

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOKTORA TEZİ**

**BAZI TOPRAK ÖZELLİKLERİNİN KADMİYUM (Cd) VE KURŞUN (Pb)  
ADSORPSİYONU VE DESORPSİYONUNA ETKİSİ**

**Mehmet KEÇECİ**

**TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI**

**ANKARA  
2013**

**Her hakkı saklıdır**

## ÖZET

Doktora Tezi

### BAZI TOPRAK ÖZELLİKLERİNİN KADMİYUM (Cd) VE KURŞUN (Pb) ADSORPSİYONU VE DESORPSİYONUNA ETKİSİ

Mehmet KEÇECİ

Ankara Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Sadık USTA

Bu çalışmada farklı özelliklere sahip topraklarda, bazı toprak özelliklerinin Cd ve Pb'nun adsorpsiyonu ve desorpsiyonuna bazı toprak özelliklerinin etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla Türkiye'nin farklı yerlerinden farklı pH, kireç, organik madde, kil içeriklerine sahip topraklardan 0-30 cm derinlikten toplam 28 adet toprak örnekleri alınmıştır. Toprak örneklerinin kil tipleri XRD cihazıyla tayin edilmiştir. Toprakların farklı killere sahip olduğu başat kil olarak simektit, illit ve kaolonit kil minerallerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

0,  $10^{-4}$ ,  $5 \times 10^{-4}$ ,  $10^{-3}$ ,  $2,5 \times 10^{-3}$ ,  $5 \times 10^{-3}$ ,  $7,5 \times 10^{-3}$  ve  $10^{-2}$  M konsantrasyonlarda Cd ve Pb'nin 0,01 M  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  denge çözeltisi ile adsorpsiyonu ve desorpsiyonu batch denge tekniğine göre yürütülmüştür. Adsorpsiyon çalışmalarında Langmuir ve Freundlich izoterm modelleri uygulanmıştır. Langmuir ve Freundlich izoterm modelleri göre araştırma toprakları uyumluluk göstermesine rağmen Freundlich izoterm modelinin, Langmuir izoterm modelinden daha uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Desorpsiyon miktarı Cd'nin Pb'ye göre daha yüksek bulunmuştur. Araştırmada adsorpsiyon parametreleri ile toprakların özellikleri arasında korelasyon analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre toprakların Cd adsorpsiyonu ile pH, kireç içeriği ve kil miktarları arasında önemli pozitif ilişkiler tespit edilmiştir. Yine aynı şekilde Pb'nin maksimum adsorpsiyon değerleri ile toprakların pH, kireç içerikleri, kil miktarları ve toplam tuz içerikleri arasında önemli pozitif ilişkiler tespit edilmiştir. Ayrıca bu çalışmada maksimum adsorpsiyon değeri üzerine etkisi olan toprak özellikleri araştırılmaya çalışılmış bunun için de temel bileşim analizleri yapılmıştır. Yapılan temel bileşim analizlerine göre hem Cd hem de Pb için birinci derecede etkili toprak özellikleri olarak pH, kireç içerikleri ve kil içerikleri tespit edilmiştir.

**Temmuz, 2013, 181**

**Anahtar Kelimeler:** kil, kireç, pH, seski oksitler, Cd, Pb, adsorpsiyon, desorpsiyon, Langmuir ve Freundlich izotermi

## ABSTRACT

Ph.D. Thesis

### THE EFFECTS OF SOME SOIL PROPERTIES ON CD AND PB ADSORPTION AND DESORPTION

Mehmet KEÇECİ

Ankara University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Soil Science and Plant nutrition

Supervisor: Prof.Dr. Sadık USTA

In This study, the effects of soil properties and Cd and Pb adsorption and desorption have been investigated. For that reason, 28 soil samples from different parts of Turkey that have different pH, lime, organic matter, clay content were collected from 0-30 cm depth. Clay types of the soils were determined by XRD device. It has been determined that soils have different clay types and the main clays were clay minerals like smectite, illite and kaolinite.

The adsorption and desorption of Cd and Pb at  $0, 10^{-4}$ ,  $5 \times 10^{-4}$ ,  $10^{-3}$ ,  $2,5 \times 10^{-3}$ ,  $5 \times 10^{-3}$ ,  $7,5 \times 10^{-3}$  and  $10^{-2}$  M concentrations with 0,01 M  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  balance solution were carried out according to batch balance technique. In adsorption studies, Langmuir and Freundlich isotherm models were applied. Although the soils of investigation showed compliance with the applied models, Freundlich model  $R^2$  was more compliant than Langmuir isotherm model. The desorption amount of Cd was more than Pb. During the study correlation analysis were made between the adsorption parameters and soil properties. According to the result, an important positive relation was determined among Cd adsorption of soils and pH, lime content and clay amounts of the soils. Similarly, an important positive relation was found among maximum value of adsorption and pH, lime content, clay amounts and total % salt contents of the soils. In addition, in this study it has been tried to investigate the soil properties that might have effects on the maximum adsorption value and for that reason the basic compound analysis made, it has been determined that for both Cd and Pb, pH, lime content and clay of the soils were primarily effective soil properties.

**July, 2013, 181 pages**

**Key Words:** Cd, Pb, Adsorption, Desorption, Langmuir and Freundlich isotherms

## TEŞEKKÜR

Çalışmalarımı yönlendiren, araştırmalarımın her aşamasında bilgi, öneri ve yardımlarını esirgemeyerek akademik ortamda olduğu kadar beşeri ilişkilerde de engin fikirleriyle yetişme ve gelişmeye katkıda bulunan danışman hocam sayın Prof. Dr. Sadık USTA'ya (Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı), en içten teşekkürlerimi sunarım. Öneri ve ilgileriyle Prof. Dr. Rıfat YALÇIN'a (Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı), doktora çalışmam süresince tezin yürütülmesinde maddi ve manevi her türlü emeklerinden dolayı sayın Doç. Dr. Veli UYGUR (Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı) hocama ve çalışma arkadaşlarıma, isimlerini burada saymadığım ancak birçok konuda yardımlarını gördüğüm farklı kuruluşlarıma ve meslektaşlarıma, her zaman sabır, anlayış ve yardımlarıyla beni destekleyen çok değerli aileme özellikle eşim Deniz ve çok sevdiğim oğullarım Mehmet Kaan ve Mustafa Mert'e en içten duygularıyla teşekkürü borç bilirim.

Ankara, Temmuz 2013

Mehmet KEÇECİ

## İÇİNDEKİLER

|  |     |
|--|-----|
| ÖZET .....   | i   |
| ABSTRACT .....   | ii  |
| TEŞEKKÜR.....  | iii |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....   | v   |
| ÇİZELGELER DİZİNİ .....  | vi  |
| 1. GİRİŞ.....  | 1   |
| 2. KAYNAK ÖZELLİKLERİ.....   | 4   |
| 2.1 Ağır Metaller Üzerine Yapılan Çalışmalar.....                            | 4   |
| 2.2 Topraklarda Adsorpsiyon Desorpsiyon Uygulamaları.....                    | 12  |
| 2.3 Langmuir ve Freundlich İzotermlerinin Uygulanması.....                   | 13  |
| 2.4 Adsorpsiyon Üzerine Çalışmaları.....                                     | 17  |
| 3. MATERYAL VE METOD.....  | 30  |
| 3.1 Materyal.....  | 30  |
| 3.1.1 Toprak.....  | 30  |
| 3.2 Metod.....   | 31  |
| 3.2.1 Toprakların tanımlayıcı özelliklerinin belirlenmesi.....               | 31  |
| 3.2.2 Ağır metallerin (Cd, Pb. adsorpsiyon ve desorpsiyon çalışmaları.....   | 32  |
| 3.2.3 Kil mineralojisinin belirlenmesi.....                                  | 33  |
| 3.2.4 Langmuir ve Freundlich izoterm yöntemlerinin uygulanması.....          | 34  |
| 3.2.5 Verilerin değerlendirilmesi.....                                       | 35  |
| 4. BULGULAR ve TARTIŞMASI.....   | 36  |
| 4.1 Bulgular.....  | 36  |
| 4.1.1 Toprakların Bazı Fiziksel ve Kimyasal özellikleri.....                 | 36  |
| 4.1.2 Kil mineralojisi.....  | 38  |
| 4.1.3 Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izoterm parametreleri.....          | 40  |
| 4.1.3.1 Toprakların kadmiyum (Cd) izoterm parametresi.....                   | 41  |
| 4.1.3.2 Toprakların kurşun (Pb. izoterm parametresi.....                     | 69  |
| 4.1.4 Kadmiyum (Cd) ve kurşun (Pb. desorpsiyonu.....                         | 97  |
| 4.1.4.1 Toprakların kadmiyum (Cd) desorpsiyon durumları.....                 | 98  |
| 4.1.4.2 Toprakların kurşun (Pb. desorpsiyon durumları.....                   | 127 |
| 4.2 Tartışma.....  | 154 |
| 4.2.1 Adsorpsiyon izotermlerinin uygunluğu.....                              | 154 |
| 4.2.2 Adsorpsiyon parametrelerin toprak özellikleri ile olan ilişkileri..... | 157 |
| 4.2.3 Desorplanma oranlarının toprak özellikleri ile olan ilişkileri.....    | 164 |
| 5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....  | 167 |
| KAYNAKLAR.....   | 170 |
| ÖZGEÇMİŞ.....  | 179 |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|  |    |
|--|----|
| Şekil 4.1 Toprak 1'in a. Freundlich (1-Cd), b. Langmuir(1-Cd) ve c. Log tabanlı Freundlich(1-Cd) izotermi.....       | 42 |
| Şekil 4.2 Toprak 2'in a. Freundlich (2-Cd), b. Langmuir(2-Cd) ve c. Log tabanlı Freundlich(2-Cd) izotermi.....       | 43 |
| Şekil 4.3 Toprak 3'in a. Freundlich (3-Cd), b. Langmuir(3-Cd) ve c. Log tabanlı Freundlich(3-Cd) izotermi.....       | 44 |
| Şekil 4.4 Toprak 4'in a. Freundlich (4-Cd), b. Langmuir(4-Cd) ve c. Log tabanlı Freundlich(4-Cd) izotermi.....       | 45 |
| Şekil 4.5 Toprak 5'in a. Freundlich (5-Cd), b. Langmuir(5-Cd) ve c. Log tabanlı Freundlich(5-Cd) izotermi.....       | 46 |
| Şekil 4.6 Toprak 6'nın a. Freundlich (6-Cd), b. Langmuir(6-Cd) ve c. Log tabanlı Freundlich(6-Cd) izotermi.....      | 47 |
| Şekil 4.7 Toprak 7'nin a. Freundlich (7-Cd), b. Langmuir(7-Cd) ve c. Log tabanlı Freundlich(7-Cd) izotermi.....      | 48 |
| Şekil 4.8 Toprak 8'in a. Freundlich (8-Cd), b. Langmuir(8-Cd) ve c. Log tabanlı Freundlich(8-Cd) izotermi.....       | 49 |
| Şekil 4.9 Toprak 9'un a. Freundlich (9-Cd), b. Langmuir(9-Cd) ve c. Log tabanlı Freundlich(9-Cd) izotermi.....       | 50 |
| Şekil 4.10 Toprak 10'un a. Freundlich (10-Cd), b. Langmuir(10-Cd) ve c. Log tabanlı Freundlich(10-Cd) izotermi.....  | 51 |
| Şekil 4.11 Toprak 11'in a. Freundlich (11-Cd), b. Langmuir(11-Cd) ve c. Log tabanlı Freundlich(11-Cd) izotermi.....  | 52 |
| Şekil 4.12 Toprak 12'nin a. Freundlich (12-Cd), b. Langmuir(12-Cd) ve c. Log tabanlı Freundlich(12-Cd) izotermi..... | 53 |
| Şekil 4.13 Toprak 13'ün a. Freundlich (13-Cd), b. Langmuir(13-Cd) ve c. Log tabanlı Freundlich(13-Cd) izotermi.....  | 54 |
| Şekil 4.14 Toprak 14'ün a. Freundlich (14-Cd), b. Langmuir(14-Cd) ve c. Log tabanlı Freundlich(14-Cd) izotermi.....  | 55 |
| Şekil 4.15 Toprak 15'in a. Freundlich (15-Cd), b. Langmuir(15-Cd) ve c. Log tabanlı Freundlich(15-Cd) izotermi.....  | 56 |
| Şekil 4.16 Toprak 16'nın a. Freundlich (16-Cd), b. Langmuir(16-Cd) ve c. Log tabanlı Freundlich(16-Cd) izotermi..... | 57 |
| Şekil 4.17 Toprak 17'nin a. Freundlich (17-Cd), b. Langmuir(17-Cd) ve c. Log tabanlı Freundlich(17-Cd) izotermi..... | 58 |
| Şekil 4.18 Toprak 18'in a. Freundlich (18-Cd), b. Langmuir(18-Cd) ve c. Log tabanlı Freundlich(18-Cd) izotermi.....  | 59 |
| Şekil 4.19 Toprak 19'un a. Freundlich (19-Cd), b. Langmuir(19-Cd) ve c. Log tabanlı Freundlich(19-Cd) izotermi.....  | 60 |
| Şekil 4.20 Toprak 20'nin a. Freundlich (20-Cd), b. Langmuir(20-Cd) ve c. Log tabanlı Freundlich(20-Cd) izotermi..... | 61 |
| Şekil 4.21 Toprak 21'in a. Freundlich (21-Cd), b. Langmuir(21-Cd) ve c. Log tabanlı Freundlich(21-Cd) izotermi.....  | 62 |
| Şekil 4.22 Toprak 22'nin a. Freundlich (22-Cd), b. Langmuir(22-Cd) ve c. Log tabanlı Freundlich(22-Cd) izotermi..... | 63 |
| Şekil 4.23 Toprak 23'ün a. Freundlich (23-Cd), b. Langmuir(23-Cd) ve c. Log tabanlı Freundlich(23-Cd) izotermi.....  | 63 |

|   |    |
|---|----|
| Log tabanlı Freundlich(23-Cd) izotermi.....   | 64 |
| Şekil 4.24 Toprak 24'ün a. Freundlich (24-Cd), b. Langmuir(24-Cd) ve c.<br>Log tabanlı Freundlich(24-Cd) izotermi.....    | 65 |
| Şekil 4.25 Toprak 25'in a. Freundlich (25-Cd), b. Langmuir(25-Cd) ve c.<br>Log tabanlı Freundlich(25-Cd) izotermi.....    | 66 |
| Şekil 4.26 Toprak 26'nın a. Freundlich (26-Cd), b. Langmuir(26-Cd) ve c.<br>Log tabanlı Freundlich(26-Cd) izotermi.....   | 67 |
| Şekil 4.27 Toprak 27'nin a. Freundlich (27-Cd), b. Langmuir(27-Cd) ve c.<br>Log tabanlı Freundlich(27-Cd) izotermi.....   | 68 |
| Şekil 4.28 Toprak 28'in a. Freundlich (28-Cd), b. Langmuir(28-Cd) ve c.<br>Log tabanlı Freundlich(28-Cd) izotermi.....    | 69 |
| Şekil 4.29 Toprak 1'in a. Freundlich (1-Pb), b. Langmuir(1-Pb). ve c. Log<br>tabanlı Freundlich(1-Pb). izotermi.....      | 70 |
| Şekil 4.30 Toprak 2'nin a. Freundlich (2-Pb), b. Langmuir(2-Pb). ve c. Log<br>tabanlı Freundlich(2-Pb). izotermi.....     | 71 |
| Şekil 4.31 Toprak 3'ün a. Freundlich (3-Pb), b. Langmuir(3-Pb). ve c. Log<br>tabanlı Freundlich(3-Pb). izotermi.....      | 72 |
| Şekil 4.32 Toprak 4'ün a. Freundlich (4-Pb), b. Langmuir(4-Pb). ve c. Log<br>tabanlı Freundlich(4-Pb). izotermi.....      | 73 |
| Şekil 4.33 Toprak 5'in a. Freundlich (5-Pb), b. Langmuir(5-Pb). ve c. Log<br>tabanlı Freundlich(5-Pb). izotermi.....      | 74 |
| Şekil 4.34 Toprak 6'nın a. Freundlich (6-Pb), b. Langmuir(6-Pb). ve c. Log<br>tabanlı Freundlich(6-Pb). izotermi.....     | 75 |
| Şekil 4.35 Toprak 7'nin a. Freundlich (7-Pb), b. Langmuir(7-Pb). ve c. Log<br>tabanlı Freundlich(7-Pb). izotermi.....     | 76 |
| Şekil 4.36 Toprak 8'in a. Freundlich (8-Pb), b. Langmuir(8-Pb). ve c. Log<br>tabanlı Freundlich(8-Pb). izotermi.....      | 77 |
| Şekil 4.37 Toprak 9'un a. Freundlich (9-Pb), b. Langmuir(9-Pb). ve c. Log<br>tabanlı Freundlich(9-Pb). izotermi.....      | 78 |
| Şekil 4.38 Toprak 10'un a. Freundlich (10-Pb), b. Langmuir(10-Pb). ve c.<br>Log tabanlı Freundlich(10-Pb). izotermi.....  | 79 |
| Şekil 4.39 Toprak 11'in a. Freundlich (11-Pb), b. Langmuir(11-Pb). ve c.<br>Log tabanlı Freundlich(11-Pb). izotermi.....  | 80 |
| Şekil 4.40 Toprak 12'nin a. Freundlich (12-Pb), b. Langmuir(12-Pb). ve c.<br>Log tabanlı Freundlich(12-Pb). izotermi..... | 81 |
| Şekil 4.41 Toprak 13'ün a. Freundlich (13-Pb), b. Langmuir(13-Pb). ve c.<br>Log tabanlı Freundlich(13-Pb). izotermi.....  | 82 |
| Şekil 4.42 Toprak 14'ün a. Freundlich (14-Pb), b. Langmuir(14-Pb). ve c.<br>Log tabanlı Freundlich(14-Pb). izotermi.....  | 83 |
| Şekil 4.43 Toprak 15'in a. Freundlich (15-Pb), b. Langmuir(15-Pb). ve c.<br>Log tabanlı Freundlich(15-Pb). izotermi.....  | 84 |
| Şekil 4.44 Toprak 16'nın a. Freundlich (16-Pb), b. Langmuir(16-Pb). ve c.<br>Log tabanlı Freundlich(16-Pb). izotermi..... | 85 |
| Şekil 4.45 Toprak 17'nin a. Freundlich (17-Pb), b. Langmuir(17-Pb). ve c.<br>Log tabanlı Freundlich(17-Pb). izotermi..... | 86 |
| Şekil 4.46 Toprak 18'in a. Freundlich (18-Pb), b. Langmuir(18-Pb). ve c.<br>Log tabanlı Freundlich(18-Pb). izotermi.....  | 87 |

|  |     |
|--|-----|
| Şekil 4.47 Toprak 19'un a. Freundlich (19-Pb), b. Langmuir(19-Pb). ve c. Log tabanlı Freundlich(19-Pb). izotermi.....  | 88  |
| Şekil 4.48 Toprak 20'nin a. Freundlich (20-Pb), b. Langmuir(20-Pb). ve c. Log tabanlı Freundlich(20-Pb). izotermi..... | 89  |
| Şekil 4.49 Toprak 21'in a. Freundlich (21-Pb), b. Langmuir(21-Pb). ve c. Log tabanlı Freundlich(21-Pb). izotermi.....  | 90  |
| Şekil 4.50 Toprak 22'nin a. Freundlich (22-Pb), b. Langmuir(22-Pb). ve c. Log tabanlı Freundlich(22-Pb). izotermi..... | 91  |
| Şekil 4.51 Toprak 23'ün a. Freundlich (23-Pb), b. Langmuir(23-Pb). ve c. Log tabanlı Freundlich(23-Pb). izotermi.....  | 92  |
| Şekil 4.52 Toprak 24'ün a. Freundlich (24-Pb), b. Langmuir(24-Pb). ve c. Log tabanlı Freundlich(24-Pb). izotermi.....  | 93  |
| Şekil 4.53 Toprak 25'in a. Freundlich (25-Pb), b. Langmuir(25-Pb). ve c. Log tabanlı Freundlich(25-Pb). izotermi.....  | 94  |
| Şekil 4.54 Toprak 26'nın a. Freundlich (26-Pb), b. Langmuir(26-Pb). ve c. Log tabanlı Freundlich(26-Pb). izotermi..... | 95  |
| Şekil 4.55 Toprak 27'nin a. Freundlich (27-Pb), b. Langmuir(27-Pb). ve c. Log tabanlı Freundlich(27-Pb). izotermi..... | 96  |
| Şekil 4.56 Toprak 28'in a. Freundlich (28-Pb), b. Langmuir(28-Pb). ve c. Log tabanlı Freundlich(28-Pb). izotermi.....  | 97  |
| Şekil 4.57 1 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi.....  | 98  |
| Şekil 4.58 2 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi.....  | 100 |
| Şekil 4.59 3 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi.....  | 101 |
| Şekil 4.60 4 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi.....  | 102 |
| Şekil 4.61 5 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi.....  | 103 |
| Şekil 4.62 6 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi.....  | 104 |
| Şekil 4.63 7 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi.....  | 105 |
| Şekil 4.64 8 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi.....  | 106 |
| Şekil 4.65 9 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi.....  | 107 |
| Şekil 4.66 10 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi.....   | 108 |
| Şekil 4.67 11 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi.....   | 109 |
| Şekil 4.68 12 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi.....   | 110 |
| Şekil 4.69 13 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi.....   | 111 |
| Şekil 4.70 14 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi.....   | 112 |
| Şekil 4.71 15 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi.....   | 113 |
| Şekil 4.72 16 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi.....   | 114 |
| Şekil 4.73 17 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi.....   | 115 |
| Şekil 4.74 18 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi.....   | 116 |
| Şekil 4.75 19 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi.....   | 117 |
| Şekil 4.76 20 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi.....   | 118 |
| Şekil 4.77 21 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi.....   | 119 |
| Şekil 4.78 22 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi.....   | 120 |
| Şekil 4.79 23 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi.....   | 121 |
| Şekil 4.80 24 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi.....   | 122 |
| Şekil 4.81 25 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi.....   | 123 |
| Şekil 4.82 26 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi.....   | 124 |
| Şekil 4.83 27 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi.....   | 125 |
| Şekil 4.84 28 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi.....   | 126 |



|   |     |
|---|-----|
| Şekil 4.85 1 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi.....                     | 127 |
| Şekil 4.86 2 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi.....                     | 128 |
| Şekil 4.87 3 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi.....                     | 129 |
| Şekil 4.88 4 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi.....                     | 130 |
| Şekil 4.89 5 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi.....                     | 131 |
| Şekil 4.90 6 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi.....                     | 132 |
| Şekil 4.91 7 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi.....                     | 133 |
| Şekil 4.92 8 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi.....                     | 134 |
| Şekil 4.93 9 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi.....                     | 135 |
| Şekil 4.94 10 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi.....                    | 136 |
| Şekil 4.95 11 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi.....                    | 137 |
| Şekil 4.96 12 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi.....                    | 138 |
| Şekil 4.97 13 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi.....                    | 139 |
| Şekil 4.98 14 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi.....                    | 140 |
| Şekil 4.99 15 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi.....                    | 141 |
| Şekil 4.100 16 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi.....                   | 142 |
| Şekil 4.101 17 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi.....                   | 143 |
| Şekil 4.102 18 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi.....                   | 144 |
| Şekil 4.103 19 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi.....                   | 145 |
| Şekil 4.104 20 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi.....                   | 146 |
| Şekil 4.105 21 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi.....                   | 147 |
| Şekil 4.106 22 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi.....                   | 148 |
| Şekil 4.107 23 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi.....                   | 149 |
| Şekil 4.108 24 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi.....                   | 150 |
| Şekil 4.109 25 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi.....                   | 151 |
| Şekil 4.110 26 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi.....                   | 152 |
| Şekil 4.111 27 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi.....                   | 153 |
| Şekil 4.112 28 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi.....                   | 154 |
| Şekil 4.113 pH azalmasına bağlı olarak iyon yükünün değişimi.....           | 157 |
| Şekil 4.114 pH azalmasına bağlı olarak adsorpsiyon yüzeylerinin değişimi... | 158 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

