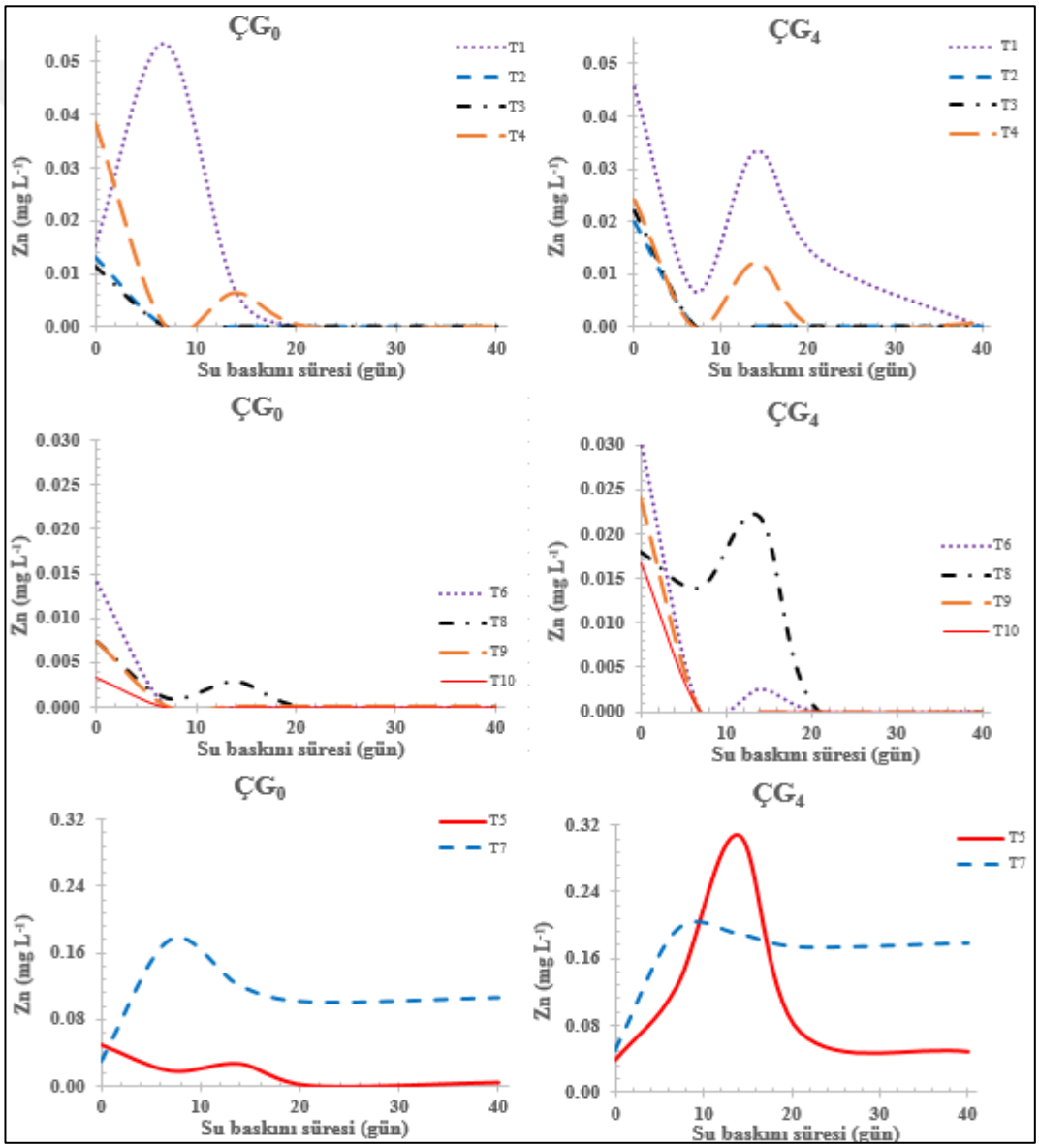


Şekil 4.20. Çiftlik gübresinin ve su baskını süresinin drenaj çözeltisindeki bakır miktarına etkisi

Toprakların su baskını altında bırakılması sonucunda elde edilen drenaj çözeltilerinde çinko miktarında ilk günlerde yüksek kayıplar tespit edilmiştir. Özellikle su baskınının 14. gününden itibaren toprakların çinko kayıpları nispeten daha az bir düzeyde gerçekleşmiştir. Bu hızlı şekildeki çinko kaybı azalışı 1. ve 4. toprak örneğinde en yüksek oranına yaklaşık beş kat ile ulaştığı tespit edilmiştir (Şekil 4.21). Su baskını neticesinde oluşan redoks reaksiyonlarında ilk 14 günlük süreçte sistemde bulunan çinkonun özellikle mangan başta olmak üzere diğer elementler ile bileşik formlarında bulunduğu ve bu süreçte manganın farklı fraksiyonlarındaki oksijenin tükenmesi ile bu durum izah edilebilmektedir. Su baskınının ilerleyen günlerinde farklı adsorpsiyon mekanizmalarının sisteme dahil olması sonucunda çinko miktarında düşüş tespit edilmiştir.

Çalışmada kullanılan çiftlik gübresinde bulunan çinkonun ortama ilavesi neticesinde çiftlik gübresi ilave edilmemiş topraklara göre su baskınının ilk günlerinde nispeten daha yüksek çinko miktarları tespit edilmiştir. Su baskınının 14. gününe kadar olan

süreçte bu durum artış göstermiştir. Su baskınının ilerleyen günlerinde ise drenaj çözeltisindeki çinko miktarları azalma eğilimi göstermiş olup bu durumun su baskını ile oluşan indirgen koşullardaki mangan adsorpsiyonundaki artışın ve çinkonun mangan ile birlikte bileşik oluşturmasından kaynaklı olarak ortaya çıktığı ifade edilebilmektedir. Çalışmada kullanılan yedi numaralı toprak örneğinin farklı şekilde davranış sergilemesi sözkonusu toprağın çok yıllık çam ağaçları ile kaplı ormanlık araziden alınmış olması ve diğer tarımsal toprak örneklerinden farklı fizikokimyasal özelliklerinin bir etkisi olarak ortaya çıkması şeklinde değerlendirmenin mümkün olacağı ifade edilebilmektedir.



Şekil 4.21. Çiftlik gübresinin ve su baskını süresinin drenaj çözeltisindeki çinko miktarına etkisi

4.3. Topraklarda Adsorpsiyon İzotermleri

Adsorpsiyon izotermlerinde kullanılan kısaltmalarda toprak (T) indisinde sıra numarasını, çiftlik gübresinde (ÇG) indis kontrol ve 4 ton da^{-1} uygulamasını, su baskını (SB) indisinde ise belirtilen değer su altında kalan günü ifade etmektedir.

4.3.1. Topraklarda fosfor adsorpsiyonu

TOVEP (1991), yarayışlı fosforun topraktaki aralığının hangi seviyelerde olduğunu belirlemek amacı ile sınır değerleri belirlemiştir. Sınır değerleri ile karşılaştırılan toprak analizlerinin sonuçlarına göre sınıflandırmadaki durumu belirlenmektedir. Tovep'in belirlediği yarayışlı fosfor sınır değerleri Çizelge 4.26'da verilmiştir.

Çizelge 4.26. Topraktaki Olsen-P sınır değerleri (TOVEP, 1991)

Yarayışlı Fosfor (mg kg^{-1})	Sınıflandırma
< 2.5	Çok düşük
2.5 - 8	Düşük
8 - 25	Yeterli
25 - 80	Yüksek
> 80	Çok yüksek

Tripathi vd. (1970), topraktaki toplam fosfor miktarını öğrenebilmek için sınır değerler oluşturmuşlardır. Bu sınır değerleri Çizelge 4.27'de verilmiştir.

Tandon (1987), nötr-alkalin topraklarda toplam fosforun yaklaşık %40-50'sinin ve hatta kireçli topraklarda daha yüksek oranların Ca-P fraksiyonundan meydana geldiğini bildirmiştir. Toplam fosfor içeriği artışına göre aktif kireci yüksek olan topraklarda kalsiyum fosfat fraksiyonunda artış gözlemlendiğini birdirmişlerdir. Araştırma konusu toprak örneklerinde genel olarak kireç içeriğinin ve pH'nın yüksek olduğu, yarayışlı fosfor fraksiyonunun düşük olup toplam fosfor miktarının ise yüksek olduğu, fosforun termodinamik açıdan stabil fazının büyük bir oranda kalsiyum fosfatlar (genellikle hidroksi apatit veya karboksi apatit formunda) şeklinde kontrol altında olduğu ifade edilebilir.

Mahdi vd. (2019), toprakların Ca–P ile ekstrakte edilebilir fosfor miktarlarının OM ile bağıntısını bitki örtüsünden kaynaklanan gübreleme uygulamalarına dayanarak izah etmişlerdir. Diğer karakteristik özelliklerle olan pozitif yönlü korelasyonları ise yörede uygulanan aşırı fosforlu gübrelemeden kaynaklı olarak kısa ve uzun vadede tamponlama yapan fraksiyonlardaki artış ile bağlantılı olduğunu ileri sürmüşlerdir. Negatif ilişkiler ise ilave edilen fosforun, Ca-P fraksiyonunda birikmesine mani olan toprak özellikleriyle ilgili olduğunu ve yaptıkları çalışmada da Ca-P fraksiyonu ile kil özellikleri arasında negatif ilişkiler olduğunu ve bu durumun toprak bileşenlerinin yüksek olduğu şartlarda toprağa eklenen fosforun Ca-P fraksiyonu yerine kil yüzeylerinde adsorbe edildiğinin bir işareti olarak düşünülebileceğini ifade etmişlerdir.

Çizelge 4.27. Topraktaki toplam fosfor sınır değerleri (Tripathi vd., 1970)

Toplam Fosfor (mg kg^{-1})	Sınıflandırma
300 – 500	Düşük
600 – 1000	Orta
> 1000	Yüksek

Patiram vd. (1990), asit karakterli topraklarda Al-P ve Ca-P'nin fraksiyonlarının önemli miktarda değişmediğini, P'nin ağırlıklı olarak CBD-P fraksiyonunda bulunduğunu bildirmişlerdir.

Yapılan çalışmalarda ölçümlenen değerler ile hazırlanan izotermlerinin doğruluk seviyeleri oldukça düşük bulunmuş olup topraklarda bulunan toplam fosfor miktarı da hesaplamalarda dahil edilerek kullanıldığında bu seviyenin artmış olduğu gözlemlendiği için ilave edilmiştir.

Ayrıca çalışmada kullanılan çiftlik gübresinde bulunan fosforun büyük bir kısmı (labil-P ve CBD-P) sisteme yarayışlı fosfor fraksiyonuna benzer bir davranışta bulunacağı (Uygur ve Karabatak, 2009) ve dolayısıyla izoterm eğrilerinin doğruluk değerini artırdığı için çiftlik gübresinin ilave edildiği çalışmalarda adsorpsiyon izoterm şekillerinde bulunan S değeri hesaplamalarına dahil edilmiştir.

İzoterm eğrilerinin hazırlanmasında kullanılan fosfor adsorpsiyon seviyeleri Çizelge A.16'da verilmiştir. Bu çizelgeye göre çalışmada kullanılan topraklarda genel olarak veri setinin bütünlüğüne aykırı davranış gösteren bazı alt ve üst adsorpsiyon seviyeleri değerlendirmeye alınmamıştır. Hafif bünyeli topraklarda aşırı fosforlu gübreleme geçmişinin de etkisiyle toprakta adsorpsiyon mekanizmasının kontrol şartlarının zaman zaman oluşamadığı durumlarda dinamik denge çökelme mekanizmaları tarafından kontrol edilmekte olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle en üst adsorpsiyon dozlarının veri setine uyum göstermediği durumlarda bu değerler tespit edilerek değerlendirmeye alınmamıştır. Ayrıca başlangıç seviyesi adsorpsiyon verilerinin değerlendirilmesinde ise toprak reaksiyonunun ve toprakta bulunan organik maddenin yüksek olduğu durumlarda sistemde meydana gelen şelatlaşmalar neticesinde izoterm eğrilerinde oluşan sapmalar nedeniyle değerlendirmeye alınmamıştır.

Toprak örneklerinde Freundlich ve Langmuir adsorpsiyon izoterm eğrilerinin elde edilmesinde kullanılan fosfor adsorpsiyon veri noktalarına göre Freundlich adsorpsiyon izoterm eğrileri için veri setinin %90'ı, Langmuir adsorpsiyon izoterm eğrilerinin hazırlanmasında veri setinin %97.5'i kullanılmıştır.

Toprak örneklerinin fosfor içeriğinin yüksek olması nedeniyle hazırlanan adsorpsiyon izotermleri genellikle S tipi ve L tipi eğri oluşturmaktadır.

Birinci toprak örneği için veri setinin tamamı kullanılarak hazırlanan Freundlich adsorpsiyon izoterminde (Şekil 4.22) en düşük 0.970 ve en yüksek 0.998 oranında korelasyon tespit edilmiştir.

Freundlich bağlanma enerjisinin katsayısı (K*f*) en düşük 51.7 L mg^{-1} ve en yüksek 115 L g^{-1} olarak bulunmuştur. Su baskının süresince bağlanma enerjisinin katsayısı (K*f*) doğru orantıda artış göstermiştir. Langmuir adsorpsiyon izoterminde de aynı şekilde bağlanma enerji katsayısı (K*l*) su baskını süresince artış göstermiştir (Çizelge 4.28).

Çizelge 4.28. Toprakların P adsorpsiyonu için hesaplanan izoterm parametreleri

Toprak No	Çiftlik Gübresi	Su Baskını	**Freundlich**			**Langmuir**		
	t da^{-1}	Gün	K*f* (L mg^{-1})	1/n	R^2	K*l* (L mg^{-1})	S_{max}* (mg kg^{-1})	R^2
1	0	0	51.7	0.647	0.970	1.133	1 176	0.989
1	0	7	69.0	0.603	0.985	1.474	1 190	0.992
1	0	14	79.5	0.694	0.998	1.569	1 250	0.994
1	0	21	108.9	0.644	0.996	2.167	1 282	0.996
1	0	40	115.0	0.674	0.986	0.210	690	0.993
1	4	0	12.0	1.230	0.996	0.395	1 300	0.990
1	4	7	107.5	0.585	0.990	1.233	1 323	0.996
1	4	14	119.2	0.641	0.989	1.322	1 376	0.996
1	4	21	136.5	0.589	0.970	1.409	1 383	0.991
1	4	40	137.0	0.593	0.985	1.582	1 368	0.998
2	0	0	70.6	0.617	0.989	2.762	1 326	0.999
2	0	7	85.2	0.642	0.989	1.972	1 445	0.993
2	0	14	103.5	0.672	0.993	2.282	1 490	0.996
2	0	21	135.9	0.635	0.991	3.051	1 511	0.997
2	0	40	146.4	0.677	0.973	3.376	1 527	0.997
2	4	0	9.6	1.406	0.987	0.212	1 866	0.994
2	4	7	91.1	0.670	0.994	1.284	1 701	0.995
2	4	14	119.7	0.671	0.996	1.297	1 626	0.996
2	4	21	132.1	0.604	0.996	1.416	1 605	0.997
2	4	40	120.8	0.704	0.993	1.471	1 626	0.998
3	0	0	34.8	0.800	0.986	3.699	1 733	0.999
3	0	7	59.4	0.824	0.995	4.389	1 808	0.998
3	0	14	80.6	0.787	0.994	3.250	1 923	0.998
3	0	21	73.7	0.887	0.997	3.335	1 934	0.997
3	0	40	90.9	0.785	0.996	3.615	1 934	0.998
3	4	0	11.6	1.199	0.998	0.685	1 919	0.999
3	4	7	75.7	0.866	0.997	1.740	2 045	0.996
3	4	14	96.6	0.780	0.995	1.968	2 049	0.998
3	4	21	88.9	0.823	0.996	1.972	2 045	0.997
3	4	40	68.8	0.946	0.989	1.641	2 066	0.997
4	0	0	114.0	0.545	0.992	3.806	847	0.997
4	0	7	174.0	0.563	0.995	4.292	971	0.994
4	0	14	179.4	0.629	0.986	4.040	990	0.995
4	0	21	213.5	0.611	0.992	5.000	1 000	0.993
4	0	40	221.2	0.628	0.945	4.950	1 010	0.997
4	4	0	10.6	1.656	0.976	0.311	1 181	0.981
4	4	7	172.0	0.588	0.943	1.981	1 063	0.993
4	4	14	144.1	0.878	0.988	1.539	1 144	0.990
4	4	21	198.9	0.571	0.998	1.870	1 107	0.994
4	4	40	241.9	0.512	0.991	2.298	1 119	0.998
5	0	0	95.3	0.645	0.998	12.188	2 564	1
5	0	7	150.8	0.626	0.998	12.032	2 681	0.999
5	0	14	165.5	0.675	0.998	13.250	2 695	0.999
5	0	21	168.9	0.635	0.993	15.542	2 681	0.999
5	0	40	176.8	0.696	0.987	13.667	2 710	0.999
5	4	0	26.0	1.214	0.991	1.439	2 825	0.998
5	4	7	156.0	0.703	0.976	5.950	2 801	0.999
5	4	14	176.8	0.640	0.996	6.755	2 793	0.999
5	4	21	127.5	0.783	0.992	4.450	2 809	0.999
5	4	40	207.3	0.546	0.995	6.865	2 801	0.999

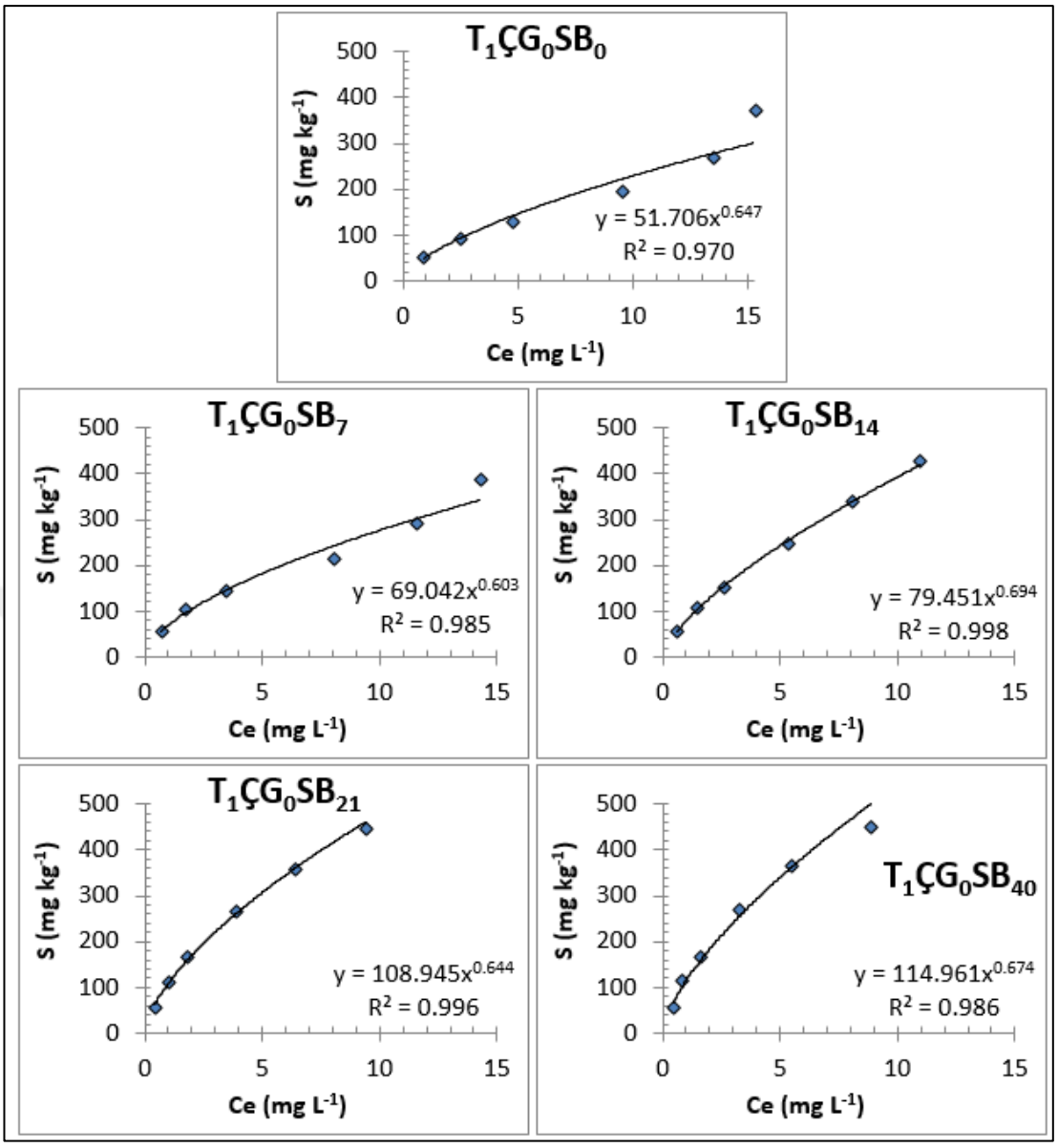
*S_{max} : Maksimum adsorpsiyon

Gübre uygulaması yapılmamış olan birinci toprak örneğinde su baskını süresine bağlı olarak toprakta bulunan toplam fosfor miktarı da dikkate alındığında maksimum adsorpsiyon değeri sırasıyla 1 176, 1 190, 1 250, 1 282 ve 690 mg kg^{-1} olarak hesaplanmıştır. Yapılan çalışmada ise toprak örneğinde 1 173 mg kg^{-1} şeklinde adsorpsiyon değeri tespit edilmiştir. Bu da teorik ve hesaplanan değer arasındaki sonuçların benzerliğinden dolayı iki metodunda kullanılabilirliğine işaret etmektedir. Bunun sonucu olarak topraktaki yeni adsorpsiyon kapasitesi bu şekilde hesaplanabilmekte olup bu değerlerin pratikte kullanılabilirliğini doğrular niteliktedir.

Fazla sayıda veri noktasının kullanılması doğrusallığın sağlanmasına olumlu etki etmiştir. Meydana gelebilecek maksimum adsorpsiyon değerlerini verdiğinden dolayı toplam değerin çıkarılması neticesinde iki değerin yüksek bir uyuma sahip olduğu söylenebilmektedir.

Bu toprağın su altında kalması ile oluşan redoks reaksiyonları sonucunda çözeltide ilk gün 0.89 mg kg^{-1} değeri 21. günde 0.40 mg kg^{-1} olarak ölçülmüştür. Çözelti fazındaki bu düşüş yaklaşık 2 katından daha fazla olup indirgen koşulların üç hafta gibi kısa bir sürede adsorpsiyon mekanizmasınında sisteme yaptığı etkiyi göstermesi açısından farklı bir noktayı ortaya koymaktadır.

Su baskınının 7. gününde eğrinin eğiminde gözlemlenen azalma (Şekil 4.22) ortamda hızlı bir biçimde oluşan indirgenme reaksiyonlarının sonucunda oluşan çözünmeler yarayışlı elementel formların artışına neden olmaktadır. Bu artış ile oluşan adsorpsiyon yüzeylerindeki değişimin fosfor adsorpsiyonunu azalttığı düşünülmektedir.

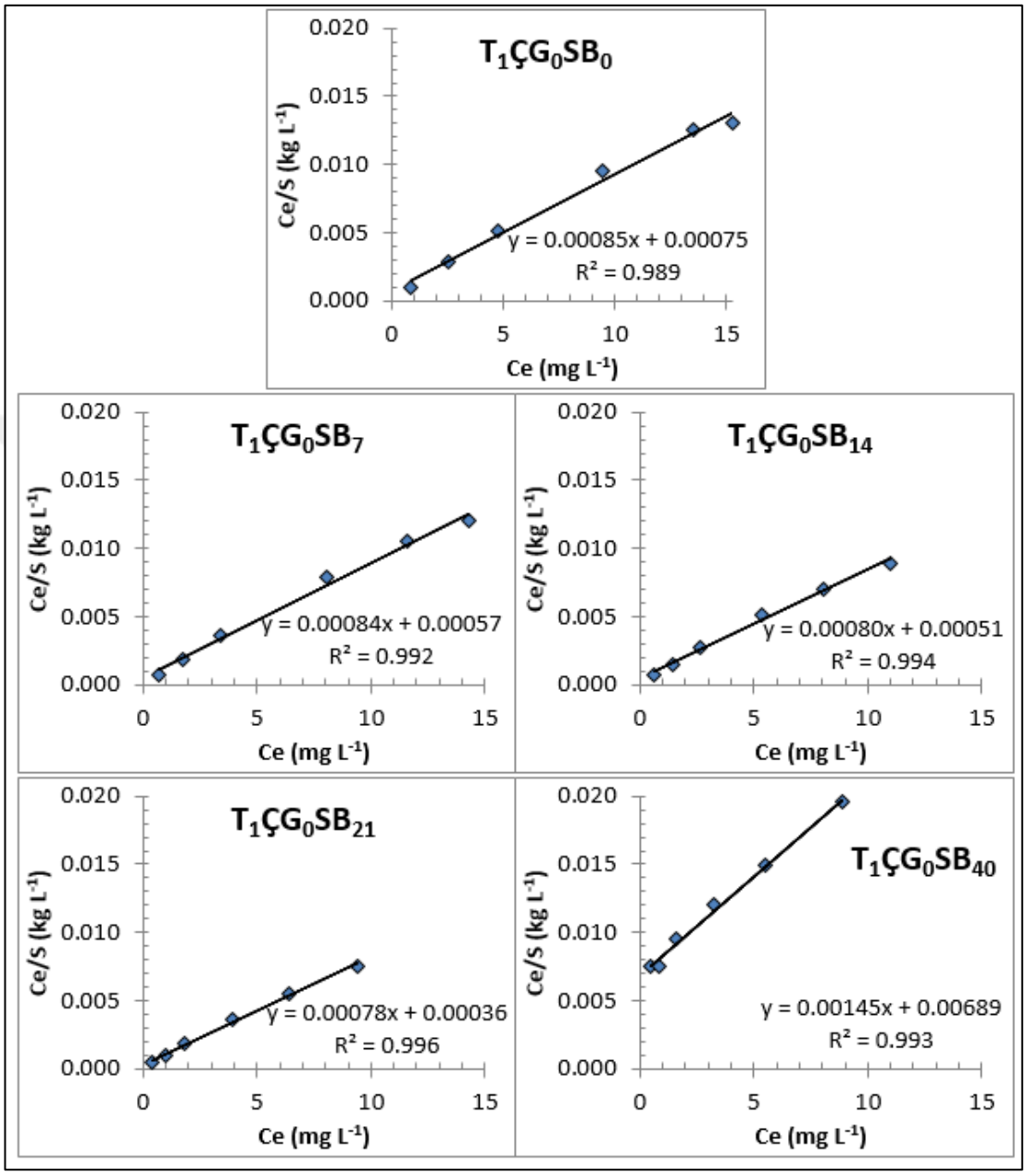


Şekil 4.22. Çiftlik gübresi uygulanmayan ($ÇG_0$) birinci toprakta (T_1) su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Freundlich adsorpsiyon izotermleri

Söz konusu toprak hafif bünyeli, kumlu tınlı bir tekstüre sahip olup kil içeriği düşüktür ve dolayısıyla adsorpsiyon kapasitesi düşüktür. Ayrıca gerek yarayışlı gerekse toplam fosfor miktarlarından anlaşıldığı üzere daha önceki dönemlerde yapılan zirai faaliyetlerde aşırı gübrelemeye maruz kaldığı göz önünde bulundurulmalıdır. Bunun neticesinde ilave edilebilecek fosforun adsorpsiyon ve/veya çökelme reaksiyonları ile yaklaşık olarak doğrusal bir artış şeklinde ilişkisi bulunmaktadır.

Veri setinin tamamı kullanılarak hazırlanan Langmuir adsorpsiyon izoterminde (Şekil 4.23) en düşük 0.989 ve en yüksek 0.996 oranında regresyon katsayısı tespit edilmiştir.

Langmuir bağlanma enerjisinin katsayısı en düşük 0.21 L mg^{-1} ve en yüksek 2.167 L mg^{-1} olarak bulunmuştur (Çizelge 4.28).



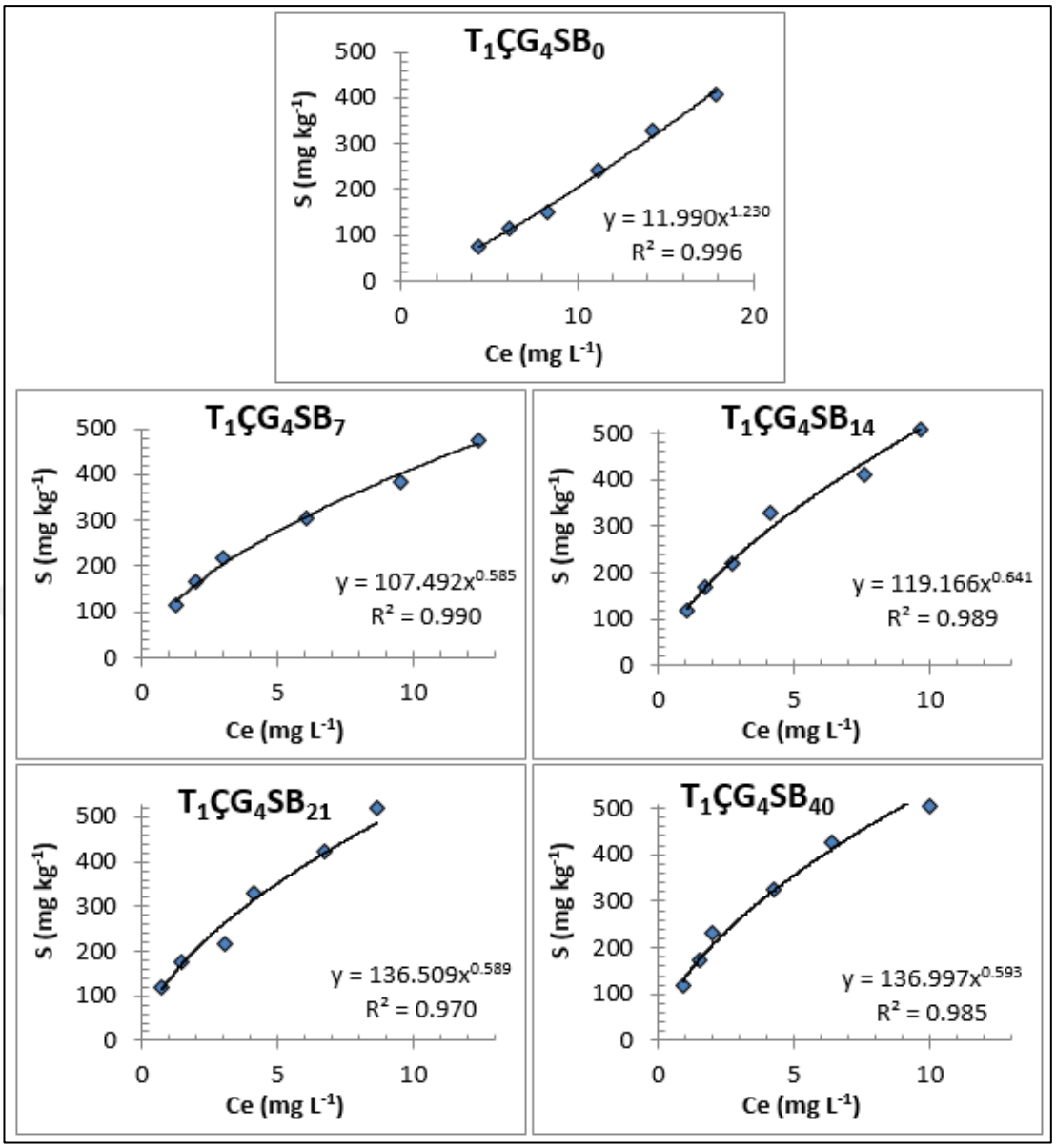
Şekil 4.23. Çiftlik gübresi uygulanmayan ($ÇG_0$) birinci toprakta (T_1) su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Langmuir adsorpsiyon izotermleri

Bu toprağın su altında kalması ile oluşan redoks reaksiyonları sonucunda çözeltide ilk gün 0.89 mg kg^{-1} değeri, 21. günde 0.40 mg kg^{-1} olarak ölçülmüştür. Çözelti fazındaki bu düşüş yaklaşık 2 katından daha fazla olup indirgen koşulların üç hafta gibi kısa bir sürede adsorpsiyon mekanizmasınında sisteme yaptığı etkiyi göstermesi açısından farklı bir noktayı ortaya koymaktadır.

Normal şartlarda topraklarda kabul sınırı yarayışlı fosfor için 8-25 mg kg^{-1} olarak ifade edilmekte iken (Çizelge 4.26) birinci toprak örneğinde 62.5 mg kg^{-1} bulunmuştur. Bu da çok yüksek sınıflandırmasına oldukça yakın bir değer olup bu toprakta aşırı fosforlu gübrelemenin yapıldığı anlaşılmaktadır.

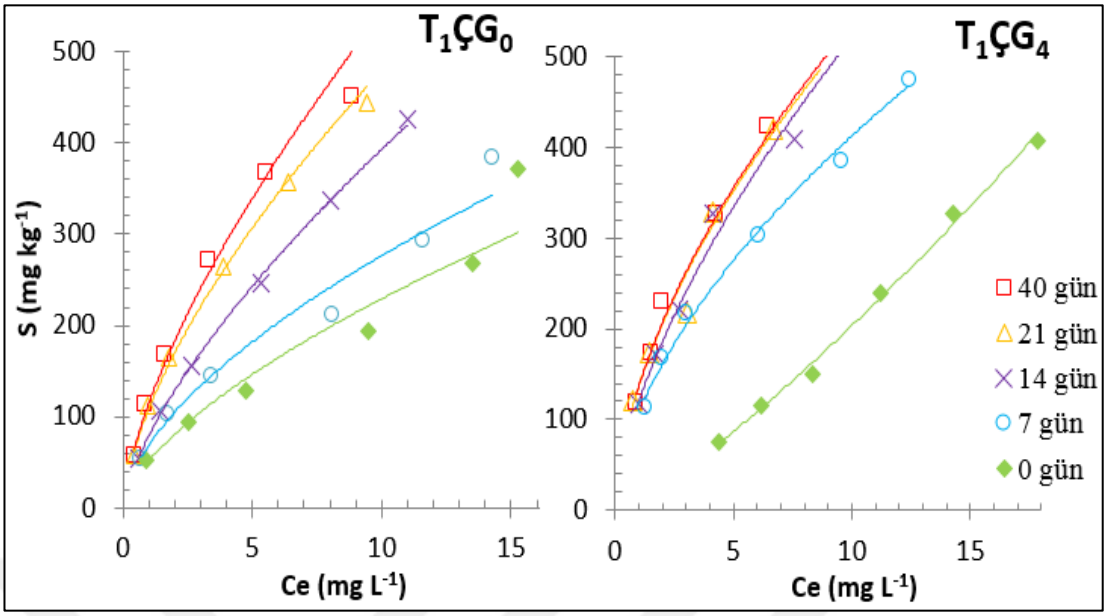
Kurak yarı kurak bölge topraklarında tipik bir özellik olarak toplam fosfor miktarı 300-500 mg kg^{-1} olarak bulunmakta iken (Çizelge 4.27) bu toprakta 860 mg kg^{-1} olarak bulunmuştur. Karakteristik özellikteki kurak ve yarı kurak bölge topraklarına göre 360 mg kg^{-1} fosfor fazlalığının tespiti, yapılan kontrolsüz ve aşırı gübrelemeye işaret etmektedir.

Çiftlik gübresi uygulaması ile veri setinin tamamı kullanılarak hazırlanan Freundlich adsorpsiyon izoterminde (Şekil 4.24) en düşük 0.970 ve en yüksek 0.996 oranında regresyon katsayısı tespit edilmiştir. Freundlich bağlanma enerjisinin katsayısı en düşük 12 L mg^{-1} ve en yüksek 137 L mg^{-1} olarak bulunmuştur (Çizelge 4.28).



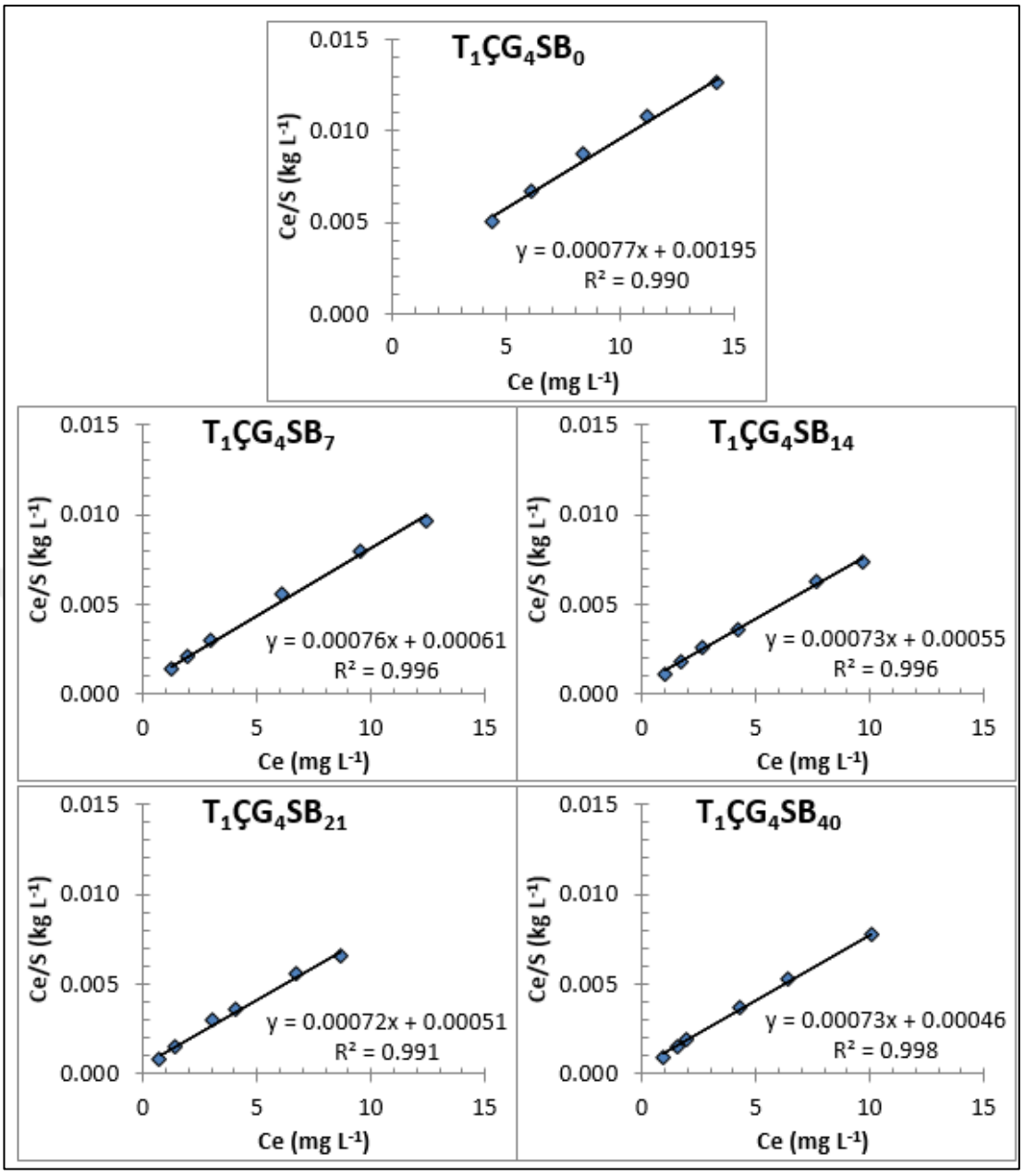
Şekil 4.24. Birinci toprakta (T_1) çiftlik gübresi ($ÇG_4$) ve su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Freundlich adsorpsiyon izotermleri

Birinci toprakta çiftlik gübresi ilavesi ile çözeltide ilk gün okunan seviye 4.41 mg kg^{-1} olarak bulunmuştur. Su baskınının mevcut duruma olumlu bir etkisi olarak ilerleyen günlerde çok hızlı bir şekilde düşüş yaşanmış olup 7. günde 1.25, 14. günde 1.03, 40. günde ise 0.90 mg kg^{-1} değerine ulaşmıştır. Bu toprağın başlangıç seviyesinde okunan fosfor değeri (0.89 mg kg^{-1}) ile bu iki değer arasındaki uyum her ne kadar çiftlik gübresinden sisteme ilave olan fosforun miktarına işaret etmekte ise de bununla beraber bu fosforun hem redoks reaksiyonlarının oluşturduğu ortamda çiftlik gübresinin sisteme dahil ettiği adsorpsiyon yani tamponlama kapasitesinde yaklaşık 4-5 kat bir artış olduğunu ortaya koymaktadır (Şekil 4.25).



Şekil 4.25. Birinci toprakta (T_1) Freundlich adsorpsiyon izoterminde çiftlik gübresi (ÇG) ve su baskını süresinin etkisi

Çiftlik gübresi uygulaması ve su baskınının etkisiyle Langmuir adsorpsiyon izoterminde (Şekil 4.26) en düşük 0.990 ve en yüksek 0.998 oranında regresyon katsayısı tespit edilmiştir. Langmuir bağlanma enerjisinin katsayısı en düşük 0.395 L mg^{-1} ve en yüksek 1.582 L mg^{-1} olarak bulunmuştur (Çizelge 4.28).



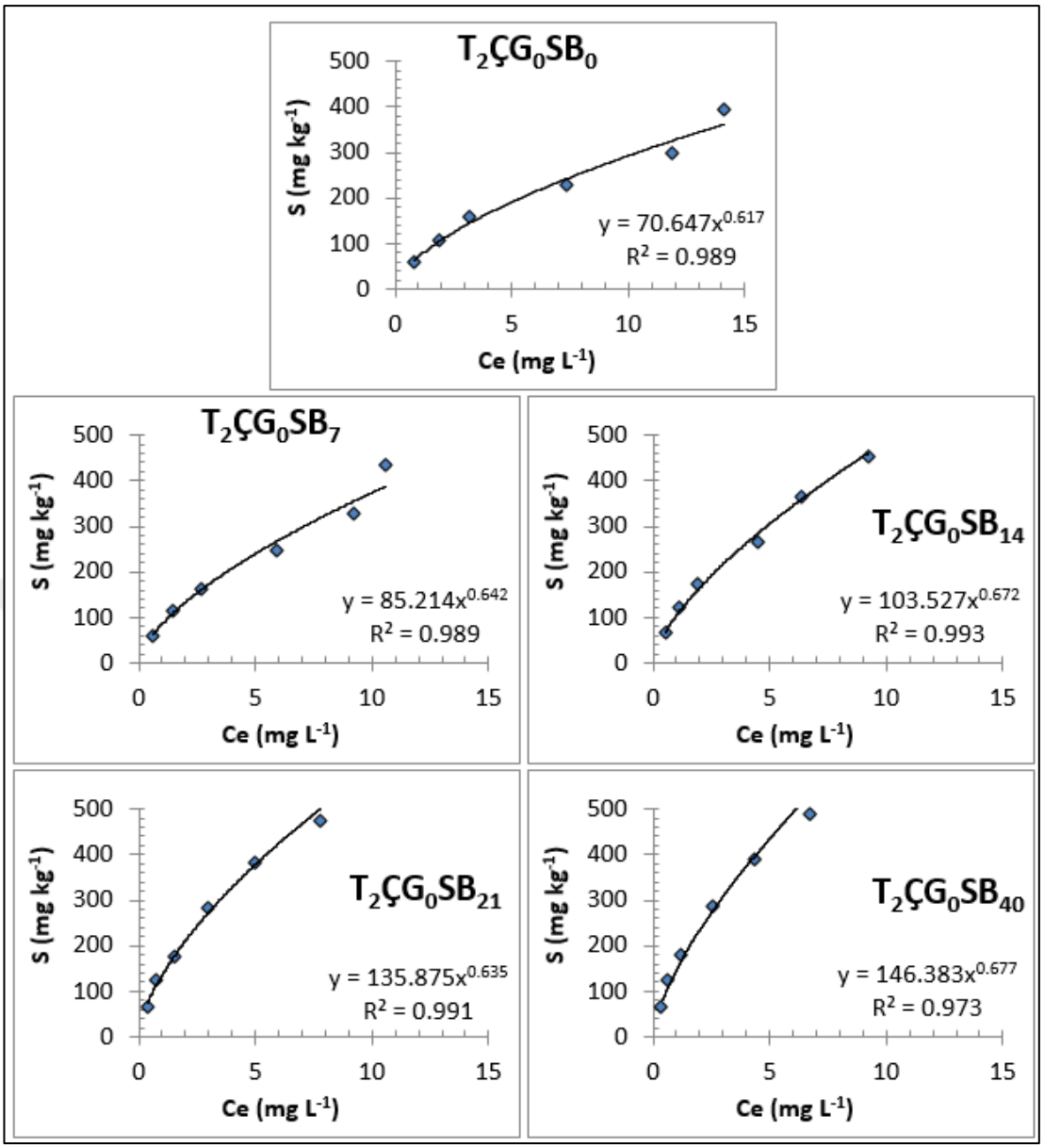
Şekil 4.26. Birinci toprakta (T_1) çiftlik gübresi ($ÇG_4$) ve su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Langmuir adsorpsiyon izotermleri

İki numaralı toprak örneğinde yarayışlı fosfor miktarı 70.5 mg kg^{-1} bulunmuştur. Bu da çok yüksek sınıflandırmasına oldukça yakın bir değer olup bu toprakta aşırı fosforlu gübrelemenin yapıldığı anlaşılmaktadır. Ayrıcabu toprakta toplam fosfor miktarı 1 075 mg kg^{-1} olarak tespit edilmiştir. Karakteristik özellikteki kurak ve yarı kurak bölge topraklarına göre yaklaşık 575 mg kg^{-1} fosfor fazlalığının tespiti, yapılan kontrolsüz ve aşırı gübrelemeye işaret etmektedir.