|  |     |
|--|-----|
| Çizelge 2.1 RL (dağılma. değerleri ve izoterm tipleri.....   | 16  |
| Çizelge 3.1 Toprakların alındığı yerler.....   | 30  |
| Çizelge 3.2 Element okumaları için ICP de kullanılan dalga boyları.....                              | 32  |
| Çizelge 3.3 Kil Minerali X-ışınlarının Bazal Aralıklarının Referans Pik<br>Cetvelleri.....           | 33  |
| Çizelge 4.1 Toprak örneklerinin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri .....                          | 36  |
| Çizelge 4.2 Toprak örneklerinin toplam ağır metal (Cd, Pb. ve bazı<br>kimyasal analiz sonuçları..... | 37  |
| Çizelge 4.3 X ışınların 1. 2. 3. ve 4. bazal aralıklarının (d) değeri (A0).....                      | 38  |
| Çizelge 4.4 Kil minerallerin miktarı (%)......   | 39  |
| Çizelge 4.5 Langmuir ve Freundlich izoterm modellerine göre adsorpsiyon<br>parametreleri.....        | 40  |
| Çizelge 4.6 1 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kadmiyum<br>desorpsiyon oranları.....   | 99  |
| Çizelge 4.7 2 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kadmiyum<br>desorpsiyon oranları.....   | 100 |
| Çizelge 4.8 3 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kadmiyum<br>desorpsiyon oranları.....   | 101 |
| Çizelge 4.9 4 nolu Toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı Kadmiyum<br>desorpsiyon oranları.....   | 102 |
| Çizelge 4.10 5 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kadmiyum<br>desorpsiyon oranları.....  | 103 |
| Çizelge 4.11 6 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kadmiyum<br>desorpsiyon oranları.....  | 104 |
| Çizelge 4.12 7 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kadmiyum<br>desorpsiyon oranları.....  | 105 |
| Çizelge 4.13 8 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kadmiyum<br>desorpsiyon oranları.....  | 106 |
| Çizelge 4.14 9 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kadmiyum<br>desorpsiyon oranları.....  | 107 |
| Çizelge 4.15 10 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kadmiyum<br>desorpsiyon oranları..... | 108 |
| Çizelge 4.16 11 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kadmiyum<br>desorpsiyon oranları..... | 109 |
| Çizelge 4.17 12 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kadmiyum<br>desorpsiyon oranları..... | 110 |
| Çizelge 4.18 13 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kadmiyum<br>desorpsiyon oranları..... | 111 |
| Çizelge 4.19 14 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kadmiyum<br>desorpsiyon oranları..... | 112 |
| Çizelge 4.20 15 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kadmiyum<br>desorpsiyon oranları..... | 113 |
| Çizelge 4.21 16 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kadmiyum<br>desorpsiyon oranları..... | 114 |

|   |     |
|---|-----|
| Çizelge 4.22 17 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kadmiyum desorpsiyon oranları..... | 115 |
| Çizelge 4.23 18 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kadmiyum desorpsiyon oranları..... | 116 |
| Çizelge 4.24 19 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kadmiyum desorpsiyon oranları..... | 117 |
| Çizelge 4.25 20 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kadmiyum desorpsiyon oranları..... | 118 |
| Çizelge 4.26 21 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kadmiyum desorpsiyon oranları..... | 119 |
| Çizelge 4.27 22 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kadmiyum desorpsiyon oranları..... | 120 |
| Çizelge 4.28 23 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kadmiyum desorpsiyon oranları..... | 121 |
| Çizelge 4.29 24 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kadmiyum desorpsiyon oranları..... | 122 |
| Çizelge 4.30 25 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kadmiyum desorpsiyon oranları..... | 123 |
| Çizelge 4.31 26 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kadmiyum desorpsiyon oranları..... | 124 |
| Çizelge 4.32 27 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kadmiyum desorpsiyon oranları..... | 125 |
| Çizelge 4.33 28 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kadmiyum desorpsiyon oranları..... | 126 |
| Çizelge 4.34 1 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kadmiyum desorpsiyon oranları ..... | 127 |
| Çizelge 4.35 2 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kurşun desorpsiyon oranları.....    | 128 |
| Çizelge 4.36 3 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kurşun desorpsiyon oranları.....    | 129 |
| Çizelge 4.37 4 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kurşun desorpsiyon oranları.....    | 130 |
| Çizelge 4.38 5 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kurşun desorpsiyon oranları.....    | 131 |
| Çizelge 4.39 6 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kurşun desorpsiyon oranları.....    | 132 |
| Çizelge 4.40 7 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kurşun desorpsiyon oranları.....    | 133 |
| Çizelge 4.41 8 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kurşun desorpsiyon oranları.....    | 134 |
| Çizelge 4.42 9 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kurşun desorpsiyon oranları.....    | 135 |
| Çizelge 4.43 10 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kurşun desorpsiyon oranları.....   | 136 |
| Çizelge 4.44 11 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kurşun desorpsiyon oranları.....   | 137 |
| Çizelge 4.45 12 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kurşun desorpsiyon oranları.....   | 138 |

|  |     |
|--|-----|
| Çizelge 4.46 13 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kurşun desorpsiyon oranları.....                                  | 139 |
| Çizelge 4.47 14 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kurşun desorpsiyon oranları.....                                  | 140 |
| Çizelge 4.48 15 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kurşun desorpsiyon oranları.....                                  | 141 |
| Çizelge 4.49 16 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kurşun desorpsiyon oranları.....                                  | 142 |
| Çizelge 4.50 17 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kurşun desorpsiyon oranları.....                                  | 143 |
| Çizelge 4.51 18 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kurşun desorpsiyon oranları.....                                  | 144 |
| Çizelge 4.52 19 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kurşun desorpsiyon oranları.....                                  | 145 |
| Çizelge 4.53 20 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kurşun desorpsiyon oranları.....                                  | 146 |
| Çizelge 4.54 21 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kurşun desorpsiyon oranları.....                                  | 147 |
| Çizelge 4.55 22 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kurşun desorpsiyon oranları.....                                  | 148 |
| Çizelge 4.56 23 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kurşun desorpsiyon oranları.....                                  | 149 |
| Çizelge 4.57 24 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kurşun desorpsiyon oranları.....                                  | 150 |
| Çizelge 4.58 25 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kurşun desorpsiyon oranları.....                                  | 151 |
| Çizelge 4.59 26 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kurşun desorpsiyon oranları.....                                  | 152 |
| Çizelge 4.60 27 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kurşun desorpsiyon oranları.....                                  | 153 |
| Çizelge 4.61 28 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kurşun desorpsiyon oranları.....                                  | 154 |
| Çizelge 4.62 Langmuir izoterm eşitliğinden ve deneysel olarak elde edilen adsorpsiyon maksimum değerleri.....                    | 155 |
| Çizelge 4.63 Langmuir izoterm eşitliğinden ve deneysel olarak elde edilen adsorpsiyon maksimum değerleri arasındaki t testi..... | 156 |
| Çizelge 4.64 Bazı toprak özelleikleri ile adsorpsiyon maksimum değerleri arasındaki koralasyon.....                              | 158 |
| Çizelge 4.65 Kadmiyum adsorpsiyonu temel bileşim analizleri tablosu.....   | 160 |
| Çizelge 4.66 Kurşun adsorpsiyonu temel bileşim analizleri tablosu.....   | 162 |
| Çizelge 4.67 Toprakların kadmiyum (Cd), kurşun'un (Pb. düşük konsantrasyonlardaki adsorplanma ve desorplanma oranları.....       | 165 |

## 1. GİRİŞ

Dünya tarımında son yıllarda sağlanan gelişmeler; insanoğluna sadece tarımda üretimi arttıran girdi uygulamalarının ortaya konması yerine, tarımda devamlılığın sağlanması, toprak ve su kaynaklarının kirletilmeden kullanılması, kısaca tarımda sürdürülebilirliğin sağlanması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Tarımda üretimi etkileyen faktörlerin hemen hemen tamamı değişken bir etkiye sahiptir. Klasik anlamda bilinçsiz rastgele yapılan uygulamalar ile toprak ve su kaynaklarının kirletilmeden kullanılması, kısaca tarımda sürdürülebilirliğin sağlanması çok zordur. Atıksu, arıtma çamuru, herbisit, kanalizasyon atığı, endüstriyel aktiviteler, akaryakıt ve otomobil lastikleri ile trafikten kaynaklanan atıklar potansiyel toksik ağır metal elementleri içermesi nedeniyle ağır metal kirliliğine neden olmaktadır.

Ağır metaller kayaçların ve dolayısıyla toprakların doğal bileşenleridir ve topraklar kendilerini oluşturan ana materyalin bileşimlerine bağlı olarak farklı oranlarda ve formlarda ağır metal içerirler. Ağır metallerin çevredeki jeolojik nedenlerle oluşan doğal dağılım deseni son yıllarda önemli ölçüde değişmeye başlamıştır (Başkaya ve Teksoy 1997).

Endüstrinin ve madencilik aktivitelerinin gelişmesi, atıksularla yapılan sulamaların ve arıtma çamuru uygulamalarının yaygınlaşması, herbisit uygulaması, kanalizasyon atığı, endüstriyel aktiviteler ve trafikten kaynaklanan atıklar topraklarda ağır metal kirliliğine neden olmakta ve global bir problem haline almaktadır. Toprak-bitki sistemi, jeosfer ve biosferin en önemli kısmını oluşturmaktadır. Bu nedenle toprakta meydana gelen ağır metal kirliliği, sadece verim ve ürün kalitesi üzerinde değil aynı zamanda atmosfer ve su kalitesini hatta besin zinciri yoluyla insan sağlığı üzerinde de çok önemli etkiler oluşturmaktadır.

Değişik özelliklere sahip olan ülkemiz topraklarında, ağır metallerin neden olduğu toprak kirliliğinin durumu hakkındaki veriler yeterli değildir. Çevresel kirleticilerle topraklar kirlenmekte ve verimlilikleri azalmaktadır. Toprak, su ve havaya göre daha yüksek bir tamponlama gücüne sahip olduğundan kirleticilerin etkileri hemen

ortaya çıkmamakta ve fark edildiğinde ise genellikle çok geç olmaktadır. Dolayısıyla ağır metal kirliliğinin giderilmesi oldukça güç, uzun ve pahalı bir süreç gerektirmektedir (Kalinbacak ve Sönmez 2005).

Günümüzde ağır metallerin yol açtığı toprak kirliliği, tüm dünyanın dikkatini çeken bir konu olmuştur. Topraktaki ağır metal kirliliğiyle ilgili çalışmalar ağır metallerin kaynakları ve davranışları, halk sağlığı ve çevre üzerindeki etkileri ve kirlenmiş bölgelerin belirlenmesi çalışmaları büyük önem kazanmıştır (Kocaer ve Başkaya 2003).

Topraklardaki ağır metaller, bitkilerin hem yeşil aksamında hem de köklerinde birikmektedir. İnsan sağlığı için önemli olan ağır metaller ve bunların yarattığı toksik etkiler üzerine birçok çalışma yapılmıştır (Tirmizi vd. 1996). Ağır metaller bitkilerde çeşitli konsantrasyonlarda bulunabilirler, fakat bazı hallerde öngörülen sınırın üzerine çıkarlar. Bitki metabolizması üzerine ağır metal toksitesinin araştırılması uzun süreler devam etmiştir. Bu durum tarımsal üretimin yapıldığı yerlerde daha önemlidir, çünkü ürünü etkileyerek insan sağlığını tehdit eder.

Topraklarda oluşan ağır metal kirliliğinin, bitkisel üretim ile hayvanlara ve insanlara taşınımı ve birikimi; toprakların fiziksel, kimyasal ve mineralojik özelliklerinden etkilenmektedir. Topraklardaki besin elementlerinin yanı sıra ağır metallerin toprak tarafından tutulması toprak özellikleri (kil mineralleri, organik madde, seski oksitler ve kireç) ile yakından ilişkilidir. Toprak özelliklerinden pH, organik madde, kil minerallerinin cins ve miktarı, seskioksitler ve kireç topraklarda besin elementlerinin ve ağır metallerin tutulmasında, birikiminde ve doğal ortamlardaki hareketliliğinde önemli bir etken olmaktadır.

İnsanların, ne pahasına olursa olsun, önceliği sanayileşme yoluyla ekonomik anlamda gelişme ve kalkınmaya vermesiyle ağır metal kirliliği gün geçtikçe artmaktadır. Bu nedenle ağır metallerin topraklardaki davranışının bilinmesi ileride doğal ve/veya tarımsal ekosistemlerde ortaya çıkabilecek tehlikelerin öngörülebilmesi açısından son derece önemlidir. Özellikle ağır metaller ile pH, kil mineralleri, organik madde, seski oksitler ve kireç gibi toprak özellikleri arasındaki ilişkilerin belirlenmesi önem

taşımaktadır. Bu konuda yurt dışında bazı araştırmalar yapılmasına karşın, Türkiye'nin endüstriyel gelişmeye geç başlamasına bağlı olarak kirliliğin nispeten sonradan ortaya çıkmaya başlaması; diğer taraftan teknik, ekonomik ve hukuki nedenlerden dolayı günümüze kadar yapılan araştırmalar yok denecek kadar az olması; ve insanlar ve ekosistem üzerine toksik ağır metallerin kritik konsantrasyonlarının sürekli aşağıya doğru çekiliyor olması konunun önemini korumasına neden olmaktadır. Bu araştırma ile ağır metal toksisitesinde toprak özelliklerinin (pH, kil mineralleri, organik madde, seski oksitler ve kireç) ağır metallerin topraktaki davranışlarına etki düzeyi belirlenecektir. Böylece toprakların tolere edilebilir ağır metal adsorpsiyon kapasiteleri belirlenerek, toprak özelliklerine bağlı ağır metal adsorpsiyon ve desorpsiyon kapasitesinin toprakların özellikleri bakımından açıklanmasında önemli yorumlar katacaktır.

Bu çalışmanın amacı, Toprak özelliklerinin toprak kirliliği açısından önemli olan kadmiyum ve kurşunun adsorpsiyon ve desorpsiyonuna etkisini araştırmaktır. Bu amaçla topraklar, batch adsorpsiyon yöntemiyle sabit sıcaklıkta dengeye getirildikten sonra çözelti fazında kalan metal iyonları belirlenmiştir. Elde edilen bu verilerden toprakların adsorpsiyon değerleri hesaplanmış ve adsorpsiyonun Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon modellerine uygunluğu test edilmiştir. Ayrıca adsorbe edilen metallerin desorpsiyon durumlarının toprak özelliklerine bağlı olarak nasıl değiştiği incelenmiştir.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

### 2.1 Ağır Metaller Üzerine Yapılan Çalışmalar

Shuman (1979), killi ve organik madde kapsamı yüksek olan topraklarda Zn, Cu ve Mn'in, kumlu ve düşük katyon değişim kapasitesine sahip topraklara göre daha yüksek konsantrasyonlarda bulunduğunu, killi topraklarda Zn ve Cu nun büyük bir kısmının toprağın kil fraksiyonunda bulunurken, kumlu topraklarda mikro elementlerin daha çok organik madde tarafından tutulduğunu belirtmiştir.

Merkel ve Koster (1980), önceden maden ocakları olarak kullanılan bölge topraklarının Zn ile yüksek miktarda kirlendiklerini, Almanya'da Oker Bölgesindeki nehir terası topraklarının Zn miktarının  $5000 \text{ mg kg}^{-1}$  ulaştığını bildirmişlerdir.

Marschner (1983) yaptığı çalışmada, ağır metallerin toprakta oldukça fazla birikebildiğini, ağır metallerin alımında pH, organik madde ve killerin yanı sıra, rizosfer pH'nın bitkilerin ağır metal alımları üzerinde etkili bir rol oynadığını belirtmiştir.

Schindler ve Stumm (1987), kil mineralleri tarafından ağır metallerin adsorpsiyonu üzerine yapmış oldukları bir araştırmada; adsorpsiyonun seçici ve seçici olmayan olmak üzere iki farklı mekanizma ile oluştuğunu, spesifik adsorpsiyon desorbe olmayan adsorpsiyon olarak adlandırılırken, seçici olmayan adsorpsiyon ise değişebilir adsorpsiyon olarak adlandırmışlardır.

Saatci vd. (1988), İzmir İli ve civarında araştırdıkları topraklarda Cd miktarını iz ile  $4.25$  (ort:  $1.5$ )  $\text{mg kg}^{-1}$  arasında bulmuşlardır.

Leita vd. (1989), İtalya'da güney batı Sardinia'daki maden bölgesi topraklarında çinkoyu ortalama  $418-55413 \text{ mg kg}^{-1}$ , Zanini ve Banifacio(1992) İtalya'da demir, çelik ve elektronik endüstrisinin bulunduğu yüzey tarım alanlarında  $60-1708 \text{ mg/kg}$ , Trüby ve Raba (1990), Freiburg şehrinin atık suları ile sulanan topraklarda  $350-583$  (ort. $457$ )  $\text{mg kg}^{-1}$  Zn bulmuşlardır.



İtalya'da demir çelik ve elektronik endüstrisinin bulunduğu civarlardaki tarım alanlarının yüzey topraklarında 0.05-1.20 mg/kg (Zanini ve Banifacio 1992), güney batı Sardinia maden alanlarındaki topraklarda ise ortalama 2-181 mg/kg Cd belirlenmiştir (Leita vd. 1989).

Zanini ve Banifacio (1992), İtalya'da demir çelik ve elektronik endüstrisinin bulunduğu tarım alanlarının yüzey topraklarında 30-408 mg/kg Ni belirlemiştir.

Kabata-Pendias ve Pendias (1992). fosforlu gübrelerin; 7-170 ve 188 mg kg<sup>-1</sup> arasında Cd içerdiğini bildirilmektedirler. Ayrıca Kloke (1980)'ye göre fosfat gübrelemesi ile topraklara yılda ortalama 3 g ha<sup>-1</sup> Cd verildiği belirtilmiştir (Bergmann 1993).

Özbek ve ark. (1993), yer kabuğunda ortalama 0.10 mg/kg, topraklarda ise 0.5 mg/kg'den az Cd bulunduğunu belirtmişlerdir. Bergmann (1993), toprakların Cd miktarlarını 0.01-0.20 mg/kg olarak bildirirken, Kabata-Pendias and Pendias (1992)'a göre değişik ülkelerdeki farklı toprakların yüzey katmanlarındaki Cd miktarı ise 0.10 - 4.1 mg/kg'dir. Topraklarda kritik Cd miktarları; 1.2 (Zhang ve Guo 1991) veya 5.0 mg/kg (Rid 1984) olabilmektedir.

Holmgren vd 1994 3305 tarım toprağında 0.005-2.4 mg kg<sup>-1</sup> arasında, Alloway'de Birleşik Krallığın Galler bölgesinde 2276 adet toprakta 114 mg kg<sup>-1</sup> kadar çıkan Cd değerleri gözlemişlerdir.

Zhang vd. (2003) yaptıkları çalışmada, 1.00'den 0.053 mm'ye değişen boyutlardaki 5 grup agregatı kumlu topraklardan kuru eleme metodu ile ayırmışlar ve her bir agregat fraksiyonunu fosfor ve ağır metalle işleme sokmuşlardır. Kil, silt ve kum fraksiyonlarındaki boyut farklılıklarının özellikle ağır metallerin tutulma kuvvetlerinde ve miktarlarında farklılıklar gösterdiğini ve agregat boyutlarının küçülmesiyle, adsorpsiyonda artış olduğunu bildirmişlerdir.

Freibach ve Hadar (2004), yaptıkları çalışmada montmorillonitin adsorpsiyon kapasitesinin kaolinitten daha yüksek olduğunu bulmuşlardır. Araştırmacılar bu durumun montmorillonitin yüzey alanının kaolinite göre daha yüksek olmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Usman (2008), 6 farklı Mısır toprağında Pb, Cu, Zn, Ni ve Cd'nin rekabetli adsorpsiyonunu ve tercih sırasını Batch tekniği ile incelemiştir. Çalışılan tüm elementlerin adsorpsiyonu Langmiur izotermi tarafından başarı ile tanımlanmıştır. Toprakların çoğunda Cd ve Ni benzer davranışlar gösterirken Pb, Cu ve Zn farklı sorpsiyon davranışları göstermiştir. Hesaplanan Kd değerleri karşılaştırıldığında en yüksek değer Pb'de daha sonra Cu'da bulunmuştur. Genelde en yaygın tercih sırasının Pb>Cu>Zn>Ni>Cd şeklinde olduğu bulunmuştur. Korelasyon ve regresyon analizleri toprakların adsorpsiyon yeteneğinin, kilin tipi (özellikle simektit grubu), kil miktarı ve kation değişim kapasitesi ile ilişkili olduğunu göstermiştir.

Toprak ortamında Pb'un ortalama konsantrasyonu (HF/HClO<sub>4</sub> ekstraktı) 25 mg kg<sup>-1</sup> bulunmuştur (Kabata-Pendias ve Pendias 2007). Angelone ve Bini (1992)' de normal topraklarda Pb miktarını ise 100 mg kg<sup>-1</sup> altında tespit etmişlerdir. Kurşun toprak profilinde düzenli dağılıma sahip değildir ve büyük oranda hidroksitler özellikle Fe ve Mn bileşenleri ile bulunur. Demir ve Mn nodüllerinde Pb konsantrasyonu 20000 mg kg<sup>-1</sup> a kadar çıkabilir (Kabata-Pendias vd. 2004). Bazen Pb karbonat ve fosfat tanelerinde de yoğunlaşmış olabilir. Genellikle Pb toprak üzerinde toplanmış olup, çoğunlukla organik madde ile adsorbe edilir. Bu yüzden Pb'un mobilitesi diğer metallere göre düşüktür.

Elektronegatif açıdan bakıldığında kurşunun elektronegatif değeri, Cd ve Zn ya göre daha fazladır (Pb>Cd>Zn). Bu yüzden Pb diğer metallere göre daha güçlü şekilde tutulmaktadır. Cd ve Pb toksiktir ama Zn büyük oranda biyolojik reaksiyonlarda önem taşımaktadır (Alina ve Arun 2007). Bu metaller yeryüzünde düşük ve yüksek miktarlarda bulunabilirler.