Gübre uygulaması yapılmamış olan ikinci toprakta bulunan toplam fosfor miktarı da dikkate alındığında maksimum adsorpsiyon değeri sırasıyla 1 326, 1 445, 1 490, 1 511 ve 1 527 mg kg^{-1} olarak hesaplanmıştır. Yapılan çalışmada ise toprak örneğinde 1064 mg P kg^{-1} şeklinde adsorpsiyon değeri tespit edilmiştir. Bu da teorik (1 075 mg kg^{-1}) ve hesaplanan bu değer arasındaki sonuçların benzerliğinden dolayı iki metodunda kullanılabilirliğine işaret etmektedir. Bunun sonucu olarak topraktaki yeni adsorpsiyon kapasitesi bu şekilde hesaplanabilmekte olup bu değerlerin pratikte kullanılabilirliğini doğrular niteliktedir.

Fazla sayıda veri noktasının kulanılması doğrusallığın sağlanmasına olumlu etki etmiştir. Meydana gelebilecek maksimum adsorpsiyon değerlerini verdiğinden dolayı toplam değerin çıkarılması neticesinde iki değerin yüksek bir uyuma sahip olduğu söylenebilmektedir.

Veri setinin tamamı kullanılarak hazırlanan Freundlich adsorpsiyon izoterminde (Şekil 4.27) en düşük 0.973 ve en yüksek 0.993 oranında regresyon katsayısı tespit edilmiştir. Freundlich bağlanma enerjisinin katsayısı en düşük 70.5 L mg^{-1} iken su baskını süresine göre doğrusal bir oranda artış göstermiş ve en yüksek 146.4 L mg^{-1} olarak bulunmuştur (Çizelge 4.28).

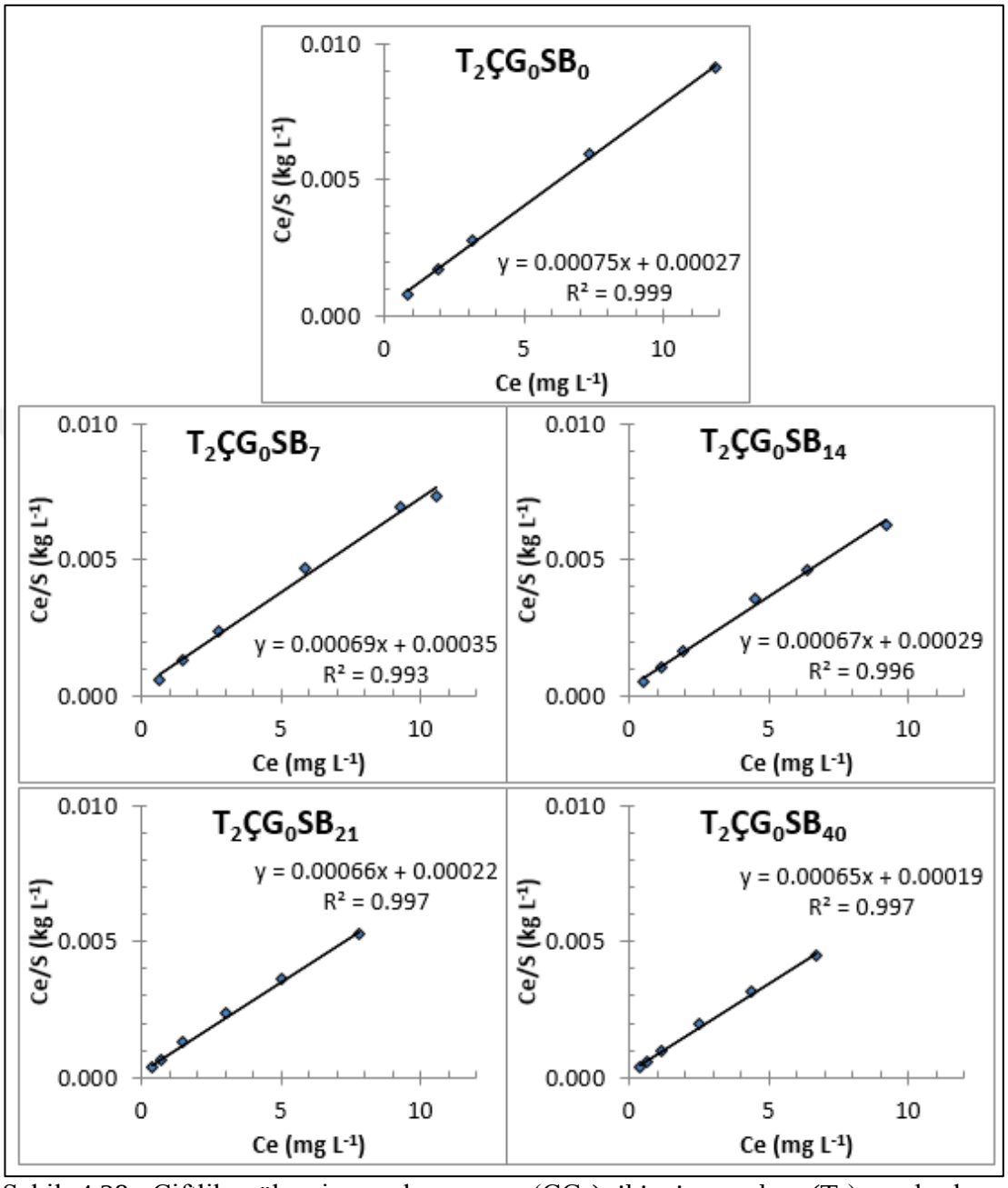


Şekil 4.27. Çiftlik gübresi uygulanmayan ($ÇG_0$) ikinci toprakta (T_2) su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Freundlich adsorpsiyon izotermleri

Söz konusu toprak hafif bünyeli olup kil içeriği düşüktür ve dolayısıyla adsorpsiyon kapasitesi düşüktür. Ayrıca gerek yarayışlı gerekse toplam fosfor miktarlarından anlaşıldığı üzere daha önceki dönemlerde yapılan zirai faaliyetlerde aşırı gübrelemeye maruz kaldığı göz önünde bulundurulmalıdır. Bunun neticesinde ilave edilebilecek fosforun adsorpsiyon ve/veya çökelme reaksiyonları ile yaklaşık olarak doğrusal bir artış şeklinde ilişkisi bulunmaktadır.

Hazırlanan Langmuir adsorpsiyon izoterminde (Şekil 4.28) en düşük 0.993 ve en yüksek 0.999 oranında regresyon katsayısı tespit edilmiştir. Langmuir bağlanma

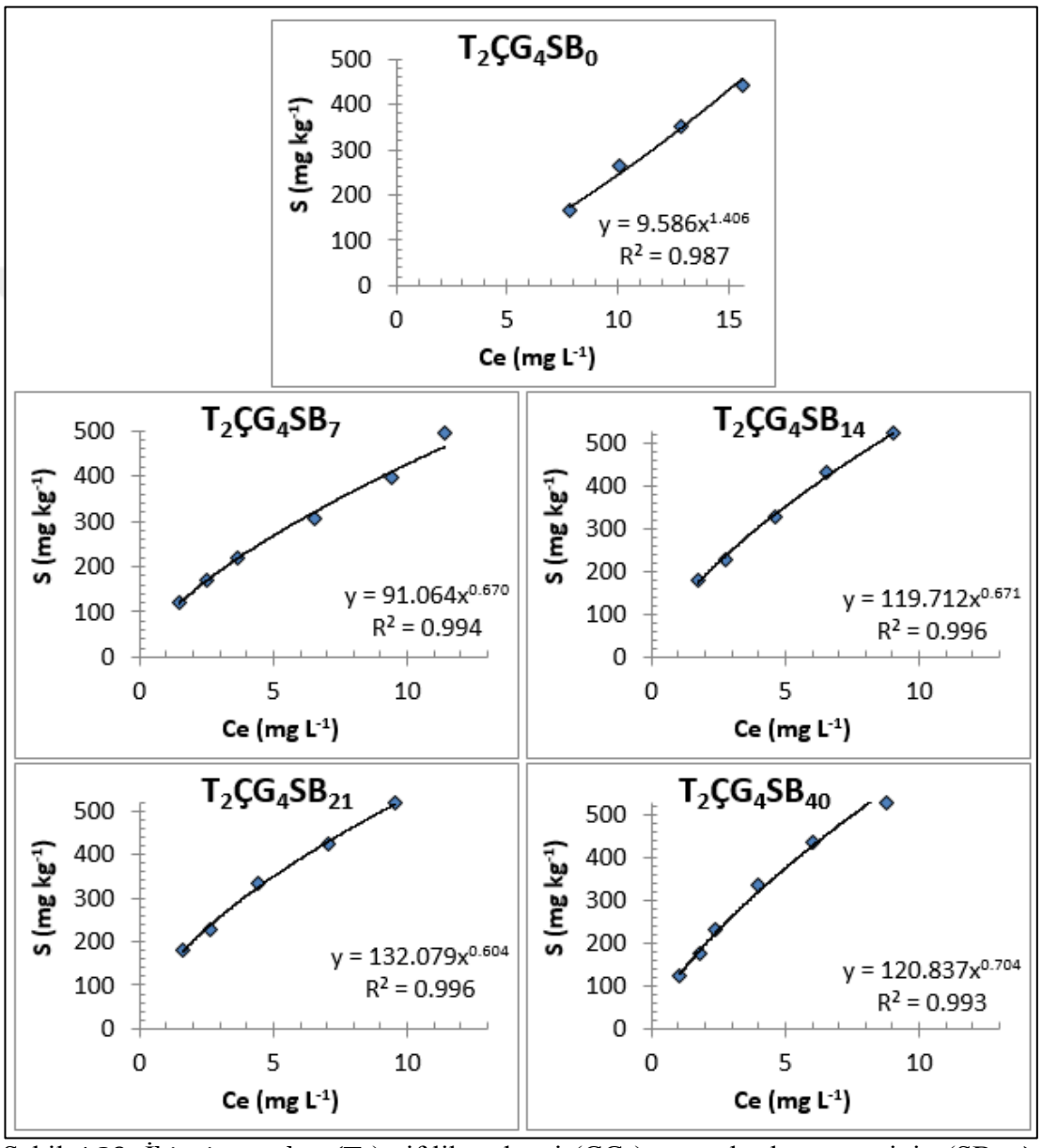
enerjisinin katsayısı en düşük 1.972 L mg^{-1} ve en yüksek 3.376 L mg^{-1} olarak bulunmuştur (Çizelge 4.28).



Şekil 4.28. Çiftlik gübresi uygulanmayan ($ÇG_0$) ikinci toprakta (T_2) su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Langmuir adsorpsiyon izotermleri

Çiftlik gübresi uygulaması ile hazırlanan Freundlich adsorpsiyon izoterminde (Şekil 4.29) en düşük 0.987 ve en yüksek 0.996 oranında regresyon katsayısı tespit edilmiştir. Su baskınının 0, 14 ve 21. gününde ölçülen veri setinin ilk noktaları ilave edilen çiftlik gübresinin etkisiyle ortamdaki şelatlaşma mekanizmalarının etkisiyle izoterm

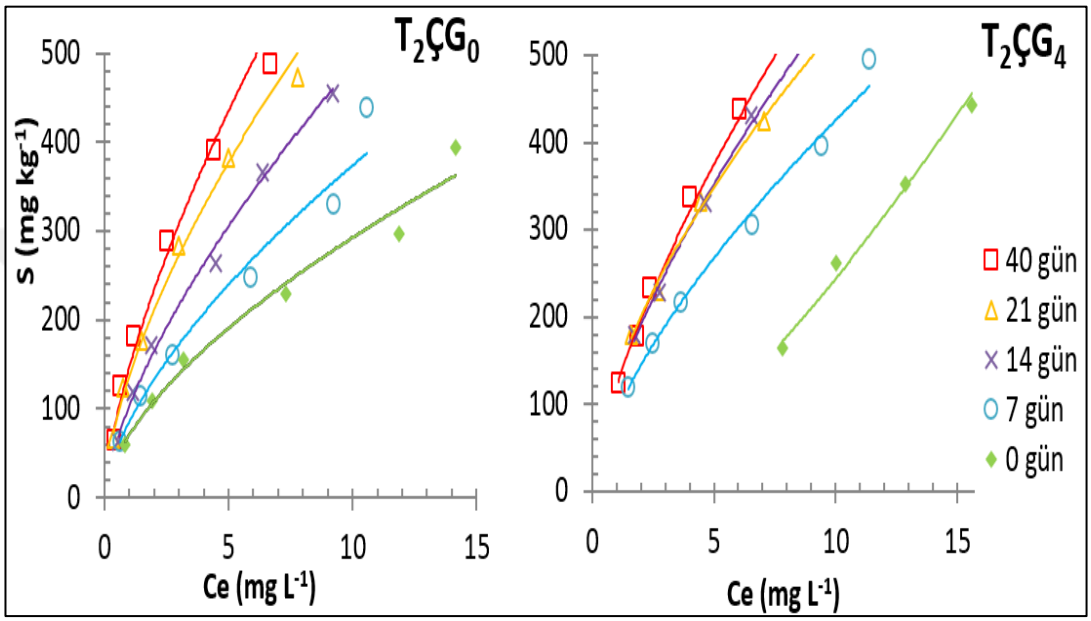
eğrilerinde oluşan sapmalar nedeniyle kullanılmamıştır. Freundlich bağlanma enerjisinin katsayısı en düşük 9.5 L mg^{-1} iken su baskını süresince artış göstermiş ve 21. günde 132.1 L mg^{-1} ile en yüksek değeri bulunmuştur (Çizelge 4.28). Bu durumun çiftlik gübresinin adsorpsiyon mekanizmasına etkisinin bir fonksiyonu olarak meydana geldiği ifade edilebilir.



Şekil 4.29. İkinci toprakta (T_2) çiftlik gübresi ($ÇG_4$) ve su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Freundlich adsorpsiyon izotermleri

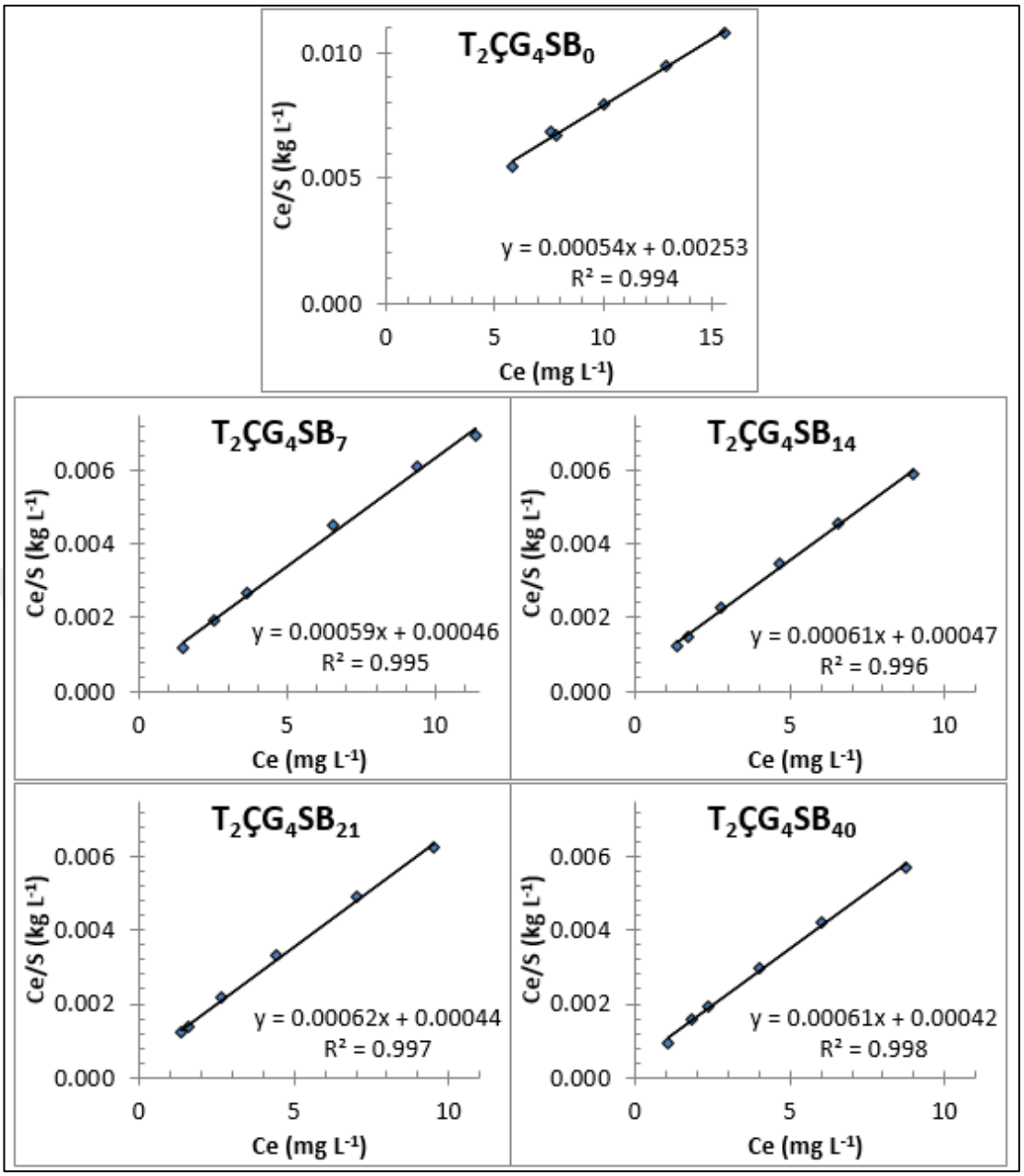
İkinci toprakta çiftlik gübresi ilavesi ile çözeltide ilk gün okunan seviye 5.81 mg kg^{-1} olarak bulunmuştur. Su baskınının mevcut duruma olumlu bir etkisi olarak ilerleyen günlerde çok hızlı bir şekilde düşüş yaşanmış olup 7. günde 1.47, 14. günde 1.37, 40.

günde ise 1.07 mg kg^{-1} değerine ulaşmıştır. Bu toprağın başlangıç seviyesinde okunan fosfor değeri (0.83 mg kg^{-1}) ile bu iki değer arasındaki uyum her ne kadar çiftlik gübresinden sisteme ilave olan fosforun miktarına işaret etmekte ise de bununla beraber bu fosforun hem redoks reaksiyonlarının oluşturduğu ortamda çiftlik gübresinin sisteme dahil ettiği adsorpsiyon yani tamponlama kapasitesininde yaklaşık 6 kat bir artış olduğunu ortaya koymaktadır (Şekil 4.30).



Şekil 4.30. İkinci toprakta (T_2) Freundlich adsorpsiyon izoterminde çiftlik gübresi (ÇG) ve su baskını süresinin etkisi

Çiftlik gübresi uygulaması ile veri setinin tamamı kullanılarak hazırlanan Langmuir adsorpsiyon izoterminde (Şekil 4.31) en düşük 0.994 ve en yüksek 0.998 oranında regresyon katsayısı tespit edilmiştir. Langmuir bağlanma enerjisinin katsayısı en düşük 0.212 L mg^{-1} ve en yüksek 1.471 L mg^{-1} olarak bulunmuştur (Çizelge 4.28).

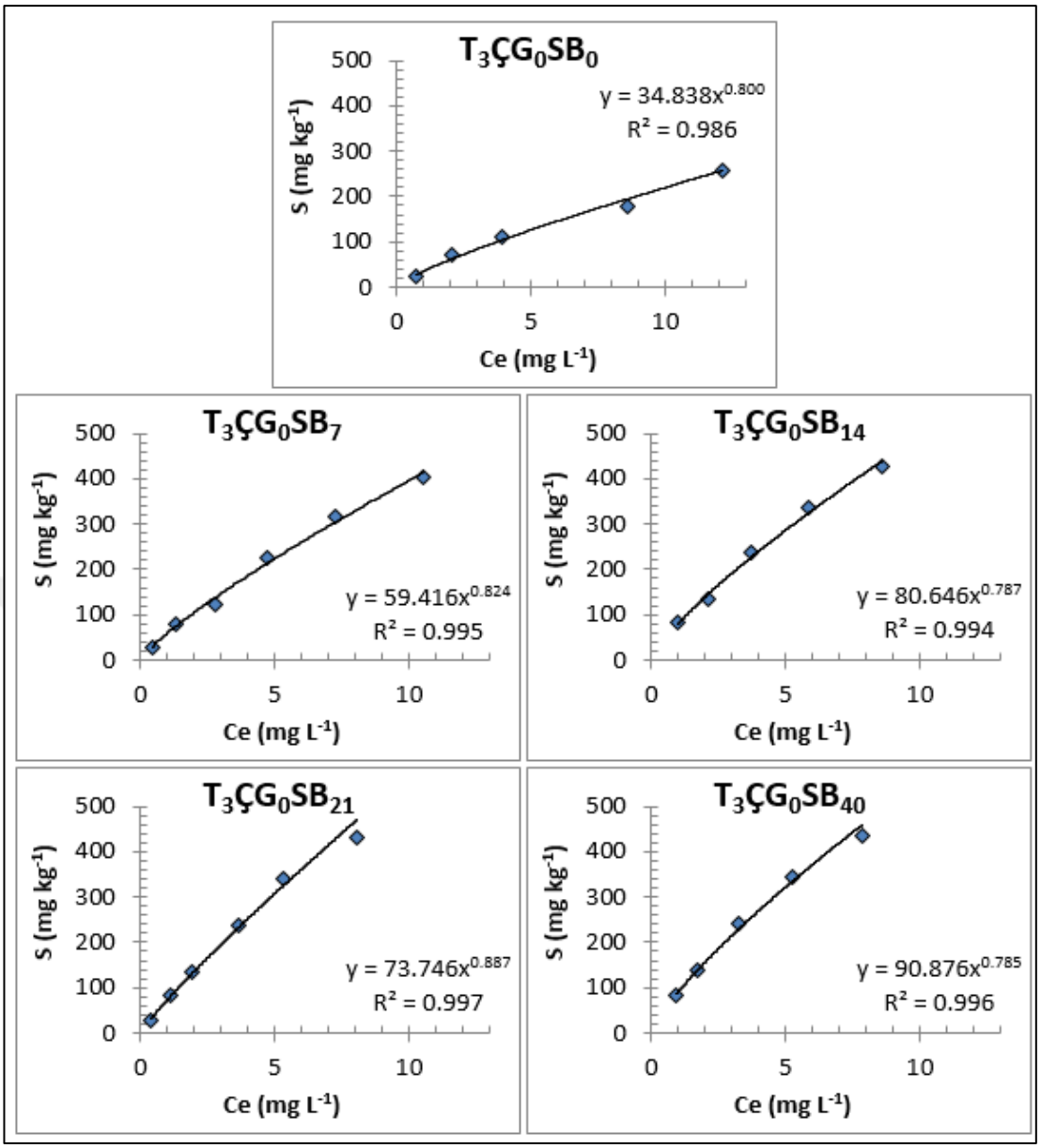


Şekil 4.31. İkinci toprakta (T_2) çiftlik gübresi ($ÇG_4$) ve su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Langmuir adsorpsiyon izotermleri

Üçüncü toprak örneğinde yarayışlı fosfor içeriği 33.7 mg kg^{-1} bulunmuştur. Bu da yüksek sınıflandırmasına dahil olan bir değer olup bu toprakta fazlaca fosforlu gübrelemenin yapıldığı anlaşılmaktadır. Ayrıcabu toprakta toplam fosfor miktarı yaklaşık 1 500 mg kg^{-1} olarak bulunmuştur. Karakteristik özellikteki kurak ve yarı kurak bölge topraklarına göre 1 000 mg kg^{-1} fosfor fazlalığının tespiti, yapılan kontrolsüz ve aşırı gübrelemeye işaret etmektedir.

Üçüncü toprakta bulunan toplam fosfor miktarı da dikkate alındığında çiftlik gübresi uygulaması yapılmayan şartlarda maksimum adsorpsiyon değeri su baskını günlerine göre sırasıyla 1 733, 1 808, 1 923, 1 934 ve 1 935 mg kg^{-1} olarak hesaplanmıştır. Yapılan çalışmada ise toprak örneğinde 1 498 mg kg^{-1} şeklinde adsorpsiyon değeri tespit edilmiştir. Bu da teorik (1 500 mg kg^{-1}) ve hesaplanan bu değer arasındaki sonuçların benzerliğinden dolayı iki metodunda kullanılabilirliğine işaret etmektedir. Bunun sonucu olarak topraktaki yeni adsorpsiyon kapasitesi bu şekilde hesaplanabilmekte olup bu değerlerin pratikte kullanılabilirliğini doğrular niteliktedir. Meydana gelebilecek maksimum adsorpsiyon değerlerini verdiğinden dolayı toplam değerin çıkarılması neticesinde iki değerin yüksek bir uyuma sahip olduğu söylenebilmektedir.

Hazırlanan Freundlich adsorpsiyon izoterminde (Şekil 4.32) en düşük 0.986 ve en yüksek 0.997 oranında regresyon katsayısı tespit edilmiştir. Freundlich bağlanma enerjisinin katsayısı su baskının süresince doğrusal bir şekilde artış göstermiş, en düşük 34.8 L mg^{-1} ve en yüksek 90.9 L mg^{-1} olarak bulunmuştur (Çizelge 4.28). Fazla sayıda veri noktasının kulanılması doğrusallığın sağlanmasına olumlu etki etmiştir. Su baskınının 14 ve 40. gününde ölçülen veri setinin ilk noktaları değerlendirmeye alınmamıştır.

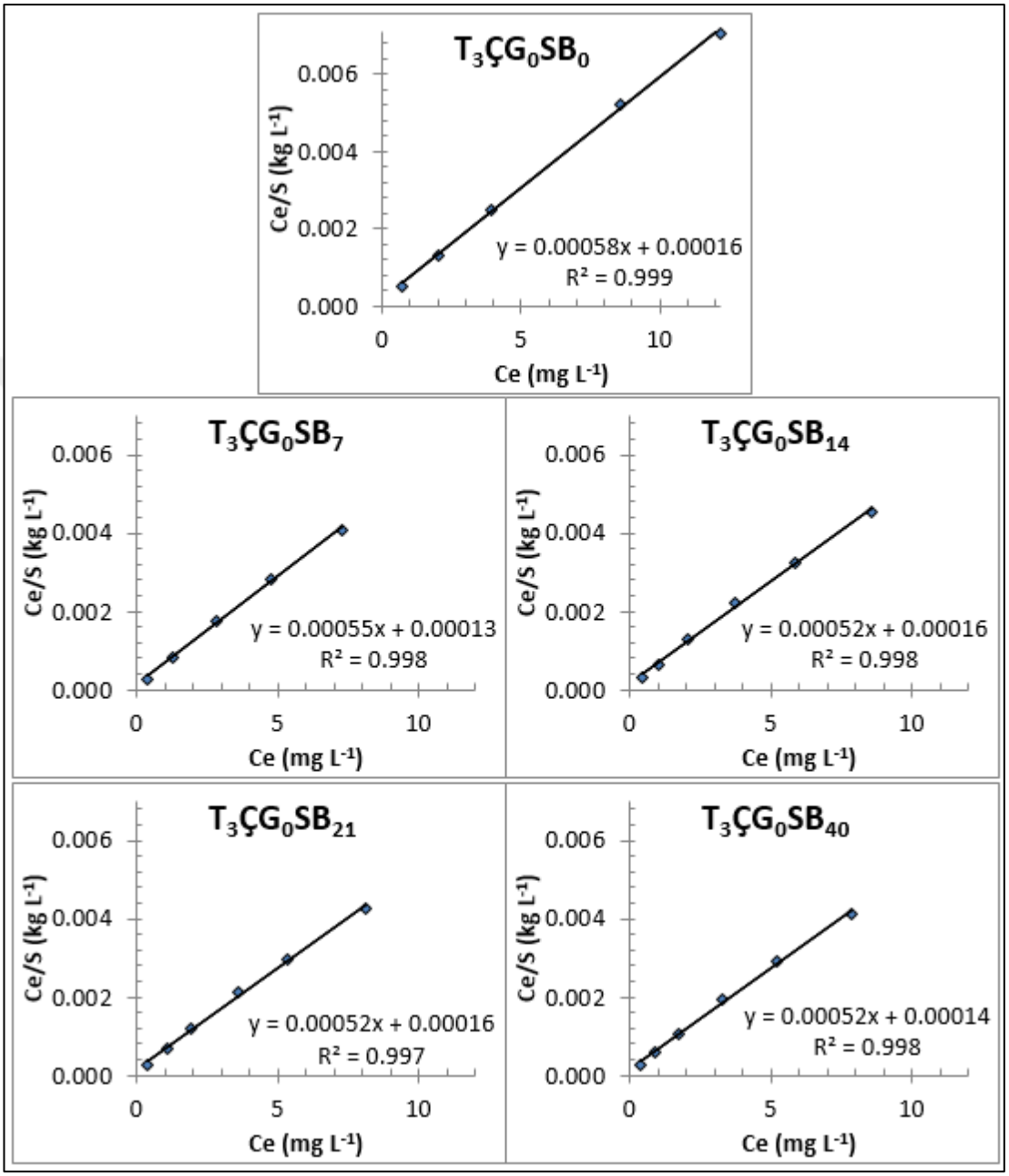


Şekil 4.32. Çiftlik gübresi uygulanmayan ($ÇG_0$) üçüncü toprakta (T_3) su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Freundlich adsorpsiyon izotermleri

Söz konusu toprak hafif bünyeli olup kil içeriği düşüktür ve dolayısıyla adsorpsiyon kapasitesi düşüktür. Ayrıca gerek yarayışlı gerekse toplam fosfor miktarlarından anlaşıldığı üzere daha önceki dönemlerde yapılan zirai faaliyetlerde gübrelemeye maruz kaldığı göz önünde bulundurulmalıdır. Bunun neticesinde ilave edilebilecek fosforun adsorpsiyon ve/veya çökelme reaksiyonları ile yaklaşık olarak doğrusal bir artış şeklinde ilişkisi bulunmaktadır.

Hazırlanan Langmuir adsorpsiyon izoterminde (Şekil 4.33) en düşük 0.997 ve en yüksek 0.999 oranında regresyon katsayısı tespit edilmiştir. Langmuir bağlanma

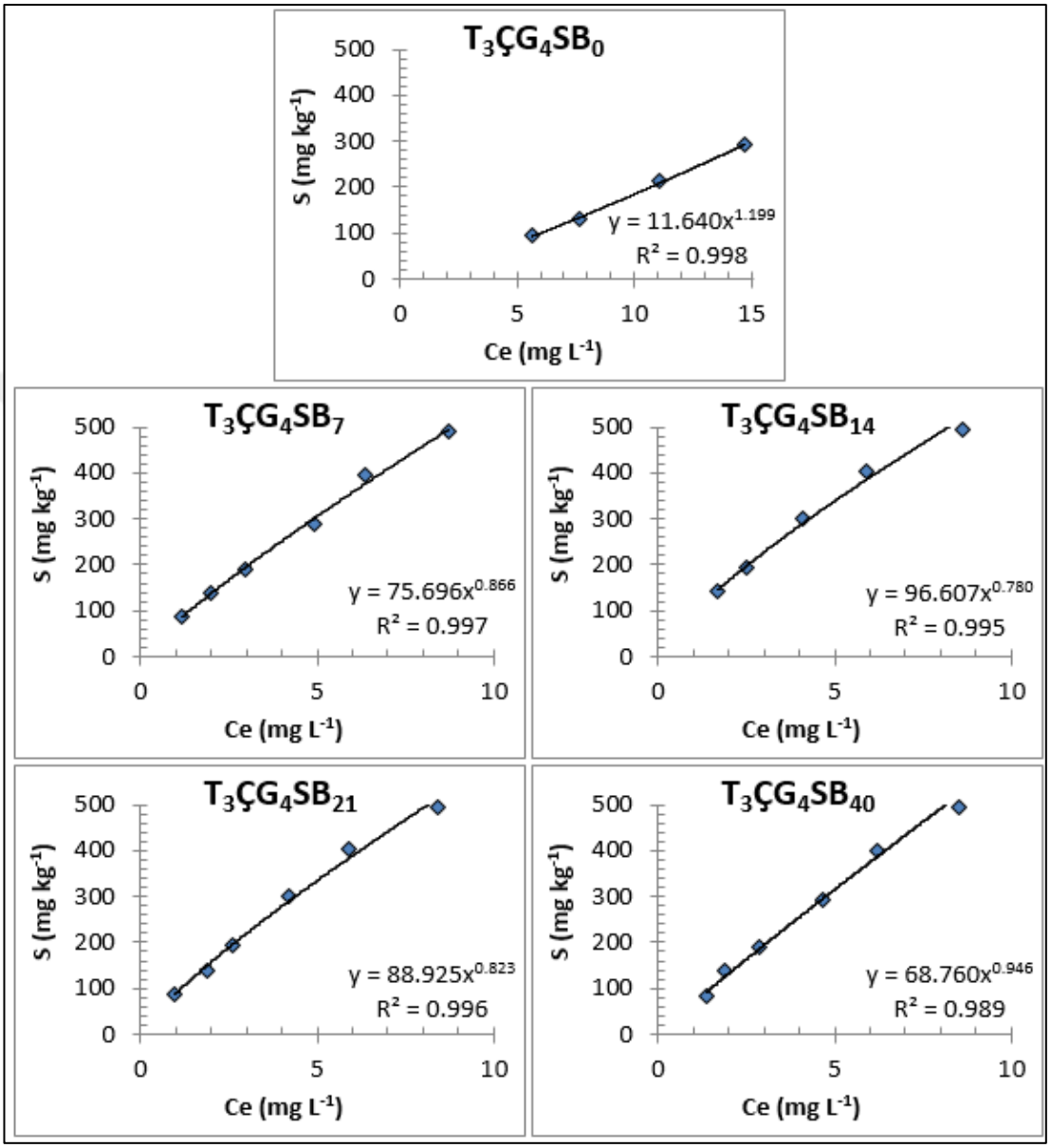
enerjisinin katsayısı en düşük 3.25 L mg^{-1} ve en yüksek 4.389 L mg^{-1} olarak bulunmuştur (Çizelge 4.28). Su baskınının 0 ve 7. gününde uygulanan en yüksek adsorpsiyon seviyesindeki veriler değerlendirilmeye alınmamıştır.



Şekil 4.33. Çiftlik gübresi uygulanmayan ($ÇG_0$) üçüncü toprakta (T_3) su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Langmuir adsorpsiyon izotermleri

Çiftlik gübresi uygulaması ile hazırlanan Freundlich adsorpsiyon izoterminde (Şekil 4.34) en düşük 0.989 ve en yüksek 0.998 oranında regresyon katsayısı tespit edilmiştir. Freundlich bağlanma enerjisinin katsayısı en düşük 11.6 L mg^{-1} ve su baskınının 14.

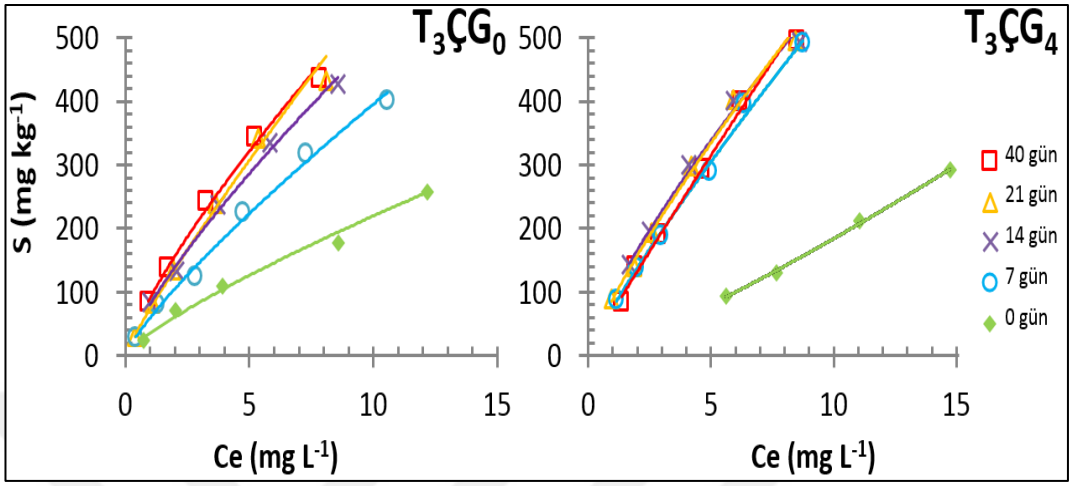
gününde en yüksek değerine ulaşarak 96.6 L mg^{-1} olarak bulunmuştur (Çizelge 4.28). Su baskınının 0 ve 14. gününde düşük adsorpsiyon seviyesindeki veriler ile 0. gündeki en yüksek adsorpsiyon seviyesindeki veriler değerlendirilmeye alınmamıştır.



Şekil 4.34. Üçüncü toprakta (T_3) çiftlik gübresi ($ÇG_4$) ve su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Freundlich adsorpsiyon izotermleri

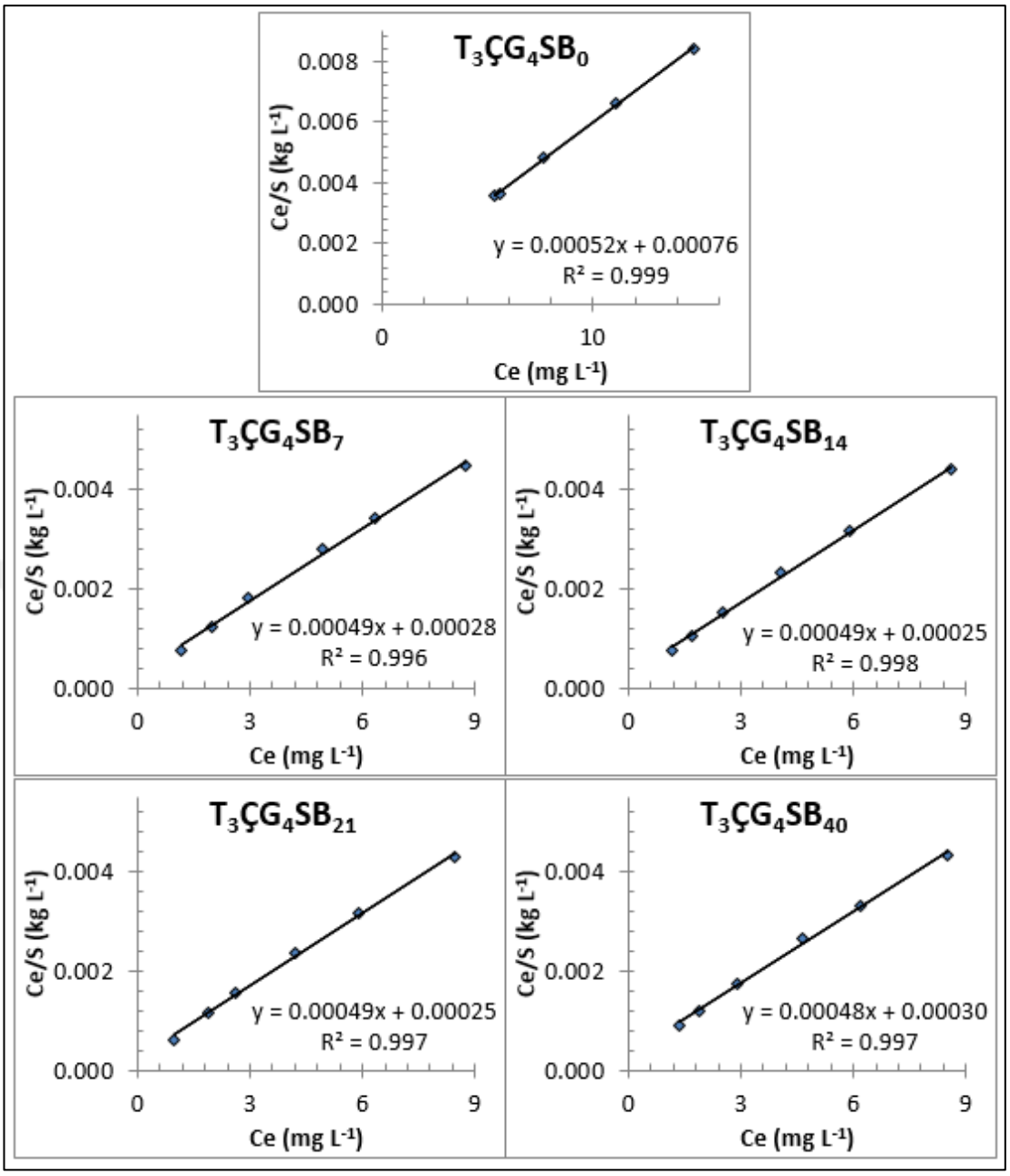
Üçüncü toprakta çiftlik gübresi ilavesi ile ilk gün okunan seviye 5.33 mg kg^{-1} olarak bulunmuştur. Su baskınının mevcut duruma olumlu bir etkisi olarak ilerleyen günlerde çok hızlı bir şekilde düşüş yaşanmış olup 7. günde 1.16, 14. günde 1.15, 21. günde ise 0.96 mg kg^{-1} değerine ulaşmıştır. Bu toprağın başlangıç seviyesinde okunan fosfor değeri (0.74 mg kg^{-1}) ile bu iki değer arasındaki uyum her ne kadar çiftlik gübresinden sisteme ilave olan fosforun miktarına işaret etmekte ise de bununla beraber bu fosforun

hem redoks reaksiyonlarının oluşturduğu ortamda çiftlik gübresinin sisteme dahil ettiği adsorpsiyon yani tamponlama kapasitesininde yaklaşık 6 kat bir artış olduğunu ortaya koymaktadır (Şekil 4.35).



Şekil 4.35. Üçüncü toprakta (T_3) Freundlich adsorpsiyon izoterminde çiftlik gübresi (ÇG) ve su baskını süresinin etkisi

Çiftlik gübresi uygulaması ile veri setinin tamamı kullanılarak hazırlanan Langmuir adsorpsiyon izoterminde (Şekil 4.36) en düşük 0.996 ve en yüksek 0.999 oranında regresyon katsayısı tespit edilmiştir. Langmuir bağlanma enerjisinin katsayısı en düşük 0.685 L mg^{-1} ve en yüksek 1.972 L mg^{-1} olarak bulunmuştur (Çizelge 4.28). Su baskınının 0. günündeki en yüksek adsorpsiyon seviyesindeki veri değerlendirilmeye alınmamıştır.