Kadmiyumun doğada tek başına bulunduğu minerali yoktur. Çinko mineralinde CdCO<sub>3</sub> veya CdS halinde çok az miktarda bulunur. Kadmiyum hemen hemen bütün çinko filizlerinde bulunduğu için çinko elde ederken yan ürün olarak kadmiyum elde edilir.

Toprakta Cd konsantrasyonu ortalama 0.2–0.4 mg kg<sup>-1</sup>'dir. Buna rağmen bazı topraklarda 160 mg kg<sup>-1</sup> değerlerinde de bulunabilir. Küller, fosiller, uçucu küller ve atık

çimento ürünleri yakıldığı zaman Cd kaynağı olabilir. Fosforlu gübreler uygulandığında, toprağa Cd dahil olur. Fosfatlı gübrelerden gelen Cd miktarı ana materyallerine göre değişim gösterir. Afrika'da fosfor penta oksit gübresinden toprağa ulaşan Cd miktarı, 160–255 gr ton<sup>-1</sup> dur. Buna rağmen Amerika'da aynı gübreden, toprağa dahil olan Cd miktarı 35 gr ton<sup>-1</sup> dur (Hutton 1982). İngiltere'de tarımsal topraklarda, atık sular sulama suyu olarak kullandığında önemli miktarda Cd'un (80 gr ha<sup>-1</sup>) topraklara verildiği ortaya konmuştur (Hutton ve Symon 1986).

Zhou vd. (2000), kaolinit minerallerinin Cr adsorpsiyonunu montmorillonitten daha yüksek bulmuşlardır. Aynı zamanda Cr adsorpsiyon reaksiyonunun hızlı olduğunu ve ılıman bir sıcaklıkta ilk 2 saatte dengeye ulaştığını gözlemlemişlerdir. Kaolinit minerallerinin Cr adsorpsiyonu pH 2-7 aralığında artan pH ile yükselirken, pH 7 nin üzerinde adsorpsiyonun azaldığını bulmuşlardır.

Elzinga ve Sparks (2001), illit kil mineralinin pH 4.5-8 arasında ve reaksiyon süresi 3 saat, 24 saat ve bir hafta olduğunda Ni adsorpsiyon kapasitesini belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada pH 6.5'in üzerinde Ni adsorpsiyonunun arttığını bulmuşlardır.

Janssen vd. (2003), montmorillonit-Al polimer sisteminin pH ya bağlı Zn adsorpsiyonunu incelemişlerdir. Al-hidroksitin hemen hemen dolu olduğunda, kil yüzeyindeki Zn yüzeylerin önemli bir hal aldığını ve pH'nın ve Zn'nin bağlanma enerjisine güçlü bir etkisinin olduğunu, pH 6.6'da bunun optimum düzeye çıktığını gözlemlemişlerdir. Araştırmacılar Al:kil oranının Zn bağlamasındaki etkisi pH'ya bağlı olarak değişken, pH 6,6'da Zn bağlanmasının Al-hidroksite ve Al:kil oranına bağlı olmadığını gözlemişlerdir.

Stevens (2003), kil yüzdesi ve organik maddesi düşük kumlu toprakların Cd tutma kapasiteleri üzerine yapmış oldukları bir çalışmada, toprak pH'sının yükselmesiyle ve Zn seviyesinin düşmesiyle bitkilerin Cd alımında bir artış gözlemlendiğini bulmuşlardır.

Aydın vd. (2004), doğal killerin ağır metalleri adsorbe etme kapasiteleri ve adsorpsiyon kapasitesinin pH ile değişimini araştırmışlar, su içerisindeki ağır metal seviyesi 1000

mg/L konsantrasyonlarda Cu ve Zn ağır metallerini içeren stok çözeltiler, doğal kil olarak ise KDK'sı yüksek olan bentonit ve montmorillonit kullanmışlardır. Sonuç olarak Cu ağır metali için bentonit kilinin adsorpsiyon kapasitesinin montmorillonit kiline göre daha yüksek olduğu ve Zn elementi için ise her iki kil mineralinin adsorpsiyon kapasitesinin eşit olduğu belirtilmiştir. Önceki çalışmalar yetersiz. 2004 yılından sonra herhangi bir çalışma yapılmamış mı?

Scheidegger vd. (1996), toprak minerallerinin ağır metalleri adsorbe etmesini çevre için önemini vurgulamışlar; çalışmalarında pirofillit, kaolinit, jibs ve montmorillonitin pH 7.5'de Ni adsorpsiyonu üzerine etkisini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda ilk bir saat içerisinde ilave edilen Ni'nin % 90 adsorbe edilerek hızlı bir reaksiyon olduğu ve daha sonra ise reaksiyon hızının azaldığı bildirilmiştir. Ayrıca kaolinitte 70 saat sonunda % 97, pirofillitte 200 saat sonunda % 98 giderim sağlandığı, jibs ve montmorillonitte ise başlangıçta çok hızlı bir adsorpsiyon gerçekleşmesine rağmen daha sonra çok yavaşladığı ve adsorpsiyonun tamamlanmasının günler hatta haftalar sürdüğü vurgulanmıştır.

Lothenbach vd. (1998), tarımsal topraklardaki kirletici ağır metallerin montmorillonit, Al-montmorillonit ve atık çamur tarafından adsorpsiyonunu incelemişlerdir. Araştırma sonucunda montmorillonit ve Al-montmorillonitin Zn ve Cd'yi tuttukları tespit edilmiştir. Araştırmacılar yaptıkları çalışmada montmorillonit, atık çamur ve Al-montmorilloniti kirletilmiş toprağa eklemişler ve onların dozlarının artmasıyla birlikte Zn, Cd ve NaNO<sub>3</sub> ekstraktının konsantrasyonlarının düştüğünü gözlemlemişler. Ayrıca araştırmacılar Al-montmorillonit ve atık çamurunun Zn ve Cd'yi immobilize etmekte montmorillonite göre daha etkili olduğunu saptamışlardır.

Karathanasis (1999), montmorillonit, illit, kaolinit ve karışık kil minerallerinden oluşan topraklarda Cu ve Zn adsorpsiyonu üzerine çalışmış; Zn'nin Cu'ya göre daha hareketli olduğunu ve organik karbon içeriği ve negatif yüzey yükleri yüksek olan toprakların adsorpsiyon kapasitesinin daha yüksek olduğunu bulmuştur.

Hongping vd. (2000), kil mineralleri ve ağır metaller arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Yaptıkları adsorpsiyon çalışmasında Ca-montmorillonit, illit ve kaolinitin  $\text{Cu}^{+2}$ ,  $\text{Pb}^{+2}$ ,  $\text{Zn}^{+2}$ ,  $\text{Cd}^{+2}$  ve  $\text{Cr}^{+3}$  iyonlarını adsorplamasını araştırmışlar ve  $\text{Cr}^{+3}$ 'ün her üç kil minerali içinde en çok adsorplanan element olduğunu saptamışlardır. Bunun yanında araştırma ile  $\text{Pb}^{+2}$  'nin illit ve kaolinite büyük bir eğilim gösterdiğini ve  $\text{Cu}^{+2}$ 'ninde aynı düzeyde bir eğilimi montmorillonite karşı gösterdiğini, aynı zamanda çözelti pH'sının yükseldiği durumlarda minerallerin adsorpsiyonunun da yükseldiğini saptamışlardır.

Zhuang ve Yu (2002), kaolinit, montmorillonit ve illit kil minerallerinin yüzeylerinin alüminyum demiroksitle ve organik madde ile değişmesi sonucu oluşan elektro kimyasal özellikleri ve değişim sonrası ağır metal adsorpsiyon özelliklerini incelemişlerdir. Yüzey kaplaması sonucunda kil minerallerinin özgül yüzey alanı genişlemiş ancak alüminyumla kaplanmış montmorillonit ve organik madde ile kaplanmış 2:1 tipi kil minerallerinde özgül yüzey alanında azalma meydana gelmiştir. Seksi-oksit kaplamasıyla kil minerallerinin yüzeyinde pozitif yükler artarken, negatif yükler azalmıştır. Organik madde ile yapılan yüzey kaplaması sonucunda negatif yük miktarında artış meydana gelmiş ve bunun sonucunda killerin sıfır '0' yük noktası ve zeta potansiyelinde düşme gözlemlenmiştir. Pb ve Cd adsorpsiyonu seski-oksit kaplamasında önemli derecede etkilenmemiştir. Rekabetli adsorpsiyon açısından ise orijinal kil yüzeyi ile oksit kaplı kil yüzeyi birbirinden farklı adsorpsiyon yüzeylerine sahip olduğu için önemli derecede farklı davranış göstermiştir.

Janssen vd. (2003), pH'nın montmorillonit-Al yüklemesi yapılan montmorillonitte Zn adsorpsiyonuna olan etkisini incelemişlerdir. Al-hidroksit yüzey yüklerini doyurduğunda Zn adsorpsiyonu artmıştır. pH'nın Zn'nin adsorpsiyonunu fazla şekilde etkilemiştir. pH 6,6 da Zn adsorpsiyonu Al-OH'ın mol sayısı ile ilgili iken Al: kil oranı etkili olmuştur. Bu etkilerin ortaya çıkmasında Al-OH'ın pH 6,6 da sahip olduğu kalıcı yüklerle ilişkili olabileceği bildirilmiştir.

Aydın vd. (2004), doğal killerin ağır metalleri adsorbe etme kapasiteleri ve adsorpsiyon kapasitesinin pH ile değişimini araştırmışlar, su içerisindeki ağır metal seviyesi 1000 mg/L konsantrasyonlarda Cu ve Zn ağır metallerini içeren stok çözeltiler, doğal kil olarak ise KDK'sı yüksek olan bentonit ve montmorillonit kullanmışlardır. Sonuç

olarak, Cu ağır metali için bentonit kilinin adsorpsiyon kapasitesinin montmorillonit kiline göre daha yüksek olduğu ve Zn için ise her iki kil mineralinin adsorpsiyon kapasitesinin eşit olduğu belirtilmiştir.

Çamur ve Yazıcıgil (2005), yaptıkları çalışmada, kalsit, kuvars, smektit ve illit minerallerinden oluşan toprakta Cd, Cu, Cr, Fe, K, Mn, Ni, Pb ve Zn ağır metallerinin iyon değişimini incelemişler ve kullanılan çözelti konsantrasyonu aralığında Cd, Cu, Cr, Fe, K, Mn, Ni, Pb ve Zn elementlerini toprak adsorbe ederken, Ca, Mg, Na metallerinin çözeltiliye verildiğini (desorpsiyon) belirlemişlerdir.

Covelo (2008), Cr, Cu, Pb, Ni, Cd ve Zn'in 14 farklı topraktaki sorpsiyon verilerini dallanmış regresyon modeli ile (tree regresyon) tanımlamışlardır. Pb, Cu ve Cr'nin adsorpsiyonu Cd, Ni ve Zn'ye göre daha yüksek bulunmuştur. Güçlü adsorbe edilen metallerin izotermi diğerlerine göre daha iyi tanımlanmış bunun nedeni ise güçlü adsorbe edilen elementlerin diğerlerinin daha düzensiz tutulmasına bağlanmıştır. Cr'nin sorpsiyon ve tutulma davranışının demir-alimünyumoksitler, organomineral fraksiyon ve klorit kil minerali; Cu katyon değişim kapasitesi, organomineral bileşimi, hematit içeriği; Pb katyon değişim kapasitesi, hematit ve manganoksit içeriği ile ilişkili olduğunu belirlemiştir. Daha zayıf tutulan Cd, Cu, Zn'in ise silt içeriği ve mineral yapının bileşimi ile ilgili olduğu bildirilmektedir.

Shuman (1979), killi ve organik madde kapsamı yüksek olan topraklarda Zn, Cu ve Mn'in, kumlu ve düşük katyon değişim kapasitesine sahip topraklara göre daha yüksek konsantrasyonlarda bulunduğunu, killi topraklarda Zn ve Cu büyük bir kısmı toprağın kil fraksiyonunda bulunurken; kumlu topraklarda mikro elementlerin daha çok organik madde tarafından tutulduğunu belirtmiştir.

Minlin (1985), iyonların kil minerallerine aslında kimyasal olarak bağlandıklarını; bu bağın yüzeyin yapısına ve bunun iyonla olan etkileşimine bağlı olduğunu ayrıca elektrostatik bağlanmada çok değişik davranışlar gösterebildiğini belirtmiştir. Araştırmacı solüsyonun pH'sının adsorpsiyon kapasitesi üzerinde önemli etkileri olduğunu saptamıştır.

Schindler ve Stumm (1987), kil mineralleri tarafından ağır metallerin adsorpsiyonu üzerine yapmış oldukları araştırmada; adsorpsiyonun seçici ve seçici olmayan olmak üzere iki formda olduğunu, seçici adsorpsiyonu spesifik veya değişemeyen adsorpsiyon olarak adlandırılırken, seçici olmayan adsorpsiyon ise değişebilir adsorpsiyon olarak adlandırmışlardır.

Ma vd. (1997), tanecik boyutları farklı kirletilmiş 11 toprakta yapılan çalışmada, kurşunu bu topraklara 198'den 1253 mg kg<sup>-1</sup>'a kadar yükselen konsantrasyonlarda uygulamışlardır. Bu topraklara kurşunun rasgele dağıtılmasına rağmen kil ve silt fraksiyonlarında olduğua az konsantrasyonlarda olduğunu gözlemlemişlerdir. Çalışmanın sonucunda yüzde olarak Pb<sup>+2</sup> ekstraktekstraktının inkübasyon süresinin artmasıyla birlikte düştüğünü ve bunun Pb<sup>+2</sup> konsantrasyonunun azalması, pH, organik madde, toplam Fe<sup>+2</sup> ve Mn<sup>+2</sup> ile bir ilişkisinin olmadığını göstermişlerdir.

Dudka ve Miller (1998), yaptıkları çalışmada, As ve Pb'den oluşan çevresel etkileri değerlendirmek ve bu metallerin topraktaki güvenilir konsantrasyonlarını belirlemek için toprak uçucu külü ve biosolids karışımıyla deney yapmışlar ve arsenik konsantrasyonunun 40 µg g<sup>-1</sup> kadar çıkarken kurşun konsantrasyonlarının ise 300 µg g<sup>-1</sup> a kadar çıkabildiğini gözlemişlerdir.

Luczak (1998) yaptığı çalışmada, illit ve baydellit minerallerini kullanarak Pb elementinin fiksasyonunu çalışmıştır. Her iki kil mineralinin de farklı yüzey alanlarına sahip olmasına rağmen Pb elementinin fiksasyon değerlerinin hemen hemen aynı olduğunu gözlemlemiş, bu nedenle immobilizasyonu asıl etkileyen faktörün yüzey alanı değil pH olduğunu ve pH düştüğünde immobilizasyonun da düştüğünü saptamıştır.

Kaya ve Orta (2000) yaptıkları çalışmada, kil ve kireç içeriği yüksek olan topraklarda pirit uygulamasının bitkisel verim ve toprağın bazı özelliklerine etkisini belirlemek amacıyla sera ve tarla koşullarında kullanılmak üzere iki adet toprak kullanmışlardır. Test bitkisi olarak önce buğday ardından mısır ekmişler, her iki toprakta da artan pirit

dozlarında buğday veriminde ve bitkinin Pb ve Zn içeriklerinde önemli bir artış saptamışlardır.

Türer vd. (2000), yol kenarında farklı yerlerden ve farklı derinliklerden aldıkları 58 adet toprak örneğini X-ray fluorescence, C-S analizi, atomik adsorpsiyon spektrofotometresinde ve X-ray difraksiyonunda incelemiştir. Çalışmada 0-15 cm'den alınan toprak örneklerinde ağır metal konsantrasyonunun, diğer katmanlarla karşılaştırıldığında oldukça yüksek olduğu ve ağır metal varlığının derinlik ve organik karbon miktarı arttıkça azaldığı belirlenmiştir.

Moral vd. (2002) yaptıkları çalışmada, sekiz tip toprak örneğinde amonyum klorit, stronsiyum klorit ve DTPA ekstraktekstraktları kullanarak  $Cd^{+2}$ ,  $Ni^{+2}$ ,  $Pb^{+2}$ ,  $Co^{+2}$  ve  $Cr^{+2}$  analizleri yapmışlar ve sonuç olarak metal ekstraktların, ekstraksiyon prosedürüne, kirletici kaynağa ve toprağın yapısına göre çok farklılıklar gösterdiğini saptamışlardır.

## 2.2 Topraklarda Adsorpsiyon- Desorpsiyon Uygulamaları

Hayat döngüsünün devamlılığında ve toprak kimyasında adsorpsiyon önemli bir reaksiyondur. Adsorpsiyon çözültiden alınan iyon ve moleküllerin, sert bir madde yüzeyine sarılması anlamındadır veya bir maddenin çözünebilir iyon ve moleküllerinin, çözültü vasıtasıyla diğer madde yüzeyine alınması olarak da tanımlanabilir. *Desorpsiyon* ise adsorbe edilen iyonların tekrar çözültü fazına geçmesi yani adsorpsiyonun tam tersi olarak tanımlanabilir (Stumm 1992). Adsorpsiyon olayı sabit sıcaklık ve sabit basınçta kendiliğinden gerçekleştiği için, adsorpsiyon sırasındaki serbest entalpi değişimi daima negatif işaretlidir. Diğer taraftan, gaz ya da sıvı ortamda daha düzensiz olan tanecikler katı yüzeyinde tutularak daha düzenli hale geldiğinden, adsorpsiyon sırasındaki entropi değişimi de daima negatif işaretlidir. Adsorplama gücü yüksek olan bazı doğal katılar, kömürler, killer, zeolitler ve çeşitli metal filizleri; yapay katılar ise aktif kömür, moleküler elekler (yapay zeolitler), silikajeller, metal oksitler, katalizörler ve bazı özel seramikler şeklinde sıralanabilir.



Kil mineralleri adsorpsiyon-desorpsiyon, iyon tutulması ve katyon değişim üzerinde önemli rol oynamaktadır. Bitkinin ihtiyacı olan besin maddesi miktarı, metaller, pestisitler ve ayrıca kimyasal organik bileşiklerin tane yüzeyinde tutulmasını kontrol eden adsorpsiyon olayıdır. Bu yüzden *adsorpsiyon*, besin maddesi ve toprak kirleticilerin (ağır metaller) toprak ortamındaki hareketliliğinde önemli bir olaydır.

Topraklarda inorganik yapıdaki toprak kolloidleri (silikat kil mineralleri ile Fe ve Al oksitlerden oluşan kısım) ve toprak organik maddesi çoğu metal iyonlarını bağlama yeteneğine sahiptirler. Topraktaki organik atıkların ayrışma ve parçalanması sonucunda humus adını verdiğimiz ve kolloidal yapı gösteren bir madde oluşur. Bu madde toprağın organik kolloidlerini temsil eder. Organik maddenin yüzeyi oldukça reaktiftir (Norvell 1991). Bazik (örneğin  $-NH_2$  amino,  $C=O$  karbonil,  $-OH$  alkol ve  $-S$ -thioetan) ve asidik (örneğin  $-COOH$  karboksil,  $-OH$  enolik ve fenolik ve  $-SH$  tiol) fonksiyonel gruplar, metallerin doğrudan koordineli olarak kompleks oluşturması için reaktif kaynaklardır. Reaksiyon oldukça selektif ve tersinirdir. Fakat organik maddenin kompozisyon ve yapısının kompleksliği yüzünden, metallerle kompleks oluşturma tek bir çeşit bağlanma mekanizmasını içermez (MacCarthy 1991). Van der Waals etkileşim, güçlü iyonik bağ, hidrojen bağı ve kovalent bağlarda bu komplekslerde yer alır.

### 2.3 Langmuir ve Freundlich İzotermilerinin Uygulanması

Bir çok etkene bağlı olan adsorpsiyon davranışları, adsorpsiyon izotermi olarak adlandırılan bağıntılarla ifade edilmektedir. Sabit sıcaklıkta adsorban tarafından adsorplanan madde miktarı ile denge basıncı veya konsantrasyonu arasındaki bağıntıya adsorpsiyon izotermi adı verilir. İzotermiler adsorpsiyonu incelemek için en uygun gösterimlerdir. Adsorpsiyon mekanizmasını açıklamak için kullanılan en yaygın izotermiler Freundlich ve Langmuir izotermileridir. Adsorplanan madde miktarı ile denge konsantrasyonu değişimi arasında yakın ilgi olduğuna dayanarak, Freundlich yaptığı pek çok deney sonucu doğruluğunu kanıtladığı  $q_e = K_F C_e^{1/n}$  denklemini geliştirmiş ve buradan elde edilen sonuç Freundlich izotermi olarak adlandırılmıştır. Bu izoterm

konsantrasyon arttıkça adsorpsiyonun da arttığını ileri sürmekte ve dolayısı ile doygunluğa ulaşma hali söz konusu olmamaktadır (Yücesoy 2000).

Jalali ve Moharrami (2007) İranın batısından on kireçli yüzey örneklerinde Cd, Cu, Zn, Ni ve Mn'in rekabetli adsorpsiyonunu linear Langmuir ve Freundlich izotermiyle çalışmışlardır. Verilerin çoğu Langmuir izotermine uyumluluk göstermiştir. Cu diğer elementlere göre tüm topraklarda daha güçlü tutulmuş ve daha yüksek maksimum adsorpsiyon değeri göstermiştir. Her toprak ve iz element için maksimum adsorpsiyon kapasitesi,  $25 \text{ mg l}^{-1} (\text{kd})$  başlangıç konsantrasyonu için dağılım katsayısı değerleri ve tercih sırası şu şekilde gerçekleşmiştir:  $\text{Cu} > \text{Ni} > \text{Zn} > \text{Cd} > \text{Mn}$ ,  $\text{Cu} > \text{Zn} > \text{Cd} > \text{Ni} > \text{Mn}$  ve  $\text{Cu} > \text{Cd} > \text{Zn} > \text{Ni} > \text{Mn}$ . Bakır, çinko ve nikel bütün topraklarda en kuvvetli adsorbe edilen iz elementleri iken Mn ve Cd ise rekabet kuvveti en az olan iz elementleridir. ( bu kısmı adsorpsiyon çalışmaları başlığı altında değerlendirir)

Langmuir ise moleküllerin kinetiğine dayanarak başka bir adsorplanma teorisi geliştirmiştir. Langmuir, atom veya moleküllerin, adsorplayıcı yüzeyinde aktif merkezler tarafından tutulduğunu ve oluşan filmin mono moleküler olduğunu kabul ederek Langmuir izotermi olarak adlandırılan bağıntıyı bulmuştur.