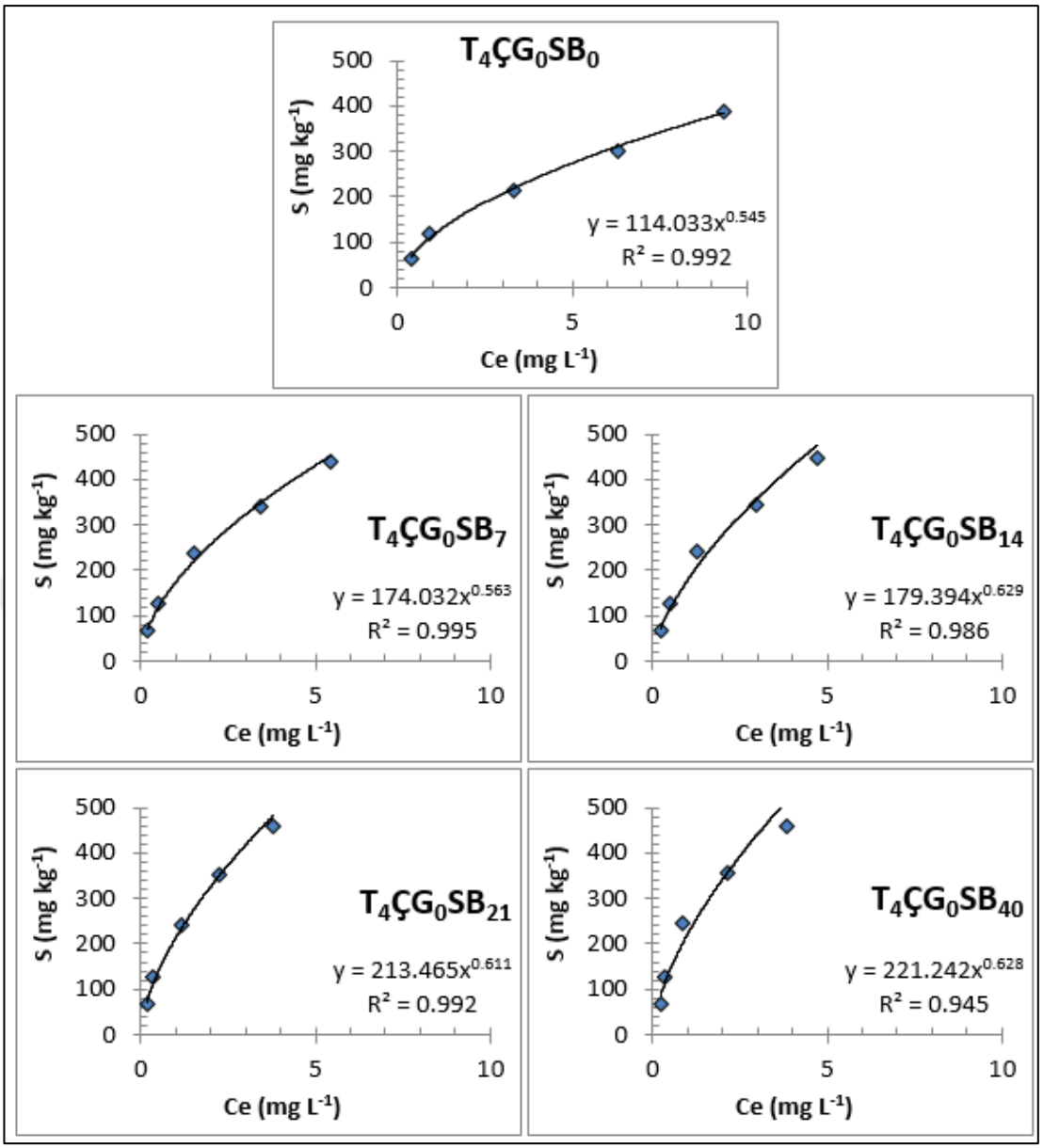
Şekil 4.36. Üçüncü toprakta (T_3) çiftlik gübresi ($ÇG_4$) ve su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Langmuir adsorpsiyon izotermleri

Dört numaralı toprak örneğinde yarayışlı fosfor miktarı 6.3 mg kg^{-1} bulunmuştur. Bu da sınıflandırmada düşük kategorisine dahil olan bir değer olarak kabul görmektedir. Ayrıca toplam fosfor içeriği yaklaşık 528 mg kg^{-1} olarak tespit edilmiştir.

Dördüncü toprakta su baskını süresine bağlı olarak adsorpsiyon izoterm parametrelerindeki değişim şekillerinin hazırlanmasında toprakta bulunan toplam fosfor miktarı da dikkate alındığında maksimum adsorpsiyon değeri su baskını günlerine göre sırasıyla 847, 971, 990, 1 000 ve 1 010 mg kg^{-1} olarak hesaplanmıştır.

Yapılan çalışmada ise toprak örneğinde 524 mg kg^{-1} şeklinde adsorpsiyon değeri tespit edilmiştir. Bu da teorik (528 mg kg^{-1}) ve hesaplanan bu değer arasındaki sonuçların benzerliğinden dolayı iki metodunda kullanılabilirliğine işaret etmektedir. Bunun sonucu olarak topraktaki yeni adsorpsiyon kapasitesi bu şekilde hesaplanabilmekte olup bu değerlerin pratikte kullanılabilirliğini doğrular niteliktedir. Meydana gelebilecek maksimum adsorpsiyon değerlerini verdiğinden dolayı toplam değerin çıkarılması neticesinde iki değerin yüksek bir uyuma sahip olduğu söylenebilmektedir.

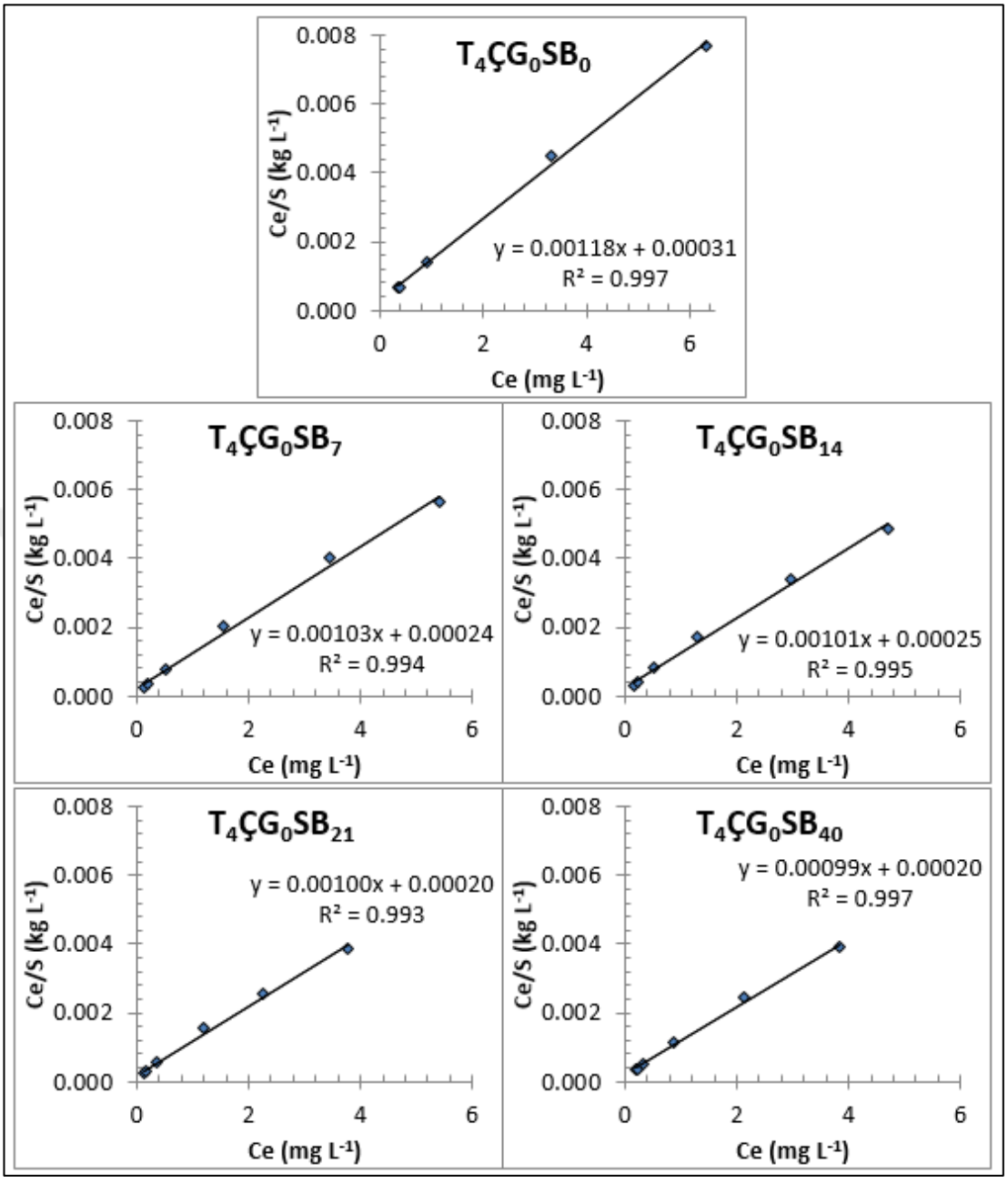
Hazırlanan Freundlich adsorpsiyon izoterminde (Şekil 4.37) en düşük 0.945 ve en yüksek 0.995 oranında regresyon katsayısı tespit edilmiştir. Freundlich bağlanma enerjisinin katsayısı en düşük 114 L mg^{-1} olarak bulunmuş, su baskını süresine bağlı olarak doğrusal bir şekilde artış göstermiş, su baskınının 40.gününde en yüksek değerine ulaşmış ve 221 L mg^{-1} olarak bulunmuştur. Su baskınının 14. gününde 1/n değeri 0.629 ile en yüksek değerine ulaşmıştır. Fazla sayıda veri noktasının kullanılması doğrusallığın sağlanmasına olumlu etki etmiştir. Söz konusu arazinin tarımsal karakterden uzaklaşmış yaklaşık 20-30 yaşlarında çam ağaçlarının bulunması neticesinde üzerindeki organik madde birikiminin hidrofobik yapıda oluşması nedeniyle hazırlanan Freundlich adsorpsiyon izoterminde diğer verilere nazaran bariz sapmalar göstermiştir. Bu nedenle su baskını süresince elde edilen verilerde en düşük adsorpsiyon seviyelerindeki veriler değerlendirilmeye alınmamış olup izotermler diğer beş veri seti üzerinden hazırlanmıştır



Şekil 4.37. Çiftlik gübresi uygulanmayan ($ÇG_0$) dördüncü toprakta (T_4) su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Freundlich adsorpsiyon izotermleri

Söz konusu toprak killi bir tekstüre sahip olup adsorpsiyon kapasitesi yüksektir. Toprağa ilave edilebilecek fosforun adsorpsiyon ve/veya çökelme reaksiyonları ile yaklaşık olarak doğrusal bir artış şeklinde ilişkisi bulunmaktadır.

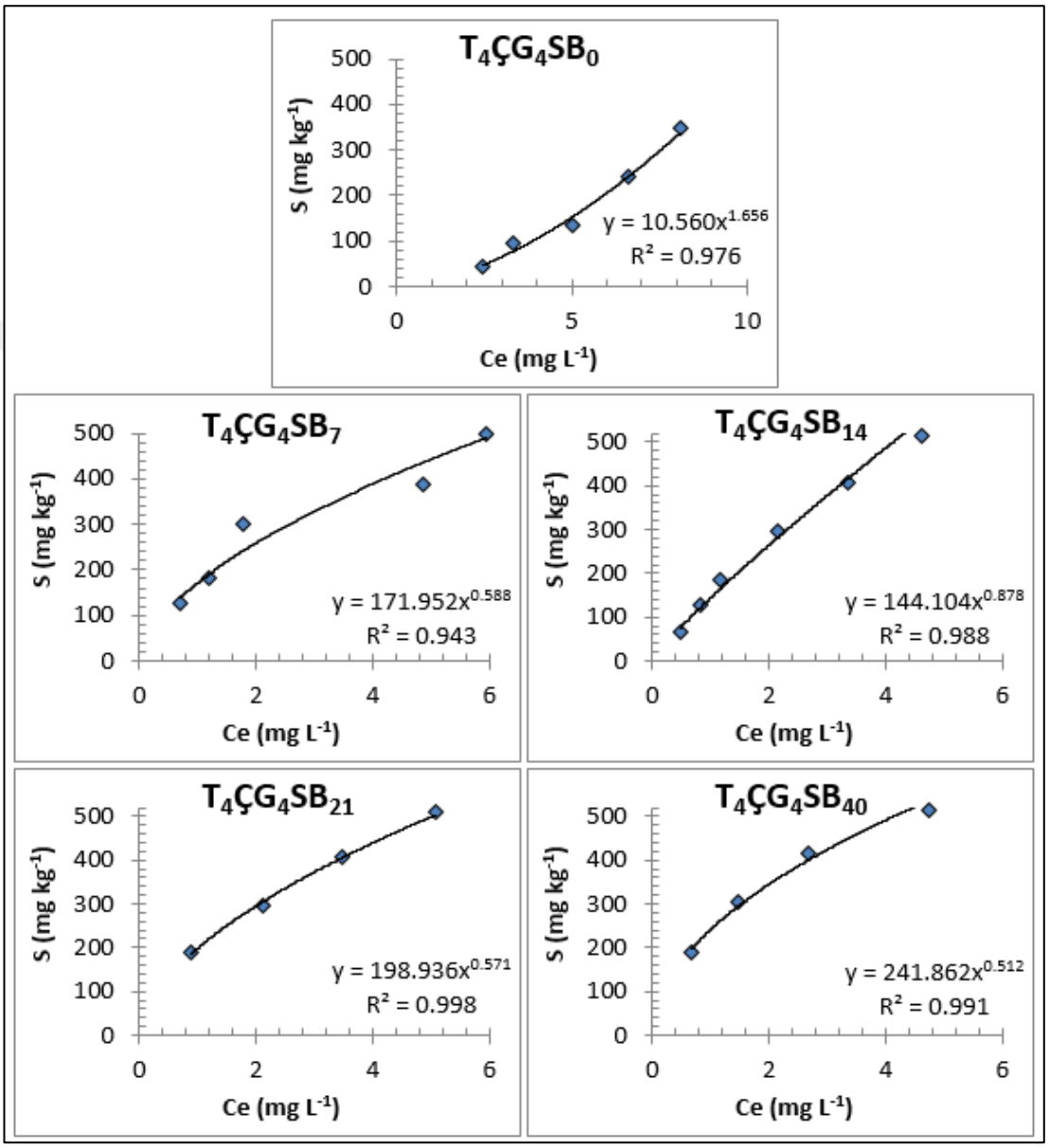
Hazırlanan Langmuir adsorpsiyon izoterminde (Şekil 4.38) en düşük 0.993 ve en yüksek 0.997 oranında regresyon katsayısı tespit edilmiştir. Langmuir bağlanma enerjisinin katsayısı en düşük 3.8 L mg^{-1} ve en yüksek 5.0 L mg^{-1} olarak bulunmuştur (Çizelge 4.28). Su baskınının ilk günündeki en yüksek adsorpsiyon seviyesindeki veri değerlendirilmeye alınmamıştır.



Şekil 4.38. Çiftlik gübresi uygulanmayan ($ÇG_0$) dördüncü toprakta (T_4) su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Langmuir adsorpsiyon izotermleri

Çiftlik gübresi uygulaması ile hazırlanan Freundlich adsorpsiyon izoterminde (Şekil 4.39) en düşük 0.943 ve en yüksek 0.998 oranında regresyon katsayısı tespit edilmiştir. Freundlich bağlanma enerjisinin katsayısı en düşük 10.6 L mg^{-1} ve en yüksek 241.9 L mg^{-1} olarak bulunmuştur (Çizelge 4.28). Su baskınının 0. günündeki en yüksek adsorpsiyon seviyesindeki veri değerlendirilmeye alınmamıştır. Su baskınının 7. günündeki en düşük ile 21. ve 40. günündeki en düşük iki adsorpsiyon seviyesindeki

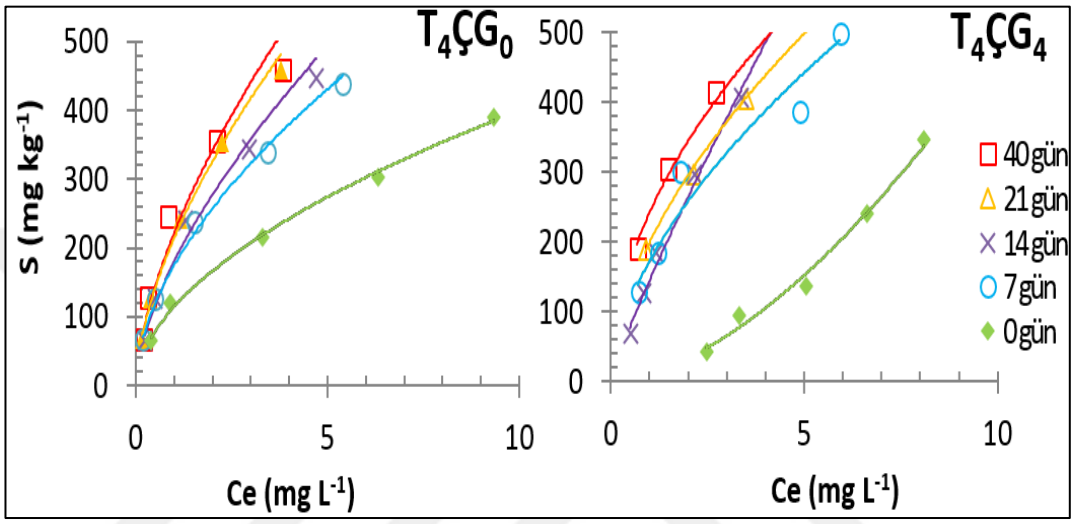
veri değerlendirilmeye alınmamıştır. Toprağın ekstrem yapısı nedeniyle çiftlik gübresinin ilavesinin su baskını ile oluşan redoks reaksiyonlarına karşı sergilediği davranış şekillerin farklı bir etkileşim göstermesi veri setinin tamamının kullanılamamasına neden olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.39. Dördüncü toprakta (T_4) çiftlik gübresi ($ÇG_4$) ve su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Freundlich adsorpsiyon izotermleri

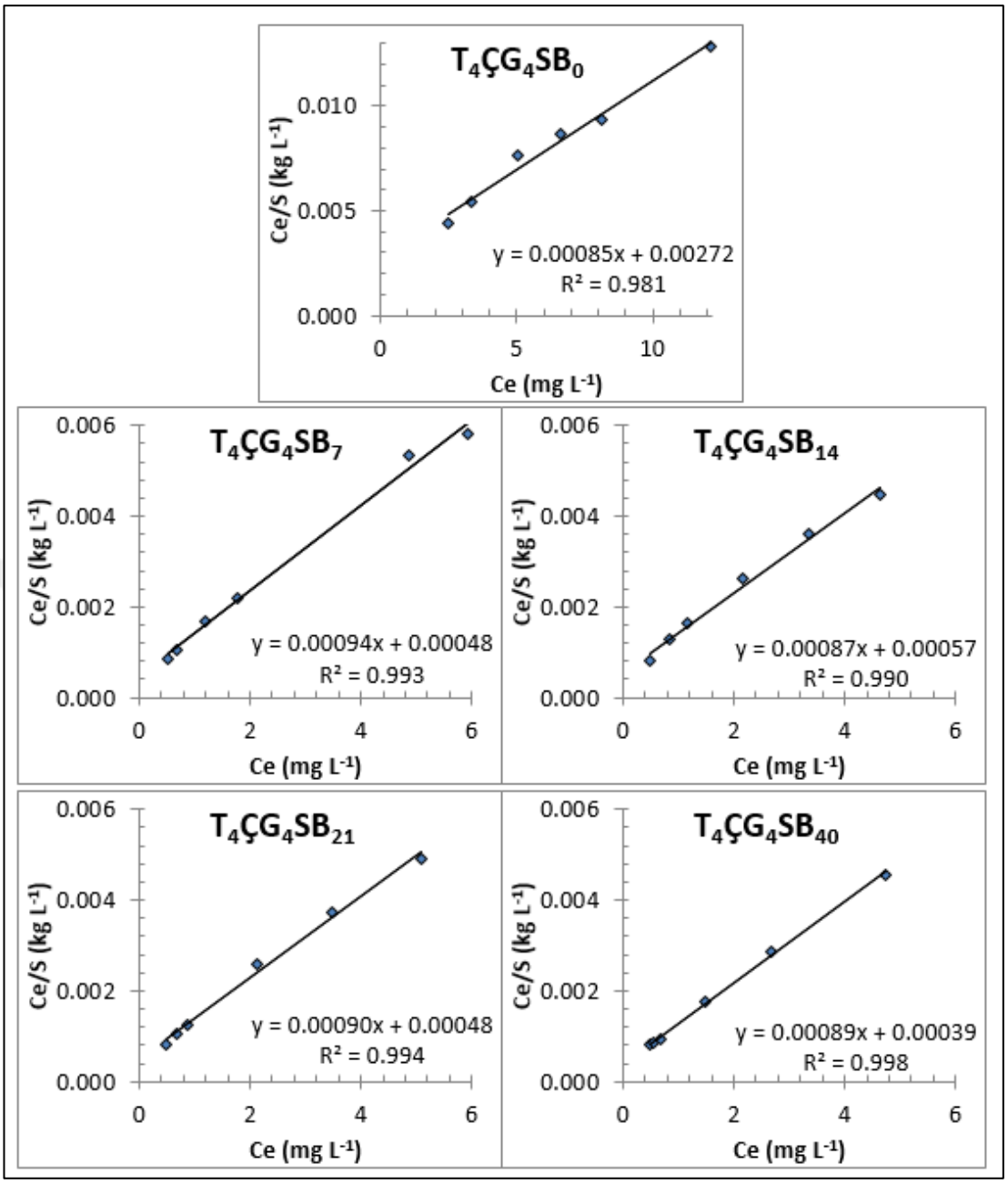
Dördüncü toprakta çiftlik gübresi ilavesi ile tespit edilen fosfor miktarı 2.47 mg kg^{-1} olarak bulunmuştur. Su baskınının mevcut duruma olumlu bir etkisi olarak ilerleyen günlerde çok hızlı bir şekilde düşüş yaşanmış olup 7. günde 0.51, 14. günde 0.48 mg kg^{-1} değerine ulaşmış ilerleyen günlerde de stabil sayılabilecek dalgalanmalar

kazanmıştır. Bu toprağın başlangıç seviyesinde okunan fosfor değeri (0.36 mg kg^{-1}) ile bu iki değer arasındaki uyum her ne kadar çiftlik gübresinden sisteme ilave olan fosforun miktarına işaret etmekte ise de bununla beraber bu fosforun hem redoks reaksiyonlarının oluşturduğu ortamda çiftlik gübresinin sisteme dahil ettiği adsorpsiyon yani tamponlama kapasitesininde yaklaşık 5 kat bir artış olduğunu ortaya koymaktadır (Şekil 4.40).



Şekil 4.40. Dördüncü toprakta (T_4) Freundlich adsorpsiyon izoterminde çiftlik gübresi (ÇG) ve su baskını süresinin etkisi

Çiftlik gübresi uygulaması ile veri setinin tamamı kullanılarak hazırlanan Langmuir adsorpsiyon izoterminde (Şekil 4.41) en düşük 0.981 ve en yüksek 0.998 oranında regresyon katsayısı tespit edilmiştir. Langmuir bağlanma enerjisinin katsayısı en düşük 0.311 L mg^{-1} ve en yüksek 2.298 L mg^{-1} olarak bulunmuştur (Çizelge 4.28).



Şekil 4.41. Dördüncü toprakta (T_4) çiftlik gübresi ($ÇG_4$) ve su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Langmuir adsorpsiyon izotermleri

Normal şartlarda topraklarda kabul sınırı yarayışlı fosfor için 8-25 mg kg^{-1} olarak ifade edilmekte iken (Çizelge 4.26) beşinci toprak örneğinde 6.4 mg kg^{-1} bulunmuştur. Bu da sınıflandırmada düşük kategorisine dahil olan bir değer olarak kabul görmektedir.

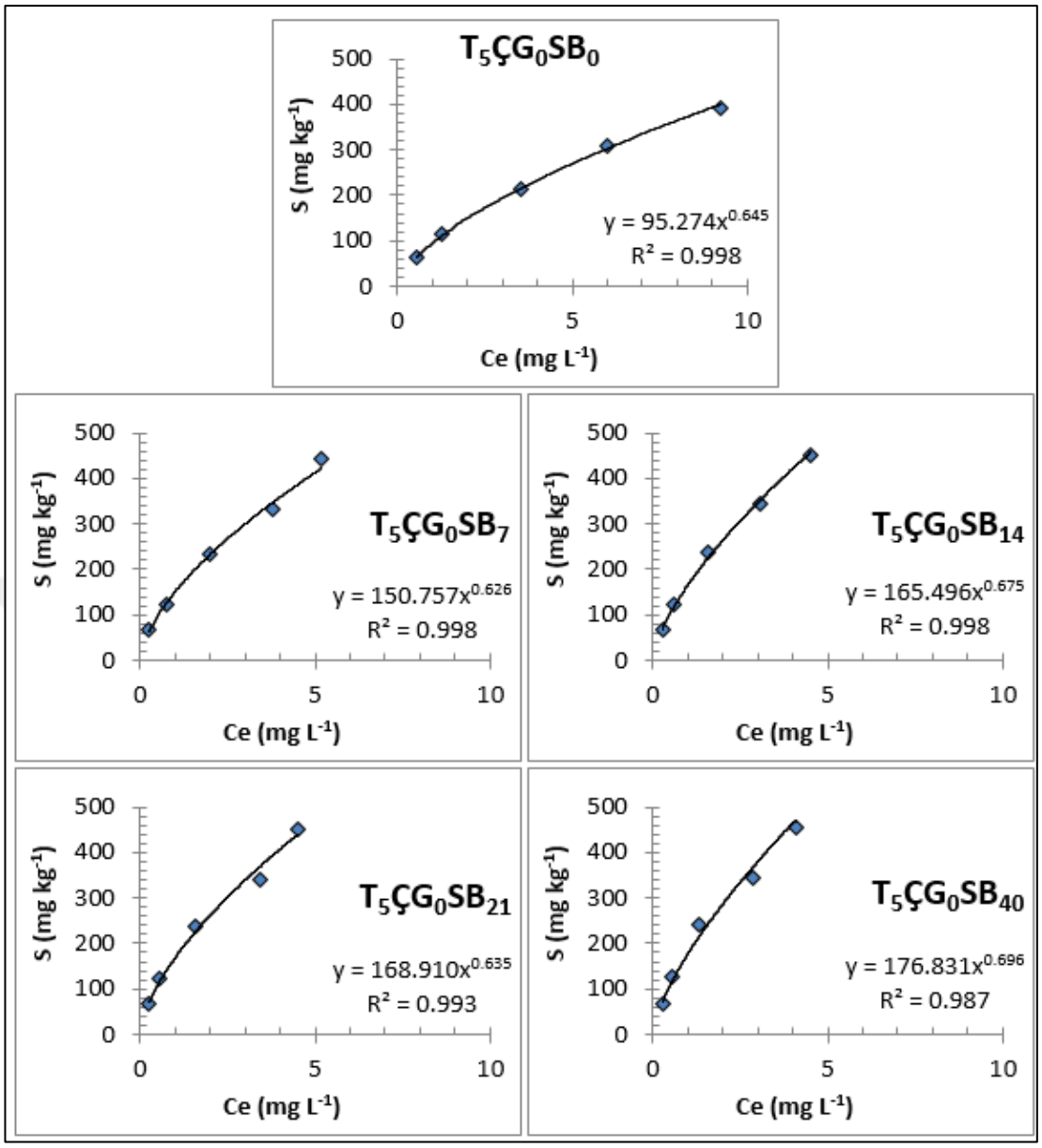
Kurak yarı kurak bölge topraklarında tipik bir özellik olarak toplam fosfor miktarı 300-500 mg kg^{-1} olarak bulunmakta iken (Çizelge 4.27) bu toprakta yaklaşık 2 246 mg kg^{-1} olarak tespit edilmiştir. Karakteristik özellikteki kurak ve yarı kurak bölge

topraklarına göre 1 746 mg kg^{-1} fosfor fazlalığının tespiti, yapılan kontrolsüz ve aşırı gübrelemeye işaret etmektedir.

Beşinci toprakta su baskını süresine bağlı olarak adsorpsiyon izoterm parametrelerindeki değişim şekillerinin hazırlanmasında toprakta bulunan toplam fosfor miktarı da dikkate alındığında maksimum adsorpsiyon değeri su baskını günlerine göre sırasıyla 2 630, 2 681, 2 689, 2 690 ve 2 695 mg kg^{-1} olarak hesaplanmıştır. Yapılan çalışmada ise toprak örneğinde 2 242 mg kg^{-1} şeklinde adsorpsiyon değeri tespit edilmiştir. Bu da teorik (2 246 mg kg^{-1}) ve hesaplanan bu değer arasındaki sonuçların benzerliğinden dolayı iki metodunda kullanılabilirliğine işaret etmektedir. Bunun sonucu olarak topraktaki yeni adsorpsiyon kapasitesi bu şekilde hesaplanabilmekte olup bu değerlerin pratikte kullanılabilirliğini doğrular niteliktedir. Meydana gelebilecek maksimum adsorpsiyon değerlerini verdiğinden dolayı toplam değerin çıkarılması neticesinde iki değerin yüksek bir uyuma sahip olduğu söylenebilmektedir.

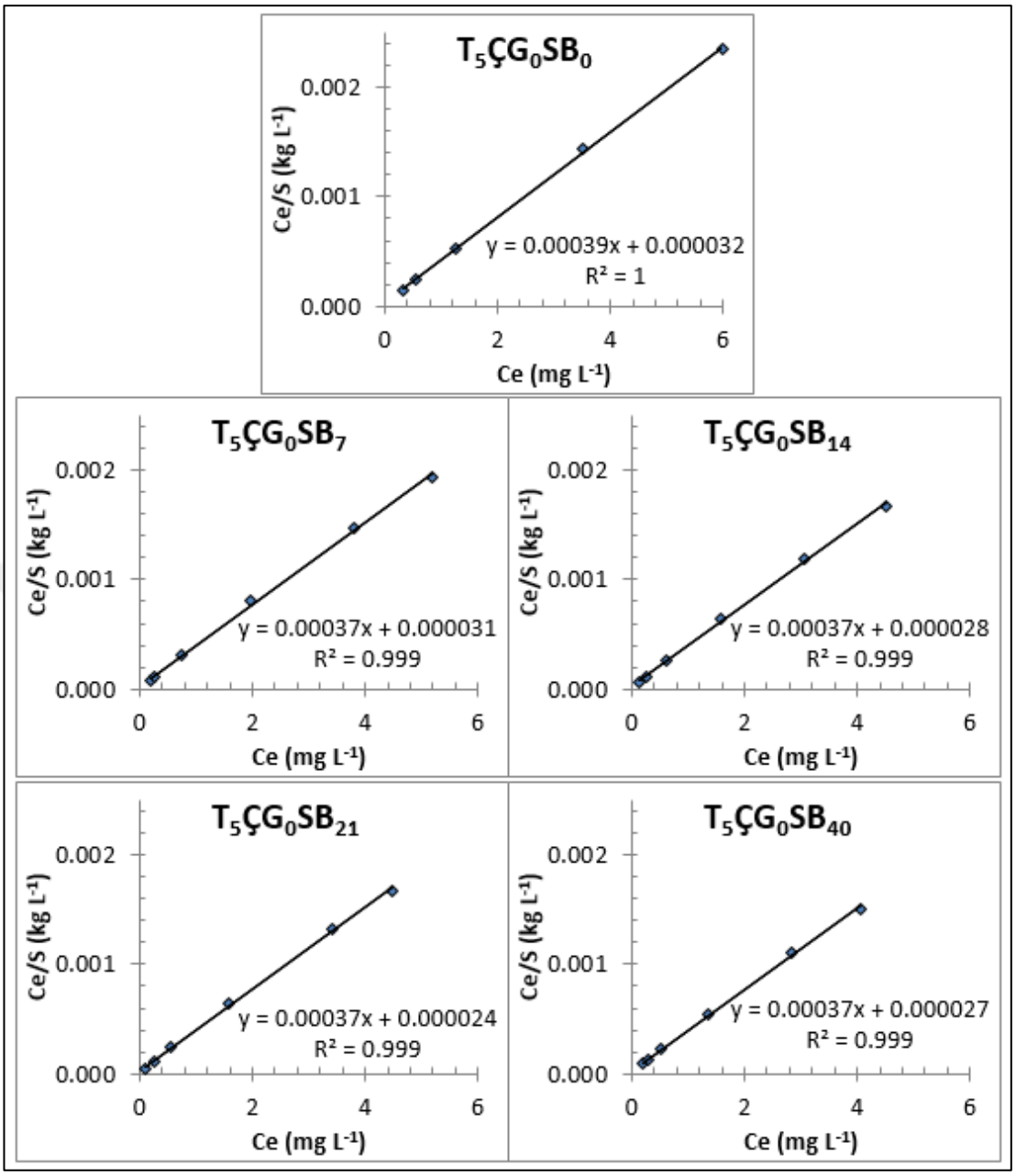
Söz konusu toprak kumlu killi tınlı bir bünyeye sahip olup kil içeriği düşüktür ve dolayısıyla adsorpsiyon kapasitesi düşüktür. Ayrıca gerek yarayışlı gerekse toplam fosfor miktarlarından anlaşıldığı üzere daha önceki dönemlerde yapılan zirai faaliyetlerde gübrelemeye maruz kaldığı göz önünde bulundurulmalıdır. Bunun neticesinde ilave edilebilecek fosforun adsorpsiyon ve/veya çökelme reaksiyonları ile yaklaşık olarak doğrusal bir artış şeklinde ilişkisi bulunmaktadır.

Hazırlanan Freundlich adsorpsiyon izoterminde (Şekil 4.42) en düşük 0.987 ve en yüksek 0.998 oranında regresyon katsayısı tespit edilmiştir. Freundlich bağlanma enerjisinin katsayısı en düşük 95.3 L mg^{-1} ve en yüksek 176.8 L mg^{-1} olarak bulunmuştur (Çizelge 4.28). Fazla sayıda veri noktasının kulanılması doğrusallığın sağlanmasına olumlu etki etmiştir. Su baskınının sürelerindeki en düşük adsorpsiyon seviyesindeki veriler değerlendirilmeye alınmamıştır.



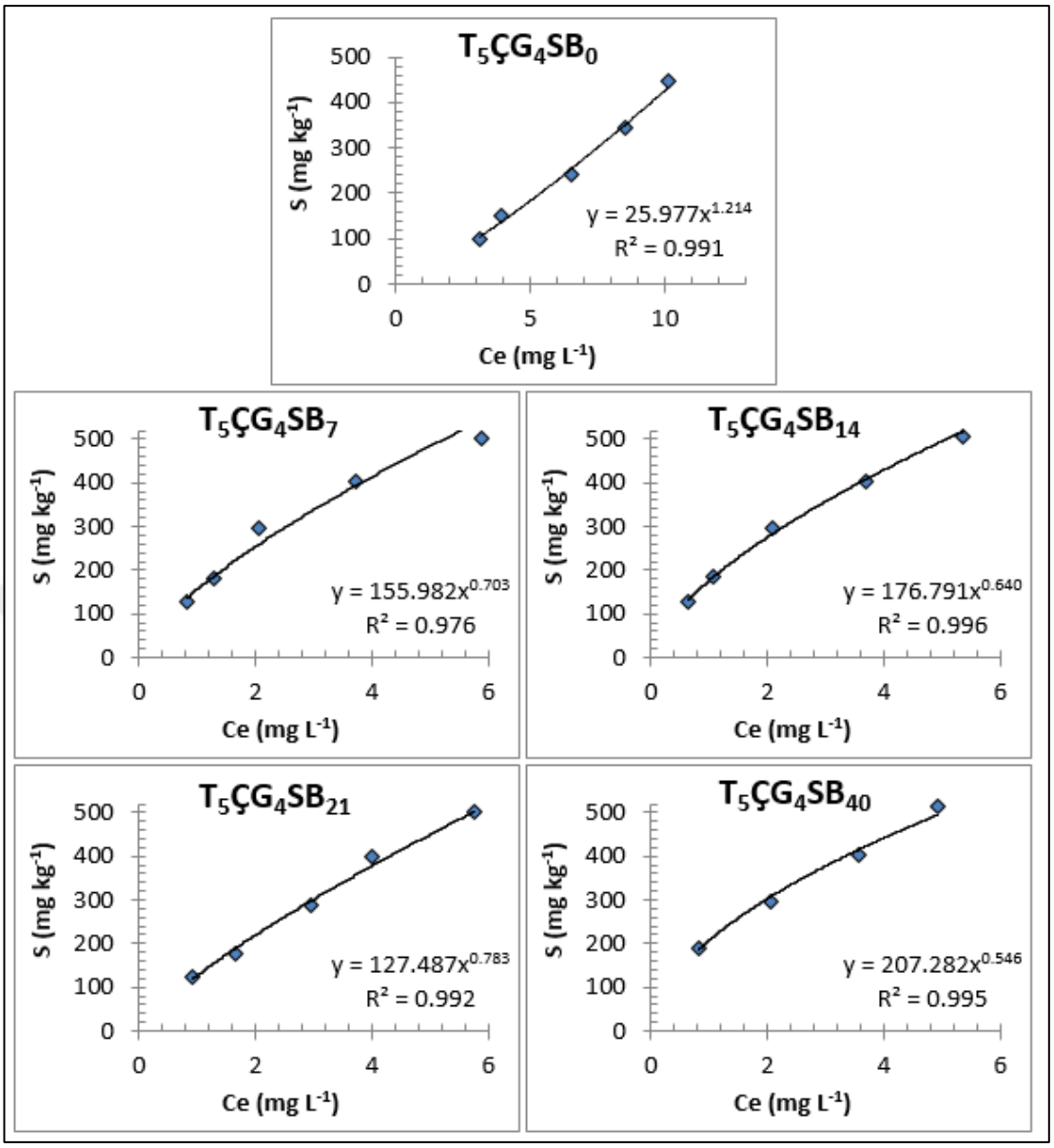
Şekil 4.42. Çiftlik gübresi uygulanmayan ($ÇG_0$) beşinci toprakta (T_5) su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Freundlich adsorpsiyon izotermleri

Hazırlanan Langmuir adsorpsiyon izoterminde (Şekil 4.43) en düşük 0.999 ve en yüksek 1.0 oranında regresyon katsayısı tespit edilmiştir. Langmuir bağlanma enerjisinin katsayısı en düşük 12.032 L mg^{-1} ve en yüksek 15.542 L mg^{-1} olarak bulunmuştur (Çizelge 4.28). Su baskınının 0. günündeki en yüksek adsorpsiyon seviyesindeki veri değerlendirilmeye alınmamıştır.



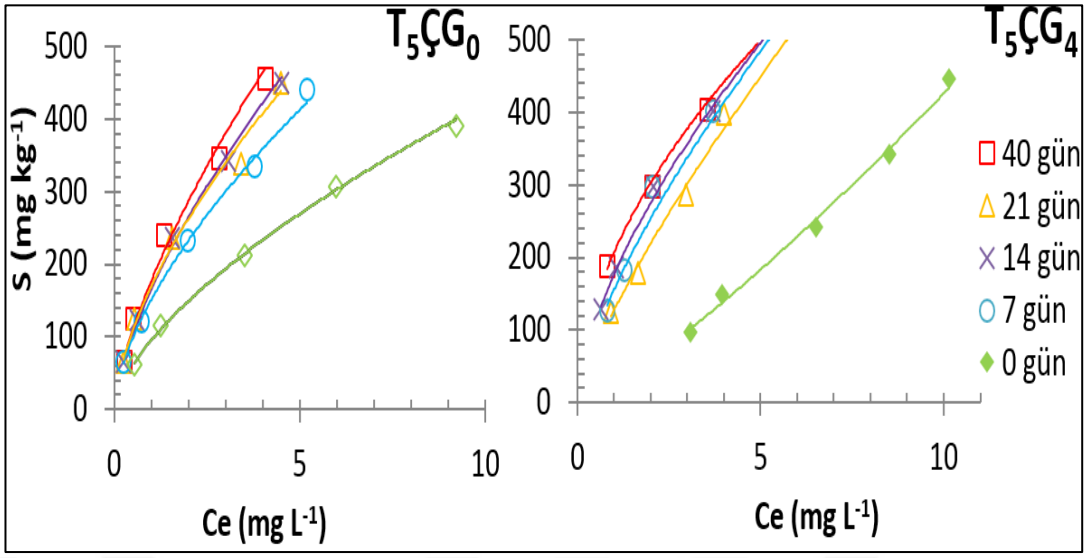
Şekil 4.43. Çiftlik gübresi uygulanmayan ($ÇG_0$) beşinci toprakta (T_5) su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Langmuir adsorpsiyon izotermleri

Çiftlik gübresi uygulaması ile hazırlanan Freundlich adsorpsiyon izoterminde (Şekil 4.44) en düşük 0.976 ve en yüksek 0.996 oranında regresyon katsayısı tespit edilmiştir. Freundlich bağlanma enerjisinin katsayısı en düşük 25.9 L mg^{-1} ve en yüksek 207.3 L mg^{-1} olarak bulunmuştur (Çizelge 4.28). Su baskınının sürelerindeki en düşük adsorpsiyon seviyesindeki veriler değerlendirilmeye alınmamıştır.



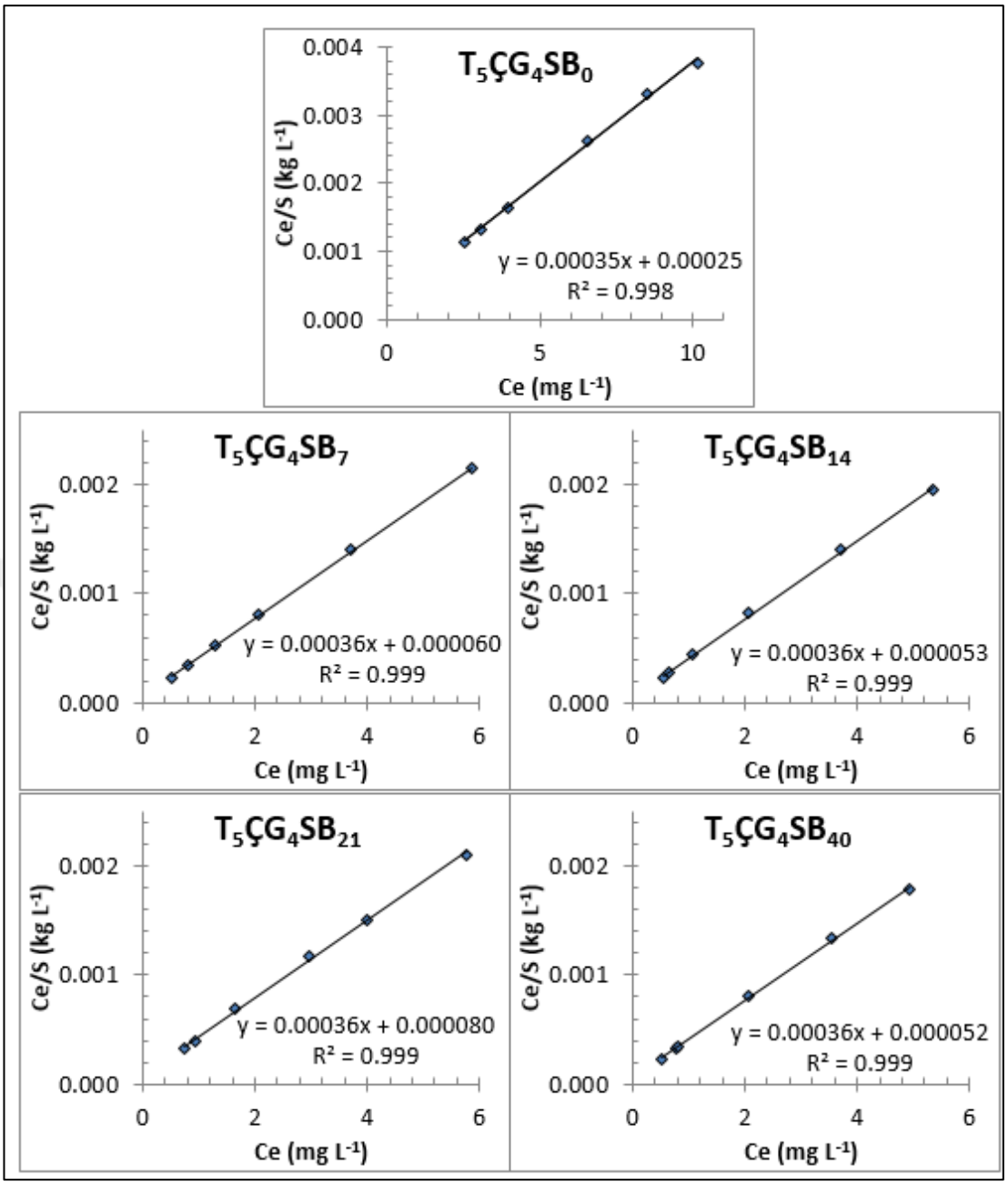
Şekil 4.44. Beşinci toprakta (T_5) çiftlik gübresi ($ÇG_4$) ve su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Freundlich adsorpsiyon izotermleri

Beşinci toprakta çiftlik gübresi ilavesi ile çözeltide okunan fosfor miktarı 2.57 mg kg^{-1} olarak bulunmuştur. Su baskınının mevcut duruma olumlu bir etkisi olarak ilerleyen günlerde çok hızlı bir şekilde düşüş yaşanmış olup 7. günde 0.53 mg kg^{-1} değerine ulaşmış ilerleyen günlerde de stabil sayılabilecek dalgalanmalar kazanmıştır. Bu toprağın başlangıç seviyesinde okunan fosfor değeri (0.33 mg kg^{-1}) ile bu iki değer arasındaki uyum her ne kadar çiftlik gübresinden sisteme ilave olan fosforun miktarına işaret etmekte ise de bununla beraber bu fosforun hem redoks reaksiyonlarının oluşturduğu ortamda çiftlik gübresinin sisteme dahil ettiği adsorpsiyon yani tamponlama kapasitesininde yaklaşık 5 kat bir artış olduğunu ortaya koymaktadır (Şekil 4.45).