Langmuir izoterminde adsorpsiyon, adsorbat başlangıç konsantrasyonu ile birlikte doğrusal olarak artar. Maksimum doyma noktasında, yüzey tek tabaka ile kaplanmakta ve yüzeyde adsorbe olmuş adsorbat miktarı sabit kalmaktadır. Langmuir izoterminde adsorpsiyon enerjisi üniformdur. Adsorpsiyon hızı adsorbat konsantrasyonu ve yüzey üzerinde bulunan boş adsorpsiyon alanları ile doğru orantılıdır. Desorpsiyon hızı ise yüzeydeki adsorplanmış molekül sayısı ile doğru orantılıdır. Langmuir eşitliği şu şekilde gösterilmektedir:

$$q_e = \frac{Q_{\max} a_L C_e}{1 + a_L C_e}$$

$$q_e = \frac{K_L C_e}{1 + a_L C_e}$$

Langmuir eşitliğinin lineer formu aşağıdaki gibidir

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{K_L} + \left(\frac{a_L}{K_L}\right)C_e$$

$C_e$ : Adsorpsiyon sonrası çözültide kalan adsorbatın konsantrasyonu (mg/L)

$q_e$  : Birim adsorban üzerinde adsorplanan madde miktarı (mg/g)

$K_L$ : Adsorbatın adsorplanma kapasitesine bağlı olan sabit (L/g)

$a_L$ : Adsorpsiyon enerjisine bağlı olan sabit (L/mg)

$Q_{\max}$ : Adsorbanın maksimum adsorplama kapasitesi (mg/g)

Burada  $C_e/q_e$  değerinin,  $C_e$  değerine göre değişiminin grafiğe dökülmesiyle elde edilen doğrunun eğimi ve kesim noktası sırasıyla  $a_L/K_L$  ve  $1/K_L$  sabitlerinin değerini vermektedir.  $Q_{\max}$  ( $K_L/a_L$ ) tek tabakalı adsorban kapasitesini göstermekle birlikte adsorbanın maksimum adsorpsiyon kapasitesini temsil eder. Özellikle tek tabakalı adsorpsiyonun meydana geldiği heterojen adsorpsiyon sistemlerinde bu izoterm denge durumunu net olarak açıklayamaz. Langmuir izotermi homojen bir adsorpsiyon olduğu için her molekülün aktivasyon enerjisi aynıdır. Düşük konsantrasyonlarda Henry yasasının geçerli olduğu durumda  $C_e$  çok küçüktür. O zaman;

$$q_e = K_L C_e$$

şeklinde olur.

Langmuir izotermi için yapılan kabuller aşağıda sıralanmıştır.

- Materyalin tüm yüzeyi aynı adsorpsiyon aktivitesine sahiptir ve enerji bakımından üniformdur
- Adsorbe edilen moleküller arasında herhangi bir etkileşim, rekabet yoktur
- Tüm adsorpsiyon aynı mekanizma ile olur ve her adsorbe edilen kompleks aynı yapıya sahip kabul edilir
- Adsorpsiyonun miktarı, yüzey üzerindeki tam bir mono moleküler tabakadan büyük olamaz (Langmuir 1918).

Adsorpsiyonun elverişliliğini aşapıdaki eşitlikten bulmak için boyutsuz  $R_L$  (dağılma) sabiti hesaplanır ve bu sabitin 0 ile 1 arasında değerler alması (Çizelge 2.1) elverişlilik durumunun sağlandığına işaret eder (Aksu ve Yener 2001, Bayat, 2002, Wong vd. 2004).

$$R_L = \frac{1}{1 + bC_0}$$

$b$  ( $a_L$ ) : Langmuir sabiti (L/mg)

$C_0$  : Maddenin çözeltildeki başlangıç derişimi (mg/L)

Çizelge 2.1  $R_L$  (dağılma) değerleri ve izoterm tipleri

| <b><math>R_L</math> Değerleri</b> | <b>İzoterm tipi</b>                 |
|-----------------------------------|-------------------------------------|
| $R_L > 1$                         | İzoterm tipi langmuir'e uygun değil |
| $R_L = 1$                         | Doğrusal                            |
| $0 < R_L < 1$                     | Elverişli                           |
| $R_L = 0$                         | Tersinmez                           |

Freundlich izotermi için adsorpsiyon prosesini ifade eden bir ampirik denklem geliştirmiştir. Freundlich'e göre bir adsorban yüzeyi üzerinde bulunan adsorpsiyon alanları heterojendir (McKay 1980, Moon ve Lee 1983, Al-Duri ve Mckay 1988). Freundlich izoterminde ana fikir olarak Langmuir izoterminden yola çıkılarak, bazı varsayımlar ve geliştirmeler yapılarak bu eşitlik elde edilmiştir. Bu eşitlik Langmuir eşitliğinden farklı olarak düşük konsantrasyonlarda Henry kanununu uygulamaz ve dengeden sonra tam sabit bir adsorbat değeri elde edilemez. Bu izotermin en büyük dezavantajı bunlardır. Freundlich, çözeltilerin adsorpsiyonunu açıklamak için aşağıdaki eşitliği türetmiştir

$$q_e = K_F C_e^{\frac{1}{n}}$$

$C_e$ : Adsorpsiyon sonrası çözeltilde kalan maddenin konsantrasyonu (mg/L)

$q_e$ : Birim adsorban üzerinde adsorplanan madde miktarı (mg/g)

$K_F$ : Deneysel olarak hesaplanan adsorpsiyon kapasitesi (L/g)

$n$ : Adsorpsiyon yoğunluğu (birimsiz)

Log  $q_e$ 'nin log  $C_e$ 'ye göre değişiminin grafiğe dökülmesiyle  $K_F$  ve  $n$  sabitleri bulunur. Grafikten elde edilen doğrunun  $y$  eksenini kesim noktası log  $K_F$ ' yi ve eğimi de  $1/n$ 'i verir.  $n > 1$  değeri adsorpsiyon işleminin elverişli olduğunu göstermektedir (Chiou ve Li 2002). Bir adsorpsiyonun hangi izotermle daha iyi açıklandığının bulunması için deneysel olarak elde edilen veriler tüm izoterm denklemlerine uygulanıp grafiğe dökülür. Verilerden oluşturulan grafiklerde en yüksek korelasyon katsayısını veren adsorpsiyon modeli sözkonusu adsorban ve adsorbat arasındaki adsorpsiyonu tanımlayan en uygun modeldir. Ancak adsorpsiyon reaksiyonlarının birden fazla modelle aynı anda tanımlanabilmesi mümkündür. Freundlich izoterminde aşağıdaki eşitliğin her iki tarafının logaritması alınarak doğrusal hale getirilir Giles vd. (1974), bir katı tarafından çözülen maddenin adsorpsiyon izotermelerini dört temel tip ile tanımlamıştır

**L** tipi (Langmuir için) en yaygın olanıdır ve çözünen madde için yüksek çekim gücüne sahip olan katı olması durumunda tanımlanır.

**S** tipi, katı madde çözücü için (yani su adsorpsiyon yerleri için çözünen madde ile güçlü şekilde yarışmaktadır) yüksek afiniteye sahip olduğunda meydana gelir.

**C** tipi (değişmeyen bölüm) katı adsorbe edilirken yeni yerler elverişli olduğu zaman oluşur.

**H** tipi karakteristik bir şekilde; çözünen madde, katı için alışılmadık şekilde yüksek çekime sahip olduğu zaman, örneğin negatif yüklenmiş olan kil tarafından pozitif şekilde yüklenmiş olan organik çeşitlerin kimyasal tutulması durumunda oluşur.

Adsorpsiyon izotermelerinin (L tipi) matematiksel tanımlamaları Freundlich ve Langmuir eşitliğinin uygulanması ile sürekli şekilde yapılmaktadır.

## 2.4 Adsorpsiyon Üzerine Çalışmalar

Toprak minerallerinin kalsit ve oksitlerinin yüzey kompleksleri (Al, Fe ve Mn oksitler) Cd' un düşük konsantrasyonlarında ( $< 10^{-5}M$ ) Cd' u yüksek enerji ile adsorbe ederler, yüksek konsantrasyonlarda ise ( $> 10^{-5}M$ ) non-spesifik reaksiyonuyla (iyon değişim) adsorbe edilir (Brummer vd. 1988). Diğer araştırmacılar ağır metallerin kaolinit üzerinde adsorpsiyon davranışlarını incelemiştirler. Bu çalışmada tek metal sisteminde

kaolinit üzerine adsorbe olan metallerin miktarına göre  $Cu < Zn < Pb < Cd$  ve çoklu metal sisteminde ise  $Pb < Cu < Zn < Cd$  adsorbe edilmesini değerlendirmişlerdir. Ayrıca metal adsorpsiyonunu  $pH < 7$  de iyon değişimi ve  $pH > 7$  de iner -sphere (kovalent bağlanma ile) olduğunu ispat etmişlerdir (Prashant vd. 2004).

Organik madde ağır metallerin tutulmasında önemli rol oynamaktadır. Normalde farklı organik madde fraksiyonlarının nispi spesifik yüzey alanına sahip olması söz konusudur. Bu nedenle genel olarak  $pH=8$ 'te KDK aralığı  $60-300 \text{ meq}100 \text{ g}^{-1}$  arasında tahmin edilmektedir (Baldock and Nelson 2000). Organik madde ve ortamın  $pH$ ' sına göre KDK değişir ve bu miktar  $pH=2.5$ ' ten  $8$ 'e yükseldiği zaman KDK  $36$ 'den  $215$ 'e kadar yükselebilir (Sparks 1995). Genelde organik maddenin türü ve miktarına göre, KDK %25 ten %90'a kadar değişebilir.

Basta ve Tabatabai (1992) Cd, Cu, Ni, Pb ve Zn'nin rekabetli adsorpsiyonunu uzun yıllar sürekli mısır rotasyonunun kullanıldığı iki farklı toprakta çalışmışlardır. Rekabetli adsorpsiyon çalışmalarını 200, 1000 veya 2000  $\mu\text{M}$  konsantrasyonlarda farklı  $pH$  larda (4-8)10 mM lık  $\text{Ca}(\text{ClO}_4)_2$  ortamında belirlemişlerdir. Sonuçta her iki toprak için metal affinitesinin  $Pb > Cu > Ni \geq Cd = Zn$  şeklinde olduğunu belirlemişlerdir. Başlangıç konsantrasyonundaki artışla beraber adsorpsiyon yüzeyleri için metaller arasındaki rekabetin arttığını gözlemlemişlerdir. Gözlemlenmiş metal affiniteleriyle metal özelliklerinden elde edilen affinite sırasının uyumluluğunun düşük olduğunu bulmuşlardır. Bu davranışı, meydana gelen reaksiyonların elektrostatik olmamasıyla açıklamışlardır. Kadmiyum hariç olmak üzere, Pearson' nun yumuşak ve sert asit teorisiyle elde edilen metal affinitelerinin topraklardaki bu metallerin gösterdiği davranışlarla uyumlu olduğunu bildirmişlerdir.

Bolton ve Evans (1996) Kanada'nın Ontario şehri topraklarında Cd adsorpsiyonunu batch adsorpsiyon tekniği ile farklı  $pH$ 'larda incelemişlerdir. Tüm topraklar için  $pH$  ve Cd konsantrasyonu arttıkça Cd adsorpsiyonu artış göstermiştir. Elde edilen verilerin en küçük kareler tekniği kullanılarak doğrusal Langmiur izotermine uygunluğu test edilmiştir. Toprakların maksimum adsorpsiyonu  $8-64,8 \text{ mmol kg}^{-1}$  arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Maksimum Cd adsorpsiyonunun, organik madde ve amorf demir

oksitlerle ilişkili olduğu rapor edilmiştir. Kompleksleşme reaksiyonlarının organik yapılarla pH 3,5 üzerinde, demir oksitlerle ise pH 7'nin üzerinde gerçekleştiğini bildirmişlerdir.

Cajuste vd. (1996) kimyasal özellikleri farklı 3 volkanik toprakta Cd ve Pb adsorpsiyonu 1/5 ve 1/20 toprak çözelti oranlarında değişen zamanlarda çalışmışlardır. Toprak: çözelti oranındaki artış ile adsorbe edilen Cd miktarında bir azalma belirlenmiştir. Cd adsorpsiyonu toprak tiplerine göre az miktarda sürfaktan kullanılanlarda ve organik maddesi yüksek olanlarda %80–96 arasında değişmiştir. Düşük sürfaktan kullanılan topraklardan Pb, 15 dakikalık bir çalkalama sonucunda büyük ölçüde adsorbe edilmiştir. Yüksek sürfaktan konsantrasyonlarında ise önemli miktarlarda Pb çözelti fazında kalmıştır. Bu da sürfaktan metaryalin adsorpsiyon yüzeyleri için Pb ile rekabet ettiğini göstermektedir. Kadmiyum ve Pb'nin maksimum adsorpsiyonu toprak özellikleriyle olan ilişkilerini özellikle atık işleme ürünlerinin kullanıldığı topraklarda önemli etkileri olduğu düşünülmektedir.

Gao vd. (1997) Atık çamur uygulaması yapılan 9 farklı toprakta Cd, Pb, Ni, Zn, Cu ve Cr'nin eş zamanlı adsorpsiyonunu iki farklı pH'da (4,5-6,5) çalışmışlardır. Dağılım katsayısı (Kd) pH 4,5'te Ni,Cu, Cd ve Pb ile organik madde arasında; pH 6,5'te ise Ni, Cu, Zn ve Cd ile önemli korelasyonlar bulunmuştur. Kd ile özgül yüzey arasında önemli korelasyonlar bulunmuştur fakat kation değişim kapasitesi, kil içeriği ve kristalize olmayan demir alimünyum-oksit gibi bileşenlerle her hangi bir önemli ilişki vermiştir. Kd değerlerine göre yapılan tercih sırası pH 4,5'te  $Pb > Cu > Zn > Ni > Cd = Cr$ , pH 6,5'te ise  $Pb > Cu = Zn > Cd > Ni > Cr$  şeklindedir.

Welp ve Brümmer (1999), toprağın tamponluk görevini ve çözülebilir fraksiyonların adsorbe edilmiş veya çökeltilmiş metal fraksiyonu ile ilişkisini incelemek için 10 farklı metal (Mg, Cr(III), Fe(III), Co, Ni, Cu, Zn, Sr, Cd, Pb) ve 4 farklı toprak kullanarak adsorpsiyon çalışması yapmışlardır. Toprak örneklerine konsantrasyonları üstel olarak 6'dan 12'ye artan, nitrat formunda metal dozları eklemiştir. 0,025 M  $(NH_4)_2$  EDTA ile ekstrakte edilebilen metal fraksiyonları belirlenmiştir. Cr(3) ve Fe(3) hariç diğer 8 metalin miktar-kapasite ilişkisi Freundlich izotermiyle belirlemiştir. Cr(3) için miktar-yoğunluk ilişkisi ve iki toprak örneği maksimum sorbsiyona ulaşmıştır. Kireçli topraktaki yüksek oranda Cr eklenmesi, Cr oksidin

çökmesine neden olmuştur. Tüm metaller için pH, sıvı ve katı faz arasında metallerin dağılımını belirleyen en önemli faktör olarak bulunmuştur. Asit koşullarda toprakların metalleri tamponlama gücü önemli derecede azalmıştır. Bazik pH larda toprağın tampon fonksiyonunda etkili kayıplar, asidik aralıkta ise zayıf kayıplar görülmüştür. Ayrıca adsorpsiyonun, ağırlıklı olarak metal bazlı olduğu belirlenmiştir.

Derrick (2000), Kadmiyum toksitesi kumlu, asidik ve düşük organik maddeli topraklarda, killi, nötr ve organik maddesi yüksek olan topraklara göre daha fazladır. Çünkü Cd kil ve organik madde aracılığı ile adsorbe olur ve kuvvetli bağlarla tutularak yarayırlı formu azalır

Morera vd. (2001) kimyasal ve minerolojik bileşimi farklı 7 toprakta ağır metallerin rekabetli adsorpsiyonunu ve tercihli alımını incelemişlerdir. Dağılım katsayısına göre metallerin tercih sırasının Cr>Pb>Cu>Cd>Zn>Ni ve Pb>Cr>Cu>Cd>Ni>Zn şeklinde olduğunu bildirmişlerdir. Cr, Pb ve Cu'nun topraklar tarafından en güçlü şekilde adsorbe edilen elementler olduğu buna karşılık diğer elementler Cd, Ni ve Zn daha zayıf adsorbe edildiği belirlenmiştir. Tercih sırasının oluşmasında Cr'nin +3 değerliği ile ilgili iken +2 değerlikli metallerde ise elde edilen sıralamada elektronegatifliğin her hangi bir etkisinin olmadığı bildirilmektedir. Tek tek elementlerin sıralanmasında 'Misino' yumuşaklık parametresinin ve hidroliz özelliklerinin etkili olduğu bildirilmektedir. Korelasyon analizleri ağır metal adsorpsiyonu ile pH ve katyon değişimi arasında (Cd ve Cr); Cu için organik madde, kil ve gipsit içeriği arasında; Ni ve Pb için ise pH ve katyon değişimi arasında önemli ilişkiler olduğu bildirilmiştir..

Morera vd. (2001) izotermeler ve topraktaki ağır metallerin dağılımını araştırmışlardır. Fiziko-kimyasal özellikleri farklı 4 toprak örneğindeki Cd, Cu, Ni, Pb, ve Zn'in hareketliliğini ve dağılımını kademeli ekstraksiyon yöntemiyle incelemişlerdir. Adsorpsiyon işleminden sonra metaller çözünürlüğü yüksek olandan düşük olana doğru kademeli olarak ekstrakte edilmiştir. Ekstrakte edilen fraksiyonlarda değişebilir ve karbonatlara bağlı metal konsantrasyonunun kireç içeriğiyle ilişkili olduğu, %6 dan düşük kireç içeriğine sahip topraklarda değişebilir fraksiyon %6 dan yüksek kireç içeriği olan topraklarda ise karbonatlara bağlı fraksiyonun baskın olduğunu belirlemişlerdir. Metallerinde aynı anda adsorpsiyonu hareketliliği yüksek



fraksiyonlardaki metal fraksiyonunu arttırmıştır. Zn nin inorganik yüzeylere olan affinitesi Cd ve Ni ye göre yüksek iken; organik yüzeylerde ise bunun tam tersi gözlenmiştir.

Lin ve Juang (2002) Sodyum dodesil sülfat ile yüzeyi değiştirilmiş montmorilinitin Cu ve Zn adsorpsiyonuna pH, çözelti konsantrasyonu ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak incelenmiştir. Dubinn'nin-kaganer-Radushkevich modelini adsorpsiyon izotermelerinde kullanmışlardır. İkili metal iyonunun bulunduğu durumdaki dengelerde kullanılmıştır. Zn ve Cu için termodinamik parametrelerin sıcaklığa bağlılığı da belirlenmiştir.

Moral vd. (2004), 8 kirli toprakta Cd, Ni, Cr, Co, Ag, Pb, Cu, Mn ve Zn'in farklı fraksiyonlardaki dağılımını kademeli ekstraksiyon yöntemiyle incelemişlerdir. Araştırmacılar toprak matrisini SEM ve EDXRA ile incelemişlerdir. Çalışma konusu ağır metallerin kalınıtı (residual), indigenebilir ve karbonat fraksiyonlarında biriktikleri belirlenmiştir.

Nacimiento vd. (2004) Kimyasal özellikleri farklı 6 latasol (oksisol) toprağında Cu ve Zn'nin adsorpsiyonunu çalışmışlardır. 0-140 gr/ml ağır metal içeren çözeltilerle topraklar muamele edilmiş ve elde edilen veriler Langmiur ve Freundlich izotermelerine uygunluğu test edilmiştir. İzoterm parametreleri ile toprak özellikleri arasında korelasyonlar yapılmıştır. Her iki adsorpsiyon izotermi Cu ve Zn ile toprakların reaksiyonunu yeterince tanımlamıştır. Adsorpsiyon üzerine en önemli etkiye sahip toprak bileşenlerinin kil ve organik madde olduğu korelasyon analizi ile belirlenmiştir. Çalışma toprakların her iki element için yüksek adsorpsiyon enerjisi ve adsorpsiyon kapasitesi göstermiştir.

Renella vd. (2004) 4 farklı amenajman altındaki kireçli Akdeniz toprağındaki Cd yayarışlılığını ve fazlar arsındaki dağılımını incelemişlerdir. Topraklara 0-50 mg Cd kg<sup>-1</sup> olacak şekilde Cd uygulanmış ve 600 gün süreyle inkübasyona bırakmışlar ve belirli zamanlarda yapılan örneklemelemlerle Cd un yayarışlılığını ve farklı fraksiyonlardaki bulunuşlarını araştırmışlardır. Kadmiyum uygulamasını takipeden kısa bir süre sonrasında başlangıçta eklenen Cd den bağımsız olarak yayarışlı formdaki metal miktarının benzer olduğunu gözlemlenmişlerdir. 3 ve 10 mg kg<sup>-1</sup> Cd uygulamalarında Cd

fazlar arasında düzenli dağılım gösterirken yarayırlılığın karbonat yüzeylerinde meydana gelen adsorpsiyon reaksiyonlarıyla sınırlandırıldığı belirlenmiştir. Daha yüksek konsantrasyonlarda ise Cd residual (kalıntı) fraksiyonunda birikme eğilimi göstermiştir. İlave edilen Cd nin büyük çoğunluğu karbonatlarla reaksiyona girmiş ve amenajman sistemi ve organik madde içeriğinin fazlar arasında dağılıma etkisi önemli bulunmamıştır.

Marosist vd. (2000), yaptıkları çalışmada farklı toprak örnekleri üzerindeki Cu iyonları kimyasal olarak incelenmişlerdir. Ağır metallerin hareketliliği ve biyolojik yarayırlılığı ağırlıklı olarak metallerin fiziksel ve kimyasal formları ile farklı toprak fazlarıyla olan etkileşimine bağlıdır. Katı ve sıvı fazlar arasındaki denge zamanı 48 saat olarak ölçülmüştür. En ideal başlangıç pH aralığı pH 3.5-6 olarak bulunmuş ve bu pH nın çoğunlukla toprak tipine bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Katı-sıvı fazlararası denge oluşumu sırasında ortaya çıkan pH değişikliklerinden hareketle, proton veya hidroksil iyonlarının, çözelti içinde açığa çıktığı görülmüştür. Metal iyonlarının adsorpsiyonu üzerinde iyonik gücünün etkisi konusunda yapılan bu çalışma göstermiştir ki, sodyum iyonları (Na) iki etki göstermekte, yani adsorpsiyon bölgelerini işgal ederek Cu iyonlarının adsorpsiyonunu azaltmış ayrıca Na iyonları toprakların mineral fazlarını yapısını bozarak adsorpsiyon kapasitesini arttırdığını saptamışlardır. Cu adsorpsiyon izotermi 1-10 mmol/L başlangıç konsantrasyonunda çalışılmış ve adsorpsiyon sadece 1-4.5 mmol/L konsantrasyonlarında linear Langmuir izotermine uyum göstermiştir.

Veeresh vd. (2003) özellikleri değişik 3 farklı Hindistan toprağında ağır metallerin (Cu, Cd, Ni, Pb, Zn) rekabetli adsorpsiyonunu çalışmışlardır. Rekabetli adsorpsiyon denemesi 0-200 µM başlangıç konsantrasyonunda yapılmıştır. Genelde tercih sırası Pb>Cu>Zn>Ni>Cd şeklinde bulunmuştur. Bu tercih sırasının metallerin hidroliz sabitleri ile ilişkili olduğu bildirilmektedir. Artan başlangıç konsantrasyonu, metaller arasındaki rekabeti artırdığı belirlenmiştir.