Şekil 4.45. Beşinci toprakta (T_5) Freundlich adsorpsiyon izoterminde çiftlik gübresi (ÇG) ve su baskını süresinin etkisi

Çiftlik gübresi uygulaması ile veri setinin tamamı kullanılarak hazırlanan Langmuir adsorpsiyon izoterminde (Şekil 4.46) en düşük 0.998 ve en yüksek 0.999 oranında regresyon katsayısı tespit edilmiştir. Langmuir bağlanma enerjisinin katsayısı en düşük 1.439 L mg^{-1} ve en yüksek 1.865 L mg^{-1} olarak bulunmuştur (Çizelge 4.28).



Şekil 4.46. Beşinci toprakta (T_5) çiftlik gübresi ($ÇG_4$) ve su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Langmuir adsorpsiyon izotermleri

Toprakların su altında bırakılması sonucunda elde edilen veri setinin %90'ı kullanılarak hazırlanan Freundlich izoterm parametrelerinde veri setinin; K*f* değerleri 9.6 – 241.9 L mg^{-1}, 1/n değerleri 0.51 – 1.66 aralığında bulunmuştur. Bu izotermlerin determinasyon katsayısı 0.943 – 0.998 arasında değişim göstermekte olup oldukça yüksek bir şekilde veri setini temsil etmiştir.

Langmuir izoterm parametrelerinde ise veri setinin %97.5'i gibi çok büyük bir bölümünün kullanımı mümkün olmuş ve K*l* değerleri 0.21 – 15.54 L mg^{-1}, maksimum

adsorpsiyon 690 – 2 825 mg kg^{-1} aralığında bulunmuştur. Bu izotermlerin determinasyon katsayısı 0.981 – 1.0 arasında değişim göstermekte olup oldukça yüksek bir şekilde veri setini temsil etmiştir.

Freundlich ve Langmuir adsorpsiyon izotermlerinin hazırlanmasında veri seti kullanım oranlarında ve determinasyon katsayılarının güven aralıklarında Langmuir adsorpsiyon izoterminin nispeten çok daha iyi temsil yeteneği ön plana çıkmıştır.

Toprakların su altında bırakılması sonucu oluşan redoks reaksiyonlarının P adsorpsiyonuna etkisinde genel olarak su altında kalma süresi ile orantılı olarak bir artış gözlemlenmiştir. Bu artış ilk 14 günlük süreçte hızlı gerçekleşmiş devamında artış hızında azalma görülmüştür. İlerleyen süreçte toprak adsorpsiyon sistemlerinin ilk günlere nazaran daha stabil olduğu ve dar aralıklarda değişkenlik gösterdiği tespit edilmiştir. Bu durum sistemdeki adsorpsiyon mekanizmalarının doygunluğa ulaşması ve tamponlamanın bir etkisi olarak yorumlanabilmektedir. Su altında kalan topraklardaki yapılan çalışmalarda inkübasyon süresinin uzaması sonucunda değişen pH'nın etkisiyle sekonder çökelme reaksiyonları meydana gelmekte yarayışlı P konsantrasyonlarında değişimler olmaktadır. Bu değişimlerin P adsorpsiyonunu bu şekilde etkileyebileceği düşünülmektedir. Diğer taraftan çözünmeler sonucunda yarayışlılığı artan iyonların ortamdaki bulunan çözünebilir fazdaki iyonları ile interaksiyonu sonucunda adsorpsiyonu düşürdüğü ifade edilebilir. Toprakların yoğun gübreleme programlarına tabi tutulmasının adsorpsiyonu etkilemesi beklenilen bir durum olarak ortaya çıkmaktadır.

Ayrıca inkübasyon sonucunda topraklar kurutulmuştur. Bu kurutma esnasında daha çok amorf yapılar meydana gelmiştir. Bu meydana gelen amorf yapıların adsorpsiyon kabiliyetleri diğer yaşlı veya kristalize yapılardan daha yüksektir. Nitekim Couic vd. (2022) yapmış oldukları çalışmalarda FeOx'lerin yaşlanması ile birlikte adsorpsiyon kabiliyetlerinin azaldığını bildirmiştir.

Bu çalışmanın önemli bulgularından bir tanesi ise analiz edilen toprakların P bakımından zenginliğidir. Söz konusu toprak örneklerinde toplam P konsantrasyonları en düşük 528 mg kg^{-1} ve en yüksek 2 246 mg kg^{-1} olarak bulunmuştur. Bu kadar yüksek toplam fosfor konsantrasyonları, bu topraklardaki son yıllarda yapılan yoğun tarımın bir göstergesi olarak ortaya çıkmaktadır. Ayrıca Olsen-P içerikleri de yoğun gübrelemenin bir göstergesidir (Fischer vd., 2017; Couic vd., 2022) zira fosforlu gübrelerin içerisinde fazla miktarda çözünebilir durumda reaktif fosfor bulunmaktadır (Zhang vd., 2020).

Genel olarak fosfor adsorpsiyon mekanizmalarındaki meydana gelen farklılıklar (i) toprak bileşimi ve toprağın P adsorpsiyon özellikleri, (ii) arazi kullanım geçmişi ve yoğun tarımın etkisi (Medinski vd., 2018) (iii) değişken P girdileri ile açıklanabilmektedir.

Çiftlik gübresi ilavesiyle su altında kalan topraklarda bazı durumlarda adsorpsiyon eğrisinde azalma meydana gelmektedir. Bu durum 2 numaralı toprak örneğinde gözlemlenmiştir. Söz konusu toprakta başlangıçta 1 866 mg kg^{-1} olan maksimum adsorpsiyon 21 günlük süreçte 1 605 mg kg^{-1} olarak bulunmuştur. Bunun nedeni olarak organik maddenin iki temel potansiyel fonksiyona sahip olduğu belirtilebilir. Birinci olarak organik maddenin sisteme ilave edilen materyali tutma özelliğine sahip olması, ikinci olarak yüksek pH'da sistemdeki iyonlaşan organik maddenin şelatlaşma eğiliminde olması (Gökmen ve Uygur, 2022b) şeklinde yorumlanabilmektedir. Zira toprak pH'sı düştüğünde organik maddenin adsorbe edici özelliği (Yan, 2020), artışında ise iyonlaşma vasıtasıyla şelatlayıcı ve adsorpsiyonu engelleyici özelliği ortaya çıkabilmektedir (Hayatu vd., 2023).

4.3.2. Topraklarda çinko adsorpsiyonu

Toprak örneklerininde hazırlanan adsorpsiyon izotermleri genellikle H tipi eğri oluşturmaktadır. L-tipinin özel bir şekli olan ve adsorbatın adsorbana olan yüksek ilgisini gösteren H-tipi izotermin izotermin başlangıç kısmı dikeydir (Giles vd., 1960).

Yapılan çalışmalarda ölçümlenen değerler ile hazırlanan Langmuir izotermlerinin doğruluk seviyeleri oldukça düşük bulunmuş olup topraklarda bulunan toplam çinko

miktarı da hesaplamalarda dahil edilerek kullanıldığında bu seviyenin artmış olduğu gözlemlendiği için ilave edilmiştir.

Veith ve Sposito (1977), yaptıkları çalışmalarda da topraklarda özellikle yüksek konsantrasyonlarda çökelme reaksiyonlarının olmasının hem Freundlich hem de Langmuir adsorpsiyon izoterminin kullanımında önemli problemler oluşturduğunu, farklı durumlarda ise bazen çökelme reaksiyonlarının izotermler şeklinde tanımlanabildiğini bildirmişlerdir.

Bazı araştırmacılar su altında kalan topraklarda mevcut sistemdeki adsorpsiyon mekanizmasının maksimum seviyeye ulaşmasının hızlı olduğunu ve ilerleyen süreçte adsorpsiyon miktarı artmayı durdurduğunu ve dinamik dengeye ulaştığını ifade etmişlerdir. Bu nedenle tüm adsorpsiyon süreci hızlı bir adsorpsiyon ve yavaş bir dinamik denge olmak üzere iki farklı aşamaya ayırmış olduklarını bildirmişlerdir (Miranda vd., 2021, 2022; Yu vd., 2023).

Hafif bünyeli topraklarda adsorpsiyon mekanizmasının kontrol şartlarınının zaman zaman oluşamadığı durumlarda dinamik dengenin çökelme mekanizmaları tarafından kontrol edilmekte olduğu, bu sekonder çökelme reaksiyonları neticesinde çinkonunda adsorbe edildiği şelatlaşma reaksiyonları meydana geldiği düşünülmektedir. Ayrıca düşük adsorpsiyon verilerinin değerlendirilmesinde ise toprak reaksiyonunun ve toprakta bulunan organik maddenin yüksek olduğu durumlarda sistemde meydana gelen şelatlaşmalar, artan konsantrasyonlarda değişen pH neticesinde adsorbanın iyonik formunda meydana gelen değişimler neticesinde izoterm eğrilerinde oluşan sapmalar nedeniyle değerlendirmeye alınmamıştır. Çalışmada kullanılan topraklarda daha önceki tarımsal uygulamaların (gübreleme, ilaçlama vs) etkileri de göz önünde bulundurularak izotermlerin daha başarılı bir şekilde kabul edilebilir düzeyde üretilebildiği tespit edilmiştir. Bu nedenle çalışmada kullanılan topraklarda genel olarak veri setinin bütünlüğüne uygun olmayan bazı alt ve üst adsorpsiyon değerleri değerlendirmeye alınmamıştır. Freundlich adsorpsiyon izotermlerinde genellikle en düşük (0 mg kg^{-1}) ve en yüksek değeri (400 mg kg^{-1}) adsorpsiyon verileri değerlendirmeye alınmamıştır. Langmuir adsorpsiyon izotermlerinde ise en düşük (0 mg kg^{-1}) ile en yüksek iki adsorpsiyon değeri (200 ve 400 mg kg^{-1}) değerlendirmeye alınmayarak diğer veriler üzerinden izoterm eğrileri hazırlanmıştır. Zira yüksek

derişimdeki sapmalar çökelme reaksiyonlarından, düşük derişimdeki sapmalarda çinkonun toprakta şelat oluşturan yapılarla (organik madde vb.) oluşturduğu komplekslerin etkisiyle göreceli olarak daha yüksek miktarda toprak çözeltisinde kalmasından kaynaklanmaktadır. İzoterm eğrilerinin hazırlanmasında kullanılan çinko adsorpsiyon seviyeleri Çizelge A.17'de verilmiştir.

Katyon değişim kapasitesinin düşük olduğu kumlu tınlı tekstüre sahip olan birinci toprakta izoterm eğrileri için yüksek adsorpsiyon seviyeleri (100, 200, 400 mg kg^{-1}) değerlendirilmeye alınmamış, diğer veriler kullanılmıştır çünkü bütün su baskını sürelerinde spesifik bir şekilde 20 mg Zn kg^{-1} seviyesine kadar normal adsorpsiyon bölgesi olarak gözlelenebilmekte olup daha ileriki ilavalerde sekonder çökelme reaksiyonları oluşmakta bu çökelmeler neticesinde çinkonunda adsorbe edildiği şelatlaşma reaksiyonları meydana gelmektedir.

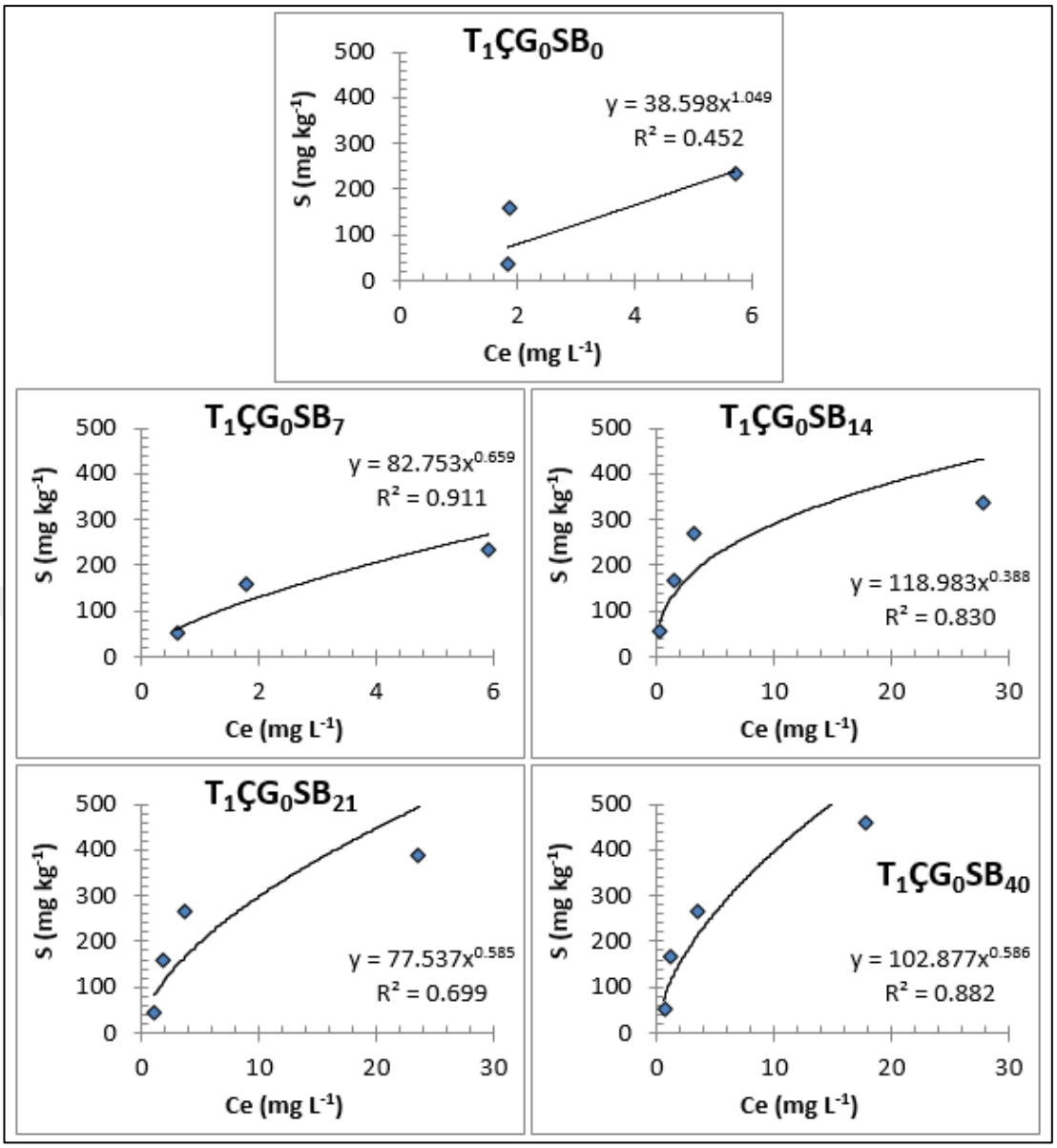
Toprak örneklerinde Freundlich ve Langmuir adsorpsiyon izoterm eğrilerinin elde edilmesinde kullanılan çinko adsorpsiyon veri noktalarına göre Freundlich adsorpsiyon izoterm eğrileri için veri setinin %54'ü, Langmuir adsorpsiyon izoterm eğrilerinin hazırlanmasında veri setinin %80'i kullanılmıştır.

Hazırlanan Freundlich adsorpsiyon izoterminde en düşük 0.452 ve en yüksek 0.911 oranında regresyon katsayısı tespit edilmiştir (Şekil 4.47). Freundlich bağlanma enerjisinin katsayısı en düşük 38.6 L mg^{-1} ve en yüksek 119 L mg^{-1} olarak bulunmuştur (Çizelge 4.29).

Çizelge 4.29. Toprakların Zn adsorpsiyonu için hesaplanan izoterm parametreleri

Toprak No	Çiftlik Gübresi	Su Baskını	**Freundlich**			**Langmuir**		
	t da^{-1}	Gün	K*f* (L mg^{-1})	1/n	R^2	K*l* (L mg^{-1})	S_{max}* (mg kg^{-1})	R^2
1	0	0	38.6	1.049	0.452	2.560	78	0.999
1	0	7	82.8	0.659	0.911	0.419	71	0.996
1	0	14	119.0	0.388	0.830	0.217	68	0.997
1	0	21	77.5	0.585	0.699	0.990	96	0.964
1	0	40	102.9	0.586	0.882	0.168	65	0.996
1	4	0	96.0	0.776	0.949	0.111	122	0.950
1	4	7	178.0	0.277	0.550	0.462	333	0.964
1	4	14	167.5	0.538	0.969	0.124	156	0.945
1	4	21	85.0	0.799	0.870	1.571	227	0.998
1	4	40	108.7	0.727	0.920	0.489	455	0.997
2	0	0	154.4	0.350	0.998	0.140	75	0.994
2	0	7	279.8	0.170	0.878	0.167	667	0.956
2	0	14	217.6	0.381	0.99	0.064	75	0.969
2	0	21	197.4	0.466	0.932	0.765	769	0.997
2	0	40	235.1	0.438	0.928	0.458	909	0.999
2	4	0	173.5	0.480	0.994	0.141	217	0.984
2	4	7	398.8	0.330	0.959	0.454	1 136	0.999
2	4	14	279.5	0.538	0.975	0.440	909	0.996
2	4	21	194.1	0.715	0.935	0.388	1 000	0.998
2	4	40	235.6	0.613	0.948	0.348	1 136	0.999
3	0	0	50.2	0.738	0.153	0.290	87	0.982
3	0	7	270.7	0.267	0.991	0.161	294	0.977
3	0	14	91.2	0.683	0.712	0.381	81	0.995
3	0	21	63.7	0.805	0.669	0.167	83	0.996
3	0	40	77.7	0.809	0.761	0.181	192	0.889
3	4	0	96.1	0.802	0.93	7.810	305	0.993
3	4	7	467.6	0.241	0.994	0.517	1 099	1
3	4	14	197.2	0.417	0.867	0.344	455	0.988
3	4	21	62.4	1.127	0.923	1.031	303	0.991
3	4	40	180.0	0.413	0.853	0.230	714	0.996
4	0	0	189.2	0.364	0.984	0.185	96	0.996
4	0	7	365.0	0.266	0.775	5.182	585	0.999
4	0	14	189.5	0.542	0.988	0.074	74	0.979
4	0	21	139.6	0.631	0.937	0.248	370	0.983
4	0	40	242.0	0.306	0.86	1.071	667	0.999
4	4	0	225.9	0.467	0.934	0.264	270	0.987
4	4	7	430.9	0.318	0.896	0.862	1 064	1
4	4	14	246.4	0.553	0.946	28.333	588	0.995
4	4	21	187.1	0.557	0.922	0.207	833	0.986
4	4	40	260.4	0.491	0.961	0.281	1 099	0.998
5	0	0	237.8	0.372	0.916	0.314	909	1
5	0	7	485.6	0.282	0.997	0.367	1 299	0.999
5	0	14	254.2	0.452	0.94	0.273	833	0.987
5	0	21	198.9	0.470	0.906	0.765	769	0.997
5	0	40	259.4	0.402	0.954	0.331	1 010	1
5	4	0	220.4	0.578	0.972	2.128	546	0.995
5	4	7	461.6	0.400	0.938	0.098	2 222	0.934
5	4	14	269.0	0.681	0.945	0.196	1 333	0.999
5	4	21	187.5	0.738	0.938	0.326	1 064	0.998
5	4	40	285.9	0.553	0.947	0.306	1 235	0.999

*S_{max} : Maksimum adsorpsiyon



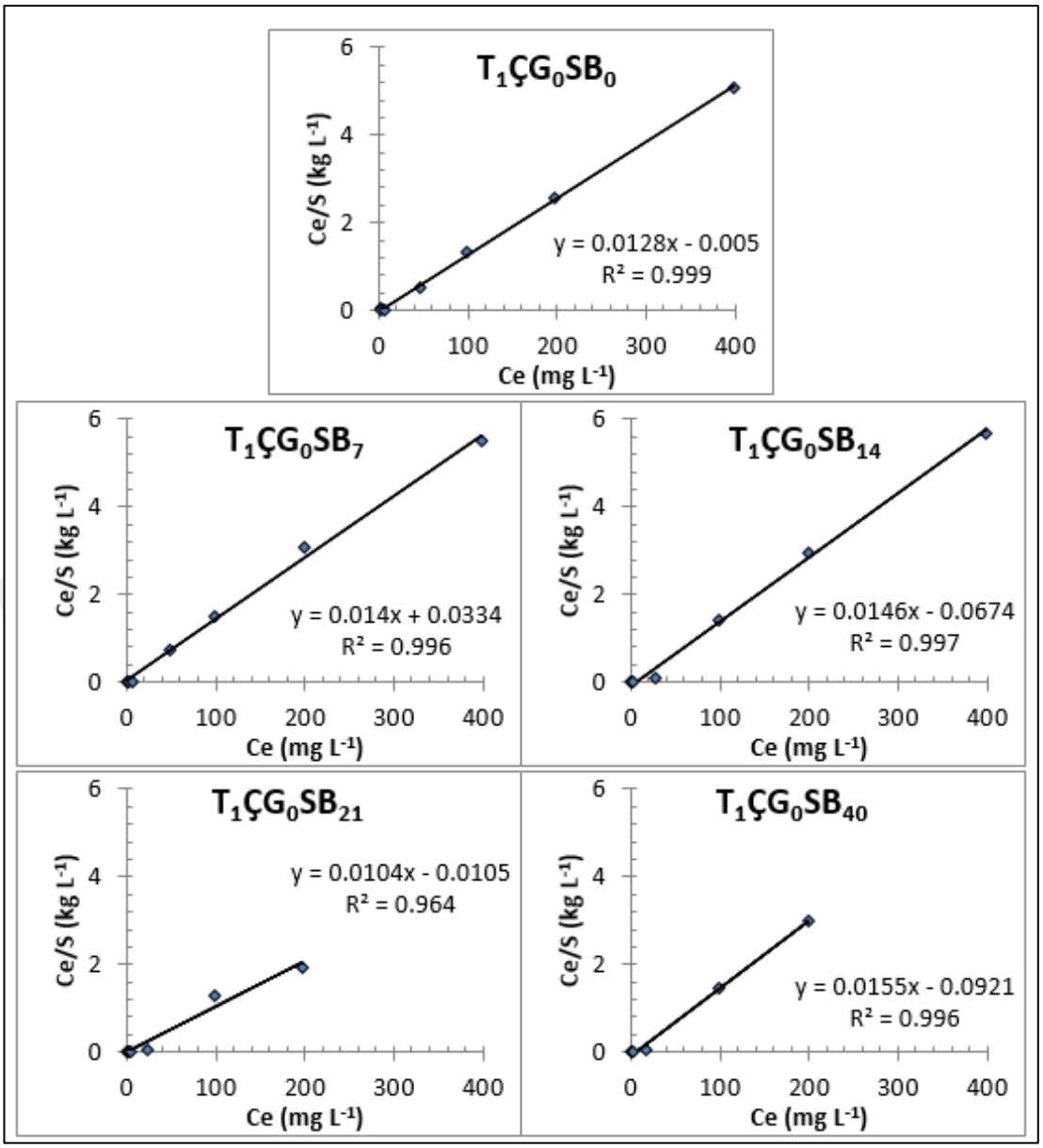
Şekil 4.47. Çiftlik gübresi uygulanmayan ($ÇG_0$) birinci toprakta (T_1) su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Freundlich adsorpsiyon izotermleri

Toprağın adsorpsiyon kapasitesi ilk gün için 236 mg kg^{-1} seviyesine kadar gerçekleşmekte olup, ilk iki haftadaki su baskını durağan reaksiyonlar ile seyretmekte iken 14. gün 334, 21. gün 386, 40. gün 459 mg kg^{-1} adsorpsiyon seviyeleri tespit edilmiştir.

İkinci haftadan daha fazla su altında kalmanın bu toprağın çinko adsorpsiyon kapasitesini belli bir seviyeye kadar doğrusal olarak artırdığı tespit edilmiştir. Ancak söz konusu seviyelerden sonra gerek sekonder çökelme reaksiyonları, gerek indirgen koşullarda hızlı bir şekilde artan Fe ve Mn iyonları konsantrasyonu, gerekse

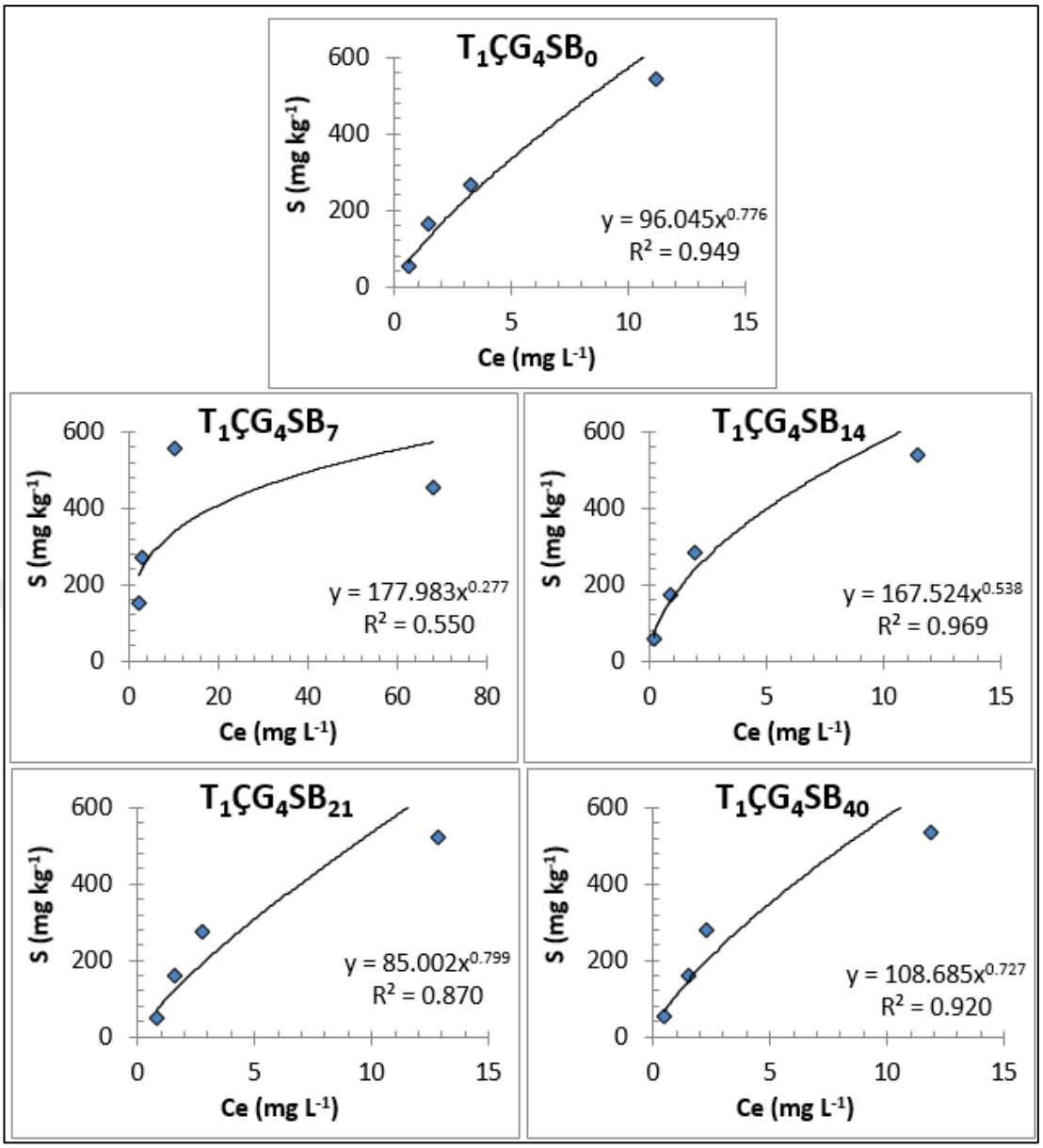
adsorpsiyon sonucunda ortamda artan H^+ iyonları neticesinde sistemin pH dengesi değiştiğinden dolayı adsorpsiyon yüzeylerinin tahribatı neticesinde çinko daha fazla adsorbe olamamakta veya nisbeten daha az adsorbe olmaktadır. Bu seviyelerden sonrasında bu toprakta ortama ilave edilen çinkonun toprak tamponlama sistemleri tarafından adsorbe edilemediği tespit edilmiştir. Ancak artan dozlarda çinko ilavesi neticesinde su baskınının 21. ve 40. günlerinde yaklaşık 1 200 mg kg^{-1} adsorpsiyon gözlemlenmiş olup burada farklı tamponlama sistemlerinin devreye girdiği tahmin edilmektedir.

Hazırlanan Langmuir adsorpsiyon izoterminde (Şekil 4.48) en düşük 0.945 ve en yüksek 0.998 oranında regresyon katsayısı tespit edilmiştir. Langmuir bağlanma enerjisinin katsayısı en düşük 0.168 L mg^{-1} ve en yüksek 2.56 L mg^{-1} olarak bulunmuştur (Çizelge 4.29). Bu toprak su baskınının 21. gününde hesaplanabilen maksimum adsorpsiyon seviyesine ulaşmıştır. Su baskınının 40. gününde düşük, 21 ve 40. gününde yüksek adsorpsiyon seviyesindeki veriler değerlendirilmeye alınmamıştır.



Şekil 4.48. Çiftlik gübresi uygulanmayan ($ÇG_0$) birinci toprakta (T_1) su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Langmuir adsorpsiyon izotermleri

Çiftlik gübresi uygulaması ile hazırlanan Freundlich adsorpsiyon izoterminde (Şekil 4.49) en düşük 0.582 ve en yüksek 0.969 oranında regresyon katsayısı tespit edilmiştir. Freundlich bağlanma enerjisinin katsayısı en düşük 30.7 L mg^{-1} ve en yüksek 167.5 L mg^{-1} olarak bulunmuştur (Çizelge 4.29). İzoterm eğrileri için yüksek adsorpsiyon seviyeleri (100, 200, 400 mg kg^{-1}) değerlendirilmeye alınmamış, diğer veriler kullanılmıştır.



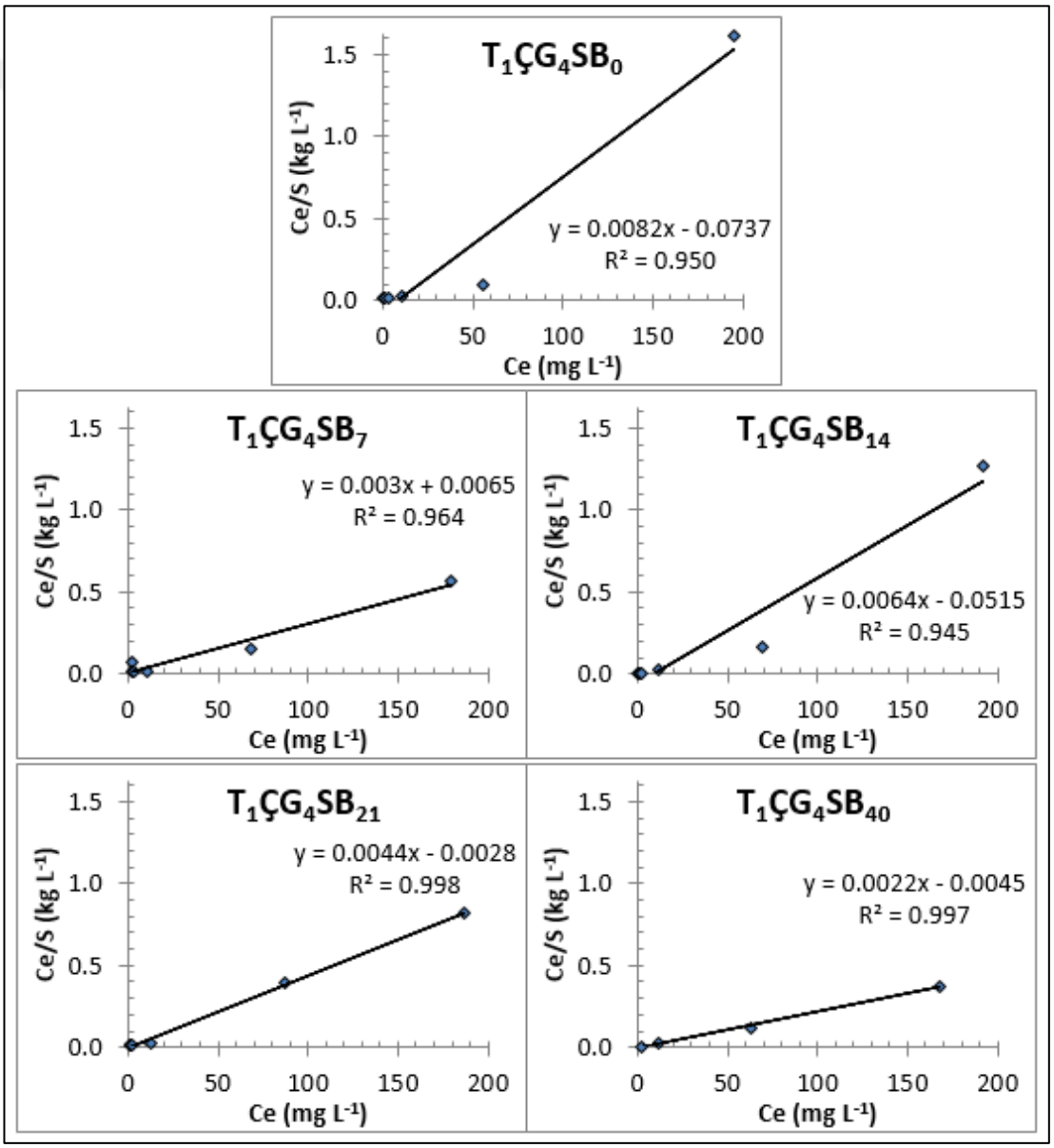
Şekil 4.49. Birinci toprakta (T_1) çiftlik gübresi ($ÇG_4$) ve su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Freundlich adsorpsiyon izotermleri

Çiftlik gübresi ilave edilmiş toprağın adsorpsiyon miktarı ilk günde 610 mg kg^{-1} olarak bulunmuş olup bu miktar toprağın su baskını neticesinde giderek azalmış, 21. günde 520 mg kg^{-1} seviyesine düşmüştür. 40. günde ise 535 mg kg^{-1} olarak tespit edilmiştir.

Çiftlik gübresi ilave edilmiş toprağın adsorpsiyon kapasitesinde su baskınının 21. gününden itibaren yaklaşık 1 600 mg kg^{-1} seviyelerinin tespiti, daha önce de belirtildiği üzere sekonder çökelme reaksiyonlarının ve ayrıca farklı tampon sistemlerin bir göstergesi olarak ifade edilebilmektedir.

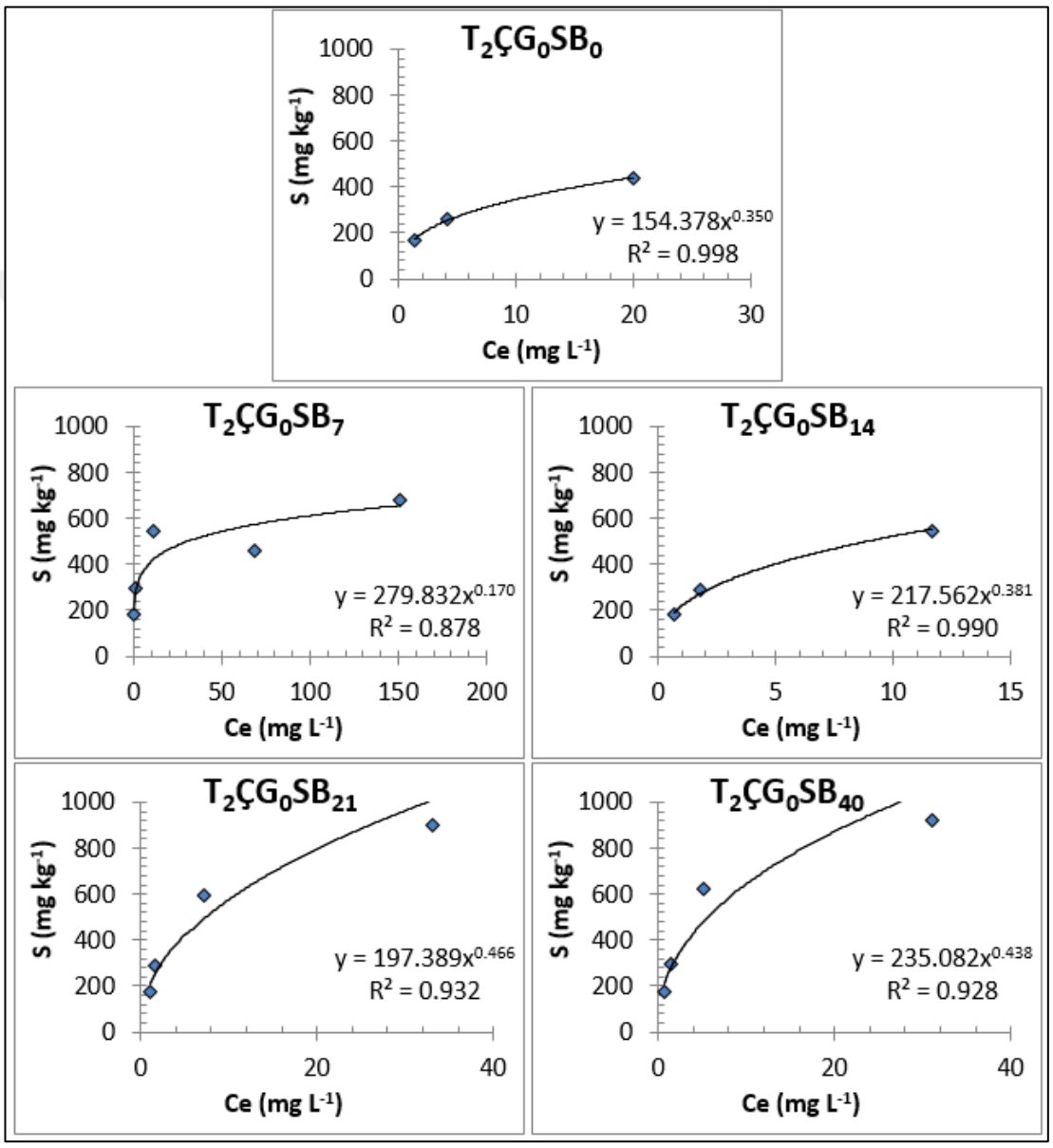
Çiftlik gübresi uygulaması ile hazırlanan Langmuir adsorpsiyon izoterminde (Şekil 4.50) en düşük 0.945 ve en yüksek 0.998 oranında regresyon katsayısı tespit edilmiştir. Langmuir bağlanma enerjisinin katsayısı en düşük 0.111 L mg^{-1} ve en yüksek 1.571 L mg^{-1} olarak bulunmuştur (Çizelge 4.29). Su baskınının 40. gününde düşük veriler (0 ve 10 mg kg^{-1}) ile su baskını sürelerinin en yüksek adsorpsiyon seviyeleri değerlendirilmeye alınmamış, diğer veriler kullanılmıştır.

Çiftlik gübresininde etkisiyle bu toprak su baskınının 7. gününde hesaplanabilen adsorpsiyon seviyesi ilk gününe oranla yaklaşık 3 kat artış göstermiştir.



Şekil 4.50. Birinci toprakta (T_1) çiftlik gübresi ($ÇG_4$) ve su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Langmuir adsorpsiyon izotermleri

İkinci toprak için en düşük ile yüksek olan iki adsorpsiyon seviyeleri değerlendirmeye alınmadan hazırlanan Freundlich adsorpsiyon izoterminde (Şekil 4.51) en düşük 0.878 ve en yüksek 0.998 oranında regresyon katsayısı tespit edilmiştir. Freundlich bağlanma enerjisinin katsayısı en düşük 154 L mg^{-1} ve en yüksek 280 L mg^{-1} olarak bulunmuştur (Çizelge 4.29).



Şekil 4.51. Çiftlik gübresi uygulanmayan ($ÇG_0$) ikinci toprakta (T_2) su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Freundlich adsorpsiyon izotermleri

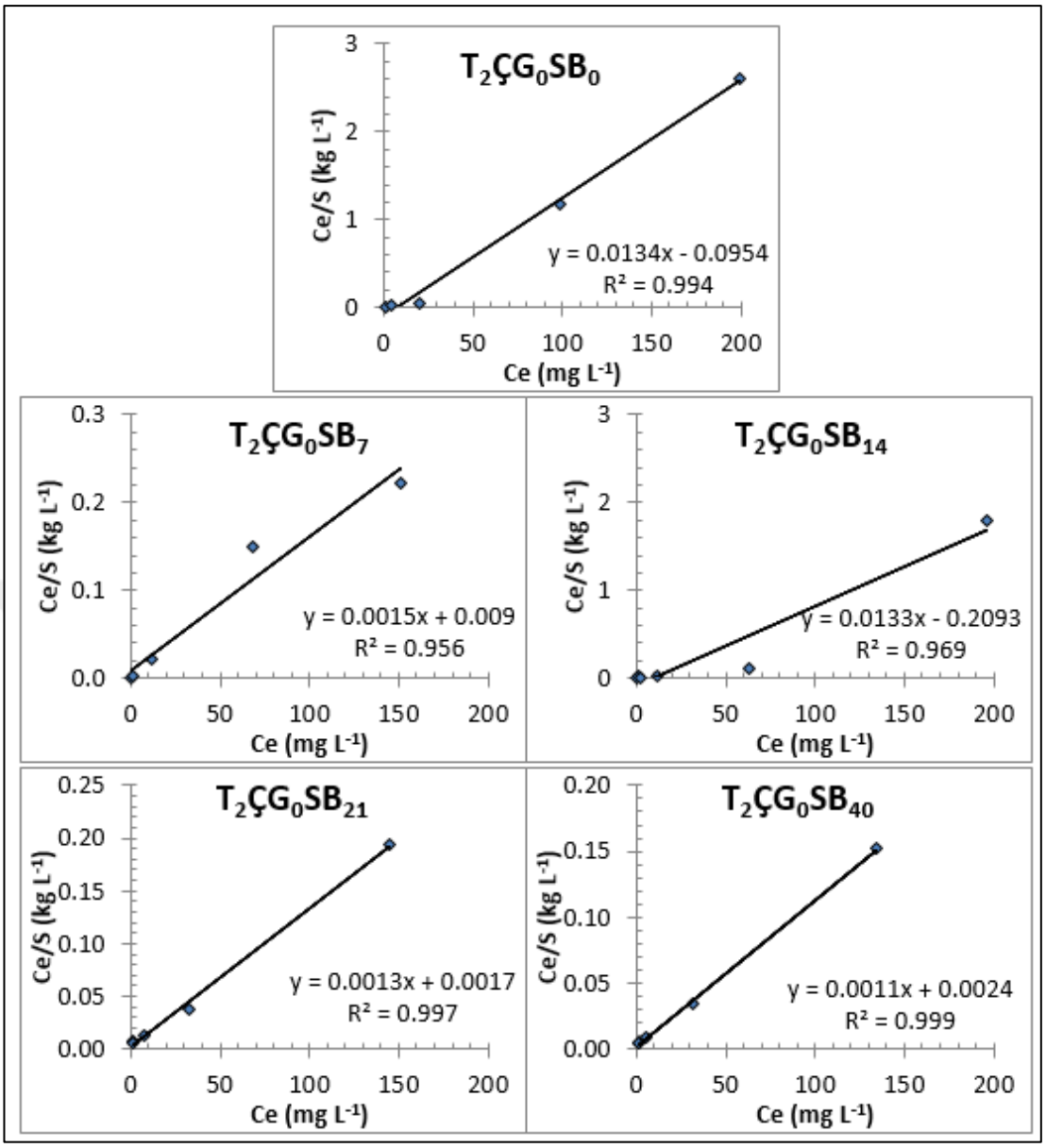
Genel olarak katyon değişim kapasitesinin düşük olduğu tınlı bünyeye sahip olan ikinci toprakta izoterm eğrileri için başlangıçtaki noktalar kullanılmıştır çünkü bütün su baskını sürelerinde spesifik bir şekilde 50 mg Zn kg^{-1} seviyesine kadar normal

adsorpsiyon bölgesi olarak gözlelenebilmekte olup daha ileriki ilavalerle sekonder çökelme reaksiyonları oluşmakta bu çökelmeler neticesinde çinkonunda adsorbe edildiği şelatlaşma reaksiyonları meydana gelmektedir.

Toprağın adsorpsiyon kapasitesi ilk gün için 436 mg kg^{-1} seviyesine kadar gerçekleşmekte olup, ilk iki haftadaki su baskını durağan reaksiyonlar ile seyretmekte iken 14. gün 541, 21. gün 898, 40. gün 922 mg kg^{-1} adsorpsiyon seviyeleri tespit edilmiştir.

İkinci haftadan daha fazla su altında kalmanın bu toprağın çinko adsorpsiyon kapasitesini belli bir seviyeye kadar doğrusal olarak artırdığı tespit edilmiştir. Ancak söz konusu seviyelerden sonra gerek sekonder çökelme reaksiyonları, gerek indirgen koşullarda hızlı bir şekilde artan Fe ve Mn iyonları konsantrasyonu, gerekse adsorpsiyon sonucunda ortamda artan H^+ iyonları neticesinde sistemin pH dengesi değiştiğinden dolayı adsorpsiyon yüzeylerinin tahribatı neticesinde çinko daha fazla adsorbe olamamakta veya nisbeten daha az adsorbe olmaktadır. Bu seviyelerden sonrasında bu toprakta ortama ilave edilen çinkonun toprak tamponlama sistemleri tarafından adsorbe edilemediği tespit edilmiştir. Ancak artan dozlarda çinko ilavesi neticesinde su baskınının 21. ve 40. günlerinde sırasıyla yaklaşık 1 700 ve 2 000 mg kg^{-1} adsorpsiyon gözlemlenmiş olup burada farklı tamponlama sistemlerinin görev aldığı tahmin edilmektedir.

Hazırlanan Langmuir adsorpsiyon izoterminde (Şekil 4.52) en düşük 0.956 ve en yüksek 0.999 oranında regresyon katsayısı tespit edilmiştir. Langmuir bağlanma enerjisinin katsayısı en düşük 0.064 L mg^{-1} ve en yüksek 0.765 L mg^{-1} olarak bulunmuştur (Çizelge 4.29). Bu toprak su baskınının 7. gününde hesaplanabilen adsorpsiyon seviyesi ilk gününe oranla yaklaşık 9 kat artış göstermiştir. Su baskınının 0, 7, 21 ve 40. günündeki en düşük veriler ile su baskını sürelerinin en yüksek adsorpsiyon seviyeleri değerlendirilmeye alınmamış, diğer veriler kullanılmıştır.



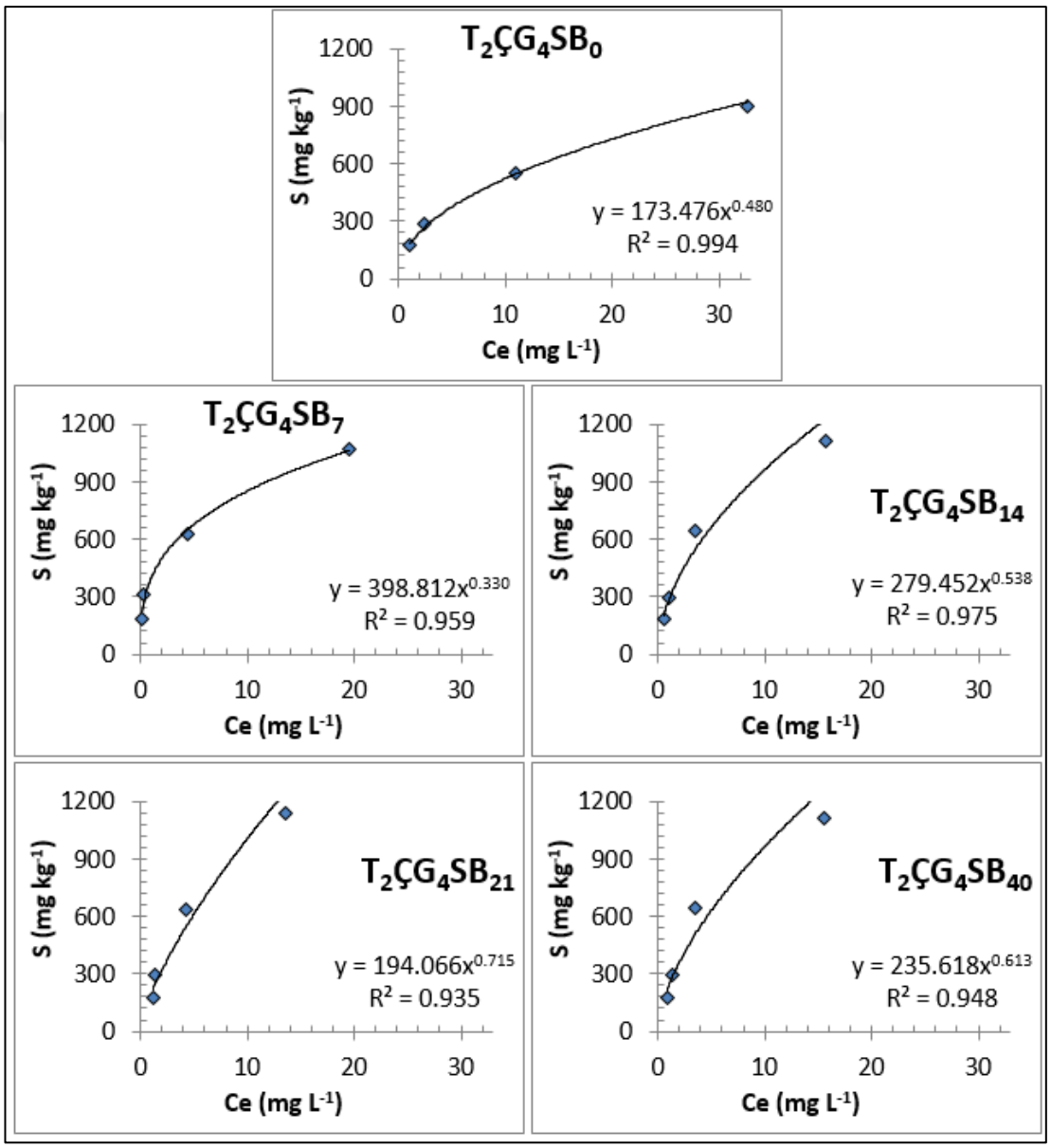
Şekil 4.52. Çiftlik gübresi uygulanmayan ($ÇG_0$) ikinci toprakta (T_2) su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Langmuir adsorpsiyon izotermleri

Çiftlik gübresi ilave edilmiş toprağın adsorpsiyon miktarı ilk günde 903 mg kg^{-1} olarak bulunmuş olup toprağın su baskını neticesinde bu miktar 7. günde 1 068, 14. Günde 1 115 mg kg^{-1} seviyesine yükselmiştir. Çalışmanın ilerleyen günlerinde adsorpsiyon mekanizması tamponlama sistemlerinin etkisi altında stabil hale gelerek benzer değerlerde devam ettiği tespit edilmiştir.

Çiftlik gübresi ilave edilmiş toprağın adsorpsiyon kapasitesinde su baskınının 21. gününden itibaren yaklaşık 2 150 mg kg^{-1} seviyelerinin tespiti ise daha önce de

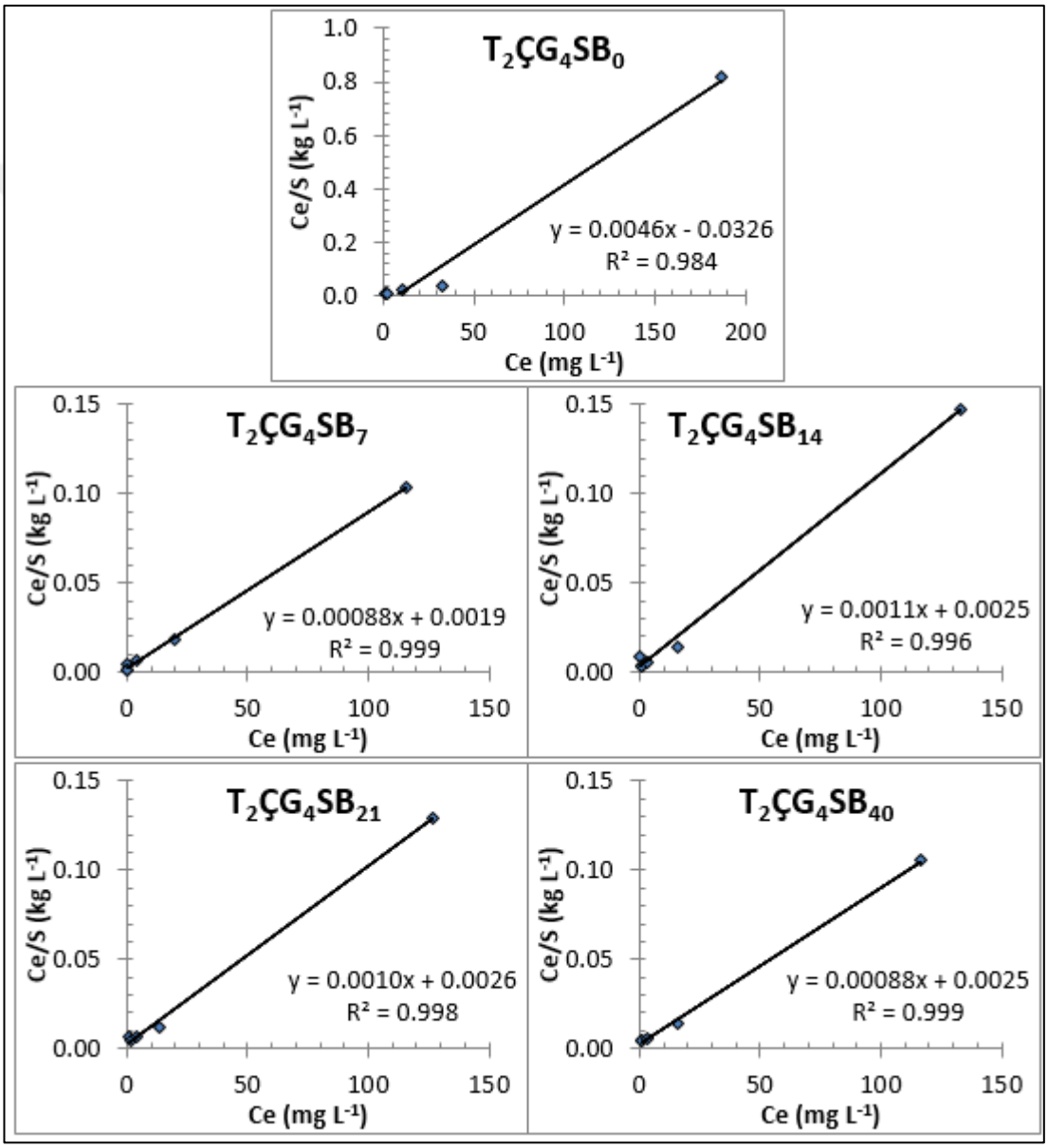
belirtildiği üzere sekonder çökelme reaksiyonlarının ve ayrıca farklı tampon sistemlerin bir göstergesi olarak ifade edilebilmektedir.

Su baskını sürelerinin en düşük veri seti ile en yüksek iki adsorpsiyon verileri değerlendirmeye alınmadan hazırlanan Freundlich adsorpsiyon izoterminde (Şekil 4.53) en düşük 0.935 ve en yüksek 0.994 oranında regresyon katsayısı tespit edilmiştir. Freundlich bağlanma enerjisinin katsayısı en düşük 173 L mg^{-1} ve en yüksek 399 L mg^{-1} olarak bulunmuştur (Çizelge 4.29).



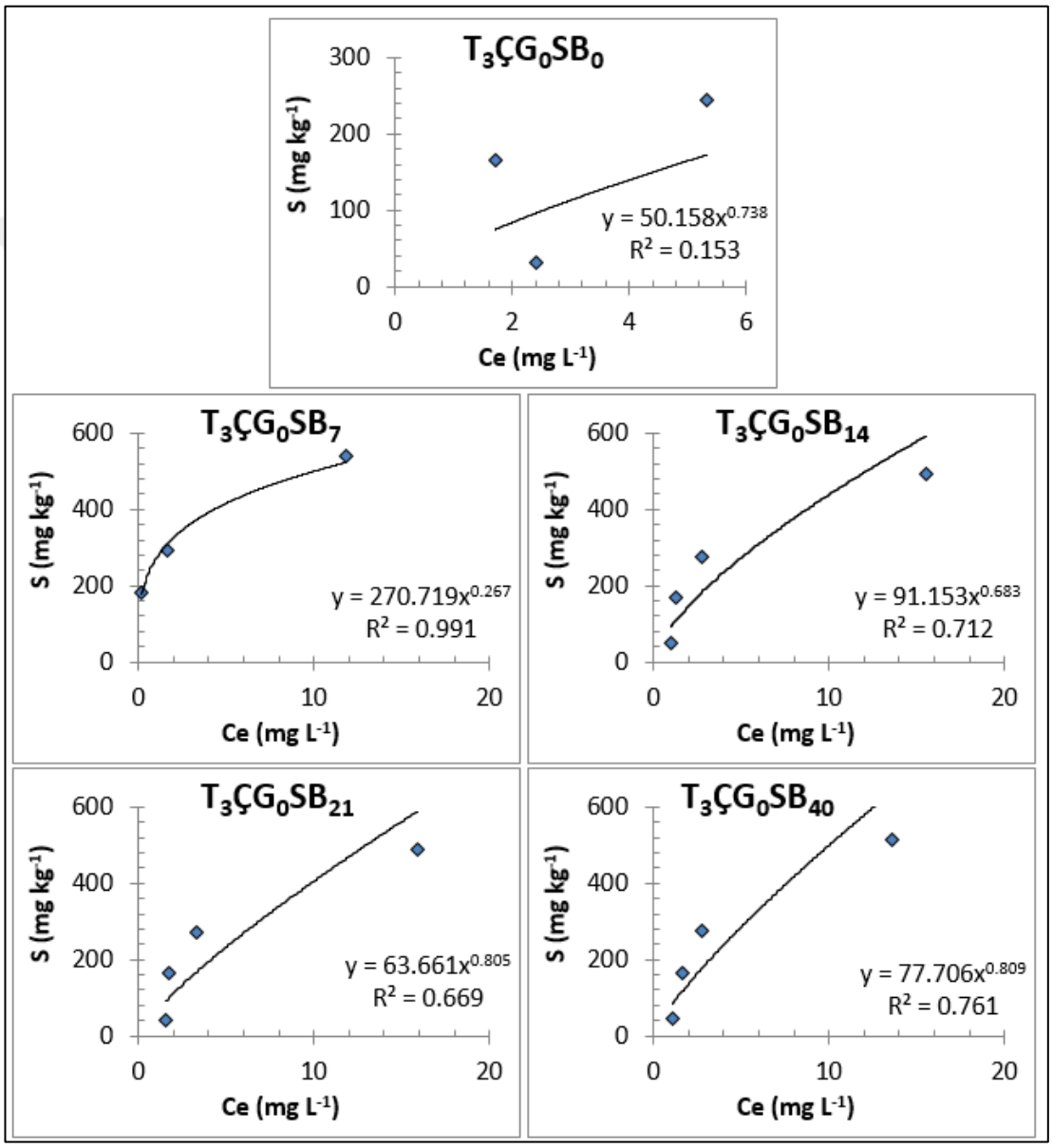
Şekil 4.53. İkinci toprakta (T_2) çiftlik gübresi ($ÇG_4$) ve su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Freundlich adsorpsiyon izotermleri

Hazırlanan Langmuir adsorpsiyon izoterminde (Şekil 4.54) en düşük 0.996 ve en yüksek 0.999 oranında regresyon katsayısı tespit edilmiştir. Langmuir bağlanma enerjisinin katsayısı en düşük 0.141 L mg^{-1} ve en yüksek 0.454 L mg^{-1} olarak bulunmuştur (Çizelge 4.29). Bu toprak su baskınının 7. gününde hesaplanabilen adsorpsiyon seviyesi ilk gününe oranla yaklaşık 5.5 kat artış göstermiştir. Su baskınının 0, 21 ve 40. günündeki en düşük veriler ile su baskını sürelerinin en yüksek adsorpsiyon seviyeleri değerlendirilmeye alınmamış, diğer veriler kullanılmıştır.



Şekil 4.54. İkinci toprakta (T_2) çiftlik gübresi ($ÇG_4$) ve su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Langmuir adsorpsiyon izotermleri

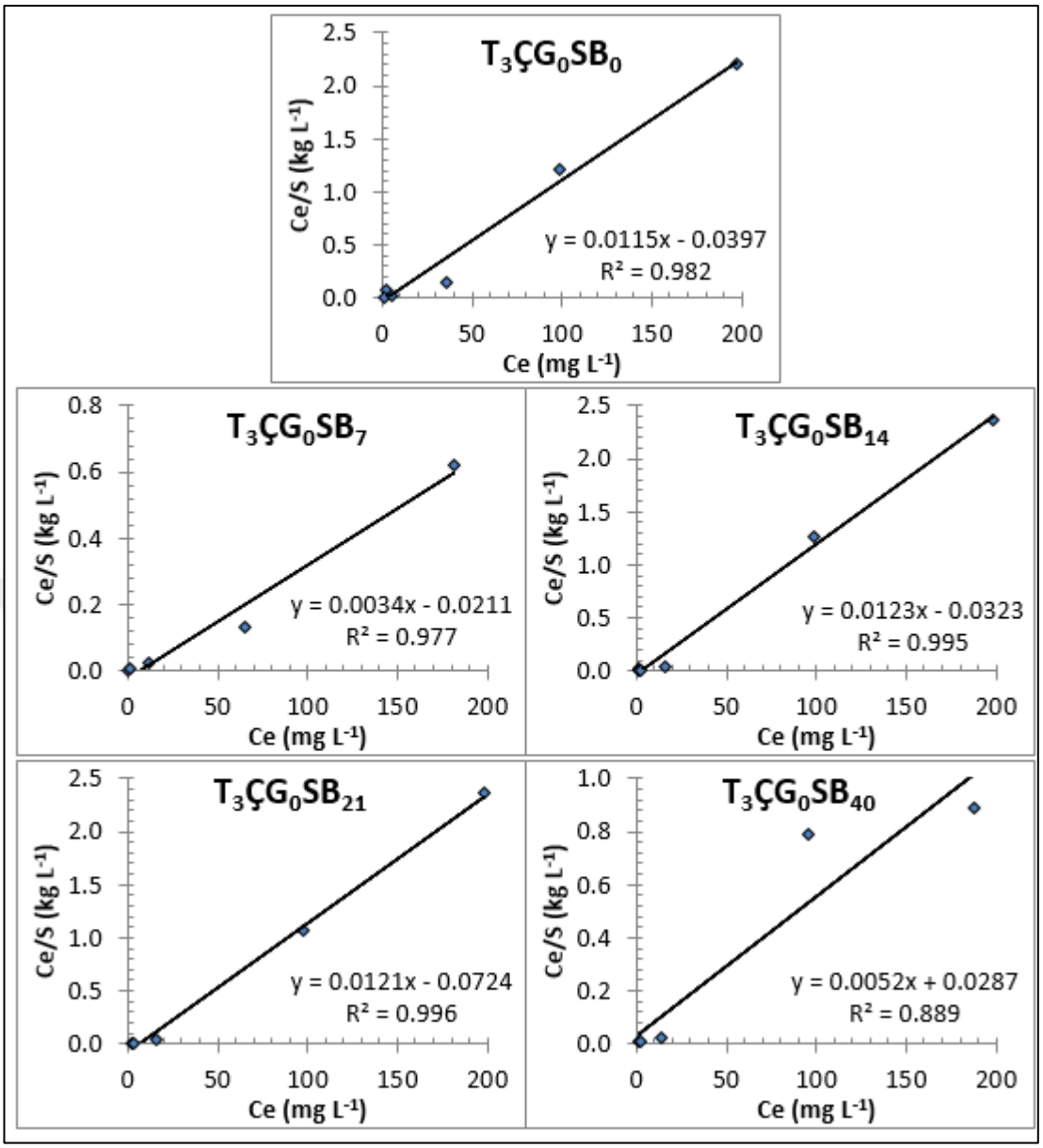
Üçüncü toprak için su baskını sürelerinin en yüksek verileri (100, 200, 400 mg kg^{-1}) kullanılmadan hazırlanan Freundlich adsorpsiyon izoterminde (Şekil 4.55) en düşük 0.153 ve en yüksek 0.991 oranında regresyon katsayısı tespit edilmiştir. Freundlich bağlanma enerjisinin katsayısı en düşük 50 L mg^{-1} ve en yüksek 271 L mg^{-1} olarak bulunmuştur (Çizelge 4.29). Toprakta bulunan toplam çinko miktarının fazla olmasından dolayı izotermde farklı davranışlar görülmektedir.



Şekil 4.55. Çiftlik gübresi uygulanmayan ($ÇG_0$) üçüncü toprakta (T_3) su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Freundlich adsorpsiyon izotermleri

Kumlu tınlı bünyeye sahip olan üçüncü toprağın adsorpsiyon kapasitesi su altında kalma sonucunda birinci haftadan itibaren iki katından daha fazla artmış daha sonra bu kapasitesini stabil bir şekilde tutarak tamponlama sistemi devam etmiştir. Birinci topraktakine benzer bir reaksiyonlar zinciri bu toprak içinde mevcut olup sekonder çökelmeler ve pH değişimi neticesinde ilave edilen 50 mg Zn kg^{-1} sonrasında adsorpsiyon kapasitesi azalmakta olup, artırılan çinko seviyeleri ile (400 mg Zn kg^{-1}) toprakta farklı tampon sistemler ve çökelme reaksiyonları devreye girerek adsorbe edilen miktarı artırmıştır. Söz konusu artış 40 gün su altında kalma sonucunda başlangıç aşamasına göre yaklaşık 33 kat olarak tespit edilmiştir.

Hazırlanan Langmuir adsorpsiyon izoterminde (Şekil 4.56) en düşük 0.889 ve en yüksek 0.996 oranında regresyon katsayısı tespit edilmiştir. Langmuir bağlanma enerjisinin katsayısı en düşük 0.161 L mg^{-1} ve en yüksek 0.381 L mg^{-1} olarak bulunmuştur (Çizelge 4.29). Bu toprak su baskınının 7. gününde hesaplanabilen adsorpsiyon seviyesi ilk gününe oranla yaklaşık 3 kat artış göstermiştir. Su baskınının 7, 21 ve 40. günündeki en düşük veriler ile su baskını sürelerinin en yüksek adsorpsiyon seviyeleri değerlendirilmeye alınmamış, diğer veriler kullanılmıştır.

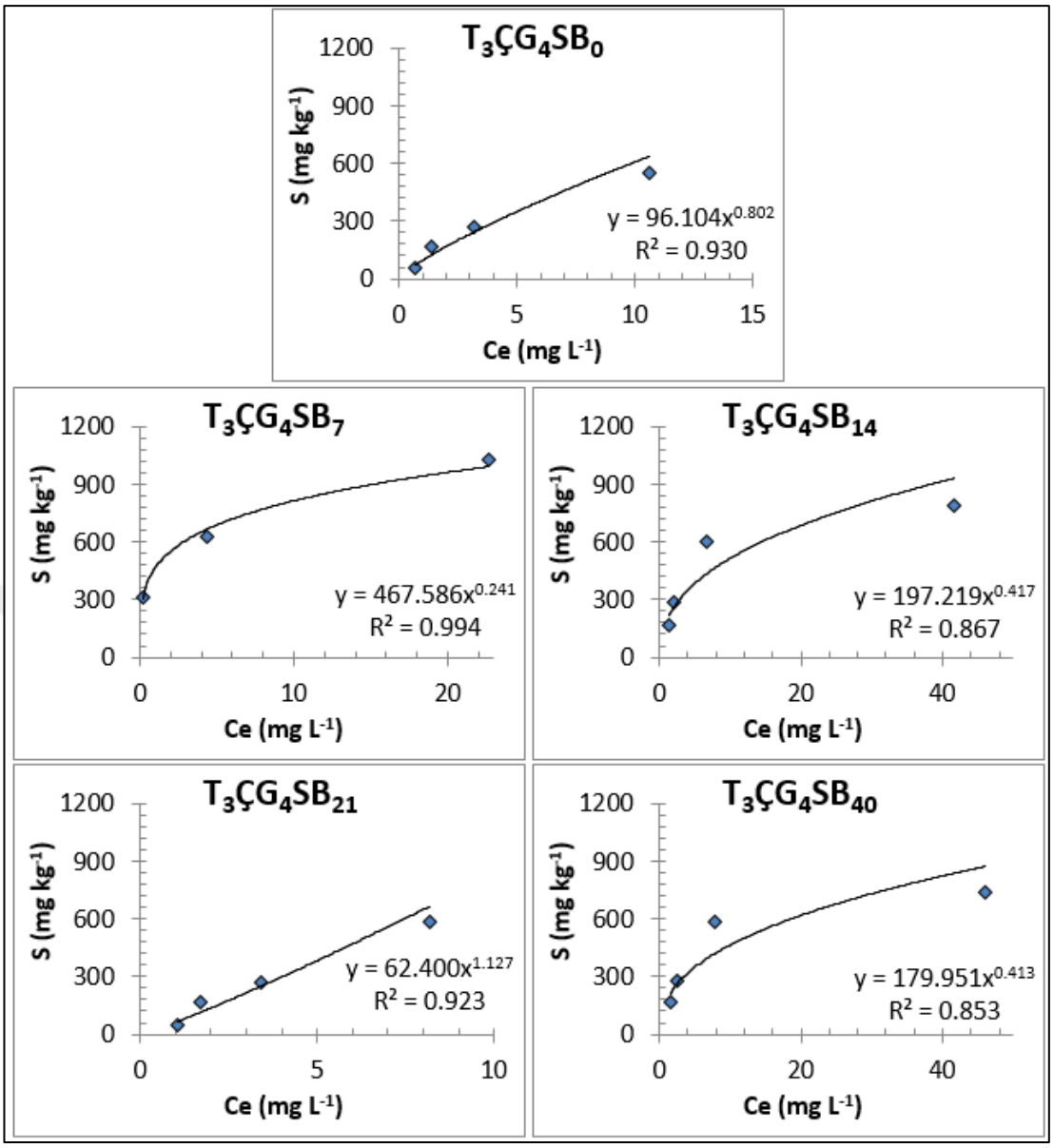


Şekil 4.56. Çiftlik gübresi uygulanmayan ($ÇG_0$) üçüncü toprakta (T_3) su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Langmuir adsorpsiyon izotermleri

Çiftlik gübresi ilave edilmiş toprağın adsorpsiyon miktarı ilk günde 553 mg kg^{-1} olarak bulunmuş olup toprağın su baskını neticesinde bu miktar 7. günde 1 716 mg kg^{-1} seviyesine yükselmiştir. Su baskınının 14. ve 21. gününde farklı mekanizmaların devreye girmesi sonucunda adsorpsiyon miktarında düşüş gözlemlenmiştir. Ancak artan dozlarda çinko ilavesi neticesinde su baskınının 40. gününde 2 040 mg kg^{-1} adsorpsiyon gözlemlenmiş olup burada farklı tamponlama sistemlerinin görev aldığı tahmin edilmektedir.

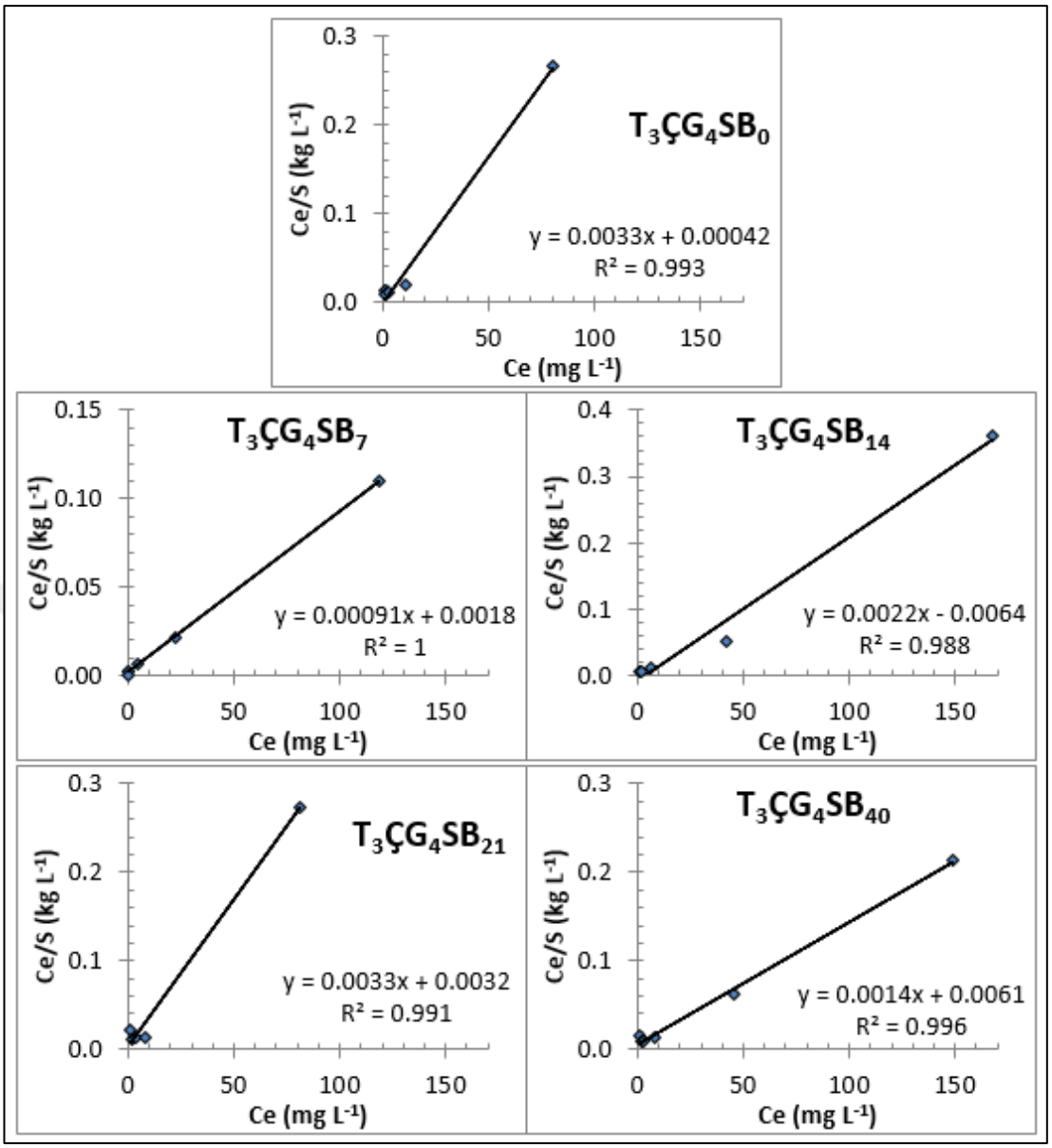
Çiftlik gübresi ilave edilmiş toprağın adsorpsiyon kapasitesinde su baskınının 21. gününden itibaren yaklaşık 2 150 mg kg^{-1} seviyelerinin tespiti ise daha önce de belirtildiği üzere sekonder çökelme reaksiyonlarının ve ayrıca farklı tampon sistemlerin bir göstergesi olarak ifade edilebilmektedir.

Hazırlanan Freundlich adsorpsiyon izoterminde (Şekil 4.57) en düşük 0.853 ve en yüksek 0.994 oranında regresyon katsayısı tespit edilmiştir. Freundlich bağlanma enerjisinin katsayısı en düşük 62 L mg^{-1} ve en yüksek 468 L mg^{-1} olarak bulunmuştur (Çizelge 4.29). Su baskınının 7, 14. ve 40. günündeki en düşük veriler ile su baskını sürelerinin en yüksek iki adsorpsiyon seviyeleri (200 ve 400 mg kg^{-1}) değerlendirilmeye alınmamış, diğer veriler kullanılmıştır.



Şekil 4.57. Üçüncü toprakta (T_3) çiftlik gübresi ($ÇG_4$) ve su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Freundlich adsorpsiyon izotermleri

Hazırlanan Langmuir adsorpsiyon izoterminde (Şekil 4.58) en düşük 0.988 ve en yüksek 1.0 oranında regresyon katsayısı tespit edilmiştir. Langmuir bağlanma enerjisinin katsayısı en düşük 0.23 L mg^{-1} ve en yüksek 7.81 L mg^{-1} olarak bulunmuştur (Çizelge 4.29). Bu toprak su baskınının 7. gününde hesaplanabilen adsorpsiyon seviyesi ilk gününe oranla yaklaşık 3.5 kat artış göstermiştir. Su baskınının 14. gündeki en düşük veriler ile su baskını sürelerinin en yüksek adsorpsiyon seviyeleri (400 mg kg^{-1}) değerlendirilmeye alınmamış, diğer veriler kullanılmıştır.



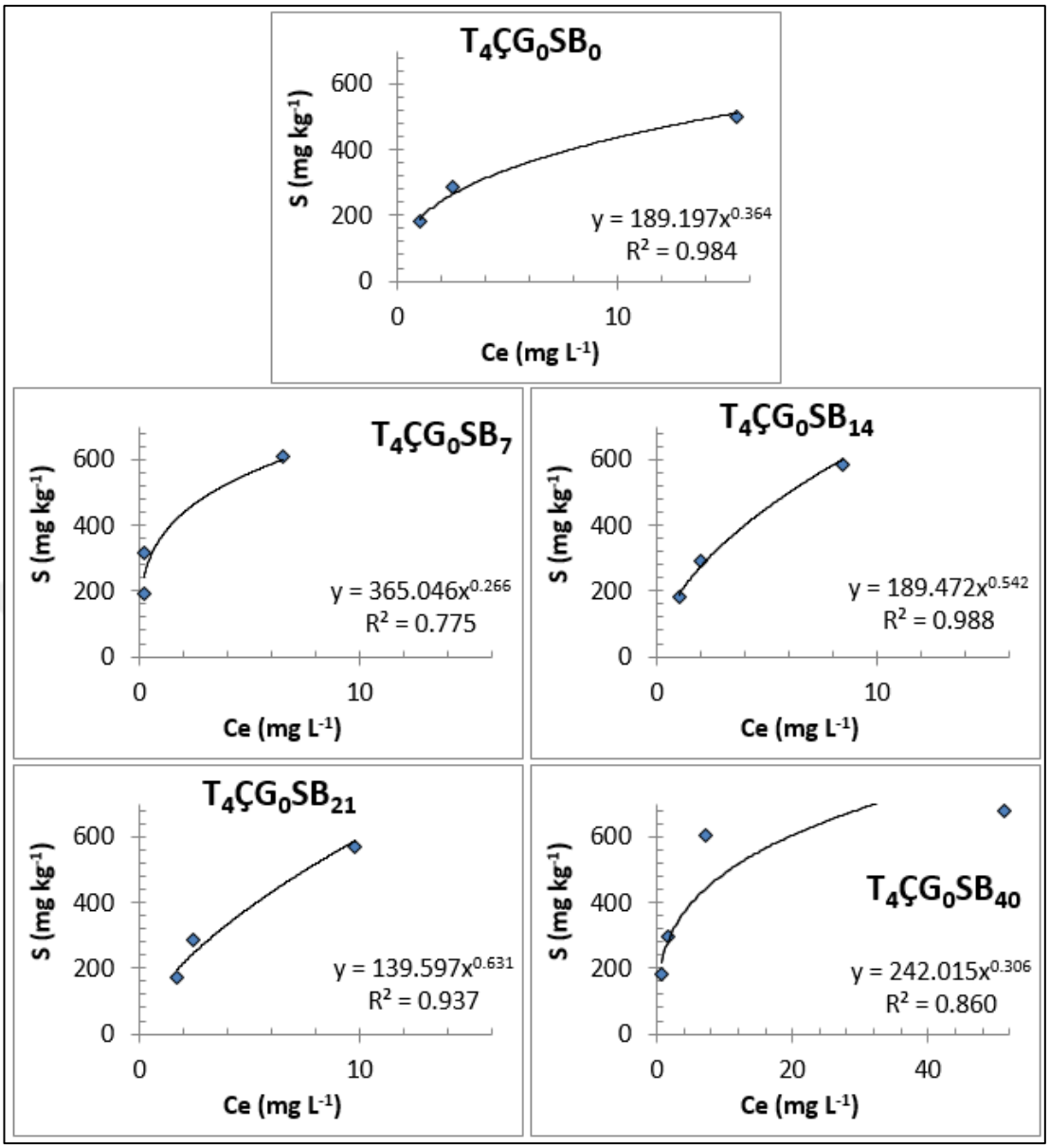
Şekil 4.58. Üçüncü toprakta (T_3) çiftlik gübresi ($ÇG_4$) ve su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Langmuir adsorpsiyon izotermleri

Dördüncü toprak örneğinden elde edilen veriler ile hazırlanan Freundlich adsorpsiyon izoterminde (Şekil 4.59) en düşük 0.775 ve en yüksek 0.988 oranında regresyon katsayısı tespit edilmiştir. Çam ağaçlarının hakim olduğu ormanlık araziden alınan dördüncü toprak örneğinde mevcut bulunan çinko miktarınında yüksek olmasının bir sonucu olarak regresyon katsayısının ve veri sayısının net bir ifadeyi oluşturmadığı tespit edilmiştir. İzoterm parametrelerinin büyük oranda üç veriden oluşması nedeniyle güvenilir olarak değerlendirilmesi mümkün olamamaktadır. Her ne kadar su baskınının 40. gününde dört veriden izoterm elde edilmiş olsa da regresyon katsayısının uygun güven aralığında bulunmadığından dolayı net bir değerlendirmeye tabi olamayacağı düşünülmektedir. Freundlich bağlanma enerjisinin katsayısı en

düşük 140 L mg^{-1} ve en yüksek 365 L mg^{-1} olarak bulunmuştur (Çizelge 4.29). Su baskını sürelerinin en düşük verileri ile en yüksek üç adsorpsiyon seviyeleri (100, 200 ve 400 mg kg^{-1}) değerlendirilmeye alınmamış, diğer veriler kullanılmıştır.

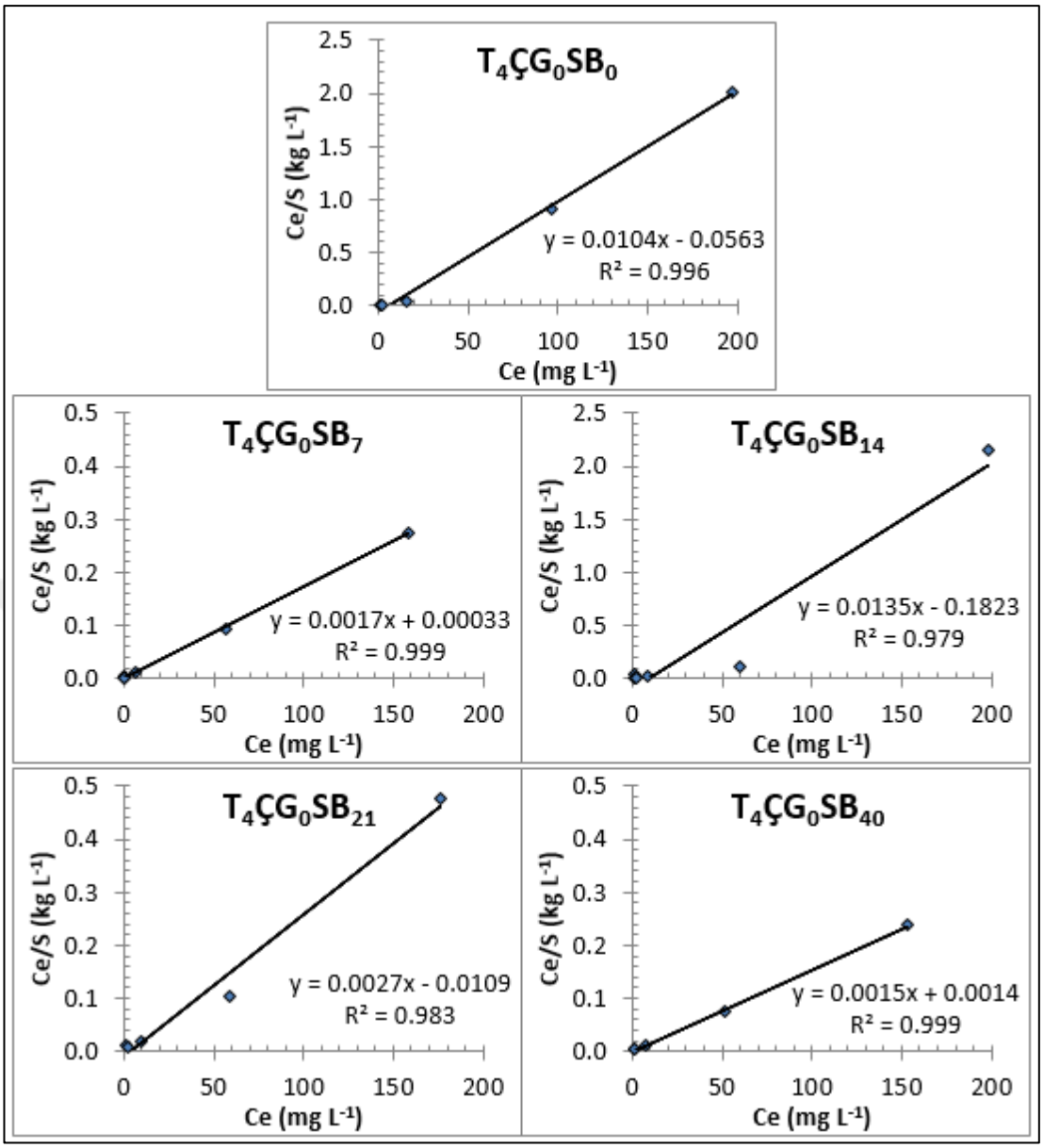
Orman arazisi olması, üzerindeki bitki örtüsünün yaşlı çam ağaçları olması ve toprakta biriken organik materyalin genellikle bu nedenle hidrofobik yapıda bulunması ve toprağın mevcut çinko miktarının yüksek olması nedeniyle toprakta maksimum adsorpsiyon 600 mg kg^{-1} seviyelerinde olup düşük olarak ifade edilebilir, konsantrasyonun arttığı daha ileriki seviyelerde çökelme reaksiyonları oluşmaktadır.

Bu toprağa çiftlik gübresinin ilavesi ile hidrofobik özellik bir miktar azalmış ve adsorpsiyon mekanizmasına katılarak adsorpsiyon kabiliyetini bir miktar artırmış olup 666 mg kg^{-1}'den 1098 mg kg^{-1}'e olmak üzere yaklaşık olarak iki katına çıkmıştır.