Covelo vd. (2004) 4 farklı humik toprakta Cd, Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn'in adsorpsiyonunu ve tercih sırasını çalışmışlardır. Yüzey horizonlardaki karakteristik özellikleri ve bileşenlerinin değişmesi metallerin adsorpsiyon kapasitesini ve hareketliliğini önemli derecede etkilemiştir. Adsorpsiyon kapasitesi yüksek olan topraklar manganez, demir ve

alüminyumoksit içeriği adsorbe edilen elementlerin desorpsiyonuna izin vermemiştir. Oksit içeriği düşük olan topraklarda desorpsiyon daha yüksek gerçekleşmiştir. En fazla adsorbe edilen element Pb'dir, bunu sırasıyla Cu, Cr' takip etmiştir. Bu element adsorpsiyon yüzeyleri için Cd ve Zn ile rekabete girmiştir. Desorpsiyon sonrasında Cr yüzeylerde en fazla kalan element olmuştur.

Adsorpsiyon çalışmalarını 200, 1000 veya 2000 µM konsantrasyonlarda farklı pH larda (4-8)10 mM lık Ca(ClO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> ortamında belirlemiştir. Sonuç olarak her iki toprak için metal affinitesinin Pb> Cu> Ni ≥Cd=Zn şeklinde olduğunu belirlemiştir. Başlangıç konsantrasyonundaki artışla beraber adsorpsiyon yüzeyleri için metaller arasındaki rekabetin arttığını gözlemlemiştir. Araştırmacılar metal affiniteleriyle metal özelliklerinden elde edilen affinite sırasının uyumluluğunun düşük olduğunu bulmuşlardır. Bu davranışı, meydana gelen reaksiyonların elektrostatik olmamasıyla açıklamışlardır. Kadmiyum hariç olmak üzere, Pearson' nun yumuşak ve sert asit teorisiyle elde edilen metal affinitelerinin topraklardaki bu metallerin gösterdiği davranışlarla uyumlu olduğunu bildirmişlerdir

Battaglia vd. (2007), düşük maliyetli sorbentlerle, kâğıt endüstrisi atıklarının, ağır metallerle kirletilmiş asit toprakların solidifikasyonu/ stabilizasyonunda kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Öncelikle atıkların Zn ve Pb adsorpsiyon özellikleri araştırılmış, sonra ise orijinal topraklarda ve atık uygulanmış topraklarda Zn ve Pb' nin fraksiyonlarını ve mobil formlarındaki değişimler incelenmiştir. Kâğıt endüstrisi atıklarının her iki metalin mobil formlarının miktarını azalttığını belirlemişler ve bu sonucun atık materyalin yapısında bulunan ve metalleri kuvvetli bir şekilde adsorbe edebilen organik madde ve kaolin kil mineralinden kaynaklanabileceğini bildirmişlerdir.

Zhang ve Zhenk (2007) Çin'de 10 tarım toprağında Cd, Cu, Hg ve Pb'nin rekabetli adsorpsiyonunu çalışmışlardır. Toprakların rekabet ortamında daha fazla miktarda Pb ve Cu, daha az miktarda Cd ve Hg adsorbe ettiklerini belirlenmiştir. Başlangıç konsantrasyonu artırıldığında daha fazla miktarlarda Pb ve Cu adsorbe edilirken Cd ve Hg'nin adsorbe edilen miktarları azalmıştır. Gözlemlenen tercih sırası Pb, Cu, Hg, Cd şeklinde olmuştur. Maksimum adsorpsiyon kapasitesi çalışılan elementler için

toprakların maksimum adsorpsiyon kapasitesi toprak özellikleriyle önemli derecede ilişkili bulunmuştur. Topraklarda Hg ve Cd'nin düşük adsorpsiyona bağlı olarak daha hareketli olduğu belirlenmiştir. Maksimum adsorpsiyon kapasitesi, pH ve değişebilir asitlikle yüksek kolerasyon vermiştir.

Jeong vd. (2007) ağır metallerin humik asit ile rekabetli adsorpsiyonunu sistemdeki kütle ve yük dengelerini de gözeterek batch deneme tekniğini kullanarak çalışmışlardır. Deneme sonuçlarının test edildiği modele göre, metal iyonlarının (Cd, Zn, Cu) humik asit yüzeyine ikili bağla (bidentate), şelat formunda, karboksil gruplarına bağlandığı bildirilmiştir. Model, denge sabitini kullanarak metallerin ikili ve üçlü rekabetini tanımlamıştır. Kullanılan model, ikili rekabeti yeterince açıklayabilirken; daha kompleks sistemleri özellikle farklı adsorpsiyon karakteristiklerine sahip metallerin rekabetini yeterince açıklayamamıştır.

Lair vd. (2007), Cu, Cd ve Zn'nin farklı boyutlardaki toprak tanecikleri tarafından adsorpsiyonuna uzun yıllar uygulanan çiftlik gübresi, ticari gübre ve nadasın etkisini araştırmışlardır. Faklı miktar ve orijinde organik maddeye ve faklı pH ya sahip topraklar araştırmada kullanılmış olup, toprakların mineral fazı yapılan toprak yönetim uygulamalarına önemli bir tepki göstermemiştir. Bu topraklarda yapılan adsorpsiyon ve kademeli ekstraksiyon çalışmaları, topraklarda 7 farklı jeokimyasal fraksiyonun bulunduğunu göstermiştir. Araştırmacılar, yüksek miktarlarda metal ilavesi yapıldığında 3'ten fazla faktörün metal adsorpsiyonunda etkili olduğunu ve tanecik boyutu küçük toprakların yüksek yüzey alanına ve organik madde içeriğine bağlı olarak daha fazla metal adsorbe ettiğini belirlemiştir. Adsorpsiyondaki değişimlerin, toprak mineralojisindeki ile Fe ve Mn oksit içeriğindeki farklılıklardan kaynaklandığı öne sürülmüştür. Organik maddenin metal adsorpsiyonunu etkileme sırasının büyükten küçüğe doğru  $Cu > Cd > Zn$  şeklinde olduğu rapor edilmiştir. Organik madde içeriğindeki ve pH'daki değişim jeokimyasal metal fraksiyonlarındaki değişimin ana nedeni olarak bildirilmiştir. Yeni ilave edilen metal iyonları genellikle mobil fraksiyonlarda bulunurken, önceden ilave edilmiş metal iyonları ise hareketliliği daha düşük fraksiyonlarda bulunduğunu tespit etmişler ve bu durumun toprakların zaman içerisinde metal adsorpsiyon davranışıyla ilgili olduğu sonucuna varmışlardır.

Lafuente vd. (2008) Cr, Cu, Pb, Ni, Cd, ve Zn'in hareketliliğini ve adsorpsiyonunu Ap ve Ac horizonlarından alınmış 9 farklı toprağın kolonlarında sabit konsantrasyonda çalışmışlardır. İlave edilen ağır metallerin % 90'ından fazlası toprak kolonunda adsorbe edilmiştir. Metaller arasındaki rekabete bağlı olarak Cr, Cu ve Pb'nin , Ni, Cd ve Zn'den daha yüksek oranda tutulduğunu belirlenmiştir. Cr ve Pb'nin hareketliliği en düşük, Cu ve Zn orta derecede, Ni ve Cd ise yüksek derecede bir hareketliliğe sahip olduğu belirlenmiştir. Elementlerin tutulma oranıyla toprakların minerolojik özellikleri ile ilişkili olduğu belirlenmiştir.

Usman (2008) Toprakların Pb, Cu, Zn, Cd, ve Ni rekabetçi adsorpsiyonu ve seçme sırasının belirlenmesi amacı ile yaptıkları bir çalışmada toprakaların ağır metalleri adsorblama kaliteleri kadyon değişim kapasitesi, kil tipi (smektit) ve kil miktarına bağlı olduğunu belirtmişlerdir.

Jalali ve Khanboluki (2008), farklı toprak örnekleri kullanılarak, kümes hayvanları dışkısı içeren çözülebilir organik maddeler barındıran farklı toprak parçalarındaki Zn, Cd, Pb gibi ağır metallerin yer değiştirme ve yeniden dağılım özelliklerini bir toprak kolonunda incelemiştir. Kirletilmemiş temiz toprağa, sırasıyla 400 mg kg<sup>-1</sup>, 8 mg kg<sup>-1</sup> ve 200 mg kg<sup>-1</sup> seviyelerindeki konsantrasyonu elde etmek için Zn, Cd ve Pb ilave edilmiştir. Ağır metal eklenmiş topraklar kolonlara yeniden paketlenerek saf su, 0.01 M EDTA, 0.01 M CaCl<sub>2</sub> veya kümes hayvanlarının dışkılarının solüsyonlarıyla yıkanmıştır. Daha sonra topraktaki farklı fraksiyonlar (değişebilir-XC, karbonat-carb, organik madde-OM, magnezyum oksit-MNO, demir oksit-FeO, kalınıtı-RES) ekstrakte edilmiştir. EDTA ile yapılan kolon yıkamasında Zn, Cd ve Pb'nin kayda değer bir kısmı ekstrakte edilmiştir. PLE ve CaCl<sub>2</sub> solüsyonlarıyla yapılan yıkama işlemi değişebilirleri, karbonatlar ve organik fraksiyondaki Cd ve Zn miktarını azaltmıştır. Bu solüsyonlar EXC içindeki Pb konsantrasyonunu önemli ölçüde azaltırken; PLE, CaCl<sub>2</sub> 'ye göre daha fazla Pb çözülmesine yol açmıştır. Sonuç olarak kirletilmiş topraklara kümes hayvanları dışkısının ilavesi, Zn, Cd ve Pb fraksiyonlarının dağılımını değiştirmekte ve metallerin hareketliliğini arttırdığını bildirmişlerdir.

Liao ve Selim (2009) Ni ve Cd tek tek ve bir arada adsorpsiyonunu 2 asit ve 1 nötr karakterli toprakta batch adsorpsiyon tekniği ile geniş bir konsantrasyonda incelemiştir. Her iki element te linear olmayan bir adsorpsiyon izotermi göstermiştir. Ni ve Cd adsorpsiyonu katyon değişim kapasitesi ile ilişkili olduğunu bulmuştur. Asit topraklarda Cd adsorpsiyonunu, nötr topraklarda ise Ni adsorpsiyonunu daha yüksek bulmuştur. Denemede Freundlich adsorpsiyon modeli kullanılmıştır. Her iki element için Freundlich dağılım katsayısı K, rekabet eden iyonun konsantrasyonu artığında azalmıştır. Freundlich n parametresi ise 0,50–0,64 arasında dar bir sınırdaki değişim göstermiş ve rekabetçi iyonun konsantrasyonundan etkilenmemiştir.

Lu ve Xu (2009) Cd, Cu, Pb ve Zn'nin 9 farklı toprakta birlikte adsorpsiyonunu incelemiştir. Konsantrasyondaki artışa bağlı olarak Cu ve Pb adsorpsiyonu artarken, Cd ve Cu adsorpsiyonu azalmıştır. Asit topraklarda ağır metaller arasındaki rekabet yüksek bulunmuştur. Dağılım katsayısı incelendiğinde ise en yüksek değerler Pb ve Cu için bulunmuştur. İzotermin alt bölgesinde seçicilik sırası Pb, Cu, Cd, Cu iken orta bölgesinde ise seçicilik sırası Pb, Cu, Zn, Cd şeklinde bulunmuştur. Dağılım katsayısı ve maksimum adsorpsiyon parametreleri toprakların pH ve katyon değişim katsayısı ile ilişkili olduğu belirlenmiştir.

Linhares vd. (2009) Tropik topraklarda Pb ve Cd adsorpsiyonunun belirlenmesi ve toprak özelliklerinin adsorpsiyon parametreleri üzerine etkilerini araştırmışlardır. Maksimum adsorpsiyon kapasite değeri Cd için 136 ve 1,604  $\mu\text{g g}^{-1}$  arasında ve Pb ise 988 ve 1,660  $\text{mg g}^{-1}$  arasında tespit etmişlerdir. Bağlayıcı enerjiler Cd için 0,0036 ve 0,043  $\text{kJ mol}^{-1}$  ve Pb için ise 0,0282 ve 1,0425  $\text{kJ mol}^{-1}$  arasında belirlemişlerdir. Cd adsorpsiyonu ile pH ve Katyon Değişim Kapasitesi; Pb adsorpsiyonu ile ise pH ve Fe-AL oksitlerin seviyeleri ile ilişkilendirmişlerdir.

Serrano vd. (2009) Pb ve Cd tekli ve ikili adsorpsiyonunu yüzey kompleksleşmesi ve iyon değişim reaksiyonlarıyla açıklayabilen elektrostatik olmayan denge modeli geliştirmiştir. Bir optimizasyon projesiyle Cd'in ve Pb'nin yüzey değişim ve iyon değişim reaksiyonlarındaki bağlanma sabitleri deneysel olarak belirlenmiştir. Yapılan modelleme Cd ve Pb'nin düşük pH'larda iyon değişim reaksiyonlarıyla yüksek pH'larda spesifik reaksiyonlarla adsorbe edildiğini göstermiştir. Cd iyon değişim

reaksiyonlarına Pb'ye oranla daha fazla girmiş, Pb ise demirhidroksit yüzeyleri ile spesifik reaksiyonlar vermiştir.

Vega vd. (2009), 20 toprak horizonunda Cu, Pb'nin tek ve çoklu çözeltilerindeki adsorpsiyon ve dezarspsiyon izotermleri arasındaki histerisizli incelemişlerdir. Oluşan histerisin derecesi manganoksit içeriğini ve organik madde içeriğine bağlı olarak değişmiştir.

Shaheen (2009) Mısır ve Yunanistan topraklarında Pb ve Cd'nin adsorpsiyonunu ve hareketliliğinin toprak özellikleriyle ilişkisini incelemiştir. Adsorbe olan ağır metallerin hareketliliği DTPA ekstraksiyonuyla belirlenmiştir. Freundlich yöntemini her iki elementin sorpsiyonunu başarıyla tanımlamıştır. Çalışılmış bütün topraklarda Pb'nin KD katsayısı Cd'den daha yüksek bulunmuştur. Bu da topraklarda Pb'nin Cd'den daha güçlü adsorbe edildiğini göstermektedir. Sabit yüklü killi topraklarda (düşük demir-alimünyum ve manganoksit içerikli) daha yüksek miktarlarda Cd ve Pb adsorbe etmiştir. pH'ya bağlı yükleri yüksek olan benzer seski-oksit içerikli kırmızı topraklarda Cd ve Pb adsorpsiyonu demir ve alimünyumoksitlerin miktarına bağlı olarak değişim göstermiştir. Benzer pH'lı değişken yüklü topraklarda Pb sorbsiyonu önemli oranda değişmezken Cd sorbsiyonu demir ve manganoksitlerin miktarına bağlı olarak önemli oranda değişmiştir. Cd'nin sorbsiyon parametreleri kil içeriği, KDK, organik madde içeriği, toplam serbest ve amorf (kristal yapıda olmayan) alimünyumoksitler, amorf demiroksitler ve kalsiyum karbonat içeriğiyle değişim gösterirken; Pb sorbsiyon parametreleri kil içeriği toplam serbest ve amorf silisyumoksitler ve amorf alimünyumoksitler ile yüksek kolerasyon vermiştir. Cd'nin topraklardaki hareketliliği Pb ile kıyaslandığında daha yüksek bulunmuştur. Hareketli Cd miktarı kireç içeriği ile Pb miktarı ise KDK, kil, organik madde, toplam serbest alimünyumoksitler ve amorf demir-alimünyumoksit içeriğiyle negatif kolerasyon vermiştir.

Mouni vd. (2009) bir Cezayir toprağında Pb ve Zn adsorpsiyonunu reaksiyon süresi, pH, iyonik güç ve metal konsantrasyonunun bir fonksiyonu olarak Batch sorpsiyon tekniği ile incelemiştir. Zn ve Pb adsorbe edilen miktarı artan pH ve başlangıç konsantrasyonu ile arttığını belirlemişlerdir. pH ile artışın sebebini yüzey yüklerinin

değişimine ve adsorbe olan metalin hidrolize olmasına bağlamıştır. Artan iyonik güç adsorpsiyon miktarını azaltmıştır. Çalışma toprağı için Zn'in affinitesinin Pb'den daha düşük olduğu belirlenmiştir.

Groenenberg vd. (2010), Saflaştırılmış humik asitlerin proton ve metal bağlama özelliklerinin ideal olmayan rekabetli adsorpsiyon Donan model (Nica-Donnan) ve model 6'nın başarıyla tanımladığını bildirmişler. Nica-Donnan modelinden tahmin edilen iyon çeşitleri toprak ekstraktlarıyla serbest metal iyon aktivitesi fulvik asit ve humik asit ile kompleksleşmiş iyon aktivitesi ile karşılaştırılmıştır. Çözünebilen organik maddenin ve humik maddelerin bağlama özelliklerindeki değişimler, modeldeki belirsizliklerin potansiyel olarak en önemli kaynağını oluşturduğunu bildirmişlerdir. Toprak çözeltisindeki çözünebilen organik madde, humik fraksiyonların %14- %63 arasındaki kısmını oluşturduğu rapor edilmiştir.

Vega vd. (2010), 20 toprak horizonunda Cd, Cu ve Pb'nin adsorpsiyonuna toprak özelliklerinin etkisini incelemişlerdir. Cd adsorpsiyonu, ortamda Cu ve Pb bulunduğu durumlarda azalmıştır. Cd, Pb ve Cu adsorpsiyonunda değişikliğine neden olan temel toprak parametrelerinin katyon değişim kapasitesi, pH ve manganoksit içeriğı olduğu bildirilmiştir.

Durta vd. (2011) yaptıkları bir çalışmada topraktaki Pb adsorpsiyon ve desorpsiyonuna toprağın fiziksel (kum, silt, kil içeriğı) ve kimyasal (pH, EC, organik karbon, katyon değişim kapasitesi) özellikleri ile karşılaştırmışlardır. Adsorpsiyonun pH ve organik karbon ile pozitif ilişki, desorpsiyonu ise pH ve organik karbon ile negatif bir ilişki tespit etmişlerdir.

Carqueira vd. (2011) Cu ve Cd birlikte ve tek tek adsorpsiyonu ve desorpsiyonu üzerine toprak özelliklerinin etkisini belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada Cu' ın Cd nazaran daha fazla adsorblandığını Cd adsorblanması ve desorblanmasına pH, mangan oksit ve kil içeriklerinin etkili olduğunu belirtmişlerdir.



Sprynskyy vd. (2011) Tarım ve orman toprakları tarafından tekli ve çoklometal çözeltileri içindeki Cu, Cd, Ni, ve Zn nin adsorpsiyonunu araştırdığı bu çalışmada toprakların pH, kil içeriği ve organik madde içeriklerinin adsorpsiyon kapasiteleri üzerine etki ettiklerini belirlemişlerdir.

Wang vd. (2011) Pb adsorpsiyon ve değişen pH, toprak çözeltili oranı ve sıcaklıklarda incelemişlerdir. Pb adsorpsiyonu freundlich ve Langmuir izotermelerinin her ikisinde tanımlandığını bildirmişlerdir. Adsorbe edilen Pb 'nun ancak % 5 ten daha az kısmının desorbe olabildiğini Pb 'nun kimyasalreaksiyonla adsorpsiyonu ile kaolin yüzeylerine bağlanmaları ile ilişkilendirmişlerdir.

### 3. MATERYAL VE METOT

#### 3.1 Materyal

##### 3.1.1 Toprak

Bu çalışmada pH, organik madde, bünye, kil minerali kapsamları birbirinden farklı Türkiye'nin farklı bölgelerinden 46 toprak örneği alınmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda birbirine benzerlik gösteren toprakların çıkartılması ile 28 adet toprak bu çalışmada kullanılmıştır. Aşağıdaki çizelge 3.1'de toprakların alındığı şehirler verilmiştir.

Çizelge 3.1 Toprakların alındığı yerler

| Toprak No | Örneğin alındığı yer |
|-----------|----------------------|
| 1         | IĞDIR                |
| 2         | IĞDIR                |
| 3         | IĞDIR                |
| 4         | IĞDIR                |
| 5         | IĞDIR                |
| 6         | Ardahan              |
| 7         | Ardahan              |
| 8         | Ardahan              |
| 9         | Ardahan              |
| 10        | Ardahan              |
| 11        | Bayburt              |
| 12        | TGSKMA_Ankara        |
| 13        | TGSKMA_Ankara        |
| 14        | TGSKMA_Ankara        |
| 15        | Tatlar_Ankara        |
| 16        | Tatlar_Ankara        |
| 17        | Tatlar_Ankara        |
| 18        | Tatlar_Ankara        |
| 19        | Tatlar_Ankara        |
| 20        | Samsun               |
| 21        | Samsun               |
| 22        | Karacabey_Bursa      |
| 23        | Karacabey_Bursa      |
| 24        | Karacabey_Bursa      |
| 25        | Karacabey_Bursa      |
| 26        | Karacabey_Bursa      |
| 27        | Karacabey_Bursa      |
| 28        | Karacabey_Bursa      |

## 3.2 Metod

### 3.2.1 Toprakların tanımlayıcı özelliklerinin belirlenmesi

Toprakların temel kimyasal ve fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla alınan toprak örnekleri, toprak kurutma tavalarında kurutulmuş ve 2 mm'lik elekten geçirilerek analize hazır hale getirilmiştir.

**Suyla Doymuluk (%):** Richards (1954) tarafından bildirildiği şekilde toprağa doyuncaya kadar saf su ilave edilmek suretiyle tayin edilmiştir

**Toprak Tepkimesi (pH):** Richards (1954) tarafından bildirildiği şekilde hazırlanan saturasyon çamurunda cam elektrotlu pH-metre ile tayin edilmiştir.

**Bünye:** Toprakların kum, silt ve kil fraksiyonları Bouyoucus (1951) tarafından bildirildiği şekilde hidrometre yöntemi kullanılarak yapılmıştır.

**Tuz (%):** Richards (1954) tarafından belirtildiği şekilde EC metre ile saturasyon çamurunda ölçülmüştür.

**KDK (me/100 gr):** Kacar (1995)'e göre sodyum asetatla (1 M, pH 8.2) doyurulmuş topraktaki değişebilir Na' ın molar NH<sub>4</sub> asetatla değiştirilmesiyle elde edilen süzüklerde alevfotmetresiyle belirlenmiştir.

**Kireç (%) :** Çağlar (1949) tarafından belirtildiği şekilde Scheibler kalsimetresi ile tayin edilmiştir

**Organik Madde (%):** Sparks (1996) tarafından bildirildiği şekilde modifiye Walkley – Black yöntemine göre tayin edilmiştir

**Toplam Azot (%):** Kjeldahl yöntemine göre belirlenmiştir (Bremner 1965).

**DTPA ile Ekstrakte Edilebilir Ağır Metaller (Cd, Pb mg kg<sup>-1</sup>):** Lindsay (1978) tarafından bildirildiği gibi 1:2 toprak: çözelti (0,005 M DTPA+ 0,01 M CaCl<sub>2</sub> +0,1 M TEA pH 7,3 ) karışımının 2 saat çalkalanıp filtre edilmesinden elde edilen süzüklerde AAS'de okunmuştur.

**Toplam Ağır Metal Analizleri (Cd, Pb, mg kg<sup>-1</sup>):** Hossner (1996) bildirdiği şekilde H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, HClO<sub>4</sub>, HF gibi güçlü yükseltgen asitlerle toprak örneği yaş yakmaya tabii tutulup, çözeltiliye geçen Cd, Mn AAS'inde okunmuştur.