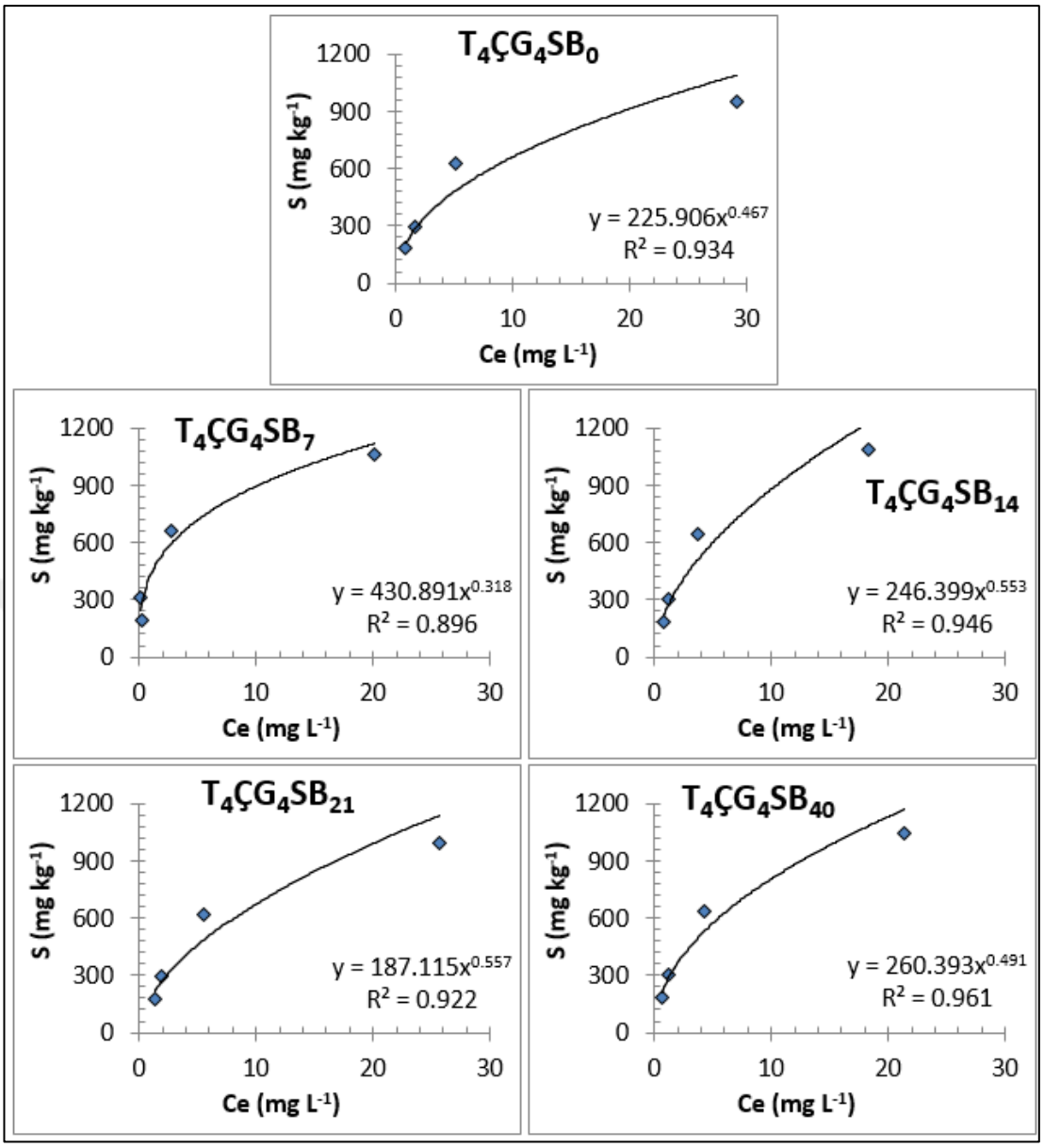
Şekil 4.59. Çiftlik gübresi uygulanmayan ($ÇG_0$) dördüncü toprakta (T_4) su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Freundlich adsorpsiyon izotermleri

Hazırlanan Langmuir adsorpsiyon izoterminde (Şekil 4.60) en düşük 0.979 ve en yüksek 0.999 oranında regresyon katsayısı tespit edilmiştir. Langmuir bağlanma enerjisinin katsayısı en düşük 0.074 L mg^{-1} ve en yüksek 5.18 L mg^{-1} olarak bulunmuştur (Çizelge 4.29). Bu toprak su baskınının 7. gününde hesaplanabilen adsorpsiyon seviyesi ilk gününe oranla yaklaşık 6 kat artış göstermiştir. Su baskınının 0, 21 ve 40. günündeki en düşük veriler ile su baskını sürelerinin en yüksek adsorpsiyon seviyeleri (400 mg kg^{-1}) değerlendirilmeye alınmamış, diğer veriler kullanılmıştır.



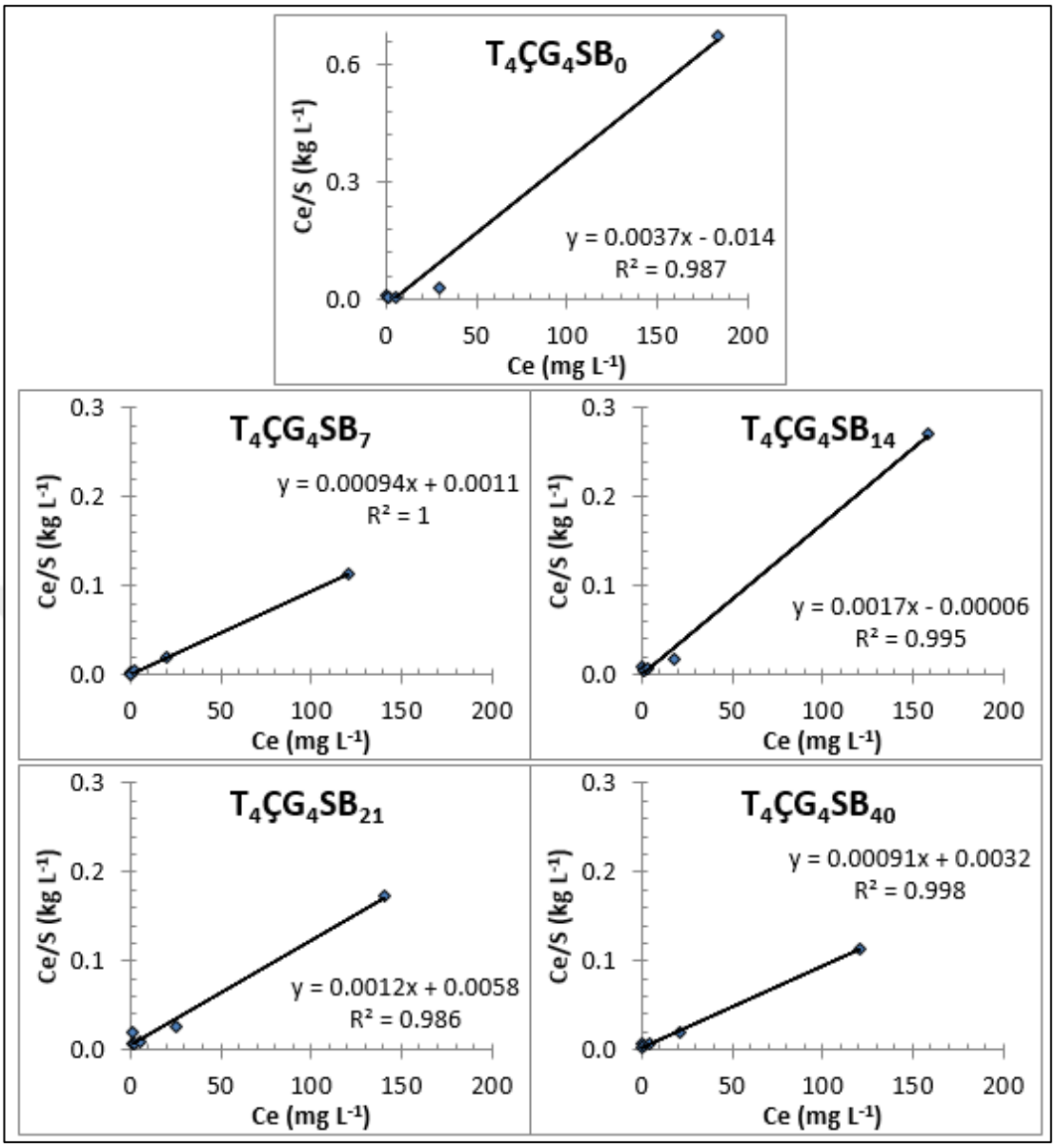
Şekil 4.60. Çiftlik gübresi uygulanmayan ($ÇG_0$) dördüncü toprakta (T_4) su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Langmuir adsorpsiyon izotermleri

Su baskını sürelerinin en düşük veri seti ile en yüksek iki adsorpsiyon verileri değerlendirmeye alınmadan hazırlanan Freundlich adsorpsiyon izoterminde (Şekil 4.61) en düşük 0.896 ve en yüksek 0.961 oranında regresyon katsayısı tespit edilmiştir. Freundlich bağlanma enerjisinin katsayısı en düşük 187 L mg^{-1} ve en yüksek 431 L mg^{-1} olarak bulunmuştur (Çizelge 4.29).



Şekil 4.61. Dördüncü toprakta (T_4) çiftlik gübresi ($ÇG_4$) ve su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Freundlich adsorpsiyon izotermleri

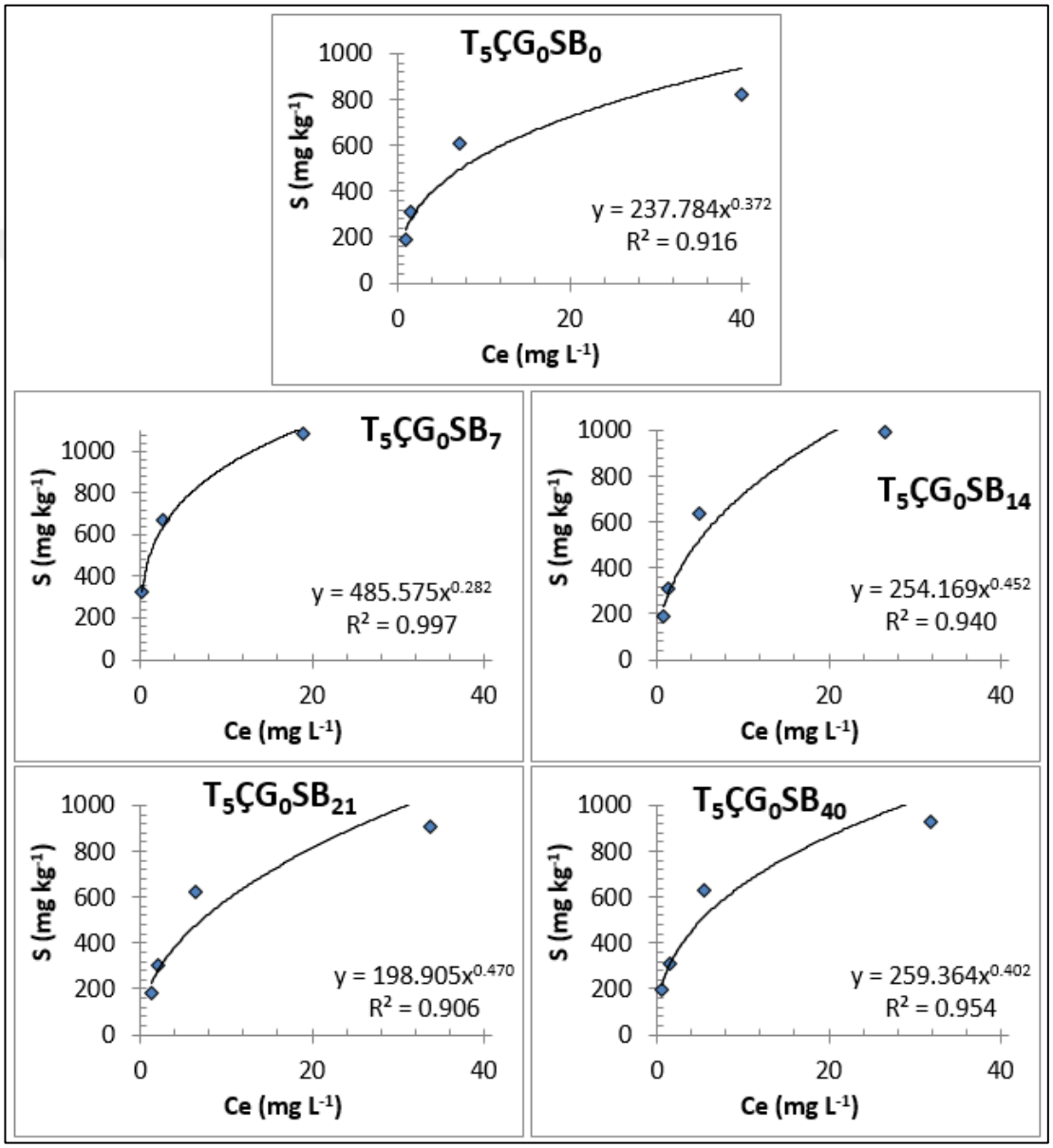
Su baskını sürelerinin en yüksek adsorpsiyon verileri değerlendirmeye alınmadan hazırlanan Langmuir adsorpsiyon izoterminde (Şekil 4.62) en düşük 0.986 ve en yüksek 1.0 oranında regresyon katsayısı tespit edilmiştir. Langmuir bağlanma enerjisinin katsayısı en düşük 0.21 L mg^{-1} ve en yüksek 28.3 L mg^{-1} olarak bulunmuştur (Çizelge 4.29). Bu toprak su baskınının 7. gününde hesaplanabilen adsorpsiyon seviyesi ilk gününe oranla yaklaşık 4 kat artış göstermiştir.



Şekil 4.62. Dördüncü toprakta (T_4) çiftlik gübresi ($ÇG_4$) ve su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Langmuir adsorpsiyon izotermleri

Kumlu killi tınlı bünyeye sahip olan beşinci toprağın adsorpsiyon kapasitesi su altında kalma sonucunda birinci haftadan itibaren dört katından daha fazla artmış daha sonra su baskınının ilerleyen günlerinde bir miktar azalış göstermiş, 14. günden itibaren bu kapasitesini stabil bir şekilde tutarak tamponlama sistemi devam etmiştir. Birinci topraktakine benzer bir reaksiyonlar zinciri bu toprak içinde mevcut olup sekonder çökelmeler ve pH değişimi neticesinde ilave edilen 100 mg kg^{-1} sonrasında adsorpsiyon kapasitesi azalmakta olup, artırılan çinko seviyeleri ile (200 ve 400 mg kg^{-1}) toprakta farklı tampon sistemler ve çökelme reaksiyonları devreye girerek adsorbe edilen miktarı artırmıştır. Söz konusu artış 40 gün su altında kalma sonucunda başlangıç aşamasına göre yaklaşık 13 kat olarak tespit edilmiştir.

Su baskını sürelerinin en düşük veri seti ile en yüksek iki adsorpsiyon verileri değerlendirmeye alınmadan hazırlanan Freundlich adsorpsiyon izoterminde (Şekil 4.63) en düşük 0.906 ve en yüksek 0.997 oranında regresyon katsayısı tespit edilmiştir. Freundlich bağlanma enerjisinin katsayısı en düşük 199 L mg^{-1} ve en yüksek 486 L mg^{-1} olarak bulunmuştur (Çizelge 4.29).

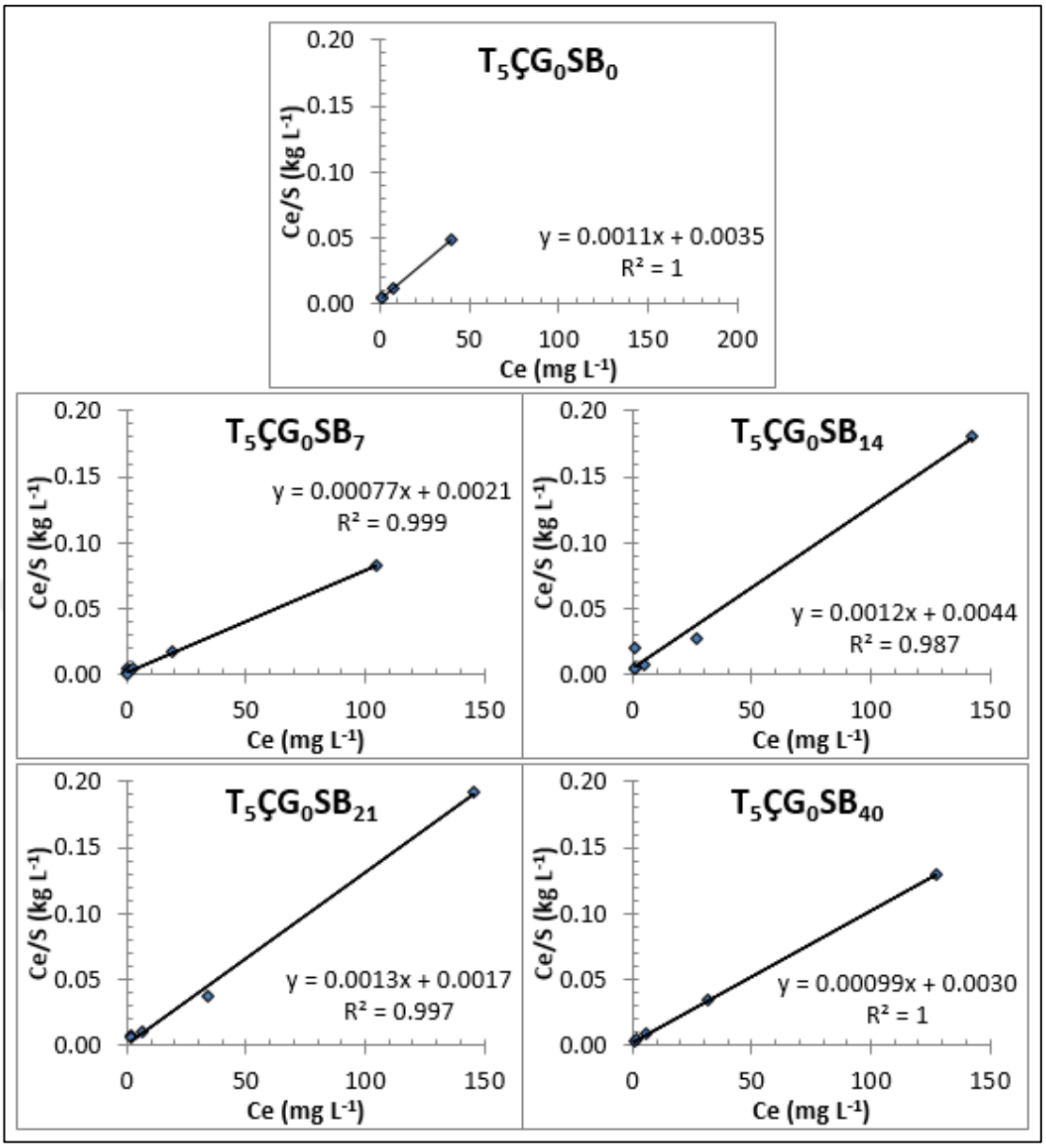


Şekil 4.63. Çiftlik gübresi uygulanmayan ($ÇG_0$) beşinci toprakta (T_5) su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Freundlich adsorpsiyon izotermleri

Hazırlanan Langmuir adsorpsiyon izoterminde (Şekil 4.64) en düşük 0.987 ve en yüksek 1.0 oranında regresyon katsayısı tespit edilmiştir. Langmuir bağlanma

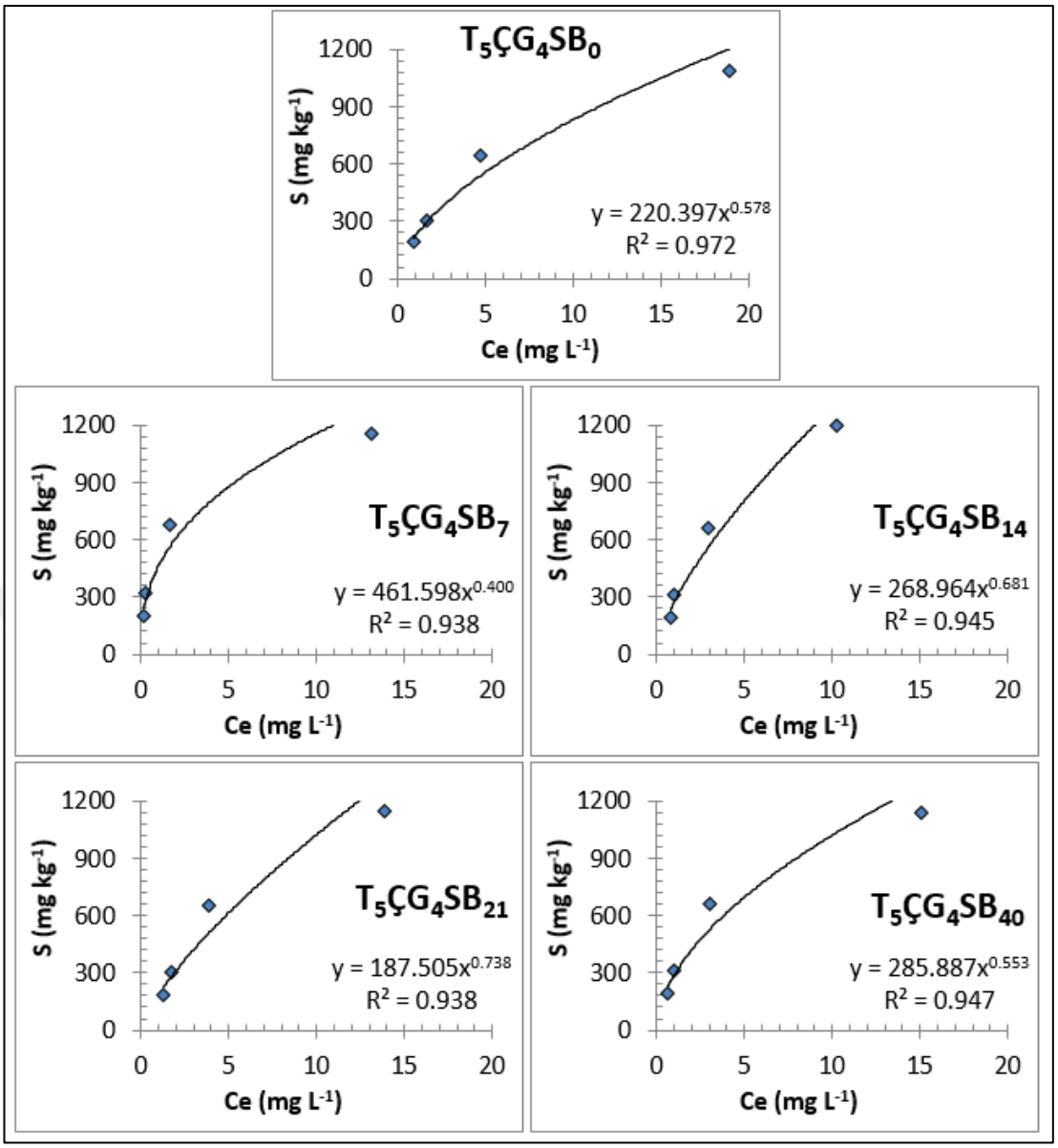
enerjisinin katsayısı en düşük 0.27 L mg^{-1} ve en yüksek 0.77 L mg^{-1} olarak bulunmuştur (Çizelge 4.29). Bu toprak su baskınının 7. gününde hesaplanabilen adsorpsiyon seviyesi ilk gününe oranla yaklaşık 1.5 kat artış göstermiştir. Su baskını süresince ilk haftalarda adsorpsiyon yüzeylerindeki zayıflama nedeniyle çözünme reaksiyonlarının etkisi sisteme hakim olmaktadır. Bu durumun genellikle su baskınının 21. gününe kadar devam ettiği düşünülmektedir. Özellikle su baskınının 21. gününden itibaren ilerleyen günlerde ise adsorpsiyon sisteminin göreceli olarak daha stabil bir hale ulaştığı ifade edilebilmektedir.

Su baskınının 0, 21 ve 40. günündeki en düşük veriler ile su baskını sürelerinin en yüksek adsorpsiyon seviyeleri (400 mg kg^{-1}) değerlendirilmeye alınmamış, diğer veriler kullanılmıştır.



Şekil 4.64. Çiftlik gübresi uygulanmayan ($ÇG_0$) beşinci toprakta (T_5) su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Langmuir adsorpsiyon izotermleri

Su baskını sürelerinin en düşük veri seti ile en yüksek iki adsorpsiyon verileri değerlendirmeye alınmadan hazırlanan Freundlich adsorpsiyon izoterminde (Şekil 4.65) en düşük 0.938 ve en yüksek 0.972 oranında regresyon katsayısı tespit edilmiştir. Freundlich bağlanma enerjisinin katsayısı en düşük 188 L mg^{-1} ve en yüksek 462 L mg^{-1} olarak bulunmuştur (Çizelge 4.29).

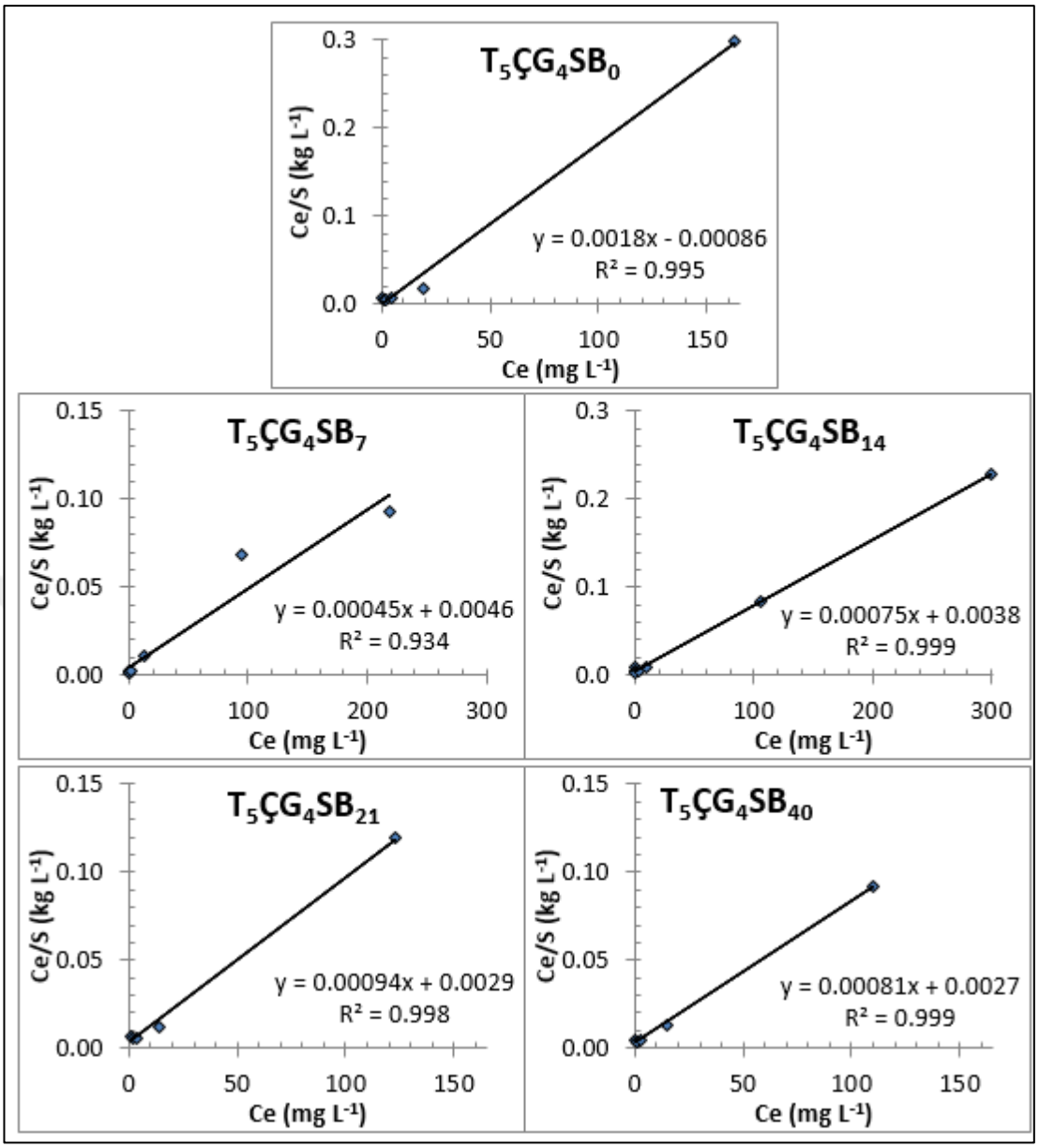


Şekil 4.65. Beşinci toprakta (T_5) çiftlik gübresi ($ÇG_4$) ve su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Freundlich adsorpsiyon izotermleri

Çiftlik gübresi ilave edilmiş toprağın adsorpsiyon miktarı ilk günde 1 089 mg kg^{-1} olarak bulunmuş olup toprağın su baskını neticesinde bu miktar 14. günde 1 197 mg kg^{-1} seviyesine yükselmiştir. Su baskınının ilerleyen günlerinde farklı mekanizmaların devreye girmesi sonucunda adsorpsiyon miktarında düşüş gözlemlenmiştir. Ancak artan dozlarda çinko ilavesi neticesinde su baskınının 40. gününde 2 531 mg kg^{-1} adsorpsiyon gözlemlenmiş olup burada farklı tamponlama sistemlerinin görev aldığı tahmin edilmektedir.

Çiftlik gübresi ilave edilmiş toprağın adsorpsiyon kapasitesinde su baskınının 7. gününden itibaren yaklaşık 2 343 mg kg^{-1} seviyelerinin tespiti ise daha önce de belirtildiği üzere sekonder çökelme reaksiyonlarının ve ayrıca farklı tampon sistemlerin bir göstergesi olarak ifade edilebilmektedir.

Su baskını süresinin 21. gününe ait en düşük veri seti ile 0, 21 ve 40. gününe ait yüksek iki adsorpsiyon verileri değerlendirmeye alınmadan hazırlanan Langmuir adsorpsiyon izoterminde (Şekil 4.66) en düşük 0.934 ve en yüksek 0.999 oranında regresyon katsayısı tespit edilmiştir. Langmuir bağlanma enerjisinin katsayısı en düşük 0.098 L mg^{-1} ve en yüksek 2.13 L mg^{-1} olarak bulunmuştur (Çizelge 4.29). Bu toprak su baskınının 7. gününde hesaplanabilen adsorpsiyon seviyesi ilk gününe oranla yaklaşık 4 kat artış göstermiştir.



Şekil 4.66. Beşinci toprakta (T_5) çiftlik gübresi ($ÇG_4$) ve su baskını süresinin ($SB_{gün}$) fonksiyonu olarak üretilen Langmuir adsorpsiyon izotermleri

Toprakların su altında bırakılması sonucunda elde edilen veri setinin %54'ü kullanılarak hazırlanan Freundlich izoterm parametrelerinde veri setinin, K*f* değerleri 50 – 486 L mg^{-1}, 1/n değerleri 0.17 – 1.13 aralığında bulunmuştur. Bu izotermlerin determinasyon katsayısı 0.153 – 0.998 arasında değişim göstermektedir.

Langmuir izoterm parametrelerinde ise veri setinin %80'i gibi çok büyük bir bölümünün kullanımı mümkün olmuş ve K*l* değerleri 0.064 – 28.33 L mg^{-1}, maksimum adsorpsiyon 65 – 2 222 mg kg^{-1} aralığında bulunmuştur. Bu izotermlerin

determinasyon katsayısı 0.889 – 1.0 arasında değişim göstermekte olup oldukça yüksek bir şekilde veri setini temsil etmiştir.

Langmuir Kl değerlerindeki farklılıklar toprağın gerek oluşum sürecinde gerekse toprak yönetimindeki Zn girdisiyle alakalı olabilmektedir. Zira toprakta kil ve oksit mineralleri gibi Zn'ye ilgisi yüksek yüzeylerin bulunması bağlanma enerjisi ile ilgili katsayıyı azaltırken (zira denklemde 1/kb şeklindedir); hafif bünyeli adsorpsiyon kapasitesi düşük ve organik maddesi yüksek olan topraklarda meydana gelen şelatlaşma reaksiyonları nedeniyle (Lindsay, 2001; Gökmen ve Uygur, 2022b) denge konsantrasyonunun artması bu sonuçlara sebep olabilmektedir.

Freundlich ve Langmuir adsorpsiyon izotermlerinin hazırlanmasında veri seti kullanım oranlarında ve determinasyon katsayılarının güven aralıklarında Langmuir adsorpsiyon izoterminin nispeten çok daha iyi temsil yeteneği ön plana çıkmıştır.

Toprakların su altında bırakılması sonucu oluşan redoks reaksiyonlarının Zn adsorpsiyonuna etkisinde genel olarak su altında kalma süresi ile orantılı olarak bir artış gözlemlenmiştir. Bu artış ilk 7 günlük süreçte hızlı gerçekleşmiş devamında artış hızında azalma görülmüştür. En yüksek artış oranı 2 numaralı toprak örneğinin su baskınının ilk 7. gününde 9 kat, 40 gün sonrasında ise 12 kat olarak tespit edilmiştir. Bu durum toprakta FeOx ve MnOx varlığı ve Zn ile affinitesinin bir fonksiyonu olarak yorumlanabilmektedir. Zira Topraklarda Mn oksitler çok küçük miktarlada bulunsalar da redoks reaksiyonları neticesinde sürekli çözünüp çökelmeleri amorf yapıda olmalarına, nispeten çok geniş yüzey alanına sahip olmalarına ve dolayısıyla yüzeydeki kararsızlıklar nedeniyle Zn vb. iyonların adsorpsiyonunda önem kazanmalarına neden olmaktadır. Nitekim yapılan çalışmalarda benzer sonuçlar tespit edilmiştir. Bu bağlamda Sims ve Patrick (1978), alkaline topraklarda Zn, Fe ve Cu nun Mn oksit fraksiyonlarında yüksek miktarlarda bulunduğunu bildirmiştir. Benzer şekilde Rivero vd. (1999), kireçli topraklarda Zn'nin Fe/Mn oksit fraksiyonunda ikinci en yüksek oranda bulunduğunu tespit etmiştir. Hussain vd. (2011), ise kireçli topraklarda organik madde uygulaması neticesinde oluşan Zn salınımında Fe/Mn oksitlerin en önemli kontrol mekanizması olduğunu bildirmişlerdir. Bunların aksine Barut vd. (1998), kireçli topraklarda Mn oksitlerin oransal olarak düşük miktarlarda

olduğunu gözlemlemişlerdir. Bu fraksiyonda Zn'nin fazla olması belirgin şekilde Mn oksitlerin Zn ye karşı yüksek ilgisinin olduğunun bir göstergesidir.

Genel olarak toprakların 14 gün su altında kalması neticesinde Zn adsorpsiyonunda 7. güne oranla bariz azalmalar bulunmuştur. Bu duruma indirgen koşullardaki Mn^{+2} oluşum sürecinin stabilizasyonu ve Zn'nin Mn oksitler ile olan pozitif korelasyonunun neden olduğu ifade edilebilir. Ayrıca bu durum sistemdeki adsorpsiyon mekanizmalarının doygunluğa ulaşması ve tamponlamanın bir etkisi olarak yorumlanabilmektedir. Su altında kalan topraklardaki yapılan çalışmalarda inkübasyon süresinin uzaması sonucunda değişen pH'nın etkisiyle sekonder çökelme reaksiyonları meydana gelmekte yarayışlı Zn konsantrasyonlarında değişimler olmaktadır. Diğer taraftan çözünmeler sonucunda yarayışlılığı artan iyonların ortamdaki bulunan çözünebilir fazdaki iyonları ile interaksiyonu sonucunda adsorpsiyonu düşürdüğü ifade edilebilir. Toprakların yoğun gübreleme programlarına tabi tutulmasının adsorpsiyonu etkilemesi beklenilen bir durum olarak ortaya çıkmaktadır.

Su altında kalma çalışmasından önce yapılan kontrol düzeyindeki adsorpsiyon ölçümlerinde 1 ve 2 numaralı toprak örneklerinin Zn adsorpsiyon kapasiteleri birbirine yakın değerler olarak tespit edilmiştir. Su altında kalma süresince 1 numaralı örneğin adsorpsiyon oranlarında nispeten çok az değişim gözlemlenmiştir. Ancak özellikle 40 gün su altında kalmanın 2 numaralı toprakta 1 numaralı toprağa nispeten Zn adsorpsiyonu yaklaşık 14 kat daha fazla olarak tespit edilmiştir. Bu duruma her ne kadar diğer toprak özelliklerinin de etkisi olmakla beraber toprakların kil içeriklerini ve dolayısıyla KDK'larını belirtmektedir. Zira kil miktarı 1 numaralı toprak örneğinde 16.7 g kg^{-1} iken 2 numaralı toprak örneğinde 26.5 g kg^{-1} olarak tespit edilmiştir. Buradaki %10 oranında kil içeriğinin farklılığı ortamdaki adsorpsiyon mekanizmalarında ne kadar büyük değişimlerin olabileceğine işaret etmektedir. Bununla ilgili olarak bazı araştırmacılar genel olarak adsorpsiyon intensitesini belirleyen başlıca etmenlerin kil ve KDK olduğunu ve bu değerlerin artmasının adsorpsiyonu da artıracağını, çinkonun çözelti fazından uzaklaşmasında etkili olacağını ve Zn adsorpsiyonunda kil, KDK, Ca ve kireç içeriği önemli etkiye sahip olduğunu belirterek adsorpsiyon mekanizmasının belirleyici parametreleri arasında olduğunu bildirmişlerdir (Davis-Carter ve Shuman, 1993; Karanlık vd., 1998; Rivero

vd., 1999; Karimian ve Moafpouryan, 1999; Krishnasamy ve Mathan, 2001; Ghiri vd., 2012; Jalali ve Zinli, 2012; Chittamart vd., 2016; Uygur ve Kaya, 2019). Ayrıca bu iki toprakta silt miktarında da yaklaşık iki katlık bir farklılık görülmektedir. Bu nedenlerle kum içeriği sırasıyla 67.5 ve 42.5 g kg^{-1} olarak bulunmuştur. Tekstürdeki %25'lik kum içeriği farklılığı toprakların 40 gün su altında kalma neticesinde Zn adsorpsiyonundaki 14 katlık farkın temel etkenlerinden olduğu ifade edilebilir. Zira bu durum kum içeriği yüksek toprakların değişim yüzeylerinin sınırlı olmasınıyla beraber kumlu toprakların adsorpsiyon gücünü azaltacağını işaret etmektedir. Diğer taraftan kum fraksiyonunun yüksek olması Zn'ye karşısı ilgisi yüksek olan oksit bileşenleri ve kil minerallerinin daha düşük miktarlarda olmasını gerektirmektedir ki bu durumda doğal olarak toprakların adsorblama gücü önemli miktarda azalma eğilimi göstermektedir. Nitekim Baghernejad vd. (2016), kireçli topraklarda kum içeriği ile adsorpsiyon parametreleri arasında negatif korelasyonlar bildirmiştir. Bazı araştırmacılar da kaba bünyeli topraklarda yarayışlı Zn'nin daha fazla olduğunu belirlemişlerdir (Davis-Carter ve Shuman, 1993; Ghiri vd., 2012).

Azouzi vd. (2015), Zn adsorpsiyonunda organik maddenin etkisinin pH'nın bir fonksiyonu olduğunu; asit tepkimeli topraklarda topraktan organik maddenin uzaklaştırılması Zn adsorpsiyonunu önemli ölçüde azaltırken; alkali topraklarda adsorpsiyonda artış bildirmişlerdir. Bu durum organik maddenin alkali koşullarda hem yüzeyi değiştiribildiğini ve aynı zamanda kuvvetli şelat oluşturarak Zn adsorpsiyonunu engellediğini göstermektedir ki mevcut sonuçlarla uyum içerisindedir.

Genel olarak çalışmada kullanılan bütün topraklarda çiftlik gübresinin ilavesi sonucunda genel olarak adsorpsiyon miktarı bir miktar artış göstermiştir. Bu durum çiftlik gübresinin toprak tampon sistemlerine katkısınının ve adsorpsiyon kapasitesinin bir göstergesi olarak değerlendirilmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Toprakların su altında kalması veya bırakılması sonucunda toprak pH'sı ile toprağın oksidasyon redüksiyon potansiyeli arasında doğrusal bir ilişkinin bulunduğunun (Ören ve Bozkurt, 2015; Ören vd., 2018; Tiwari vd., 2023) çalışma yapılan topraklarda da benzer şekilde bir ifadesi olarak toprakların inkübasyon ve drenaj durumlarına ait veri setlerinin korelasyon analizleri ile incelenmesi neticesinde pH ile ORP (-1.0^{**}) arasında çok önemli derecede ve zıt yönlü ilişki tespit edilmiştir. Bu korelasyonun bir sonucu olarak pH'nın diğer toprak özellikleriyle göstermiş olduğu bütün korelasyonlarda redoks potansiyeli de aynı kuvvette ve zıt yüklü korelasyonlar göstermiştir.

Redoks reaksiyonlarının toprak ortamına etkisi ile bitki besin elementlerinin yarayışlılığı; kısa vadede artmakta uzun vadede ise olumsuz etkilenebilmektedir. Topraklarda indirgen şartların akabindeki kuruma dönemlerinin oluşturduğu oksidatif koşullarda meydana gelen reaksiyonlar ve bitki besin elementleri arasındaki interaksiyonların da ayrıca detaylı bir şekilde incelenmesinin önem kazandığı söylenilebilir.

Çoğunlukla su içerisinde yetişen bitkilerde ve oksijen yetersizliğinden dolayı görülen yüksek Fe^{+2} ve Mn^{+2} konsantrasyonu fitotoksik olup bitki gelişimine olumsuz etki etmektedir. Bu nedenle su altında kalan topraklarda redoks reaksiyonlarının faydalı yönlerinin araştırılmasının yanı sıra toksik etkisinin de detaylı olarak incelenmesi önem kazanmaktadır.

Kurak ve yarı kurak bölgelerdeki hafif bünyeli tekstüre sahip su altında kalan topraklarda oluşan redoks reaksiyonlarının birkaç günlük kısa sürelerde dahi uygulanan çiftlik gübreleri ile birlikte oluşturduğu dinamik dengenin tampon sistemlere faydasının önemli bir seviyede olduğu tespit edilmiştir.

Su altında kalmanın toprağın adsorpsiyon kapasitesini belli bir seviyeye kadar doğrusal olarak artırdığı tespit edilmiştir. Ancak söz konusu seviyelerden sonra gerek sekonder çökelme reaksiyonları, gerek indirgen koşullarda hızlı bir şekilde artan Fe ve Mn iyonları konsantrasyonu, gerekse adsorpsiyon sonucunda ortamda artan H^{+}

iyonları neticesinde sistemin pH dengesinin değişmesi nedeniyle adsorpsiyon yüzeylerinin tahribatı sonucu çinko daha fazla adsorbe olamamakta veya nisbeten daha az adsorbe olmaktadır. Bu seviyelerin sonrasında bu toprakta ortama ilave edilen fosfor veya çinkonun toprak tamponlama sistemleri tarafından adsorbe edilemediği tespit edilmiştir. Bu nedenle çiftlik gübresi ilavesi olsun ya da olmasın toprakların su altında kısa süreli kalması veya bırakılması neticesinde oluşan redüktif koşullar adsorpsiyon mekanizmalarını arttırarak tampon sistemlere olumlu bir etki etmekte ve yeni bir dinamik denge oluşturmaktadır.

Topraklarda bulunan amorf yapılar genellikle kısa vadeli yapılan tarımsal uygulamalardan kaynaklı olarak büyük ölçüde değişim göstermektedir. Sulamanın etkisiyle düşen redoks potansiyelinin sisteme etkisiyle çözünme, gübreleme ve ilaçlama uygulamalarının indirgen koşulları takip eden oksidatif süreçlerde ise Fe ve Mn'ın amorf fraksiyonları şeklinde çökelme reaksiyonları verme eğilimindedir. Bu çalışmada da ilişkiler dolaylı olarak bu durumun bir göstergesi olarak tespit edilmiştir.

Tarımsal uygulamaların genellikle kısa vadede gerçekleşmesi nedeniyle redoks reaksiyonları süreçlerinde bu durumdan en çok etkilenen elementlerden biri olarak Mn ortaya çıkmaktadır. Demir gibi diğer redoks elementleri ve bunların interaksiyonda bulundukları diğer bitki besin elementleri ise toprakların daha uzun süre indirgen koşullara maruz kaldığı kış dönemlerinde toprak tamponlama sistemlerinde ön plana çıkmaktadır. Bu durumların bir etkisi olarak çalışmada da amorf yapıların korelasyonları ve öncelikle indirgen koşullarda reaksiyon önceliğinden dolayı mangan fraksiyonlarının korelasyonlarının yüksek bulunduğu ifade edilebilmektedir.

Çok yıllık bitkilerin bulunduğu toprak örnekleri göz önünde bulundurulduğunda bu durum daha net olarak anlaşılmaktadır. Gübreleme ve ilaçlama uygulamaları ile toprağa ilavelerin bu elementleri muhtevası neticesinde topraktaki çözünme ilişkilerini değiştirerek yüksek korelasyonlar vermesine neden olduğu şeklinde açıklanabilmektedir.

Topraklarda su baskını ile oluşan indirgen koşulların süresince **ilk haftalarda adsorpsiyon yüzeylerindeki zayıflama nedeniyle çözünme reaksiyonlarının etkisi sisteme hakim olmaktadır**. Bu durumun genellikle su baskınının 21. gününe kadar

devam ettiği düşünülmektedir. Özellikle su baskınının 21. gününden itibaren ilerleyen günlerde ise adsorpsiyon sisteminin göreceli olarak daha stabil bir hale ulaştığı ifade edilebilmektedir.