**Toplam Al, (mg kg<sup>-1</sup> ):** Hossner (1996) HNO<sub>3</sub>/HClO<sub>4</sub> asit ile toprak örneği yaş yakmaya tabii tutulup, çözeltiliye geçen Aliminyum (AL) AAS'inde okunmuştur.

**Toplam Demir, Alüminyum ve Mangane Analizleri (Fe,Al, Mn mg kg<sup>-1</sup>):** Hossner (1996) bildirdiği şekilde H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, HClO<sub>4</sub>, HF gibi güçlü yükseltgen asitlerle toprak örneği yaş yakmaya tabii tutulup, çözeltiliye geçen Fe, Mn AAS'inde okunmuştur.

### 3.2.2 Ağır metallerin (Cd, Pb) adsorpsiyon ve desorpsiyon çalışmaları

2 mm den elenmiş toprak örneklerinden 1 gr tartılarak polypropilen sentrifuj tüplerine konulmuştur. Tüplere 0, 10<sup>-4</sup>, 5 x 10<sup>-4</sup>, 10<sup>-3</sup>, 2,5 x 10<sup>-3</sup>, 5 x 10<sup>-3</sup>, 7,5 x 10<sup>-3</sup>, ve 10<sup>-2</sup> M konsantrasyonlarda Cd, Pb içeren 0.01 M (Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>)<sub>2</sub> çözeltisinden 20 ml ilave edilmiştir. Daha sonra 2 saat süreyle çalkalayıcıda çalkalanacak tüpler 25±2°C sabit sıcaklıkta 24 saat dengeye gelmesi için beklemeden sonra, örnekler 3 000 devir/dakika hızla 10 dakika santrifüjlenerek sıvı faz ayrılmıştır. Sıvı fazın bir kısmında pH ve EC ölçümleri yapıp dökülmüş, geri kalanı ise analiz için 0.1 ml konsantre HNO<sub>3</sub> ilave edildikten sonra analize kadar buzdolabında +4 °C'de saklanmıştır (Alumaa 2001).

Desorpsiyon ölçümleri için toprak yüksek ve düşük konsantrasyonlarda 3 kez 20 ml 0,01 M (Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>)<sub>2</sub> çözeltisi 2 saat çalkalayıcıda çalkalanmış ve 24 saat dengeye gelmesi için beklenilmiş, santrifüjlenerek sıvı faz ayrılmıştır. Elde edilen denge çözeltileri 0,2 µm gözenek çapına sahip Whatman membran filtre kağıdından süzüldü ve süzüklerin Cd ve Pb içerikleri ICP cihazında (Varian 720-ES ICP-OES) aşağıda verilen dalga boylarında belirlenmiştir (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2 Element okumaları için ICP de kullanılan dalga boyları

| Elementler      | Cd      | Pb      |
|-----------------|---------|---------|
| Dalga boyu (nm) | 228.802 | 220.353 |

Sisteme ilave edilen metal iyonlarının ve çözelti fazında kalan metal konsantrasyonlarının bilinmesi ile adsorbe ve desorbe olmuş olan ağır metal miktarları belirlenmiştir (Alumaa 2001).

### 3.2.3 Kil minerolijisinin belirlenmesi

Kil minerallerin türü ve miktarını belirlemek için numune üzerinde organik madde gidermesi % 30'luk hidrojen peroksit (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) ile, kireç gidermesi pH sı 5'e ayarlanmış 1 M sodyum asetatla ve demir oksit gidermesi ise 0,3 M sodyum sitrat ve 0,5 M sodyum bikarbonatla yapılmıştır. Kil fraksiyonlarını ayırdıktan sonra potasyum (K), K-550 °C magnezyum (Mg) ve Mg- Etilen glikol doygunluğu muameleleri ile hazırlanan örnekler (Moore ve Reynolds 1989, Kunze vd. 1996, Whittig ve Allardic 1996) X-Ray diffraction (XRD) XD-3 PERSEE GENERAL, bakır tüplü, 40 kv, 30 mA ve 2θ açısı model ile analiz edilmiştir.

Kil mineralleri X-ışınlarının bazal aralıklarının referans pik cetvellerine göre teşhisedilmiştir (Çizelge 3.3).

Çizelge 3.3 Kil Minerali X-ışınlarının bazal aralıklarının referans pik cetvelleri

| Bazal aralık | Klorit | İllit | Smektit | Kaolinit | Kuvars |
|--------------|--------|-------|---------|----------|--------|
| 001          | 14.1   | 10.1  | 18.1    | 7.11     | 4.25   |
| 002          | 7.07   | 4.99  | 14.1    | 3.55     | 3.32   |
| 003          | 4.74   | 3.33  |         |          |        |
| 004          | 3.54   |       |         |          |        |

Piklerin alt alanı oranlama yöntemi ile minerallerin yarı niceleyici olarak yüzdesi hesaplanmıştır.

### 3.2.4 Langmuir ve Freundlich izoterm yöntemlerinin uygulanması

Ağır metallerin adsorbe edilen miktarları başlangıç konsantrasyonu ile denge konsantrasyonu arasındaki farktan aşağıda verilen denklemlerle hesaplanmıştır.

$$S_i = \frac{(C_0 - C_e) \times V}{W}$$

Denklemlerde  $S_i$  adsorbe edilen miktar ( $\text{mmol kg}^{-1}$ ),  $C_0$  ağır metalin başlangıç konsantrasyonu ( $\text{mmol L}^{-1}$ ),  $C_e$  ağır metalin denge konsantrasyonu ( $\text{mmol L}^{-1}$ ),  $V$  çözelti hacmi,  $W$  ise denemede kullanılan toprağın kuru ağırlığı (g) dir.

Elde edilen verilerin Langmuir ve Freundlich adsorption modellerine uygunlukları istatistiki olarak test edilmiştir. Kullanılan adsorpsiyon modelleri aşağıda verilmiştir.

Linear Langmuir izotermi:

$$C_e/S_i = C_e/b + 1/kb$$

Denklemlerde  $S_i$  birim miktar toprağın adsorbe ettiği ağır metal miktarı ( $\text{mmol kg}^{-1}$ ),  $C_e$  denge konsantrasyonu ( $\text{mmol L}^{-1}$ ),  $k$  ve  $b$  sırasıyla bağlanma enerjisi ve maksimum adsorpsiyonla ilgili katsayıdır.

$S_i = K_f C_e^n$  şeklinde verilen Freundlich izotermi log tabanlı olarak aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\text{Log}(S_i) = \text{Log} K_f + n \text{log} C_e$$

Denklemlerde  $S_i$  birim miktar toprağın adsorbe ettiği ağır metal miktarı ( $\text{mmol kg}^{-1}$ ),  $C_e$  denge konsantrasyonu ( $\text{mmol L}^{-1}$ ),  $K_f$  ve  $n$  ise katsayıdır.

Toprak özelliklerinin ve ağır metallerin aynı anda eşdeğer miktarlarda bulunmasının adsorpsiyona olan etkisi ise korelasyon analizleriyle belirlenmiştir.

### **3.2.5 Verilerin değerlendirilmesi**

Deneme verilerinin Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon modellerine uygunluğu regresyon analiziyle; toprak ve iyon özelliklerinin adsorpsiyona olan etkileri ikili korelasyon analizleriyle; toprak parametrelerinin hangisinin adsorpsiyon etkili olduğunun ise Temel Bileşim Analizleri SPSS paket programı kullanılarak belirlenmiştir.

## 4. BULUGULAR ve TARTIŞMASI

### 4.1 Bulgular

#### 4.1.1 Toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Araştırmada kullanılan toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri çizelge 4.1’de verilmiştir. Toprak örneklerinin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri tanıtıcı istatistikler bakımından değerlendirilmiştir. Buna göre; toprakların kum, silt ve kil içerikleri ortalama sırasıyla % 35,02, %40,57 ve % 24,40 olarak belirlenmiş olup yine sırasıyla % 3,50-88, %7,50-74 ve %2,80-49 arasında değişiklik göstermektedir. Buna göre bu çalışmada kumlu ile killi bünye arasında değişken tektüre sahip topraklar bu çalışmada kullanılmıştır.

Çizelge 4.1 Toprak örneklerinin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

| Top No | % kum | % silt | % kil | Teks. Sınıfı | % O M | me/100gr KDK | pH   | % Kireç | % T.Tuz | Alınabilir (kg/da) |        |
|--------|-------|--------|-------|--------------|-------|--------------|------|---------|---------|--------------------|--------|
|        |       |        |       |              |       |              |      |         |         | (P2O5)             | (K2O)  |
| 1      | 88.00 | 7.50   | 4.50  | S            | 0.50  | 4,62         | 8.30 | 3.75    | 0.00    | 3.26               | 105.60 |
| 2      | 3.50  | 50.00  | 46.50 | SiC          | 0.59  | 35.67        | 9.86 | 14.25   | 0.55    | 10.48              | 239.50 |
| 3      | 26.00 | 42.00  | 32.00 | CL           | 0.25  | 29,33        | 8.51 | 17.25   | 0.42    | 0.85               | 57.70  |
| 4      | 23.00 | 46.50  | 30.50 | CL           | 0.71  | 26.33        | 9.04 | 12.00   | 0.47    | 4.11               | 89.27  |
| 5      | 17.50 | 45.00  | 37.50 | SiCL         | 1.09  | 28.61        | 8.71 | 13.12   | 0.14    | 6.05               | 224.79 |
| 6      | 37.00 | 52.50  | 10.50 | SiL          | 10.44 | 40.41        | 5.01 | 0.01    | 0.01    | 3.18               | 47.71  |
| 7      | 38.50 | 53.50  | 8.00  | SiL          | 6.99  | 30.03        | 5.51 | -       | 0.09    | 4.04               | 102.24 |
| 8      | 31.00 | 43.00  | 26.00 | L            | 6.62  | 35.18        | 6.37 | -       | 0.03    | 3.18               | 174.67 |
| 9      | 33.50 | 48.00  | 18.50 | L            | 6.09  | 27.96        | 5.31 | -       | 0.02    | 2.87               | 130.55 |
| 10     | 28.00 | 44.00  | 28.00 | CL           | 7.57  | 43.10        | 6.14 | -       | 0.05    | 4.66               | 138.13 |
| 11     | 57.50 | 39.50  | 2.80  | SL           | 8.82  | 35.52        | 4.77 | -       | 0.02    | 5.51               | 50.13  |
| 12     | 5.50  | 45.50  | 49.00 | SiC          | 1.54  | 46.70        | 9.91 | 12.70   | 0.14    | 4.78               | 255.00 |
| 13     | 13.00 | 54.00  | 33.00 | SiCL         | 1.27  | 30.26        | 8.85 | 14.40   | 0.12    | 3.10               | 214.00 |
| 14     | 15.00 | 50.00  | 35.00 | SiCL         | 1.95  | 32.10        | 7.86 | 14.60   | 0.11    | 6.85               | 214.00 |
| 15     | 27.00 | 49.00  | 24.00 | SiL          | 0.81  | 22,70        | 7.93 | 13.46   | 0.03    | 10.63              | 149.00 |
| 16     | 17.50 | 57.00  | 25.50 | SiL          | 1.57  | 25.98        | 7.73 | 9.97    | 0.07    | 10.97              | 286.00 |
| 17     | 11.50 | 42.50  | 46.00 | SiC          | 1.16  | 36.79        | 8.39 | 28.49   | 0.04    | 9.31               | 192.00 |
| 18     | 69.00 | 13.00  | 18.00 | SL           | 0.63  | 15.19        | 7.69 | 7.30    | 0.01    | 4.81               | 47.71  |
| 19     | 14.00 | 49.00  | 37.00 | SiCL         | 0.95  | 31.52        | 8.32 | 17.39   | 0.19    | 3.18               | 96.00  |
| 20     | 5.00  | 74.00  | 21.00 | SiL          | 3.92  | 24.01        | 4.85 | -       | 0.03    | 1.22               | -      |
| 21     | 68.00 | 26.00  | 6.00  | SL           | 5.44  | 20.96        | 5.25 | -       | 0.03    | 9.78               | -      |
| 22     | 80.00 | 14.00  | 6.00  | SL           | 1.18  | 9.03         | 6.14 | -       | 0.01    | 9.70               | 60.32  |
| 23     | 39.00 | 39.00  | 22.00 | L            | 2.45  | 20.45        | 7.28 | 4.91    | 0.04    | 22.82              | 174.67 |



Çizelge 4.1 Toprak örneklerinin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri (devam)

|    |       |       |       |      |      |       |      |       |      |       |        |
|----|-------|-------|-------|------|------|-------|------|-------|------|-------|--------|
| 24 | 74.50 | 18.50 | 7.00  | SL   | 0.37 | 13.82 | 8.01 | 5.79  | 0.03 | 5.47  | 36.34  |
| 25 | 63.50 | 25.00 | 11.50 | SL   | 2.61 | 14.95 | 7.00 | 5.61  | 0.03 | 27.24 | 166.02 |
| 26 | 18.00 | 34.50 | 47.50 | C    | 2.67 | 44.18 | 7.45 | 14.21 | 0.06 | 18.01 | 286.14 |
| 27 | 60.00 | 27.00 | 13.00 | SL   | 1.55 | 16.58 | 6.71 | -     | 0.04 | 16.22 | 95.65  |
| 28 | 16.50 | 46.50 | 37.00 | SiCL | 1.86 | 35.72 | 7.46 | 7.72  | 0.06 | 17.31 | 123.18 |

Toprakların pH değerleri en düşük 4,77, en yüksek 9,81 olarak belirlenmiş ve bu değerler arasında değişen topraklar çalışmada ele alınmıştır. Topraklar % organik madde içerikleri açısından değerlendirildiğinde % 2,91 ortalama ile % 0,25 minimum ve % 10,44 maksimum değere sahip olduğu görülmektedir Toprakların kireç içerikleri % 0.01 ile % 28,49 arasında değişiklik göstermekte olup, ortalama %12,05 olarak bulunmuştur.

Asit karakter gösteren topraklar Samsun Bursa-Karacabey yörelerine ait olup alkalilik gösteren topraklar da Igdır yöresine aittir. Ardahan ve Bayburt yöresi mera alanlarından temin edilen toprakların % organik madde içerikleri yüksek olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.2 Toprakların toplam Cd, Pb ile Al, Mn ve Fe oksit kapsamı

| Top<br>No | Toplam %                       |                  |                                | Toplam ppm |       |
|-----------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|------------|-------|
|           | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MnO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Cd         | Pb    |
| 1         | 21.47                          | 0.14             | 11.56                          | 0,90       | 10,30 |
| 2         | 15.70                          | 0.14             | 12.48                          | 0,70       | 8,00  |
| 3         | 16.14                          | 0.03             | 12.37                          | 1,00       | 6,30  |
| 4         | 16.39                          | 0.15             | 12.76                          | 0,90       | 7,10  |
| 5         | 15.54                          | 0.14             | 12.25                          | 0,80       | 6,70  |
| 6         | 24.02                          | 0.08             | 10.95                          | 0,50       | 16,40 |
| 7         | 24.92                          | 0.13             | 10.31                          | 0,80       | 18,90 |
| 8         | 22.96                          | 0.10             | 8.09                           | 0,80       | 18,00 |
| 9         | 26.26                          | 0.02             | 13.81                          | 0,80       | 17,30 |
| 10        | 18.00                          | 0.12             | 10.92                          | 0,80       | 17,00 |
| 11        | 23.58                          | 0.02             | 13.25                          | 0,90       | 42,70 |
| 12        | 15.68                          | 0.11             | 10.39                          | 0,80       | 15,10 |
| 13        | 14.63                          | 0.10             | 10.84                          | 0,80       | 12,80 |
| 14        | 14.62                          | 0.10             | 10.21                          | 0,80       | 13,50 |
| 15        | 18.59                          | 0.01             | 11.34                          | 0,90       | 13,40 |
| 16        | 18.33                          | 0.13             | 10.64                          | 1,00       | 16,60 |
| 17        | 11.96                          | 0.01             | 10.11                          | 0,90       | 13,80 |
| 18        | 20.24                          | 0.11             | 9.02                           | 0,90       | 14,90 |
| 19        | 16.05                          | 0.13             | 11.03                          | 0,90       | 13,40 |
| 20        | 22.31                          | 0.02             | 15.83                          | 0,80       | 46,80 |

Çizelge 4.2 Toprakların toplam Cd, Pb ile Al, Mn ve Fe oksit kapsamları (devam)

|    |       |      |       |      |       |
|----|-------|------|-------|------|-------|
| 21 | 18.47 | 0.14 | 13.03 | 0,80 | 11,40 |
| 22 | 14.55 | 0.08 | 4.82  | 0,80 | 24,90 |
| 23 | 18.23 | 0.15 | 10.85 | 0,80 | 33,70 |
| 24 | 14.69 | 0.12 | 8.76  | 0,80 | 24,50 |
| 25 | 16.23 | 0.13 | 6.39  | 0,70 | 28,00 |
| 26 | 20.06 | 0.15 | 12.59 | 0,80 | 29,10 |
| 27 | 16.49 | 0.01 | 9.31  | 0,90 | 32,70 |
| 28 | 18.39 | 0.14 | 10.92 | 0,90 | 36,70 |

Çizelge 4.2' de çalışmada kullanılan toprakların toplam ağır metal (Cd, Pb) içerikleri ile toprakların seski oksit içeriklerinin tahmin edilmesinde kullanılmak üzere toplam  $Al_2O_3$ ,  $MnO_2$  ve  $Fe_2O_3$  içerikleri verilmiştir.

Toprak örneklerinin Alüminyum oksit içerikleri ortalama % 18.37 olup % 11 ile % 26,27 arasında değişiklik gösterirken; mangan oksit içerikleri ortalama % 0.098 olup % 0.011 ile % 0.151 arasında değişiklik göstermektedir. Toprakların demir oksit içerikleri ise ortalama % 10.89 olup %4,82 ile 15,83 arasında değişiklik göstermektedir.

#### 4.1.2 Kil mineralojisi

Toprak örneklerinde yapılan kil tipi analizlerine ait XRD grafikleri (X ışınlarının difraktogram grafikleri) elde edilmiştir. Elde edilen bu grafiklerdeki pikler çizelge 4.3'te verilen X ışınlarının bazal aralıklarına göre değerlendirilerek kil mineralleri teşhis edilmiştir (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.3 X ışınların 1. 2. 3. ve 4. bazal aralıklarının (d) değeri ( $A^0$ )

| Bazal aralık | Klorit | İllit | Smektit | Kaolinit | Kuars |
|--------------|--------|-------|---------|----------|-------|
| 001          | 14.1   | 10.1  | 18.1    | 7.11     | 4.25  |
| 002          | 7.07   | 4.99  | 14.1    | 3.55     | 3.32  |
| 003          | 4.74   | 3.33  |         |          |       |
| 004          | 3.54   |       |         |          |       |

Piklerin alt alanı oranlama yöntemi ile minerallerin yarı niceleyici olarak yüzdesi hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre örneklerde hakim kil tipleri başatlık durumuna göre sıralanmış ve Çizelge 4.4' de verilmiştir.

Çizelge 4.4 incelendiğinde araştırmada kullanılan toprakların simektit kil minerali içerikleri % 95.32 ile %5,33 arasında, kaolonit kil minerali içerikleri % 64.66 ile % 4.68 miktar arasında ve illit kil minerali içerikleri % 49,59 ile eser miktar arasında değiştiği görülmektedir. Toprakların % 42.86 sında simektit kil minerali, % 35.71 inde kaolonit kil minerali ve %21.43'ünde illit kil minerali başat kil minerali olarak belirlenmiştir. Toprak örneklerinin alındıkları yerlere göre değerlendirildiğinde Iğdır İlinden alınan örneklerin tamamında simektit kil minerali başat kil minerali olarak, Ardağan ilinden

Çizelge 4.4 Kil minerallerin miktarı (%)

| Toprak | Başatlık sırası             | Simektit | İllit | Kaolinit |
|--------|-----------------------------|----------|-------|----------|
|        |                             | %        |       |          |
| 1      | simektit > kaolonit > illit | 41.6     | 21.9  | 36.5     |
| 2      | simektit > kaolonit > illit | 45.38    | 11.46 | 43.17    |
| 3      | simektit > kaolonit         | 95.32    | -     | 4.68     |
| 4      | simektit > kaolonit > illit | 58.16    | 4.19  | 37.65    |
| 5      | simektit > kaolonit > illit | 55.18    | 8.2   | 36.62    |
| 6      | kaolonit>simektit>illit     | 31.61    | 12.44 | 55.95    |
| 7      | kaolonit>illit>simektit     | 16.24    | 32.74 | 51.02    |
| 8      | kaolonit>illit>simektit     | 5.33     | 44.1  | 50.57    |
| 9      | kaolonit>illit>simektit     | 20.45    | 20.9  | 58.65    |
| 10     | kaolonit>illit>simektit     | 5.59     | 43.74 | 50.67    |
| 11     | kaolonit> simektit>illit    | 31.81    | 3.53  | 64.66    |
| 12     | simektit> kaolonit>illit    | 50.65    | 16.44 | 32.91    |
| 13     | simektit> kaolonit>illit    | 56.93    | 13.97 | 29.1     |
| 14     | kaolonit>simektit>illit     | 33.82    | 25.26 | 40.92    |
| 15     | simektit>kaolonit>illit     | 61.48    | 6.03  | 32.49    |
| 16     | simektit>kaolonit>illit     | 47.06    | 19.77 | 33.17    |
| 17     | illit>kaolonit>simektit     | 23.62    | 49.59 | 26.79    |
| 18     | simektit>kaolonit>illit     | 72.35    | 10.13 | 17.52    |
| 19     | kaolonit >simektit>illit    | 45.66    | 6.67  | 47.67    |
| 20     | kaolonit >simektit>illit    | 44.64    | 6.61  | 48.75    |
| 21     | kaolonit>illit>simektit     | 22.98    | 23.06 | 53.96    |
| 22     | illit>kaolonit>simektit     | 11.61    | 58.09 | 30.3     |
| 23     | simektit>illit>kaolonit     | 33.97    | 33.8  | 32.23    |
| 24     | illit> kaolonit >simektit   | 28.45    | 41.33 | 30.22    |
| 25     | illit>kaolonit>simektit     | 20.07    | 58.68 | 21.25    |
| 26     | illit>kaolonit>simektit     | 5.87     | 79.99 | 14.14    |
| 27     | illit>simektit>kaolonit     | 30.72    | 45.82 | 23.46    |
| 28     | simektit>kaolonit>illit     | 48.58    | 25.61 | 25.81    |

alınan örneklerin tamamında başat kil minerali olarak kaolonit, Ankara İlinden alınan örneklerin büyük çoğunluğunda başat kil minerali olarak simektit ve Bursa-Karacabey Tarım İşletmesinden alınan örneklerin tamamında başat kil minerali olarak illit kil minerali olarak bulunmuştur. Genel olarak simektit ve kaolonit kil minerali miktarı toprak örneklerinin genelinde yüksek bulunmuştur. İllit minerallerinin her ikisi de daha düşük oranlarda örneklerin hepsinde tanımlanmıştır.