Topraklarda su baskınının mevcut duruma olumlu bir etkisi olarak ilerleyen günlerde adsorpsiyon seviyelerinde çok hızlı bir şekilde artış yaşanmıştır. Bu artış yaklaşık olarak 7. günden itibaren %20'nin üzerinde tespit edilmiştir. Bu durumun **yeni dinamik dengeler oluşturmasıyla toprakların kısa bir süre de olsa su altında kalması/bırakılması sonucunda oluşan redoks reaksiyonlarının çok hızlı bir sürede sistemin adsorpsiyon mekanizmasına etki ettiği ve oransal olarak ne kadar fazla değişimler** olabileceğinin bir göstergesi olarak tespit edilmiştir.

Toprakların su baskını sonrasında yapılan kurutma işleminin de sekonder çökelme reaksiyonlarına etki ettiği düşünülmektedir. Su baskını aşamasında çözünmüş halde bulunan elementin farklı fraksiyonlarının uygulanan kurutma işlemi nedeniyle çökelmekte olduğu ve sisteme önemli bir etkide bulunduğu ifade edilebilir. Bu etki reaksiyonda geride kalan materyalin tanecik boyutu ile özgül yüzey alanını değiştirmekte, ortamda bulunan oksitli bileşiklerin yüzey alanı artmaktadır. Çözünen kısım eğer bir yüzey kaplaması şeklinde ise alt katmandaki kısmın adsorpsiyon kapasitesi artmakta, yeni çökelen materyal daha küçük tanecik boyutuyla yüksek yüzey alanına sahip olduğu için yeni bir dinamik denge oluşturmaktadır. Bununla ilgili daha detaylı çalışmaların yapılması önem kazanmaktadır.

Çalışmada kullanılan hafif bünyeli topraklarda indirgen koşulların fosfor ve çinko adsorpsiyonuna etkisi göz önünde bulundurulduğunda genellikle **kaba bünyeli toprakların adsorpsiyon kapasitelerinin düşük olduğunu** tampon sistemlerin zayıf olduğunu göstermekte olup fazla gübre uygulamalarına karşı toleranslı davranamayacağı ifade edilebilmektedir. Bu durum bu tekstüre sahip topraklarda daha dikkatli gübre tavsiyesinde bulunulması gerektiğinin bir göstergesidir.

Birinci toprağa göre daha fazla kil içeriğine sahip olan ikinci toprakta nispeten daha fazla adsorpsiyon ve tamponlama sistemleri görev almıştır. Bu **durum kil içeriğindeki artış ile adsorpsiyon mekanizması arasındaki doğrusal ilişkinin** bir göstergesidir. Zira kil içeriği düşük olan topraklara nazaran yüksek olan toprakların

daha fazla miktarda fosforu adsorbe ederek fiksasyonunu sağladığı ileri sürülmektedir (Arai ve Sparks, 2007).

Fosfor adsorpsiyon çalışmasında kullanılan topraklar göz önünde bulundurulduğunda tarımsal karakterli alanlardaki gübreleme uygulamalarının topraklardaki **fosfor yüküne ne kadar çok olumsuz yönde etki ettiği** ve ne derece önem verilmesi gerektiği ön plana çıkmaktadır.

Toprakların adsorpsiyon verilerinin tanımlanabilmesinde genellikle Freundlich ve Langmuir izotermlerinin başarılı bir şekilde tanımlanabildiği, her iki modelin de bir birine oldukça yakın performans gösterdiği, bu topraklarda oluşturulan şartlarda özellikle **Langmuir asdorpsiyon izoterminin daha yüksek regresyon** değerlerinde ulaşarak bu verileri tanımlama kabiliyetinin daha yüksek olduğu değerlendirilmiştir. Düşük konsantrasyonlarda adsorbatların organik madde ile oluşturduğu şelatlar ve yüksek konsantrasyonlarda çökelme reaksiyonları nedeniyle performansının düştüğü tespit edilmiştir. Binaenaleyh modelin parametrelerinin sağlıklı şekilde elde edilebilmesi için orta bölgenin kullanılmasının daha uygun olduğu ifade edilebilmektedir.

Gerek Freundlich gerekse Langmuir adsorpsiyon izotermlerinin başarılı bir şekilde kullanılabilmesi için mutlaka topraklara daha önceki dönemlerde uygulanan **gübrelemenin ve diğer işlemlerin etkisi olarak toprakta ortaya çıkan değerlerin fiziko-kimyasal özelliklerine yansımasının izoterm eğrilerinin hazırlanmasında dikkate alınması gerektiği** ifade edilebilmektedir. Genel olarak çiftlik gübresi uygulandığında topraklardaki fosfor içeriği yüksek olduğu için su baskınının da etkisiyle oluşan indirgenme reaksiyonlarının toprağın değişim komplekslerininde adsorpsiyon önceliğini etkilediği söylenilebilmektedir. Bütün bu durumlar dikkate alınarak hazırlanan ve teorik olarak hesaplanan iki fosfor adsorpsiyon değeri arasındaki sonuçların benzerliğinden dolayı **iki metodunda kullanılabilirliğine** işaret etmektedir. Bunun sonucu olarak topraktaki yeni adsorpsiyon kapasitesi bu şekilde hesaplanabilmekte olup bu değerlerin pratikte kullanılabilirliğini doğrular nitelikte olduğu ifade edilebilmektedir.

Çalışmada kullanılan bütün topraklarda **çiftlik gübresinin ilavesi sonucunda adsorpsiyon miktarının yaklaşık beş katlık bir oranda artış gösterdiği** tespit edilmiştir. Bu durum çiftlik gübresinin toprak tampon sistemlerine katkısınının ve adsorpsiyon kapasitesinin bir göstergesi olarak değerlendirilmiştir.

Sulak alanlar, tarımsal arazilerde fosfor birikiminin olduğu ve çözünmüş fosfor kayıpları açısından potansiyel olarak yüksek riskli bölgelerdir. Bu nedenlerle hidromorfik topraklara çözünmüş fosfor salınımının mevcut risk değerlendirme yöntemini uygularken büyük özen gösterilmesi gerektiğini ve bu yüksek riskli topraklar için fosfor sorpsiyon özelliklerindeki değişkenliği hesaba katabilen özel değerlendirme araçlarının geliştirilmesi gerekliliği üzerine daha detaylı çalışmaların yapılması gerektiği önem kazanmaktadır.

Toprakların gübreleme sonrası kısa bir süre su altında bırakılması ile oluşturulan indirgen koşulların çinko adsorpsiyonuna yaptığı olumlu etki ile toprakta yarayışlı çinko miktarını artırılmasına ve tarımın daha çevreci daha sürdürülebilir olmasına katkı sağlamaktadır. Bu nedenle gübreleme uygulamalarının toprağın bir süre nemli kalacağı dönemlerde ve özellikle **kış döneminin başlangıcında** yapılmasının bir sonraki tarımsal dönemde özellikle çinko için daha yarayışlı bir dinamik dengenin oluşacağının değerlendirilmesi önem kazanmaktadır.

Bütün bu durumlar dikkate alındığında analizler için örnekleme yapılmadan öncesinde toprakların geçirmiş olduğu redoks potansiyelindeki öykülerin analiz sonuçlarını doğrudan etkilediği tespit edilmiştir. Tipik olarak toprakların örnekleme zamanları konusunda yaz ayları sonunda düşük, kış ayları sonunda ise yüksek sonuçlar söz konusu belirleyici analizler açısından beklenilen bir durum olarak tespit edilmiştir. Bu da gübreleme programlarında analiz sonuçlarının kullanılabilirliği konusunda handikap olarak değerlendirilebilir.

Sonuç olarak Ülkemiz toprakları üzerinde bu konu hakkında daha önce yapılmış olan pek fazla çalışma bulunmamaktadır. Ana materyalin minerolojik yapısından gelen özelliklerine olan coğrafik ve iklimsel etkiler çerçevesinde, yetiştirilen bitkilerin ve yapılan tarımsal uygulamaların çeşitliliğinin fonksiyonu olarak toprakların değişkenliği ortaya çıkmaktadır. Redoks reaksiyonlarında her ne kadar literatürde

belirtilen değişiklikler genel olarak bilinse de bu bileşenlerdeki farklı kombinasyonların etkileri farklı davranışları ortaya çıkarabileceği için daha detaylı çalışmaların yapılması gerektiği kanaati oluşmuştur.

KAYNAKLAR

Adetunji, M. T. (1994). Evaluation of P supplying capacities of South Western Nigerian soils. *Journal of the Indian Society of Soil Science*, *42*(2), 208-213.

Adetunji, M. T. (1997). Phosphorus sorption capacity of low activity clay soils of South Western Nigeria and its usefulness in evaluating P requirement of rice. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, *47*, 181-188. https://doi.org/10.1007/BF01986273

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. http://doi.org/10.1071/SR11250

Ağca, N., & Derici, M. R. (1999). Adıyaman Çamgazi Ovası topraklarında fosfor adsorpsiyonunun değişik izotermlerle belirlenmesi. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 23*(2), 401-407.

Ajmone-Marsan, F., Côté, D., & Simard, R. R. (2006). Phosphorus transformations under reduction in long-term manured soils. *Plant and soil, 282*, 239-250. https://doi.org/10.1007/s11104-005-5929-6

Akay, A., & Mikayilov, F. (2000). Afyon iline ait bazı toprak örneklerinin fosfor adsorpsiyon karakteristikleri. *Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, *14*(23), 138-153.

Akgül, M., Başayiğit, L., Uçar, Y., & Müjdeci, M. (2001). *Atabey Ovası Toprakları*. Süleyman Demirel Üniversitesi Yayınları.

Alloway, B. J. (1996). *Heavy Metal in Soils*. Halsted Press, John Wiley & Sons Incorporated, London.

Alpaslan, M., & Taban, S. (1996). Çeltik (Oryza sativa L.)'te çinko-demir ilişkisi. *Tarım Bilimleri Dergisi, 2*(1). https://doi.org/10.1501/Tarimbil_0000000361

Amer, F., Saleh, M. E., & Mostafa, H. E. (1991). Phosphate behavior in submerged calcareous soils. *Soil Science, 151*, 306-311. https://doi.org/10.1097/00010694-199104000-00006

Anghinoni, I., Baligar, V. C., & Wright, R. J. (1996). Phosphorus sorption isotherm characteristics and availability parameters of appalachian acidic soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis, 27*, 2033-2048. https://doi.org/10.1080/00103629609369686

Arai, Y., & Sparks, D. L. (2007). Phosphate reaction dynamics in soils and soil minerals: a multiscale approach. *Advances in Agronomy, 94*, 135–179. https://doi.org/10.1016/S0065-2113(06)94003-6

Atkins, P. W. (2001). *Fizikokimya*. Bilim Yayıncılık.

Ayaz, M., Saleem, A., & Memon, M. (2010). Phosphorus adsorption parameters in relation to soil characteristics. *Journal Chemical Society of Pakistan, 32*, 129-139.

Aydeniz, A., & Brohi, A. R. (1982). Residual effect of zinc to rice plant grown on calcareous soils under flooded condition. *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yıllığı, 32*.

Aydın, A., & Sezen, Y. (1995). Değişik azotlu gübrelerin suya doygun koşullarda urfa yöresi toprak örneklerinin Fe, Mn, Zn ve Cu elverişliliğine etkisi. *İlhan Akalan Toprak ve Çevre Sempozyumu*, Eylül 01-04, Ankara, 146-155.

Aydın, A., & Turan, M. (2002). Toprakların suya doydun koşullarda bırakılmasının mikro besin elementi elverişliliğine ve bitki gelişimine etkisi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 33*(1), 45-52.

Azouzi, R., Charef, A., & Hamzaoui, A. H. (2015). Assessment of effect of pH, temperature and organic matter on zinc mobility in a hydromorphic soil. *Environmental Earth Sciences, 74*, 2967-2980. https://doi.org/10.1007/s12665-015-4328-4

Badrinarayan, R., & Venkateswarlu, J. (1974). The Physico-chemical changes of the newly flooded soils. *Journal of Indian Society of Soil Science, 22*(1), 13-18.

Baghernejad, M., Javaheri, F., & Moosavi, A. A. (2016). Adsorption isotherms of some heavy metals under conditions of their competitive adsorption onto highly calcareous soils of Southern Iran. *Archives of Agronomy and Soil Science, 62*(10), 1462-1473. https://doi.org/10.1080/03650340.2016.1147647

Barik, K., Kant, C., & Aydın, A. (2005). Daphan ve Pasinler Ovası toprak örneklerine suya doygun koşullarda farklı azotlu gübre uygulamalarının toprakların Fe, Mn, Zn ve Cu elverişliliğine etkisi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 37*(1), 9-15.

Barrow, N. J. (1993). Mechanisms of reaction of zinc with soil and soil components. In *Zinc in Soils and Plants: Proceedings of the International Symposium on 'Zinc in Soils and Plants' held at The University of Western Australia.* (pp. 15-31). https://doi.org/10.1007/978-94-011-0878-2_2

Barut, H., Özbek, H., Kaya, Z., & Çakmak, İ. (1998). Çinko Noksanlığı ve Bor Toksisitesi Gösteren Topraklarda Gyttja Uygulamasının Buğdayın Büyümesi ve Çinko ve Bor Konsantrasyonları Üzerine Etkisi. *I. Ulusal Çinko Kongresi*, Mayıs 12-16, Eskişehir, 773-777.

Bohn, H. L., McNeal, B. L., & O'Connor, G. A. (1985). Soil Chemistry, Second Edition. *A Wiley- Interscience Publication*, 262-288.

Bostic, E. M., & White, J. R. (2006). Soil phosphorus and vegetation influence on wetland phosphorus release after stimulated drought. *Soil Science Society of America Journal, 71*, 238-244. https://doi.org/10.2136/sssaj2006.0137

Bouyoucos, G. J. (1962). Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agricultural Journal, 54*, 464-465. https://doi.org/10.2134/agronj1962.00021962005400050028x

Brady, N. C., & Weil, R. R. (2008). *The Nature and Properties of Soils*. Upper Saddle River, New Jersey, Prentice Hall.

Brand-Klibanski, S., Litaor, M. I., & Shenker, M. (2007). Overestimation of phosphorus adsorption capacity in reduced soils: An artifact of typical batch adsorption experiments. *Soil Science Society of America Journal, 71*(4), 1128-1136. https://doi.org/10.2136/sssaj2006.0222

Braschi, I., Cıavatta, C., Gıovannını, C., & Gessa, C. (2003). Combined effect of water and organic matter on phosphorus availabileity in calcareous soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems, 67*, 67-74. https://doi.org/10.1023/A:1025143809825

Bridgham, S. D., Johnston, C. A., Schubauer-Berigan, J. P., & Weishampel, P. (2001). Phosphorus Sorption dynamics in soils and coupling with surface and pore water in riverine wetlands. *Soil Science Society of America Journal, 65*, 577–588. https://doi.org/10.2136/sssaj2001.652577x

Bruland, G. L., & Richardson, C. J. (2004). A spatially explicit investigation of phosphorus sorption and related soil properties in two riparian wetlands. *Journal of Environment Quality, 33*, 785–794. https://doi.org/10.2134/jeq2004.7850

Chittamart, N., Inkam, J., Ketrot, D., & Darunsontaya, T. (2016). Geochemical fractionation and adsorption characteristics of zinc in Thai major calcareous soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis, 47*, 2348-2363. https://doi.org/10.1080/00103624.2016.1243709

Cohen, M. J., Paris, J., & Clark, M. W. (2007). P-sorption capacity estimation in Southeastern USA wetland soils using visible/near infrared (VNIR) reflectance spectroscopy. *Wetlands, 27*(4), 1098–1111. https://doi.org/10.1672/0277-5212(2007)27[1098:PCEISU]2.0.CO;2

Condon, A. G., & Richards, R. A. (1992). Exploiting genetic variation in transpiration efficiency in wheat: an agronomic view. In *Stable Isotopes and Plant Carbon-Water Relations*. (pp. 435-450). https://doi.org/10.1016/B978-0-08-091801-3.50037-4

Couic, E., Gruau, G., Gu, S., & Casquin, A. (2022). Variability of phosphorus sorption properties in hydromorphic soils: consequences for p losses in agricultural landscapes. *European Journal of Soil Science, 73*(6), e13326. https://doi.org/10.1111/ejss.13326

Covelo, E. F., Alvarez, N., Couce, M. L. A., Vega, F. A., & Marcet, P. (2004). Zn adsorption by different fractions of Galician soils. *Journal of Colloid and Interface Science, 280,* 343-349. https://doi.org/10.1016/j.jcis.2004.08.012

Çakmak, İ., Sarı, N., Marschner, H., Kalaycı, M., Yılmaz, A., Eker, S., & Gülüt, K. Y. (1996). Dry matter production and distribution of zinc in bread and durum wheat genotypes differingin zinc efficiency. *Plant and Soil, 10,* 173-181. https://doi.org/10.1007/BF00015300

Çakmak, İ., Torun, B., Erenoğlu, B., Öztürk, L., Marschener, M., Kalaycı, M., Ekiz, H., & Yılmaz, A. (1998). Morphological and physiological differences in the response of cereals to zinc-deficiency. *Euphytica, 100,* 349-357. https://doi.org/10.1023/A:1018318005103

Çetin, M., & Kavruk, T. (2011). Doğrusal regresyonda sağlam güven aralıkları. *Anadolu Bilim Üniversitesi ve Teknoloji Dergisi B - Teorik Bilimler, 1*(1), 49-56.

Datta, S. K. (1981). *Principles and Practices of Rice Production.* Wiley Interscience, New York, U.S.A.

Davis-Carter, J. G., & Shuman, L. M. (1993). Influence of texture and ph of kaolinitic soil on zn fraction and uptake by peanuts. *Soil Science Society of American Journal, 55*(6), 376-384. https://doi.org/10.1097/00010694-199306000-00003

De Santiago-Martin, A., Quintana, J. R., Valverde-Asenjo, I., Lafuente, A. L., & Gonzalez-Huecas, C. (2015). Temporal trends of metal extractability in calcareous soils affected by soil constituents and metal contamination levels. *International Journal of Environmental Research, 9*(1), 323-332.

Derici, M. R., & Ağca, N. (1999). Gaziantep Kayacık Ovası topraklarında fosfor adsorpsiyonu. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 23*(2), 395-400.

Duffera, M., & Robarge, W. P. (1999). Soil characteristics and management effects on phosphorus sorption by highland plateau soils of Ethiopia. *Soil Science Society of America Journal, 63,* 1455-1462. https://doi.org/10.2136/sssaj1999.6351455x

Dungan, R. S., Lee, B. D., & Amrhein, C. (1999). Stinking mud: an introductory soil science laboratory exercise demonstrating redox reactions in flooded soils. *Journal of Natural Resources and Life Sciences Education, 28*(1), 89-92. https://doi.org/10.2134/jnrlse.1999.0089

Durgun, B. (2016). *Atabey Ovasındaki Toprak Serilerinde Çinko Fraksiyonlarının Belirlenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)

Eyüpoğlu, B., Kurucu, N., & Talaz, S., (1996). Türkiye topraklarının bitkiye yarayışlı bazı mikro element (Fe, Cu, Zn, Mn) bakımından genel durumu. *Toprak Gübre Araştırma Enstitüsü Yayınları, 127*, Ankara.

Fageria, N. K., Baligar, V. C., & Clark, R. B. (2002). Micronutrients in crop production. *Advances in Agronomy, 77*, 185-268. https://doi.org/10.1016/S0065-2113(02)77015-6

Fageria, N. K., Baligar, V. C., & Clark, R. B. (2005). Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. *Advances in Agronomy, 88*, 97-185. https://doi.org/10.1016/S0065-2113(05)88004-6

Fageria, N. K., Moraes, O. P., & Vasconcelos, M. J. (2011). Yield and yield components of upland rice as influenced by nitrogen sources. *Journal of Plant Nutrition, 34*. https://doi.org/10.1080/01904167.2011.536878

Fischer, W. R. (1983). Theoretische Betrachtungen zur reduktiven Auflösung von Eisen (III)-oxiden. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde, 146*(5), 611-622. https://doi.org/10.1002/jpln.19831460509

Fischer, P., Pothig, R., & Venohr, M. (2017). The degree of phosphorus saturation of agricultural soils in Germany: current and future risk of diffuse p loss and implications for soil p management in Europe. *Science of the Total Environment*, 1130-1139. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.03.143

Forbes, E. A., Posner, A. M., & Quirk, J. P. (1976). The specific adsorption of divalent Cd, Co, Cu, Pb and Zn on geothite. *Journal of Soil Science, 27*, 154-166. https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1976.tb01986.x

Gambrell, R. P., & Patrick, W. H. Jr. (1978). Chemical and microbiological properties of anaerobic soils and sediments. In *Plant Life in Anaerobic Environments*. (pp. 375-423).

Gérard, F. (2016). Clay minerals, iron/aluminum oxides, and their contribution to phosphate sorption in soils - a myth revisited. *Geoderma, 262*, 213-226. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.08.036

Ghiri, M. N., Rezaei, M., & Sameni, A. (2012). Zinc sorption-desorption by sand, silt and clay fractions in calcareous soils of Iran. *Archives of Agronomy and Soil Science, 58*(9), 945-957. https://doi.org/10.1080/03650340.2011.555763

Ghosh, S. N., Kar, A. K., & Dhua, S. P. (1976). Effect of sampling variation on Eh, pH and available P, Fe and Mn in submerged rice soil. *Indian Society of Soil Science, 24*(1), 86-87.

Giles, C. H., Macewan, T. H., Nakhwa, S. N., & Smith, D. J. (1960). Studies in adsorption. Part XI. A system of classification of solution adsorption isotherms, and its use in diagnosis of adsorption mechanisms and in measurement of specific surface areas of solids. *Journal of the Chemical Society, 786*, 3973-3993.

Glinska-Lewczuk, K., Bieniek, A., Sowinski, P., Obolewski, K., Burandt, P., & Timofte, C. M. (2014). Variability of zinc content in soils in a postglacial river

valley – a geochemical landscape approach. *Journal of Elementology, 19*(2). https://doi.org/10.5601/jelem.2014.19.1.618

Gorantiwar, S. M., Jaggi, I. K., & Khanna, S. S. (1973). Nutrient uptake by rice under different soil moisture regimes. *Indian Society of Soil Science, 21*(2), 133-136.

Gökmen, F., & Uygur, V. (2022a). Su altında kalmış toprakların genel özellikleri. In *Fen Bilimleri ve Mühendislik Araştırmaları: Faydacı Yaklaşımlar*. (pp. 87-108).

Gökmen, F., & Uygur, V. (2022b). Topraklarda şelat dengesi. Ziraat ve Orman, Su Ürünlerinde Araştırma ve Değerlendirmeler. ISBN: 978-625-430-565-8

Graham, R. D., Ascher, J. S., & Hynes, S. C., (1992). Selecting zinc-efficient cereal genotypes for soils of low zinc status. *Plant and Soil, 146*(1-2), 241-250. https://doi.org/10.1007/BF00012018

Guedes, R. S., Fernandes, A. R., De Souza, E. S., & Silva, J. R. R. E. (2015). Maximum phosphorus adsorption capacity adjusted to isotherm models in representative soils of Eastern Amazon. *Communications in Soil Science and Plant Analysis, 46*, 2615-2627. https://doi.org/10.1080/00103624.2015.1089264

Hadgu, F., Gebrekidan, H., Kibret, K., & Yitaferu, B., (2014). Study of phosphorus adsorption and its relationship with soil properties, analiyzed with Langmuir and Freundlich models. *Agriculture, Forestry and Fisheries, 3*(1), 40-51, Etiyopya. https://doi.org/10.11648/j.aff.20140301.18

Hansen, N. C., Daniel, T. C., Sharpley, A. N., & Lemunyon, J. L. (2002). The fate and transport of phosphorus in agriculturel systems. *Journal of Soil and Water Conservation. 57*(6), 408-417.

Harter, R. D. (1984). Curve-fit errors in Langmuir adsorption maxima. *Soil Science Society of America Journal, 48*(4), 749-752. https://doi.org/10.2136/sssaj1984.03615995004800040010x

Havlin, J. L., Beaton, J. D., Tisdale, S. L., & Nelson, W. L. (1999). Soil Fertility and Fertilizers. In *An Introduction to Nutrient Management.* (pp.154-195)

Hayatu, N. G., Liu, Y., Zhang, S., Huang, J., Han, T., Khan, M. N., Daba, N. A., Noma, S. S., Lv, Z., & Hou, H. (2023). Long-term organic manure substitution ıncreases yield and phosphorus use efficiency in a double-rice system by altering soil phosphorus uptake and apparent balance. *Agronomy, 13*, 1440. https://doi.org/10.3390/agronomy13061440

Helmke, P. A., & Sparks, D. L. (1996). Lithium, sodium, potassium, rubidium, and cesidium. In *Method of Soil Analysis: Chemical Methods-Part 3*. (pp. 551-575).

Herms, U., & Bruemmer, G. (1980). Influence of soil reaction on solubility and tolerable contents of total nickel, copper, zinc, cadmium and lead in soils and composted municipal wastes. *Landwirtschaftliche Forschung, 33*(4), 408-423.

Huang, G., Ding, X., Liu, Y., Ding, M., Wang, P., Zhang, H., Nie, M., & Wang, X. (2022). Liming and tillering application of manganese alleviates iron manganese plaque reduction and cadmium accumulation in rice (Oryza sativa L.). *Journal of Hazardous Materials, 427*, 127897. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127897

Hussain, S., Maqsood, M., & Rahmatullah, A. (2011). Zinc release characteristics from calcareous soils using diethylenetriaminepentaacetic acid and other organic acids. *Communications in Soil Science and Plant Analysis, 42*, 1870-1881. https://doi.org/10.1080/00103624.2011.587571

Jalali, M., & Zinli, N. A. M. (2012). Effects of common ions on Zn sorption in some calcareous soils of Western Iran. *Pedosphere, 22*(2), 190-200. https://doi.org/10.1016/S1002-0160(12)60005-8

Jenne, E. A. (1968). Controls on Mn, Fe, Co, Ni, Cu, and Zn concentrations in soils and water-the significant role of hydrous Mn and Fe oxides. In *Trace Inorganics in Water, Advances in Chemistry Series.* (pp.337-387)

Kabata-Pendias, A., & Mukherjee, A. B. (2007). *Trace Elements from Soil to Human*. Springer-Verlag Berlin.

Kabata-Pendias, A. (2011). *Trace Elements in Soils and Plants*. Florida, CRC Press.

Kacar, B., & Katkat, A. V. (1998). *Bitki Besleme*. Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayınları.

Kacar, B. (2009). *Bitki ve Toprağın Kimyasal Analizleri: III, Toprak Analizleri*. Ankara Üniversitesi Eğitim, Araştırma ve Geliştirme Vakfı Yayınları.

Kacar, B. (2014). *Bitki, Toprak ve Gübre Analizleri: 2, Kolay Uygulanabilir Bitki Analizleri*. Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara.

Karagöktaş, M. (2018). *Kireçli Topraklarda Suyla Doygun Koşullarda Yarayışlı Fosfor Miktarı Ve Fosfor Fraksiyonlarındaki Değişimlerin Belirlenmesi*. (Doktora Tezi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü)

Karaman, M. R. (2012). *Bitki Besleme*. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları.

Karanlık, S., Erenoğlu, B., Derici, M. R., & Çakmak, İ. (1998). Orta Anadolu, Çukurova ve GAP bölgeleri topraklarının değişik fraksiyonlarındaki mikroelement konsantrasyonlarının belirlenmesi. *1. Ulusal Çinko Kongresi*, Mayıs 12-16, Eskişehir, 783-786.

Karimian, N., & Moafpouryan, G. R. (1999). Zinc adsorption characteristics of selected calcareous soils of Iran and their relationship with soil properties. *Communications in Soil Science and Plant Analysis, 30*(11-12), 1721-1731. https://doi.org/10.1080/00103629909370325

Kassambara, A. (2021). Rstatix: pipe- friendly framework for basic statistical tests. R package version 0.7.0. https://CRAN.R-project.org/package=rstatix. (Son erişim tarihi: 21 Ağustos 2023)

Kordlaghari, K. P. (2006). Sorption-desorption behavior of phosphorus and potassium in four soil series of Isfahan. *18. World Congress of Soil Science*. July, Philadelphia, Pennsylvania, USA, 1468.

Korkmaz, K., & İbrikçi, H. (2010). Kireçli topraklarda fosfor dinamiğinin belirlenmesi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi, 25*(1), 44-5. https://doi.org/10.7161/anajas.2010.25.1.44-52

Krishnasamy, R., & Mathan, K. K. (2001). Path coefficient analysis of zinc and boron adsorption in soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis, 32*, 465-475. https://doi.org/10.1081/CSS-100103022

Kuo, S. (1996). Phosphorus. In *Methods of Soil Analysis-Part 3*. (pp. 869-919)

Landau, S., & Everitt, B. S. (2004). *A Handbook of Statistical Analyses using SPSS*. Chapman & Hall/CRC Press LLC, Washington, USA

Leleyter, L., & Probst, J. L. (1999). A new sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace elements in river sediments. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry, 73*(2), 109-128. https://doi.org/10.1080/03067319908032656

Li, J. L., He, M., Han, W., & Gu, Y. F. (2009). Availability and mobility of heavy metal fractions related to the characteristics of the coastal soils developed from alluvial deposits. *Environmental Monitoring and Assessment, 158*, 459-469. https://doi.org/10.1007/s10661-008-0596-8

Lindsay, W. L. (1972). Zinc in soils and plant nutrition. *Advances in Agronomy, 24*, 147-186. https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60635-5

Lindsay, W. L., & Norvel, W. A. (1978). Development of DTPA soil test for Zn, Fe, Mn and Cu. *Soil Science Society of America Journal, 42*(3), 421-28. https://doi.org/10.2136/sssaj1978.03615995004200030009x

Lindsay, W. L., & Sadiq, M. (1980). Cited in Lindsay, W.L., 1979. *Chemical Equilibria in Soils*. John Wiley & Sons, New York, USA.

Lindsay, W. L. (2001). *Chemical Equilibria in Soils*. The Blackburn Press, USA.

Loeppert, R. H., & Suarez, D. L. (1996). Carbonate and gypsium. In: *Methods of Soil Analyses-Part 3-Chemical Methods.* (pp. 1103-1108)

Lu, H., Li, K., Nkoh, J. N., He, X., Xu, R., Qian, W., Shi, R., & Hong, Z. (2022). Effects of pH variations caused by redox reactions and pH buffering capacity on Cd(II) speciation in paddy soils during submerging/draining alternation. *Ecotoxicology and Environmental Safety, 234,* 113409. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113409

Maguire, R. O., Foy, R. H., Bailey, J. S., & Sims, J. T. (2001). Estimation of the phosphorus sorption capacity of acidic soils in Ireland. *European Journal Soil Science, 52*, 479-487. https://doi.org/10.1046/j.1365-2389.2001.00394.x

Mahdi, H. H. M. (2017). *Atabey Ovası Topraklarında Fosfor Fraksiyonlarının Toprak Özellikleriyle İlişkisi*. (Yüksek Lisans Tezi, Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)

Mahdi, H. H. M., Uygur, V., & Durgun, B. (2019). Kireçli ana malzeme üzerinde oluşan topraklarda fosfor fraksiyonları ile bazı toprak özellikleri arasındaki açıklamalar. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi, 34*(1), 93-101. https://doi.org/10.7161/omuanajas.403794

Mandal, B., Hazra, G. C., & Mandal, L. N. (2000). Soil management influence on zinc desoption for rice and maize nutrion. *Soil Science Society of American Journal, 64*, 1699-1705. https://doi.org/10.2136/sssaj2000.6451699x

Marschner, H. (1983). General introduction to the mineral nutrion of plants. In *Encyclopedia of Plant Physiology*. (pp. 5-60). https://doi.org/10.1007/978-3-642-68885-0_2

Matar, A., Torrent, J., & Ryan, J. (1992). Soil and fertilizer phosphorus and crop responses in the dryland Mediterranean Zone. In *Advances in Soil Science*. (pp.81-146). https://doi.org/10.1007/978-1-4612-2844-8_3

McBridge, M. B., & Blasiak, J. J. (1979). Zinc and copper solubility as a function of pH in an acid soil. *Soil Science Society of American Journal, 43*, 866-870. https://doi.org/10.2136/sssaj1979.03615995004300050009x

McKenzie, R. M. (1972). The sorption of some heavy metals by the lower oxides of manganese. *Geoderma, 42*, 177-188. https://doi.org/10.1016/0016-7061(72)90030-4

McKenzie, R. M. (1977). Manganese oxides and hydroxides. In *Minerals in Soil Enviroments*. (pp. 181-193)

Medinski, T., Freese, D., & Reitz, T. (2018). Changes in soil phosphorus balance and phosphorus-use efficiency under long-term fertilization conducted on agriculturally used chernozem in Germany. *Canadian Journal of Soil Science, 8*(98), 650-662. https://doi.org/10.1139/cjss-2018-0061

Mengel, K., & Kirkby, E. A. (1991). *Principles of Plant Nutrition*. 3rd International Potash Institute, Worblaufen-Bern, Switzerland.

Miranda, L. S., Wijesiri, B., Ayoko, G. A., Egodawatta, P., & Goonetilleke, A. (2021). Water-sediment interactions and mobility of heavy metals in aquatic environments. *Water Research, 202*, 117386. https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117386

Miranda, L. S., Ayoko, G. A., Egodawatta, P., & Goonetilleke, A. (2022). Adsorption-desorption behavior of heavy metals in aquatic environments: influence of sediment, water and metal ionic properties. *Journal of Hazardous Materials, 421*, 126743. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126743

Moazed, H., Hoseini, Y., Naseri, A. A., & Abbasi, F. (2010). Determining phosphorus adsorption isotherm in soil and its relation to soil characteristics. *International Journal of Soil Science, 5*(3), 131-139.

Murphy, J., & Riley J. P. (1962). A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. *Analytica chimica acta, 27*, 31-36. https://doi.org/10.1016/S0003-2670(00)88444-5

Myers, D. (1999). *Surfaces, Interfaces, and Colloids: Principles and Applications*. John Wiley & Sons Incorporated, New York.

Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1996). Total carbon, organic carbon, and organic matter. In *Method of Soil Analysis: Chemical Methods. Part 3*. (pp. 961-1011). https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.c29

Ni, W. Z., Zhang, Y. S., & Sun, X. (1995). Effect of organic manure on phosphorus adsorption-desorption and availability in paddy soil derived from red earth. *Pedosphere, 5*(4), 357-361.

Nieminen, M., & Jarva, M. (1996). Phosphorus adsorption by peat from drained mires in Southern Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research, 11*, 321-326. https://doi.org/10.1080/02827589609382942

Nwoke, O. C., Vanlauwe, B., Diels, J., Sanginga, N., Osonubi, O., & Merckx, R. (2003). Assessment of labile phosphorus fractions and adsorption characteristics in relation to soil properties of West African Savanna Soils. *Agriculture, Ecosystems & Environment, 100*(2-3), 285-294. https://doi.org/10.1016/S0167-8809(03)00186-5

Olila, O. G., Reddy, K. R., & Stites, D. L. (1997). Influence of draining on soil phosphorus forms and distribution in a constructed wetland. *Ecology Engineering, 9*, 157-169. https://doi.org/10.1016/S0925-8574(97)10006-4

Olsen, S. R. (1954). *Estimation of Available Phosphorus in Soils by Extraction with Sodium Bicarbonate*. U. S. Department of Agriculture, 939.

Olsen, S. R., & Khasawneh, F. E. (1980). Use and limitations of physical-chemical criteria for assessing the status of phosphorus in soils. *The role of phosphorus in agriculture*, 361-410. https://doi.org/10.2134/1980.roleofphosphorus.c15

Oruç, N., & Sağlam, M. T. (1979). *Toprak Kimyası Ders Notları*. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Erzurum.

Ören, S., & Bozkurt, B. (2015). *Toprak Özelliklerinin Su Altında Kalma Sonucu pH ve Redoks Potansiyeli Üzerine Etkisi*. (Lisans Bitirme Tezi, Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü)

Ören, S. (2018). *Toprakların Redoks Potansiyelindeki Değişimlerin Fe ve Mn Yarayışlılığına Etkisi*. (Yüksek Lisans Tezi, Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)

Ören, S., Uygur, V., & Sukuşu, E. (2018). Farklı özelliklerdeki topraklarda redoks potansiyelindeki değişimlerin Fe ve Mn yarayışlılığına etkisi. *Mediterranean Agricultural Sciences, 31*(3), 301-309. https://doi.org/10.29136/mediterranean.409050

Pal, S. K. (2011). Phosphorus sorption-desorption characteristics of soils under different land use patterns of Eastern India. *Archives of Agronomy and Soil Science, 57*(4), 365-376. https://doi.org/10.1080/03650341003605743

Parat, C., Lévêque, J., Dousset, S., Chaussod, R., & Andreux, F. (2003). Comparison of three sequential extraction procedures used to study trace metal distribution in an acidic sandy soil. *Analytical and Bioanalytical Chemistry, 376*, 243-247. https://doi.org/10.1007/s00216-003-1864-7

Patrick, W. H. Jr., & Henderson, R. E. (1981). Reduction and reoxidation cycles of manganese and iron in flooded soil and in water solution. *Soil Science Society of America Journal, 45*, 855-859. https://doi.org/10.2136/sssaj1981.03615995004500050006x

Patiram, R. N., Raj, M. M., & Prasad, R. N. (1990). Forms of soil phosphorus and suitable extactants for available phosphorus in acid soils of Sikkim. *Journal of Indian Society of Soil Science, 38*(1), 237-242.

Pereira, J. R., & De Faria, C. M. B. (1998). Phosphorus sorption in some soils of the semi-arid region of the Brazilian Northeast. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira, 33*, 7, 1179-1184.

Ponnamperuma, F. N. (1972). The chemistry of submerged soils. *Advances in Agronomy, 24*, 29-96. https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60633-1

Ponnamperuma, F. N. (1978). Electrochemical changes in submerged soils and the growth of rice. In *Soils and Rice.* (pp. 421-441)

Ponnamperuma, F. N. (1981). Some aspects of the physical chemistry of paddy soils. In *Proceedings of Symposium on Paddy Soil* (pp.59-94). https://doi.org/10.1007/978-3-642-68141-7_5

Ponnamperuma, F. N., Cayton, M. T., & Lantin, R. S. (1981). Dilute hydrochloric acid as an extractant for available zinc, copper and boron in rice soils. *Plant and Soil, 61*, 297-310. https://doi.org/10.1007/BF02182011

Ponnamperuma, F. N. (1985). Chemical kinetics of wetland rice soils relative to soil fertility. In *Wetland Soils: Characterization, Classification, and Utilization* (pp.71-89).

Quang, V. D., Thai, V. C., Linh, T. T. T., Dufey, J. E. (1996). phosphorus sorption in soils of the Mekong Delta (Vietnam) as Described by the binary Langmuir equation. *European Journal Soil Science, 47*, 113-123. https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1996.tb01378.x

Rajan, S. S. S., & Perrott, K. W. (1975). Phosphate adsorption by synthetic amorphous aluminosilicates. *Journal of Soil Science, 26*, 257-266. https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1975.tb01950.x

Ranno, S. K., Da Silva, L. S., Gatiboni, L. C., & Rhoden, A. C. (2007). Phosphorus adsorption capacity in lowland soils of Rio Grande do Sul State. *Revista Brasileira De Ciencia Do Solo, 31*, 21-28. https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000100003

Reddy, K. R., Overcash, M. R., Khaleel, R., & Westerman, P. W. (1980). Phosphorus adsorption desorption characteristics on two soils utilized for disposal of animal wastes. *Journal of Environmental Quality, 9*, 86-92. https://doi.org/10.2134/jeq1980.00472425000900010020x

Reddy, K. R., Kadlec, R. H., Flaig, E., & Gale, P. M. (1999). Phosphorus retention in streams and wetlands: a review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 29*(1), 83-146. https://doi.org/10.1080/10643389991259182

Rhoades, J. D. (1982). Cation Exchange Capacity. *Methods of Soil Analysis Part 2. Chemical and Microbiological Properties Second Edition.* Agronomy, 9, Second Edition. (p:149-157)

Rhoades, J. D. (1996). Salinity: electrical conductivity and total dissolved gasses. In *Method of Soil Analysis: Chemical Methods- Part 3.* (pp. 417-437). https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c14

Rivero, V. C., Masedo, M. D., & De la Villa, R. V. (1999). Effect of soil properties on zinc retention in agricultural calcareous soils. *Agrochimica, 43*, 46-54.

Rozanski, S. (2013). Fractionation of selected heavy metals in agricultural soils. *Ecological Chemistry and Engineering S, 20*(1), 117-125. https://doi.org/10.2478/eces-2013-0009

Russell, E. W. (1973). *Soil Conditions and Plant Growth*. Longman, London.

Sağlam, M. T. (1994). *Toprak Kimyası*. Trakya Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları.

Sağlam, M. T. (1997). *Toprak ve Suyun Kimyasal Analiz Yöntemleri*. Trakya Üniversitesi Yayınları.

Saltalı, K., & Bilgili, A. V. (2005). Zinc adsorption and desorption characteristics of soils in semi-arid region, Turkey. *Asian Journal of Chemistry, 17*(4), 2757-2764.

Samourgiannidis, G., & Matsi, T. (2013). Comparison of two sequential extraction methods and the DTPA Method for the extraction of micronutrients from acidic soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis, 44*, 38-49. https://doi.org/10.1080/00103624.2012.734030

Sanyal, S. K., & De Datta, S. K. (1991). Chemistry of phosphorus transformations in soil. In: Stewart, B.A. (eds) *Advances in Soil Science, 16*, 1-120. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-3144-8_1

Sarıkaya, Y. (1993). *Fizikokimya*. Gazi Büro Kitabevi.

Sethunathan, N., & Siddaramappa, R. (1978). Microbial degradation of pesticides in rice soils. In *Soils and Rice* (pp. 479-497).

Sezen, Y. (1991). *Toprak Kimyası*. Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları.

Sezen, Y. (1995). *Toprak Kimyası*. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları.

Shaheen, S. M., Tsadilas, C. D., & Rinklebe, J. (2013) A review of the distribution coefficients of trace elements in soils: influence of sorption system, element characteristics, and soil colloidal properties. *Advances in colloid and interface science, 201*, 43-56. https://doi.org/10.1016/j.cis.2013.10.005

Shaheen, S. M., & Rinklebe, J. (2014). Geochemical fractions of chromium, copper, and zinc and their vertical distribution in floodplain soil profiles along the Central Elbe River, Germany. *Geoderma, 228*, 142-159. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.10.012

Shapiro, S. S., & Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality (Complete Samples). *Biometrika, 52*, 591-611. https://doi.org/10.2307/2333709

Sharma, K. N., Singh, H., & Vig, A. C. (1995). Influence of continuous cropping and fertilization on adsorption and desorption of soil-phosphorus. *Fertilizer Research, 40,* 121-128. https://doi.org/10.1007/BF00750096

Shen, J., Li, R., Zhang, F., Fan, J., Tang, C., & Rengel, Z. (2003). 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(*2-3), 225-238. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2003.08.013

Shukla, U. C., & Mittal, S. B. (1979). Characterization of zinc adorption in some soils of India. *Soil Science Society of American Journal, 43*(5), 905-908. https://doi.org/10.2136/sssaj1979.03615995004300050017x

Shuman, L. M. (1977). Adsorption of Zn by Fe and Al hydrous oxides as influenced by aging and pH. *Soil Science Society of America Journal, 40*, 703-706. https://doi.org/10.2136/sssaj1977.03615995004100040016x

Shuman, L. M. (1983). Sodium hypochlorite methods for extracting microelements associated with soil organic matter. *Soil Science Society of America Journal, 47*(4), 656-660. https://doi.org/10.2136/sssaj1983.03615995004700040010x

Shuman, L. M. (1985). Fractionation method for soil microelements. *Soil Science, 140(*1), 11-22. https://doi.org/10.1097/00010694-198507000-00003

Shuman, L. M. (1988). Effect of phosphorus levels on extractable micronutrients and their distribution among soil fractions. *Soil Science Society of American Journal, 52*, 136-141. https://doi.org/10.2136/sssaj1988.03615995005200010024x

Shuman, L. M. (2005). Chemistry of micronutrients in soils. In *Chemical Processes in Soils.* (pp. 293-308). https://doi.org/10.2136/sssabookser8.c5

Siddique, M. T., & Robinson, J. S. (2003). Phosphorus sorption and availability in soils amended with animal manures and sewage sludge. *Journal of Environmental Quality, 32*, 1114-1121. https://doi.org/10.2134/jeq2003.1114

Siddique, M. T., & Robinson, J. S. (2004). Differences in phosphorus retention and release in soils amended with animal manures and sewage sludge. *Soil Science Society of American Journal, 68*, 1421-1428. https://doi.org/10.2136/sssaj2004.1421

Sims, J. L., & Patrick Jr, W. H. (1978). The Distribution of micronutrient cations in soil under conditions of varying redox potential and pH. *Soil Science Society of America Journal, 42*(2), 258-262. https://doi.org/10.2136/sssaj1978.03615995004200020010x

Sims, J. T., & Johnson, G. V. (1991). Micronutrient soil test. In *Micronutrient in Agriculture*. (pp. 427-476).