#### 4.1.3 Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izoterm parametreleri

Çalışmada Langmuir ve Freundlich Adsorpsiyon modelleri uygulanmış ve bu modellerden adsorpsiyon parametreleri olarak b (adsorpsiyon Maksimum), KL (Bağlanma Enerjisi), n (adsorblanma gücü) ve Kf (Bağlanma Enerjisi) değerleri tespit edilmiştir (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5 Langmuir ve Freundlich izoterm modellerine göre adsorpsiyon parametreleri

| Top. No | Langmuir (Cd) |       | Freundlich (Cd) |      | Langmuir (Pb) |         | Freundlich (Pb) |       |
|---------|---------------|-------|-----------------|------|---------------|---------|-----------------|-------|
|         | B             | KL    | n               | Kf   | b             | KL      | n               | Kf    |
| 1       | 2500          | 0,017 | 2,923           | 312  | 2500          | 0,010   | 3,960           | 1101  |
| 2       | 10000         | 0,143 | 4,617           | 2802 | 33333         | 0,043   | 3,760           | 57402 |
| 3       | 5000          | 0,024 | 3,045           | 621  | 20000         | 1,000   | 1,570           | 27990 |
| 4       | 10000         | 0,042 | 2,994           | 631  | 10000         | 0,005   | 5,180           | 11695 |
| 5       | 10000         | 0,059 | 3,044           | 1201 | 100000        | 0,2     | 5,636           | 15896 |
| 6       | 10000         | 0,002 | 1,230           | 29,2 | 25000         | 0,0052  | 1,750           | 447,5 |
| 7       | 10000         | 0,041 | 1,742           | 148  | 25000         | 0,014   | 2,700           | 1841  |
| 8       | 12500         | 0,008 | 1,923           | 363  | 25000         | 0,0308  | 3,201           | 3343  |
| 9       | 5000          | 0,006 | 1,921           | 131  | 25000         | 0,0138  | 2,105           | 1089  |
| 10      | 10000         | 0,038 | 2,157           | 668  | 33333         | 0,06    | 1,910           | 2533  |
| 11      | 5000          | 0,005 | 1,483           | 61,5 | 20000         | 0,009   | 1,840           | 577,3 |
| 12      | 10000         | 0,045 | 2,638           | 944  | 33333         | 0,1     | 2,890           | 5391  |
| 13      | 5000          | 0,037 | 2,439           | 452  | 33333         | 0,043   | 4,040           | 6405  |
| 14      | 5000          | 0,056 | 2,632           | 606  | 33333         | 0,043   | 3,080           | 4220  |
| 15      | 3333          | 0,094 | 3,067           | 504  | 33333         | 0,033   | 3,160           | 3009  |
| 16      | 5000          | 0,059 | 2,519           | 587  | 33333         | 0,05    | 2,990           | 4703  |
| 17      | 5000          | 0,056 | 2,499           | 594  | 50000         | 1,000   | 1,890           | 14904 |
| 18      | 2000          | 0,088 | 3,479           | 401  | 50000         | 500,000 | 3,510           | 15820 |

Çizelge 4.5 Langmuir ve Freundlich izoterm modellerine göre adsorpsiyon parametreleri (devam)

|    |       |       |       |      |       |       |       |       |
|----|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| 19 | 10000 | 0,042 | 2,840 | 821  | 50000 | 0,4   | 1,510 | 5275  |
| 20 | 3333  | 0,013 | 1,986 | 120  | 25000 | 0,011 | 1,740 | 654   |
| 21 | 20000 | 0,002 | 1,160 | 50,4 | 20000 | 0,012 | 1,870 | 757,9 |
| 22 | 14286 | 0,002 | 1,200 | 41,7 | 20000 | 0,006 | 2,240 | 806,9 |
| 23 | 10000 | 0,017 | 0,380 | 430  | 33333 | 0,033 | 0,270 | 430   |
| 24 | 12500 | 0,007 | 1,520 | 200  | 33333 | 0,06  | 2,720 | 4359  |
| 25 | 5000  | 0,043 | 2,490 | 445  | 20000 | 0,063 | 2,490 | 445   |
| 26 | 10000 | 0,036 | 2,120 | 556  | 33333 | 0,15  | 5,620 | 12480 |
| 27 | 10000 | 0,005 | 1,610 | 156  | 10000 | 0,005 | 3,360 | 2570  |
| 28 | 12500 | 0,023 | 1,530 | 387  | 25000 | 0,1   | 2,860 | 4026  |

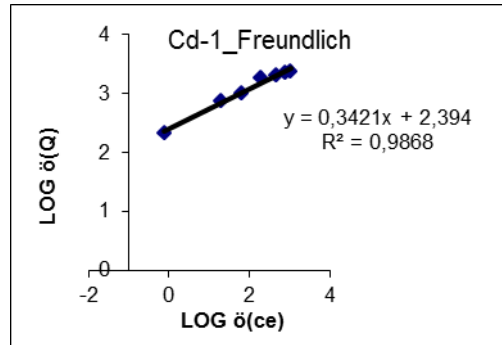
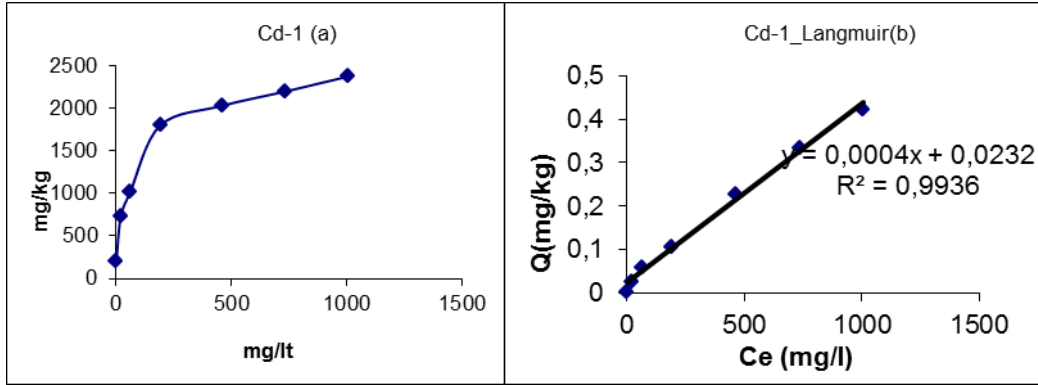
Adsorpsiyon verilerine toprakların toplam Cd ve Pb içerikleri de hesaba alınarak modifiye edilmiş linear veya log tabanlı Freundlich izotermi ile Langmuir izotermi uygulanmıştır. Genelde Freundlich izotermi tüm topraklarda çalışılan elementlerin adsorpsiyonunda başarıyla kullanılmıştır. Ancak Langmuir izotermi bazı topraklarda özellikle Cu adsorpsiyon tanımlamakta yetersiz kalmıştır. Langmuir izoterminin kullanımında düşük konsantrasyonlarda sözkonusu metallerin organik madde ile kompleksler oluşturması, yüksek konsantrasyonlarda özellikle de çökeltme reaksiyonlarının başladığı konsantrasyonlarda yetersiz kaldığı bilinmektedir (Uygur 1998).

Bu nedenle bu modelin parametreleri genelde orta konsantrasyonlardaki verilerden hesaplanmıştır. Ayrıca Langmuir izotermi toprak gibi farklı adsorpsiyon yüzeylerinin bulunduğu adsorbentler için başarıyla kullanılabilmeyle beraber elde edilen regresyon katsayılarında bir azalma gözlenmektedir. Artan konsantrasyonla yüzeyler maksimum adsorpsiyona yaklaştıkça adsorbati daha zayıf olarak tutması yine regresyon katsayısını önemli derecede düşürebilmektedir.

#### 4.1.3.1 Toprakların kadmiyum (Cd) izoterm parametresi

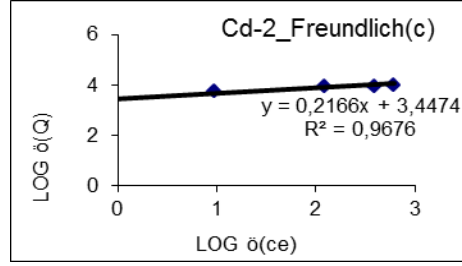
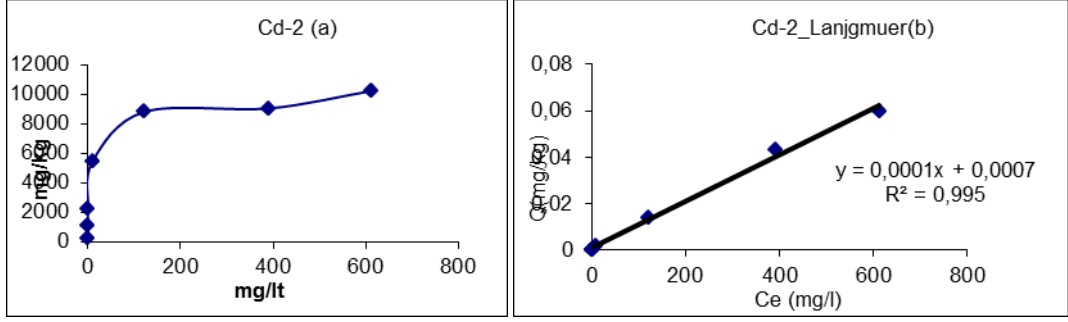
Şekil 4.1 a,b,c'de 1 nolu toprağın Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izotermi verileri verilmiştir. Bu toprakta Kadmiyum (Cd) adsorpsiyon verileri her iki izoterm ile kabul edilebilir seviyelerde tanımlanmıştır. Langmuir izotermi için regresyon katsayısı

$R^2=0,9930$ , Freundlich izotermine göre ise regresyon katsayısı  $R^2=0,9860$  olarak bulunmuş olup ( $R^2>0,7545$ ) bu toprak için Langmuir izotermi daha iyi bir sonuç vermiştir. Langmuir izotermine adsorpsiyon maksimum değerleri  $b=2500 \text{ mg kg}^{-1}$  ve  $k=0,017$  olarak belirlenmiştir. Freundlich izoterm eğrisi incelendiğinde  $n=2,92$  ve  $K_f=311,9$  olarak belirlenmiştir.



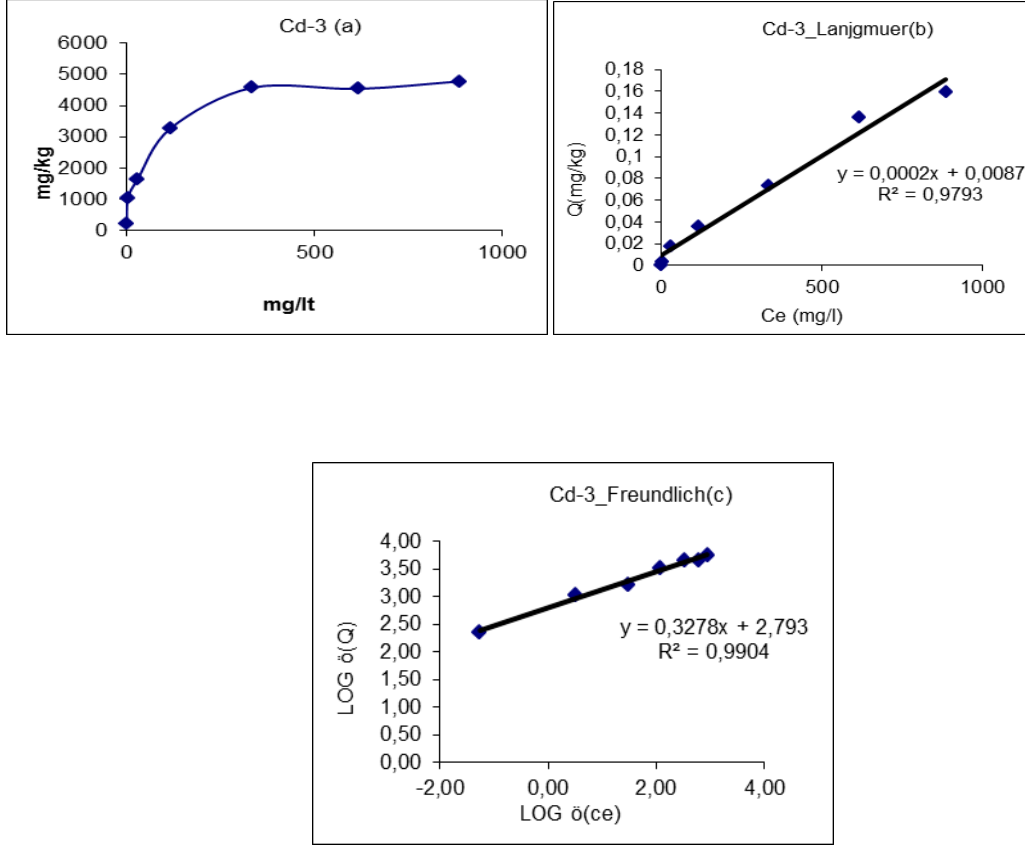
Şekil 4.1 Toprak 1'in a. Freundlich (1-Cd), b. Langmuir(1-Cd) c. Log tabanlı Freundlich(1-Cd) izotermi

Şekil 4.2. a,b,c'de 2 nolu toprağın adsorpsiyon maksimum eğrisi ile Langmuir ve Freundlich izoterm eğrileri verilmiştir. Bu toprakta Kadmium (Cd) adsorpsiyon verileri her iki izoterm ile kabul edilebilir seviyelerde tanımlanmıştır. Langmuir izotermi için regresyon katsayısı  $R^2=0,9950$ , Freundlich izotermine göre ise regresyon katsayısı  $R^2=0,9670$  olarak bulunmuş olup ( $R^2>0,7545$ ) bu toprak için langmuir izotermi daha iyi bir sonuç vermiştir. Langmuir izotermine adsorpsiyon maksimum değerleri  $b=10000 \text{ mg kg}^{-1}$  ve  $k=0,143$  olarak belirlenmiştir. Freundlich izoterm eğrisi incelendiğinde  $n=4,62$  ve  $K_f=2801,6$  olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.2 Toprak 2 in a. Freundlich (2-Cd), b.Langmuir(2-Cd), c. Log tabanlı Freundlich(2-Cd) izotermleri

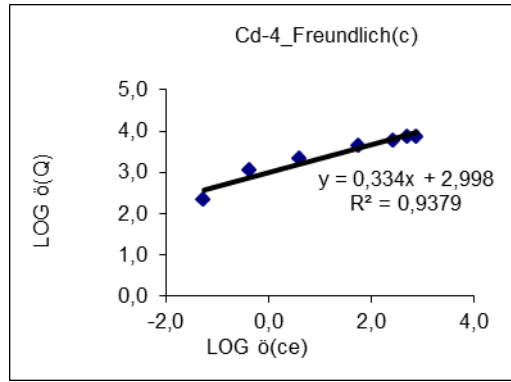
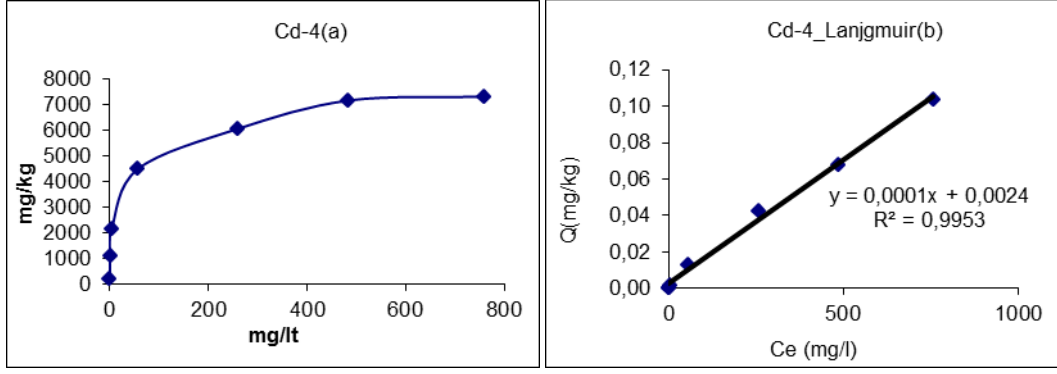
Şekil 4.3. a,b,c'de 3 nolu toprağın adsorpsiyon maksimum eğrisi ile Langmuir ve Freundlich izoterm eğrileri verilmiştir. Bu toprakta Kadmiyum (Cd) adsorpsiyon verileri her iki izoterm ile kabul edilebilir seviyelerde tanımlanmıştır. Langmuir izotermi için regresyon katsayısı  $R^2=0,9790$ , Freundlich izotermine göre ise regresyon katsayısı  $R^2=0,9900$  olarak bulunmuş olup ( $R^2>0,7545$ ) bu toprak için Freundlich izotermi daha iyi bir sonuç vermiştir. Langmuir izotermiminin adsorpsiyon maksimum değerleri  $b=5000 \text{ mg kg}^{-1}$  ve  $k=0,024$  olarak belirlenmiştir. Freundlich izoterm eğrisi incelendiğinde  $n=3,05$  ve  $K_f=620,7$  olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.3 Toprak 3'in a. Freundlich (3-Cd), b. Langmuir(3-Cd), c. Log tabanlı Freundlich(3-Cd) izotermleri

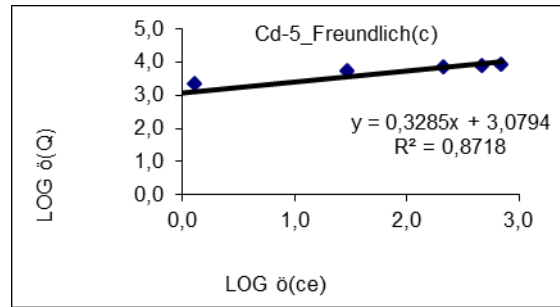
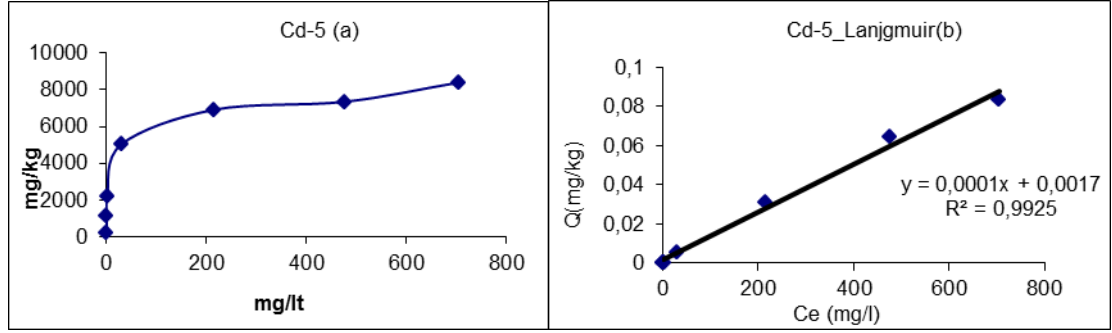
Şekil 4.4. a,b,c'de 4 nolu toprağın adsorpsiyon maksimum eğrisi ile Langmuir ve Freundlich izoterm eğrileri verilmiştir. Bu toprakta Kadmium (Cd) adsorpsiyon verileri her iki izoterm ile kabul edilebilir seviyelerde tanımlanmıştır. Langmuir izotermi için regresyon katsayısı  $R^2=0,9950$ , Freundlich izotermine göre ise regresyon katsayısı  $R^2=0,9370$  olarak bulunmuş olup ( $R^2>0,7545$ ) bu toprak için Langmuir izotermi daha iyi bir sonuç vermiştir. Langmuir izotermine adsorpsiyon maksimum değerleri  $b=10000 \text{ mg kg}^{-1}$  ve  $k=0,042$  olarak belirlenmiştir. Freundlich izoterm eğrisi incelendiğinde  $n=2,99$  ve  $K_f=630,67$  olarak belirlenmiştir.





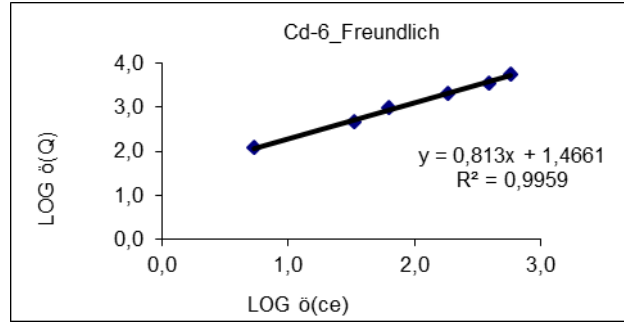
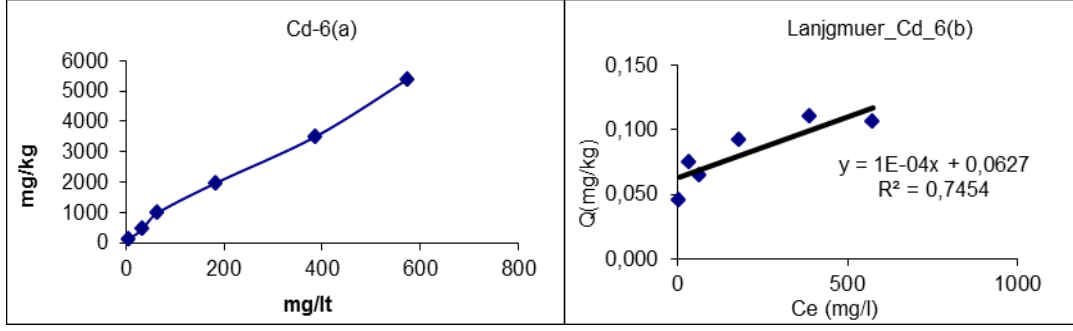
Şekil 4.4 Toprak 4'in a. Freundlich (4-Cd), b. Langmuir(4-Cd), c. Log tabanlı Freundlich(4-Cd) izotermleri

Şekil 4.5. a,b,c'de 5 nolu toprağın adsorpsiyon maksimum eğrisi ile Langmuir ve Freundlich izoterm eğrileri verilmiştir. Bu toprakta Kadmium (Cd) adsorpsiyon verileri her iki izoterm ile kabul edilebilir seviyelerde tanımlanmıştır. Langmuir izotermi için regresyon katsayısı  $R^2=0,9920$ , Freundlich izotermine göre ise regresyon katsayısı  $R^2=0,8710$  olarak bulunmuş olup ( $R^2>0,7545$ ) bu toprak için Langmuir izotermi daha iyi bir sonuç vermiştir. Langmuir izotermine adsorpsiyon maksimum değerleri  $b=10000 \text{ mg kg}^{-1}$  ve  $k=0,588$  olarak belirlenmiştir. Freundlich izoterm eğrisi incelendiğinde  $n=3,08$  ve  $K_f=1200,6$  olarak belirlenmiştir.