Singh, S., & Ram, P. (1977). Changes in solubility of phosphorus and its availability to rice plant in the waterlogged soils. *Journal of the Indian Society of Soil Science, 25*(2), 129-133.

Singh, M. V., Karamanos, R. E., & Stewart, J. W. B. (1986). Phosphorus induced zinc deficiency in wheat on residual phosphorus plants. *Agronony Journal, 78*, 668-675. https://doi.org/10.2134/agronj1986.00021962007800040023x

Sparrow, L. A., & Uren, N. C. (2014). Manganese oxidation and reduction in soils: effects of temperature, water potential, pH and their interactions. *Soil Research, 52*(5), 483-494. https://doi.org/10.1071/SR13159

Sposito, G. (2008). *The Chemistry of Soils*. 2nd Edition, Oxford University Press.

Stietiya, M. H., & Wang, J. J. (2011). Effect of organic matter oxidation on the fractionation of copper, zinc, lead, and arsenic in sewage sludge and amended soils. *Journal of Environmental Quality, 40*, 1162-1171. https://doi.org/10.2134/jeq2011.0008

Stipp, S. L. S., & Hochella, Jr. M. F. (1991). Structure and bonding environments at the calcite surface as observed with x-ray photoelectron spectroscopy (XPS) and low energy electron diffraction (LEED). *Geochimica et Cosmochimica Acta, 55*, 1723-1736. https://doi.org/10.1016/0016-7037(91)90142-R

Stumm, W., & Morgan, J. J. (1970). *Aquatic Chemistry*. Wiley (Interscience), New York.

Sukuşu, E. (2023). *Tarımsal Uygulamaların Isparta İli Elma Bahçesi Topraklarındaki Bakır ve Çinko Fraksiyonlarına Etkisinin Kademeli Ekstraksiyonla Belirlenmesi*. (Doktora Tezi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü)

Tagwira, F., Piha, M., & Mugwira, L. (1993). Zinc distribution in Zimbabwean soils and its relationship with other soil factors. *Communications in soil science and plant analysis, 24*(9-10), 841-861. https://doi.org/10.1080/00103629309368844

Takai, Y., Koyama, T., & Kamura, T. (1956). Microbial metabolism of paddy soils (Part 4), Effect of iron and organic matter on the reduction process (2). *Journal of Agricultural Chemical Society, 31*, 211-220.

Tandon, H. L. S. (1987). Phosphorous Research and Agricultural Production in India. Fertility Development and Consultant Organization. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Greater Kailash 1, New Delhi.

Taylor, R. M., McKenzie, R. M., & Norrish, K. (1964). The mineralogy and chemistry of manganese in some Australian soils. *Soil Research, 2*(2), 235-248. https://doi.org/10.1071/sr9640235

Taylor, R. W., Hassan, K., Mehadi, A. A., & Shuford, J. W. (1995). Kinetics of zinc sorpt1on by soils. *Communications in soil science and plant analysis, 26*(11-12), 1761-1771. https://doi.org/10.1080/00103629509369407

Tessier, A., Campbell, P. G. C., & Bisson, M. (1979). Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Analytical Chemistry, 51*(7), 844-851. https://doi.org/10.1021/ac50043a017

Thomas, G. W. (1996). Soil pH and acidity. In *Method of Soil Analysis: Chemical Methods 3.* (pp. 475-491). https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c16

Thompson, L. M., & Troeh, F. R. (1973). *Soil and Soil Fertility*. McGraw-Hill Book Company.

Tiwari, T., Tripathi, S., & Sachan, R. (2023). Electrochemistry of submerged soils. In *Current Research and Review in Soil Science 3.* (pp. 47-65).

Tripathi, B., R., Tandon, H. L. S., & Tyner, E. H. (1970). Native inorganic phosphorus forms and their relation to some chemical indices of phosphate availability for soils of Agra District, India. *Soil Science, 109*(2), 93-101. https://doi.org/10.1097/00010694-197002000-00004

TOVEP (1991). *Türkiye Toprakları Verimlilik Envanteri*. T.C. Tarım ve Orman Köy İşleri Bakanlığı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü.

TS EN ISO 6878 (2006). Su Kalitesi - Fosfor Tayini - Amonyum Molibdat Spektrometrik Metot. TSE, I. Baskı, Ankara.

TS EN ISO 10523 (2013). Su Kalitesi - pH Tayini. TSE, I. Baskı, Ankara.

TS EN ISO 17294-1 (2007). Su Kalitesi - İndüktif Çift Plazma Kütle Spektometri Uygulaması (Icp-Ms) - Bölüm 1: Genel Kılavuz. TSE, I. Baskı, Ankara.

TS EN ISO 17294-2 (2017). Su kalitesi – İndüktif Olarak Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometrinin (Icp-Ms) Uygulanması – Bölüm 2: Uranyum İzotopları Dahil Seçilmiş Elementlerin Tayini. TSE, I. Baskı, Ankara.

TS ISO 11047 (2015). Toprak Kalitesi - Kadmiyum, Krom, Kobalt, Bakır, Kurşun, Mangan, Nikel Çinko ve Muhtevası Tayini - Alevli ve Elektrotermal Atomik Absorpsiyon Spektrometrik Metototlar. TSE, I. Baskı, Ankara.

TS 9748 EN 27888 (1996). Su kalitesi-Elektriksel iletkenlik tayini. TSE, I. Baskı, Ankara.

Tsutsuki, K., & Ponnamperuma, F. N. (1987). Behavior of anaerobic decomposition products in submerged soils: effects of organic material amendment, soil properties, and temperature. *Soil Science and Plant Nutrition, 33*(1), 13-33. https://doi.org/10.1080/00380768.1987.10557549

Usta, S. (1995). *Toprak Kimyası*. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları.

Uygur, V. (1998). *The Sorption/Desorption Chemistry of Zn in Calcareous Soils from Turkey*. (Doktora Tezi, The University of Newcastle upon Tyne, UK)

Uygur, 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. https://doi.org/10.1046/j.1365-2389.2000.00318.x

Uygur, 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. https://doi.org/10.1002/jpln.200700326

Uygur, V., Karaduman, M. A., Keçeci, M., Sukuşu, E., & Müjdeci, M. (2017). Competitive adsorption of heavy metals in different soils. *Fresenius Environmental Bulletin, 26*(10), 6205-6211.

Uygur, V., & Kaya, B. (2019). Kireçli anamateryal üzerinde oluşan topraklarda çinko adsorpsiyonu ve toprak özellikleriyle ilişkileri. *Ziraat Fakültesi Dergisi, 14*, 156-165.

Uygur, V., & Ince, T. (2020). Relationships between phosphorus adsorption isotherms and properties of calcareous soils and determination of phosphorus fertilizer requirement from the isotherms. *International Journal of Agriculture, Forestry and Life Sciences, 4*, 215-228.

Veith, J. A., & Sposito, G. (1977). Reactions of aluminosilicates, aluminum hydrous oxides, and aluminum oxide with o-phosphate: the formation of x-ray amorphous analogs of variscite and montebrasite. *Soil Science Society of American Journal, 41*, 870-876. https://doi.org/10.2136/sssaj1977.03615995004100050011x

Vepraskas, M. J., & Craft, C. B. (2016). *Wetland soils: Genesis, Hydrology, Landscapes and Classification*. CRC press.

Vistoso, E., Theng, B. K., Bolan, N., Parfitt, R., & Mora, M. (2012). Competitive sorption of molybdate and phosphate in andisols. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 12*, 59-72. https://doi.org/10.4067/S0718-95162012000100006

Wang, X., Phillips, B. L., Boily, J. F., Hu, Y., Hu, Z., Yang, P., & Zhu, M. (2019). Phosphate sorption speciation and precipitation mechanisms on amorphous aluminum hydroxide. *Soil Systems, 3*(1), 20. https://doi.org/10.3390/soilsystems3010020

Willett, I. R. (1986). Phosphorus dynamics in relation to redox processes in flooded soils. *13th International Congress of Soil Science Transactions.* August 13-20, Hamburg, 748-755.

Williams, B. G., & Patrick, Jr. W. H. (1973). The dissolution of complex ferric phosphates under controlled Eh and pH conditions. *Soil Science Society of America Journal, 37*(1), 33-36. https://doi.org/10.2136/sssaj1973.03615995003700010015x

Yan, X., Yang, W., Chen, X., Wang, M., Wang, W., Ye, D., & Wu, L. (2020). Soil phosphorus pools, bioavailability and environmental risk in response to the phosphorus supply in the red soil of Southern China. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 17*(20), 7384. https://doi.org/10.3390/ijerph17207384

Yang, X., Chen, X., & Yang, X. (2019). Effect of organic matter on phosphorus adsorption and desorption in a black soil from Northeast China. *Soil and Tillage Research, 187*, 85-91. https://doi.org/10.1016/j.still.2018.11.016

Yu, W., Ding, X., Xue, S., Li, S., Liao, X., & Wang, R. (2013). Effects of organic-matter application on phosphorus adsorption of three soil parent materials. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 13*(4), 1003-1017. https://doi.org/10.4067/S0718-95162013005000079

Yu, F., Ji, Y., Li, Z., Li, Y., & Meng, Y. (2023). Adsorption-desorption characteristics of typical heavy metal pollutants in submerged zone sediments: a case study of the jialu section in Zhengzhou, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-20. https://doi.org/10.1007/s11356-023-29059-7

Yurdakul, İ., & Usta, S. (2017). Toprak organik maddesi ile fosfor adsorpsiyonu arasındaki ilişkinin Langmuir modeli ile araştırılması. *Toprak Su Dergisi, 6*(2), 59-70. https://doi.org/10.21657/topraksu.339839

Zhang, H., Schroder, J. L., Fuhrman, J. K., Basta, N. T., Storm, D. E., & Payton, M. E., (2005). Path and multiple regression analyses of phosphorus sorption capacity. *Soil Science Society of American Journal, 69*, 96-106. https://doi.org/10.2136/sssaj2005.0096dup

Zhang, W., Wang, Q., Wu, Q., Zhang, S., Zhu, P., Peng, C., & Zhang, H. (2020). The response of soil Olsen-P to the P budgets of three typical cropland soil types under long-term fertilization. *PloS one, 15*(3), e0230178. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230178

Zhao, K. L., Liu, X. M., Zhang, W. W., Xu, J. M., & Wang, F. (2011). Spatial dependence and bioavailability of metal fractions in paddy fields on metal concentrations in rice grain at a regional scale. *Journal of Soils and Sediments, 11*, 1165-1177. https://doi.org/10.1007/s11368-011-0408-6

Zhuan-xi, L., Bo, Z., Jia-liang, T., & Tao, W. (2009). Phosphorus retention capacity of agricultural headwater ditch sediments under alkaline condition in purple soils area, China. *Ecological Engineering, 35*(1), 57-64. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.09.021

Zu, Y. Q., Bock, L., Schvartz, C., Colinet, G., & Li, Y. (2014). Mobility and distribution of lead, cadmium, copper and zinc in soil profiles in the peri-urban market garden of Kunming, Yunnan Province, China. *Archives of Agronomy and Soil Science, 60*, 133-149. https://doi.org/10.1080/03650340.2012.746778

EKLER

EK A. Çizelgeler

EK A. Çizelgeler

Toprak inkübasyonunda korelasyon sonuçları

Çizelge A.1. Toprak inkübasyonlarında kontrol düzeyi Spearman korelasyonu

	P-0	K-0	Ca-0	Mg-0	Na-0	Fe-0	Mn-0	Cu-0	Zn-0	pH-0	ORP-0	EC-0
P-0		0.684	-0.040	0.278	0.865	-0.240	-0.102	0.217	0.654	-0.131	0.134	0.767
K-0	0.684		0.276	0.624	0.800	-0.200	0.363	0.414	0.375	-0.461	0.459	0.907
Ca-0	-0.040	0.276		-0.060	0.014	-0.018	-0.034	-0.435	-0.418	0.155	-0.163	0.013
Mg-0	0.278	0.624	-0.060		0.489	0.121	0.708	0.707	0.357	-0.593	0.592	0.730
Na-0	0.865	0.800	0.014	0.489		-0.109	0.132	0.253	0.531	-0.314	0.316	0.883
Fe-0	-0.240	-0.200	-0.018	0.121	-0.109		0.318	0.008	-0.317	-0.319	0.319	-0.036
Mn-0	-0.102	0.363	-0.034	0.708	0.132	0.318		0.685	-0.134	-0.727	0.721	0.425
Cu-0	0.217	0.414	-0.435	0.707	0.253	0.008	0.685		0.454	-0.465	0.463	0.506
Zn-0	0.654	0.375	-0.418	0.357	0.531	-0.317	-0.134	0.454		0.034	-0.033	0.471
pH-0	-0.131	-0.461	0.155	-0.593	-0.314	-0.319	-0.727	-0.465	0.034		**-0.999**	-0.572
ORP-0	0.134	0.459	-0.163	0.592	0.316	0.319	0.721	0.463	-0.033	**-0.999**		0.572
EC-0	0.767	0.907	0.013	0.730	0.883	-0.036	0.425	0.506	0.471	-0.572	0.572	

Çizelge A.2. Toprak inkübasyonlarında sb0-sb7 Spearman korelasyonu

	P-0	K-0	Ca-0	Mg-0	Na-0	Fe-0	Mn-0	Cu-0	Zn-0	pH-0	ORP-0	EC-0
P-7	0.894	0.712	0.076	0.340	0.832	-0.265	0.045	0.256	0.488	-0.180	0.177	0.762
K-7	0.489	0.852	0.377	0.673	0.613	-0.071	0.521	0.462	0.176	-0.424	0.424	0.769
Ca-7	-0.143	0.143	0.808	-0.031	-0.102	-0.090	0.075	-0.276	-0.382	0.267	-0.278	-0.089
Mg-7	0.226	0.567	0.081	0.896	0.412	0.212	0.726	0.629	0.171	-0.528	0.526	0.659
Na-7	0.462	0.489	0.360	0.449	0.565	0.386	0.155	0.035	0.146	-0.230	0.222	0.589
Fe-7	-0.067	-0.110	0.210	-0.055	-0.065	0.287	0.156	-0.089	-0.138	0.101	-0.124	-0.059
Mn-7	0.167	0.278	0.320	0.154	0.281	-0.023	0.209	0.032	0.023	-0.002	-0.013	0.223
Cu-7	0.192	0.442	-0.260	0.749	0.255	-0.012	0.704	0.929	0.397	-0.401	0.394	0.491
Zn-7	0.629	0.474	-0.329	0.556	0.592	-0.338	0.049	0.516	0.928	-0.081	0.080	0.561
pH-7	0.035	-0.403	-0.046	-0.285	-0.129	-0.097	-0.678	-0.375	0.332	0.754	-0.742	-0.366
ORP-7	-0.041	0.396	0.049	0.271	0.120	0.086	0.667	0.363	-0.341	-0.741	0.729	0.356
EC-7	0.777	0.912	0.114	0.657	0.864	-0.048	0.419	0.487	0.420	-0.478	0.473	**0.959**

Çizelge A.3. Toprak inkübasyonlarında sb0-sb14 Spearman korelasyonu

	P-0	K-0	Ca-0	Mg-0	Na-0	Fe-0	Mn-0	Cu-0	Zn-0	pH-0	ORP-0	EC-0
P-14	0.936	0.661	-0.033	0.254	0.843	-0.290	-0.073	0.222	0.554	-0.046	0.050	0.718
K-14	0.466	0.827	0.217	0.705	0.648	-0.178	0.420	0.443	0.271	-0.409	0.413	0.754
Ca-14	-0.171	0.138	0.750	0.010	-0.098	-0.198	-0.039	-0.296	-0.311	0.361	-0.370	-0.108
Mg-14	0.223	0.595	-0.004	0.942	0.423	0.108	0.659	0.653	0.266	-0.525	0.525	0.667
Na-14	0.535	0.618	0.366	0.503	0.653	0.266	0.118	0.010	0.184	-0.294	0.290	0.687
Fe-14	0.174	0.033	0.033	-0.119	0.155	-0.016	0.038	-0.018	-0.020	0.135	-0.157	0.097
Mn-14	0.217	0.277	0.216	0.101	0.282	0.135	0.166	0.077	0.097	-0.090	0.066	0.215
Cu-14	0.160	0.432	-0.259	0.737	0.242	-0.056	0.671	0.906	0.362	-0.395	0.388	0.477
Zn-14	0.565	0.384	-0.436	0.430	0.516	-0.440	-0.080	0.456	0.918	-0.008	0.009	0.461
PH-14	0.059	-0.339	-0.140	-0.294	-0.073	-0.231	-0.671	-0.348	0.416	0.736	-0.729	-0.325
ORP-14	-0.036	0.350	0.134	0.283	0.086	0.196	0.650	0.344	-0.393	-0.733	0.726	0.331
EC-14	0.772	0.906	0.191	0.622	0.855	-0.021	0.381	0.424	0.390	-0.435	0.430	0.933

Çizelge A.4. Toprak inkübasyonlarında sb0-sb21 Spearman korelasyonu

	P-0	K-0	Ca-0	Mg-0	Na-0	Fe-0	Mn-0	Cu-0	Zn-0	pH-0	ORP-0	EC-0
P-21	0.896	0.685	-0.049	0.293	0.832	-0.231	-0.049	0.247	0.509	-0.098	0.098	0.740
K-21	0.429	0.823	0.288	0.678	0.611	-0.125	0.505	0.415	0.120	-0.483	0.488	0.739
Ca-21	-0.245	0.161	0.797	-0.041	-0.150	-0.134	0.059	-0.331	-0.507	0.192	-0.194	-0.118
Mg-21	0.187	0.602	0.034	0.911	0.402	0.137	0.705	0.618	0.148	-0.590	0.594	0.656
Na-21	0.650	0.722	0.317	0.522	0.707	0.103	0.113	0.106	0.296	-0.339	0.342	0.747
Fe-21	0.339	0.160	-0.087	0.073	0.292	0.074	0.188	0.228	0.101	-0.034	0.025	0.272
Mn-21	0.126	0.376	0.372	0.249	0.291	-0.056	0.263	0.010	-0.027	-0.091	0.076	0.298
Cu-21	0.147	0.496	-0.225	0.776	0.255	-0.046	0.713	0.919	0.334	-0.439	0.433	0.523
Zn-21	0.544	0.385	-0.424	0.443	0.458	-0.366	-0.069	0.488	0.926	0.015	-0.014	0.461
pH-21	0.208	-0.274	-0.365	-0.276	0.020	-0.430	-0.693	-0.164	0.592	0.673	-0.665	-0.222
ORP-21	-0.207	0.278	0.366	0.286	-0.019	0.431	0.699	0.167	-0.588	-0.678	0.670	0.228
EC-21	0.792	0.875	0.215	0.572	0.857	-0.019	0.326	0.352	0.380	-0.400	0.395	0.911

Çizelge A.5. Toprak inkübasyonlarında sb0-sb40 Spearman korelasyonu

	P-0	K-0	Ca-0	Mg-0	Na-0	Fe-0	Mn-0	Cu-0	Zn-0	pH-0	ORP-0	EC-0
P-40	0.888	0.649	-0.028	0.253	0.795	-0.215	-0.095	0.240	0.554	0.001	-0.001	0.689
K-40	0.477	0.868	0.271	0.710	0.653	-0.104	0.502	0.507	0.253	-0.453	0.450	0.791
Ca-40	-0.132	0.194	0.800	-0.018	-0.070	-0.142	-0.004	-0.286	-0.408	0.277	-0.284	-0.049
Mg-40	0.283	0.654	0.022	0.927	0.475	0.118	0.694	0.674	0.251	-0.566	0.565	0.729
Na-40	0.714	0.645	0.119	0.404	0.721	0.076	0.028	0.134	0.402	-0.263	0.264	0.724
Fe-40	0.338	0.175	0.032	0.042	0.307	-0.002	0.205	0.189	0.092	-0.012	0.004	0.254
Mn-40	0.147	0.391	0.385	0.275	0.294	-0.067	0.283	0.037	-0.005	-0.077	0.067	0.306
Cu-40	0.213	0.555	-0.166	0.776	0.311	-0.005	0.738	0.904	0.316	-0.480	0.475	0.590
Zn-40	0.678	0.499	-0.371	0.469	0.606	-0.304	0.015	0.525	0.916	-0.076	0.077	0.601
pH-40	0.345	-0.023	-0.211	-0.182	0.283	-0.504	-0.594	-0.127	0.569	0.615	-0.611	-0.032
ORP-40	-0.341	0.034	0.203	0.197	-0.279	0.489	0.610	0.143	-0.566	-0.627	0.624	0.042
EC-40	0.862	0.801	0.204	0.380	0.863	-0.121	0.082	0.173	0.455	-0.225	0.222	0.830

Çizelge A.6. Toprak inkübasyonlarında sb7-sb7 Spearman korelasyonu

	P-7	K-7	Ca-7	Mg-7	Na-7	Fe-7	Mn-7	Cu-7	Zn-7	pH-7	ORP-7	EC-7
P-7		0.582	-0.003	0.302	0.481	-0.011	0.175	0.258	0.530	-0.160	0.154	0.812
K-7	0.582		0.419	0.763	0.519	-0.091	0.232	0.526	0.328	-0.395	0.388	0.780
Ca-7	-0.003	0.419		0.244	0.224	0.231	0.312	-0.078	-0.258	0.010	-0.005	0.012
Mg-7	0.302	0.763	0.244		0.519	-0.003	0.167	0.683	0.361	-0.286	0.275	0.613
Na-7	0.481	0.519	0.224	0.519		0.357	0.235	0.128	0.218	-0.055	0.051	0.613
Fe-7	-0.011	-0.091	0.231	-0.003	0.357		0.528	0.108	-0.081	-0.114	0.121	0.106
Mn-7	0.175	0.232	0.312	0.167	0.235	0.528		0.264	0.178	-0.125	0.122	0.363
Cu-7	0.258	0.526	-0.078	0.683	0.128	0.108	0.264		0.556	-0.353	0.342	0.516
Zn-7	0.530	0.328	-0.258	0.361	0.218	-0.081	0.178	0.556		0.224	-0.236	0.506
pH-7	-0.160	-0.395	0.010	-0.286	-0.055	-0.114	-0.125	-0.353	0.224		**-0.999**	-0.398
ORP-7	0.154	0.388	-0.005	0.275	0.051	0.121	0.122	0.342	-0.236	**-0.999**		0.391
EC-7	0.812	0.780	0.012	0.613	0.613	0.106	0.363	0.516	0.506	-0.398	0.391	

Çizelge A.7. Toprak inkübasyonlarında sb7-sb14 Spearman korelasyonu

	P-7	K-7	Ca-7	Mg-7	Na-7	Fe-7	Mn-7	Cu-7	Zn-7	pH-7	ORP-7	EC-7
P-14	0.910	0.515	-0.051	0.235	0.398	-0.064	0.199	0.223	0.559	0.015	-0.018	0.762
K-14	0.535	0.789	0.162	0.659	0.359	-0.260	0.131	0.479	0.405	-0.299	0.291	0.734
Ca-14	-0.014	0.290	0.809	0.139	0.148	0.139	0.251	-0.081	-0.167	0.121	-0.117	-0.019
Mg-14	0.298	0.669	0.051	0.896	0.420	-0.105	0.130	0.711	0.466	-0.254	0.241	0.606
Na-14	0.529	0.502	0.115	0.479	0.871	0.208	0.224	0.097	0.265	-0.081	0.076	0.690
Fe-14	0.297	-0.037	0.143	-0.064	0.214	0.665	0.568	0.094	0.008	-0.204	0.211	0.267
Mn-14	0.196	0.157	0.146	0.075	0.272	0.447	0.647	0.216	0.158	-0.174	0.170	0.348
Cu-14	0.270	0.498	-0.074	0.666	0.089	-0.030	0.256	0.930	0.512	-0.364	0.352	0.486
Zn-14	0.461	0.191	-0.337	0.220	0.058	-0.251	0.076	0.432	0.934	0.265	-0.274	0.389
PH-14	-0.150	-0.400	-0.044	-0.335	-0.142	-0.062	-0.041	-0.319	0.299	0.929	-0.924	-0.335
ORP-14	0.169	0.403	0.031	0.315	0.133	0.042	0.022	0.310	-0.280	-0.927	0.923	0.337
EC-14	0.796	0.766	0.057	0.584	0.639	0.153	0.424	0.474	0.475	-0.356	0.349	**0.991**

Çizelge A.8. Toprak inkübasyonlarında sb7-sb21 Spearman korelasyonu

	P-7	K-7	Ca-7	Mg-7	Na-7	Fe-7	Mn-7	Cu-7	Zn-7	pH-7	ORP-7	EC-7
P-21	0.889	0.495	-0.057	0.280	0.436	-0.073	0.148	0.243	0.531	-0.045	0.042	0.767
K-21	0.515	0.852	0.207	0.641	0.360	-0.245	0.143	0.455	0.286	-0.420	0.413	0.721
Ca-21	-0.130	0.346	0.787	0.086	0.025	-0.018	0.214	-0.159	-0.360	-0.055	0.059	-0.063
Mg-21	0.244	0.702	0.056	0.861	0.377	-0.150	0.113	0.674	0.364	-0.331	0.318	0.584
Na-21	0.628	0.620	0.066	0.462	0.749	-0.059	0.108	0.134	0.374	-0.098	0.089	0.713
Fe-21	0.347	0.163	-0.045	0.132	0.252	0.518	0.496	0.294	0.133	-0.193	0.195	0.405
Mn-21	0.122	0.342	0.369	0.272	0.235	0.433	0.896	0.233	0.142	-0.163	0.162	0.405
Cu-21	0.265	0.571	-0.083	0.705	0.118	-0.062	0.135	0.926	0.479	-0.414	0.401	0.518
Zn-21	0.397	0.198	-0.363	0.250	0.103	-0.209	-0.018	0.447	0.906	0.305	-0.314	0.385
pH-21	0.034	-0.379	-0.236	-0.349	-0.206	-0.162	-0.177	-0.203	0.445	0.796	-0.790	-0.242
ORP-21	-0.038	0.386	0.240	0.361	0.212	0.169	0.187	0.209	-0.439	-0.795	0.790	0.248
EC-21	0.805	0.734	0.065	0.543	0.668	0.188	0.415	0.406	0.451	-0.318	0.312	**0.977**

Çizelge A.9. Toprak inkübasyonlarında sb7-sb40 Spearman korelasyonu

	P-7	K-7	Ca-7	Mg-7	Na-7	Fe-7	Mn-7	Cu-7	Zn-7	pH-7	ORP-7	EC-7
P-40	0.831	0.473	-0.040	0.269	0.457	-0.048	0.124	0.229	0.541	0.065	-0.065	0.727
K-40	0.575	0.880	0.225	0.695	0.439	-0.162	0.175	0.521	0.374	-0.405	0.397	0.792
Ca-40	0.004	0.392	0.827	0.164	0.159	0.016	0.217	-0.125	-0.284	0.011	-0.007	0.020
Mg-40	0.350	0.740	0.063	0.905	0.466	-0.098	0.122	0.688	0.425	-0.329	0.317	0.671
Na-40	0.648	0.497	-0.087	0.367	0.615	-0.072	0.088	0.116	0.400	0.039	-0.047	0.706
Fe-40	0.324	0.216	0.110	0.117	0.170	0.356	0.518	0.245	0.094	-0.118	0.119	0.377
Mn-40	0.131	0.392	0.408	0.319	0.226	0.375	0.867	0.248	0.159	-0.134	0.131	0.406
Cu-40	0.294	0.635	-0.035	0.732	0.158	-0.087	0.175	0.881	0.436	-0.437	0.425	0.580
Zn-40	0.547	0.337	-0.322	0.303	0.209	-0.179	0.040	0.453	0.877	0.194	-0.204	0.540
pH-40	0.257	-0.170	-0.153	-0.280	-0.061	-0.105	0.011	-0.116	0.484	0.612	-0.605	0.005
ORP-40	-0.251	0.181	0.151	0.292	0.051	0.098	-0.015	0.133	-0.476	-0.625	0.618	0.004
EC-40	0.817	0.592	0.015	0.334	0.620	0.174	0.376	0.205	0.457	-0.139	0.137	0.901

Çizelge A.10. Toprak inkübasyonlarında sb14-sb14 Spearman korelasyonu

	P-14	K-14	Ca-14	Mg-14	Na-14	Fe-14	Mn-14	Cu-14	Zn-14	pH-14	ORP-14	EC-14
P-14		0.501	-0.064	0.232	0.446	0.280	0.209	0.215	0.523	0.058	-0.043	0.755
K-14	0.501		0.313	0.780	0.544	-0.155	0.139	0.480	0.341	-0.274	0.277	0.718
Ca-14	-0.064	0.313		0.172	0.173	0.067	0.113	-0.069	-0.215	0.068	-0.081	0.023
Mg-14	0.232	0.780	0.172		0.514	-0.133	0.079	0.710	0.363	-0.282	0.268	0.577
Na-14	0.446	0.544	0.173	0.514		0.113	0.270	0.062	0.127	-0.152	0.151	0.725
Fe-14	0.280	-0.155	0.067	-0.133	0.113		0.436	0.169	0.026	-0.097	0.085	0.278
Mn-14	0.209	0.139	0.113	0.079	0.270	0.436		0.198	0.092	-0.079	0.065	0.405
Cu-14	0.215	0.480	-0.069	0.710	0.062	0.169	0.198		0.486	-0.346	0.336	0.438
Zn-14	0.523	0.341	-0.215	0.363	0.127	0.026	0.092	0.486		0.367	-0.348	0.349
PH-14	0.058	-0.274	0.068	-0.282	-0.152	-0.097	-0.079	-0.346	0.367		**-0.997**	-0.299
ORP-14	-0.043	0.277	-0.081	0.268	0.151	0.085	0.065	0.336	-0.348	**-0.997**		0.298
EC-14	0.755	0.718	0.023	0.577	0.725	0.278	0.405	0.438	0.349	-0.299	0.298	

Çizelge A.11. Toprak inkübasyonlarında sb14-sb21 Spearman korelasyonu

	P-14	K-14	Ca-14	Mg-14	Na-14	Fe-14	Mn-14	Cu-14	Zn-14	pH-14	ORP-14	EC-14
P-21	0.926	0.505	-0.050	0.289	0.514	0.275	0.193	0.257	0.509	-0.020	0.034	0.757
K-21	0.473	0.844	0.237	0.663	0.450	-0.186	0.080	0.452	0.183	-0.412	0.416	0.703
Ca-21	-0.152	0.231	0.814	0.045	0.041	-0.102	0.001	-0.132	-0.411	-0.116	0.107	-0.024
Mg-21	0.204	0.708	0.102	0.885	0.417	-0.228	0.027	0.662	0.248	-0.360	0.342	0.555
Na-21	0.562	0.544	0.085	0.476	0.825	-0.055	0.136	0.139	0.263	-0.179	0.190	0.730
Fe-21	0.397	-0.087	-0.188	-0.017	0.076	0.613	0.322	0.247	0.033	-0.136	0.125	0.412
Mn-21	0.163	0.274	0.338	0.238	0.251	0.452	0.623	0.231	0.054	-0.028	0.008	0.457
Cu-21	0.189	0.538	-0.051	0.757	0.097	0.030	0.105	0.941	0.408	-0.396	0.390	0.460
Zn-21	0.476	0.303	-0.239	0.378	0.156	-0.077	0.029	0.437	0.910	0.392	-0.371	0.345
pH-21	0.207	-0.246	-0.112	-0.284	-0.209	-0.058	-0.188	-0.221	0.546	0.871	-0.855	-0.245
ORP-21	-0.208	0.251	0.115	0.294	0.214	0.059	0.196	0.225	-0.542	-0.867	0.851	0.251
EC-21	0.767	0.683	0.026	0.524	0.747	0.286	0.405	0.353	0.318	-0.256	0.256	**0.991**

Çizelge A.12. Toprak inkübasyonlarında sb14-sb40 Spearman korelasyonu

	P-14	K-14	Ca-14	Mg-14	Na-14	Fe-14	Mn-14	Cu-14	Zn-14	pH-14	ORP-14	EC-14
P-40	0.920	0.472	-0.047	0.248	0.508	0.246	0.189	0.220	0.500	0.076	-0.060	0.720
K-40	0.505	0.862	0.237	0.704	0.507	-0.043	0.154	0.532	0.267	-0.378	0.384	0.772
Ca-40	-0.037	0.237	0.830	0.095	0.146	0.043	0.044	-0.075	-0.341	-0.071	0.065	0.055
Mg-40	0.280	0.720	0.072	0.910	0.497	-0.087	0.057	0.708	0.315	-0.347	0.335	0.637
Na-40	0.614	0.458	-0.108	0.369	0.694	-0.033	0.126	0.064	0.283	0.043	-0.031	0.725
Fe-40	0.399	0.048	-0.076	-0.011	0.058	0.497	0.415	0.207	0.026	-0.054	0.044	0.395
Mn-40	0.184	0.302	0.335	0.264	0.229	0.392	0.539	0.238	0.052	-0.010	-0.008	0.457
Cu-40	0.240	0.574	-0.054	0.750	0.151	0.026	0.150	0.909	0.371	-0.432	0.423	0.530
Zn-40	0.613	0.394	-0.272	0.384	0.248	0.008	0.085	0.454	0.876	0.272	-0.253	0.501
pH-40	0.380	-0.042	-0.018	-0.207	-0.030	0.059	0.000	-0.147	0.553	0.735	-0.718	0.015
ORP-40	-0.372	0.055	0.018	0.221	0.025	-0.067	-0.005	0.160	-0.546	-0.745	0.728	-0.008
EC-40	0.821	0.572	-0.015	0.326	0.716	0.291	0.375	0.147	0.352	-0.056	0.065	0.924

Çizelge A.13. Toprak inkübasyonlarında sb21-sb21 Spearman korelasyonu

	P-21	K-21	Ca-21	Mg-21	Na-21	Fe-21	Mn-21	Cu-21	Zn-21	pH-21	ORP-21	EC-21
P-21		0.466	-0.175	0.238	0.613	0.335	0.104	0.224	0.458	0.135	-0.138	0.755
K-21	0.466		0.397	0.806	0.617	0.076	0.298	0.541	0.196	-0.391	0.395	0.671
Ca-21	-0.175	0.397		0.199	0.125	-0.187	0.330	-0.080	-0.393	-0.335	0.338	-0.035
Mg-21	0.238	0.806	0.199		0.514	0.043	0.258	0.725	0.286	-0.376	0.385	0.503
Na-21	0.613	0.617	0.125	0.514		0.096	0.128	0.201	0.323	-0.171	0.175	0.730
Fe-21	0.335	0.076	-0.187	0.043	0.096		0.429	0.219	0.058	-0.069	0.073	0.427
Mn-21	0.104	0.298	0.330	0.258	0.128	0.429		0.161	-0.010	-0.202	0.219	0.451
Cu-21	0.224	0.541	-0.080	0.725	0.201	0.219	0.161		0.466	-0.251	0.256	0.378
Zn-21	0.458	0.196	-0.393	0.286	0.323	0.058	-0.010	0.466		0.561	-0.556	0.318
pH-21	0.135	-0.391	-0.335	-0.376	-0.171	-0.069	-0.202	-0.251	0.561		**-0.999**	-0.206
ORP-21	-0.138	0.395	0.338	0.385	0.175	0.073	0.219	0.256	-0.556	**-0.999**		0.213
EC-21	0.755	0.671	-0.035	0.503	0.730	0.427	0.451	0.378	0.318	-0.206	0.213	

Çizelge A.14. Toprak inkübasyonlarında sb21-sb40 Spearman korelasyonu

	P-21	K-21	Ca-21	Mg-21	Na-21	Fe-21	Mn-21	Cu-21	Zn-21	pH-21	ORP-21	EC-21
P-40	0.935	0.415	-0.169	0.195	0.580	0.329	0.074	0.213	0.514	0.209	-0.212	0.722
K-40	0.508	0.862	0.243	0.706	0.597	0.083	0.295	0.610	0.283	-0.329	0.332	0.734
Ca-40	-0.048	0.286	0.864	0.112	0.161	-0.103	0.297	-0.022	-0.306	-0.242	0.243	0.048
Mg-40	0.316	0.707	0.058	0.888	0.549	0.107	0.228	0.772	0.365	-0.326	0.333	0.586
Na-40	0.660	0.445	-0.149	0.342	0.709	0.140	0.137	0.114	0.339	0.000	0.004	0.742
Fe-40	0.270	0.054	-0.082	-0.004	-0.012	0.492	0.418	0.112	-0.034	-0.071	0.076	0.413
Mn-40	0.105	0.330	0.365	0.281	0.134	0.405	0.942	0.179	0.013	-0.192	0.209	0.452
Cu-40	0.264	0.579	-0.049	0.738	0.252	0.197	0.188	0.940	0.407	-0.311	0.316	0.453
Zn-40	0.559	0.273	-0.411	0.295	0.382	0.106	0.017	0.447	0.889	0.451	-0.446	0.481
pH-40	0.335	-0.171	-0.256	-0.306	0.004	0.062	-0.054	-0.179	0.515	0.841	-0.845	0.051
ORP-40	-0.326	0.188	0.256	0.321	-0.005	-0.059	0.054	0.192	-0.506	-0.846	0.850	-0.045
EC-40	0.782	0.539	-0.090	0.292	0.703	0.411	0.401	0.170	0.363	-0.008	0.014	**0.954**

Çizelge A.15. Toprak inkübasyonlarında sb40-sb40 Spearman korelasyonu

	P-40	K-40	Ca-40	Mg-40	Na-40	Fe-40	Mn-40	Cu-40	Zn-40	pH-40	ORP-40	EC-40
P-40		0.499	-0.014	0.311	0.644	0.298	0.094	0.253	0.612	0.370	-0.363	0.775
K-40	0.499		0.338	0.812	0.547	0.188	0.333	0.675	0.408	-0.120	0.130	0.606
Ca-40	-0.014	0.338		0.166	-0.026	0.060	0.338	0.031	-0.298	-0.156	0.153	-0.007
Mg-40	0.311	0.812	0.166		0.440	0.103	0.269	0.800	0.412	-0.242	0.255	0.393
Na-40	0.644	0.547	-0.026	0.440		0.216	0.152	0.185	0.458	0.159	-0.158	0.781
Fe-40	0.298	0.188	0.060	0.103	0.216		0.471	0.271	0.226	0.020	-0.022	0.406
Mn-40	0.094	0.333	0.338	0.269	0.152	0.471		0.233	0.074	-0.061	0.064	0.405
Cu-40	0.253	0.675	0.031	0.800	0.185	0.271	0.233		0.504	-0.236	0.250	0.242
Zn-40	0.612	0.408	-0.298	0.412	0.458	0.226	0.074	0.504		0.441	-0.436	0.519
pH-40	0.370	-0.120	-0.156	-0.242	0.159	0.020	-0.061	-0.236	0.441		**-0.998**	0.230
ORP-40	-0.363	0.130	0.153	0.255	-0.158	-0.022	0.064	0.250	-0.436	**-0.998**		-0.226
EC-40	0.775	0.606	-0.007	0.393	0.781	0.406	0.405	0.242	0.519	0.230	-0.226	

İzoterm adsorpsiyon seviyeleri

Çizelge A.16. İzoterm eğrilerinde kullanılan fosfor adsorpsiyon seviyeleri

Toprak	Çiftlik Gübresi (t da^{-1})	Su Baskını (Gün)	Freundlich						Langmuir					
			Uygulanan P (mg kg^{-1})						Uygulanan P (mg kg^{-1})					
			0	5	10	20	30	40	0	5	10	20	30	40
1	0	0	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1	0	7	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1	0	14	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1	0	21	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1	0	40	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1	4	0	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X
1	4	7	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1	4	14	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1	4	21	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1	4	40	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	0	0	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X
2	0	7	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	0	14	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	0	21	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	0	40	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	4	0	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	4	7	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	4	14	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	4	21	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	4	40	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3	0	0	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓	X
3	0	7	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X
3	0	14	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3	0	21	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3	0	40	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3	4	0	X	✓	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓	X
3	4	7	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3	4	14	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3	4	21	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3	4	40	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4	0	0	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X
4	0	7	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4	0	14	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4	0	21	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4	0	40	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4	4	0	✓	✓	✓	✓	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4	4	7	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4	4	14	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4	4	21	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4	4	40	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5	0	0	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X
5	0	7	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5	0	14	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5	0	21	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5	0	40	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5	4	0	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5	4	7	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5	4	14	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5	4	21	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5	4	40	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

✓ İzotermlerin oluşturulmasında veri kullanıldı.

X İzotermlerin oluşturulmasında veri kullanılmadı.

Çizelge A.17. İzoterm eğrilerinde kullanılan çinko adsorpsiyon seviyeleri

Toprak	Gübre Dozu (t da^{-1})	Su Baskını (Gün)	Freundlich							Langmuir						
			Uygulanan Zn (mg kg^{-1})							Uygulanan Zn (mg kg^{-1})						
			0	10	20	50	100	200	400	0	10	20	50	100	200	400
1	0	0	✓	✓	✓	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1	0	7	✓	✓	✓	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1	0	14	✓	✓	✓	✓	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1	0	21	✓	✓	✓	✓	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X
1	0	40	✓	✓	✓	✓	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	X
1	4	0	✓	✓	✓	✓	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X
1	4	7	✓	✓	✓	✓	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X
1	4	14	✓	✓	✓	✓	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X
1	4	21	✓	✓	✓	✓	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X
1	4	40	✓	✓	✓	✓	X	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	X
2	0	0	X	✓	✓	✓	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	X
2	0	7	X	✓	✓	✓	✓	✓	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	X
2	0	14	X	✓	✓	✓	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X
2	0	21	X	✓	✓	✓	✓	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	X
2	0	40	X	✓	✓	✓	✓	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	X
2	4	0	X	✓	✓	✓	✓	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	X
2	4	7	X	✓	✓	✓	✓	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X
2	4	14	X	✓	✓	✓	✓	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X
2	4	21	X	✓	✓	✓	✓	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	X
2	4	40	X	✓	✓	✓	✓	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	X
3	0	0	✓	✓	✓	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X
3	0	7	X	✓	✓	✓	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	X
3	0	14	✓	✓	✓	✓	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X
3	0	21	✓	✓	✓	✓	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	X
3	0	40	✓	✓	✓	✓	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	X
3	4	0	✓	✓	✓	✓	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	X	X
3	4	7	X	X	✓	✓	✓	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X
3	4	14	X	✓	✓	✓	✓	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	X
3	4	21	✓	✓	✓	✓	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	X	X
3	4	40	X	✓	✓	✓	✓	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X
4	0	0	X	✓	✓	✓	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	X
4	0	7	X	✓	✓	✓	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X
4	0	14	X	✓	✓	✓	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X
4	0	21	X	✓	✓	✓	X	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	X
4	0	40	X	✓	✓	✓	✓	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	X
4	4	0	X	✓	✓	✓	✓	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X
4	4	7	X	✓	✓	✓	✓	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X
4	4	14	X	✓	✓	✓	✓	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X
4	4	21	X	✓	✓	✓	✓	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X
4	4	40	X	✓	✓	✓	✓	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X
5	0	0	X	✓	✓	✓	✓	X	X	X	✓	✓	✓	✓	X	X
5	0	7	X	X	✓	✓	✓	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X
5	0	14	X	✓	✓	✓	✓	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X
5	0	21	X	✓	✓	✓	✓	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	X
5	0	40	X	✓	✓	✓	✓	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	X
5	4	0	X	✓	✓	✓	✓	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X
5	4	7	X	✓	✓	✓	✓	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5	4	14	X	✓	✓	✓	✓	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5	4	21	X	✓	✓	✓	✓	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	X
5	4	40	X	✓	✓	✓	✓	X	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X

✓ İzotermlerin oluşturulmasında veri kullanıldı.

X İzotermlerin oluşturulmasında veri kullanılmadı.

ÖZGEÇMİŞ