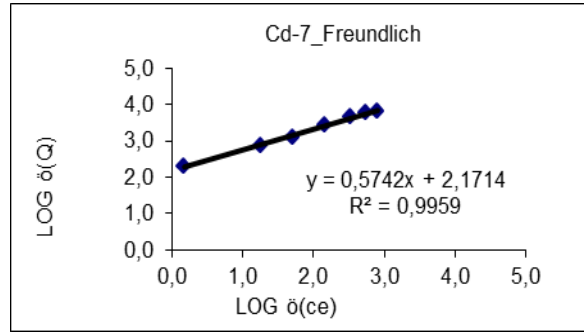
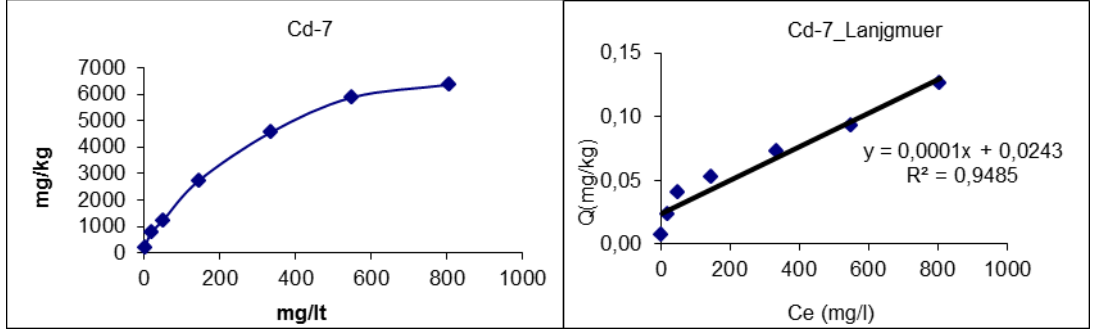
Şekil 4.5 Toprak 5' in a. Freundlich (5-Cd), b. Langmuir(5-Cd), c. Log tabanlı Freundlich(5-Cd) izotermi

Şekil 4.6. a,b,c'de 6 nolu toprağın adsorpsiyon maksimum eğrisi ile Langmuir ve Freundlich izoterm eğrileri verilmiştir. Bu toprakta Kadmium (Cd) adsorpsiyon verileri Freundlich izotermi ile kabul edilebilir seviyelerde tanımlanmıştır. Langmuir izotermi için regresyon katsayısı  $R^2=0,7450$ , Freundlich izotermine göre ise regresyon katsayısı  $R^2=0,9950$  olarak bulunmuş olup ( $R^2>0,7545$ ) bu toprak için Freundlich izotermi iyi bir sonuç vermiştir. Langmuir izotermine adsorpsiyon maksimum değerleri  $b=10000$   $\text{mg kg}^{-1}$  ve  $k=0,0016$  olarak belirlenmiştir. Freundlich izoterm eğrisi incelendiğinde  $n=1,23$  ve  $K_f=29,2$  olarak belirlenmiştir.



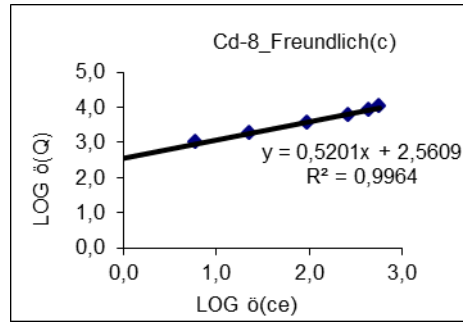
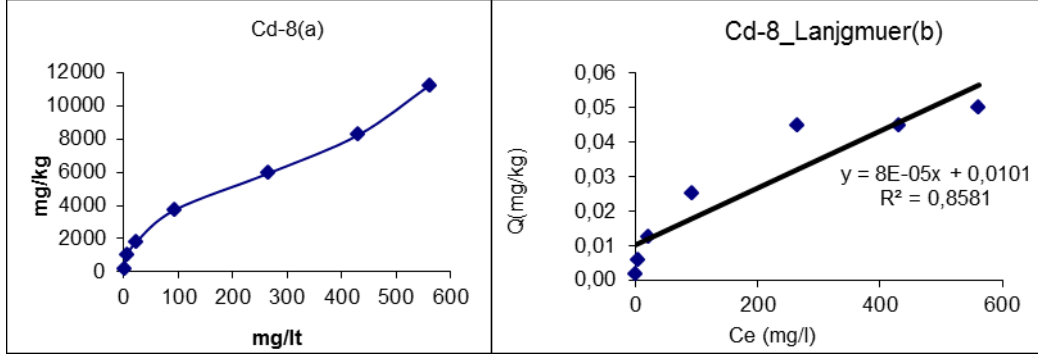
Şekil 4.6 Toprak 6 nın a. Freundlich (6-Cd), b. Langmuir(6-Cd), c. Log tabanlı Freundlich(6-Cd) izotermi

Şekil 4.7. a,b,c'de 7 nolu toprağın adsorpsiyon maksimum eğrisi ile Langmuir ve Freundlich izoterm eğrileri verilmiştir. Bu toprakta Kadmium (Cd) adsorpsiyon verileri her iki izoterm ile kabul edilebilir seviyelerde tanımlanmıştır. Langmuir izotermi için regresyon katsayısı  $R^2=0,9480$ , Freundlich izotermine göre ise regresyon katsayısı  $R^2=0,9950$  olarak bulunmuş olup ( $R^2>0,7545$ ) bu toprak için Freundlich izotermi iyi bir sonuç vermiştir. Langmuir izotermine adsorpsiyon maksimum değerleri  $b=10000$   $\text{mg kg}^{-1}$  ve  $k=0,041$  olarak belirlenmiştir. Freundlich izoterm eğrisi incelendiğinde  $n=1,70$  ve  $K_f=148,4$  olarak belirlenmiştir.



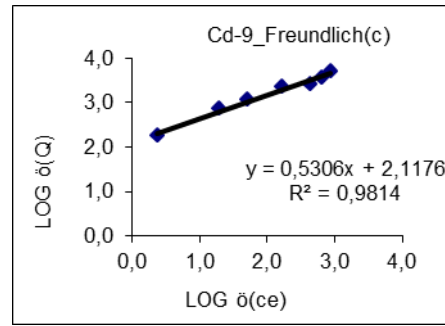
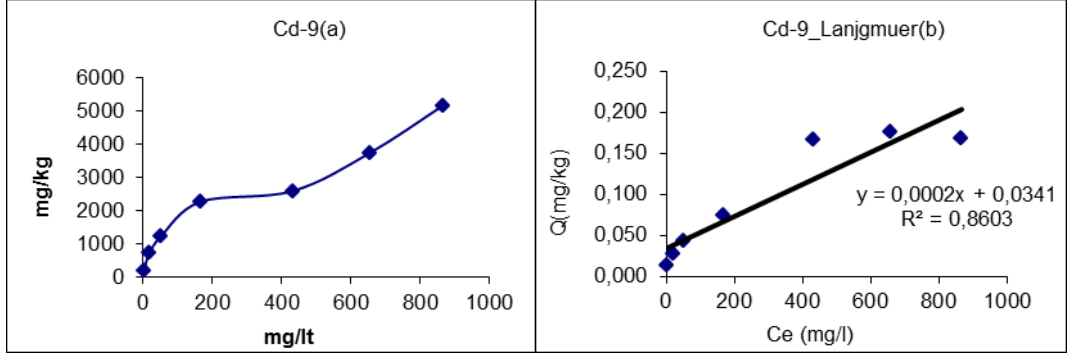
Şekil 4.7 Toprak 7'nin a. Freundlich (7-Cd), b. Langmuir(7-Cd), c. Log tabanlı Freundlich(7-Cd) izotermi

Şekil 4.8. a,b,c'de 8 nolu toprağın adsorpsiyon maksimum eğrisi ile Langmuir ve Freundlich izoterm eğrileri verilmiştir. Bu toprakta Kadmium (Cd) adsorpsiyon verileri Freundlich izotermi ile kabul edilebilir seviyelerde tanımlanmıştır. Langmuir izotermi için regresyon katsayısı  $R^2=0,8580$  Freundlich izotermine göre ise regresyon katsayısı  $R^2=0,9960$  olarak bulunmuş olup ( $R^2>0,7545$ ) bu toprak için Freundlich izotermi daha iyi bir sonuç vermiştir. Langmuir izoterminin adsorpsiyon maksimum değerleri  $b=12500 \text{ mg kg}^{-1}$  ve  $k=0,0079$  olarak belirlenmiştir. Freundlich izoterm eğrisi incelendiğinde  $n=1,92$  ve  $K_f=363,08$  olarak belirlenmiştir.



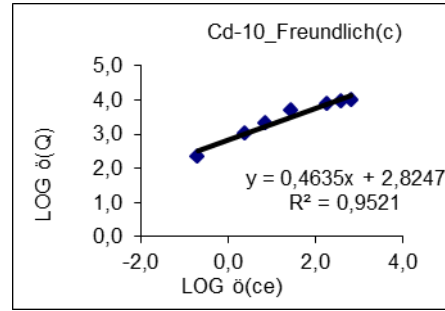
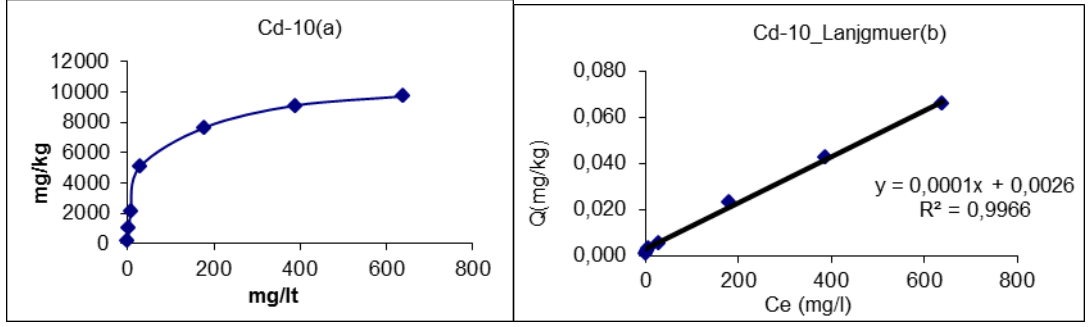
Şekil 4.8 Toprak 8'in a. Freundlich (8-Cd), b. Langmuir(8-Cd), c. Log tabanlı Freundlich(8-Cd) izotermi

Şekil 4.9. a,b,c'de 9 nolu toprağın adsorpsiyon maksimum eğrisi ile Langmuir ve Freundlich izoterm eğrileri verilmiştir. Bu toprakta Kadmium (Cd) adsorpsiyon verileri her iki izoterm ile kabul edilebilir seviyelerde tanımlanmıştır. Langmuir izotermi için regresyon katsayısı  $R^2=0,8600$  Freundlich izotermine göre ise regresyon katsayısı  $R^2=0,9810$  olarak bulunmuş olup ( $R^2>0,7545$ ) bu toprak için Freundlich izotermi daha iyi bir sonuç vermiştir. Langmuir izotermine adsorpsiyon maksimum değerleri  $b=5000 \text{ mg kg}^{-1}$  ve  $k=0,0059$  olarak belirlenmiştir. Freundlich izoterm eğrisi incelendiğinde  $n=1,92$  ve  $K_f=131,10$  olarak belirlenmiştir.



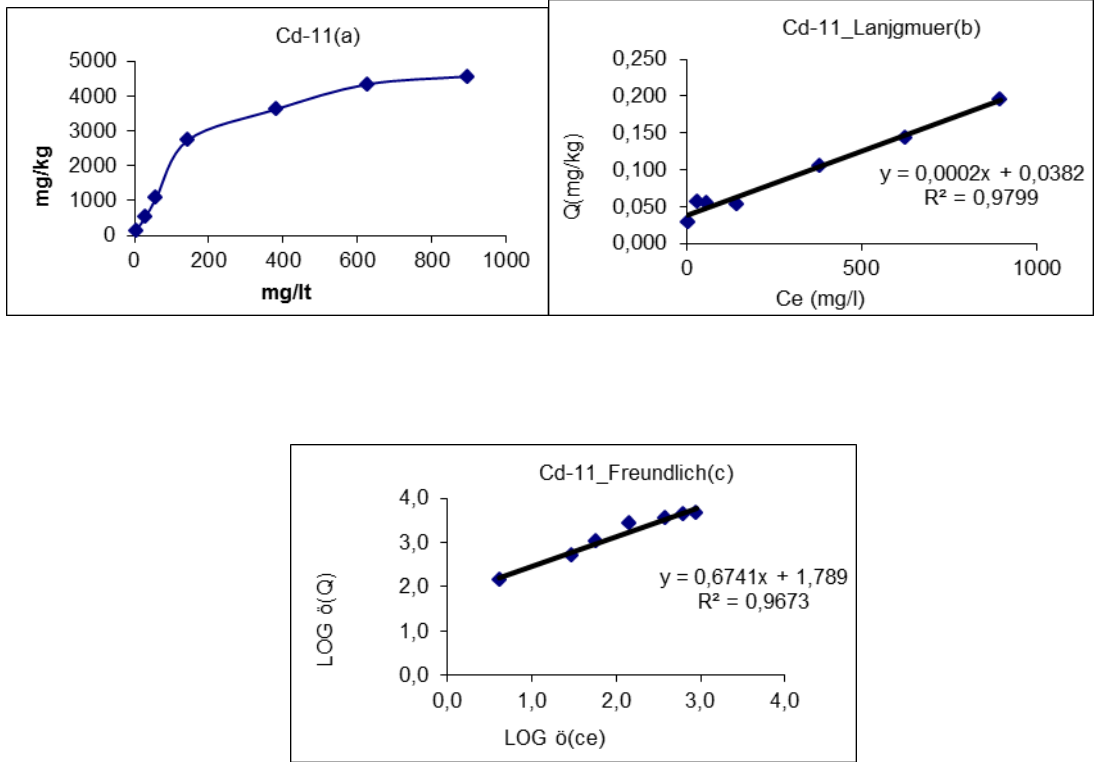
Şekil 4.9 Toprak 9' un a. Freundlich (9-Cd), b. Langmuir(9-Cd), c. Log tabanlı Freundlich(9-Cd) izotermi

Şekil 4.10. a,b,c'de 10 nolu toprağın adsorpsiyon maksimum eğrisi ile Langmuir ve Freundlich izoterm eğrileri verilmiştir. Bu toprakta Kadmium (Cd) adsorpsiyon verileri her iki izoterm ile kabul edilebilir seviyelerde tanımlanmıştır. Langmuir izotermi için regresyon katsayısı  $R^2=0,9960$  Freundlich izortemine göre ise regresyon katsayısı  $R^2=0,9520$  olarak bulunmuş olup ( $R^2>0,7545$ ) bu toprak için Langmuir izortermi daha iyi bir sonuç vermiştir. Langmuir izoterminin adsorpsiyon maksimum değerleri  $b=10000 \text{ mg kg}^{-1}$  ve  $k=0,038$  olarak belirlenmiştir. Freundlich izoterm eğrisi incelendiğinde  $n=2,16$  ve  $K_f=667,9$  olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.10 Toprak 10'un a. Freundlich (10-Cd), b. Langmuir(10-Cd), c. Log tabanlı Freundlich(10-Cd) izotermi

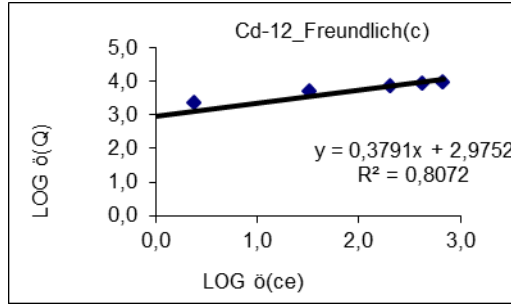
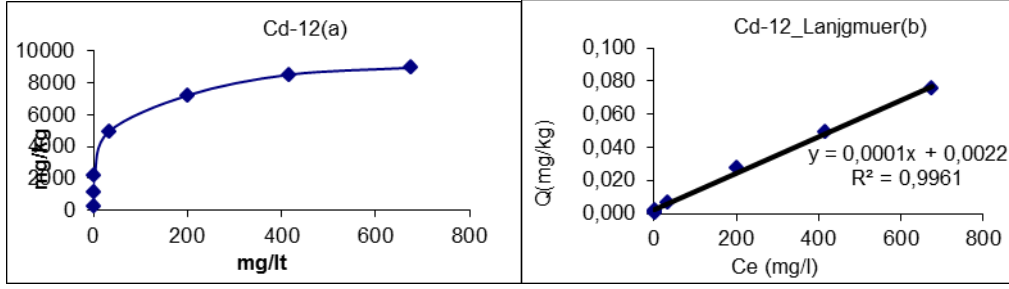
Şekil 4.11. a,b,c'de 11 nolu toprağın adsorpsiyon maksimum eğrisi ile Langmuir ve Freundlich izoterm eğrileri verilmiştir. Bu toprakta Kadmium (Cd) adsorpsiyon verileri her iki izoterm ile kabul edilebilir seviyelerde tanımlanmıştır. Langmuir izotermi için regresyon katsayısı  $R^2=0,9790$  Freundlich izotermine göre ise regresyon katsayısı  $R^2=0,9670$  olarak bulunmuş olup ( $R^2>0,7545$ ) bu toprak için Langmuir izotermi daha iyi bir sonuç vermiştir. Langmuir izotermine adsorpsiyon maksimum değerleri  $b=5000$   $\text{mg kg}^{-1}$  ve  $k=0,005$  olarak belirlenmiştir. Freundlich izoterm eğrisi incelendiğinde  $n=1,48$  ve  $K_f=61,5$  olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.11 Toprak 11'in a. Freundlich (11-Cd), b. Langmuir(11-Cd), c. Log tabanlı Freundlich(11-Cd) izotermi

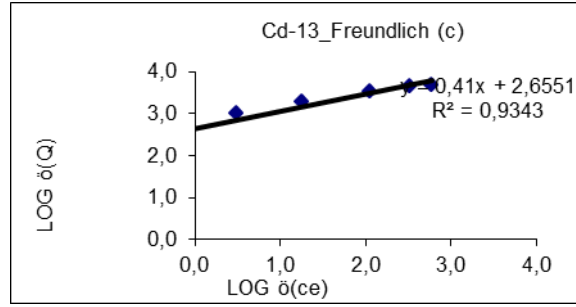
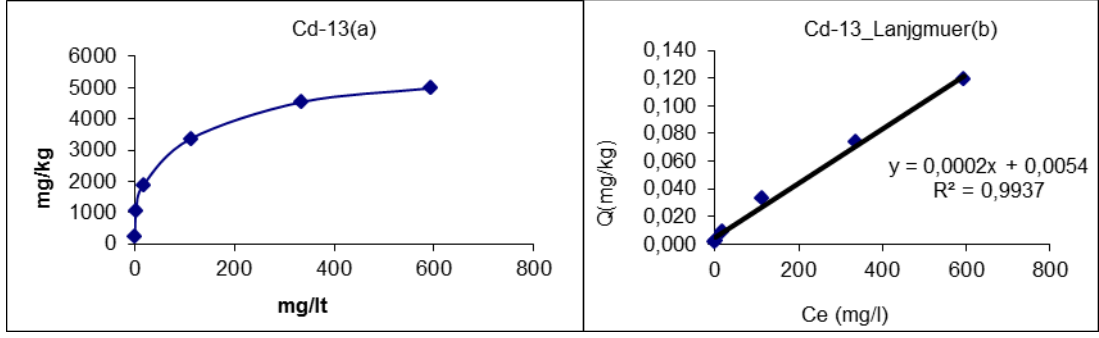
Şekil 4.12. a,b,c'de 12 nolu toprağın adsorpsiyon maksimum eğrisi ile Langmuir ve Freundlich izoterm eğrileri verilmiştir. Bu toprakta Kadmium (Cd) adsorpsiyon verileri her iki izoterm ile kabul edilebilir seviyelerde tanımlanmıştır. Langmuir izotermi için regresyon katsayısı  $R^2=0,9960$  Freundlich izotermine göre ise regresyon katsayısı  $R^2=0,8070$  olarak bulunmuş olup ( $R^2>0,7545$ ) bu toprak için Langmuir izotermi daha iyi bir sonuç vermiştir. Langmuir izotermine adsorpsiyon maksimum değerleri  $b=10000 \text{ mg kg}^{-1}$  ve  $k=0,045$  olarak belirlenmiştir. Freundlich izoterm eğrisi incelendiğinde  $n=2,64$  ve  $K_f=944,5$  olarak belirlenmiştir.





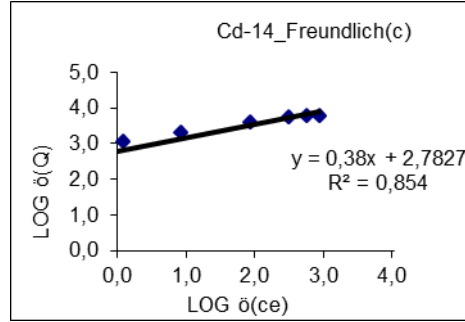
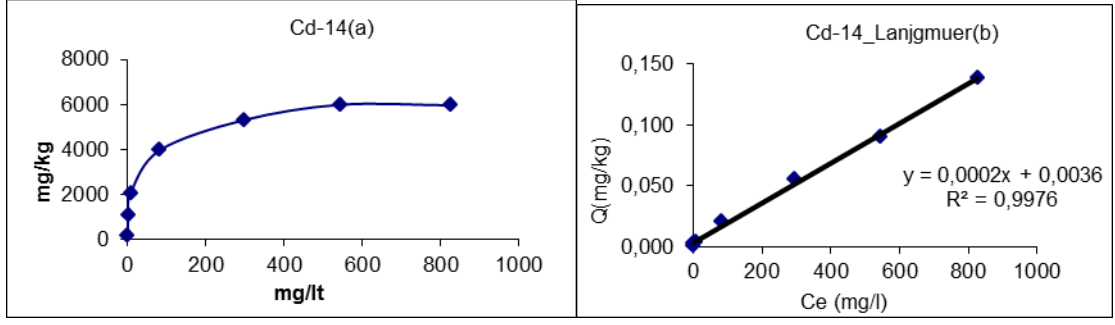
Şekil 4.12 Toprak 12'nin a. Freundlich (12-Cd), b.Langmuir(12-Cd), c. Log tabanlı Freundlich(12-Cd) izotermi

Şekil 4.13 a, b, c'de 13 nolu toprağın adsorpsiyon maksimum eğrisi ile Langmuir ve Freundlich izoterm eğrileri verilmiştir. Bu toprakta Kadmium (Cd) adsorpsiyon verileri her iki izoterm ile kabul edilebilir seviyelerde tanımlanmıştır. Langmuir izotermi için regresyon katsayısı  $R^2=0,9930$  Freundlich izotermine göre ise regresyon katsayısı  $R^2=0,9340$  olarak bulunmuş olup ( $R^2>0,7545$ ) bu toprak için Langmuir izotermi daha iyi bir sonuç vermiştir. Langmuir izotermi için adsorpsiyon maksimum değeri  $b=5000 \text{ mg kg}^{-1}$  ve  $k=0,037$  olarak belirlenmiştir. Freundlich izoterm eğrisi incelendiğinde  $n=2,44$  ve  $K_f=452,0$  olarak belirlenmiştir.



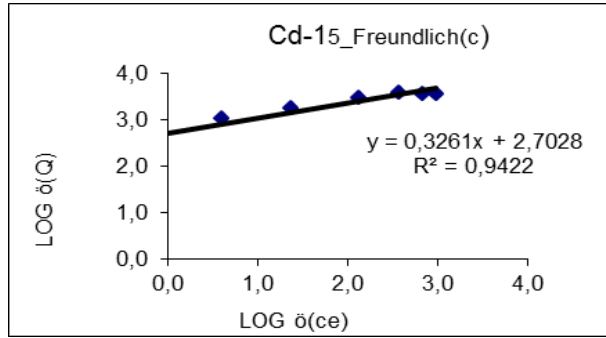
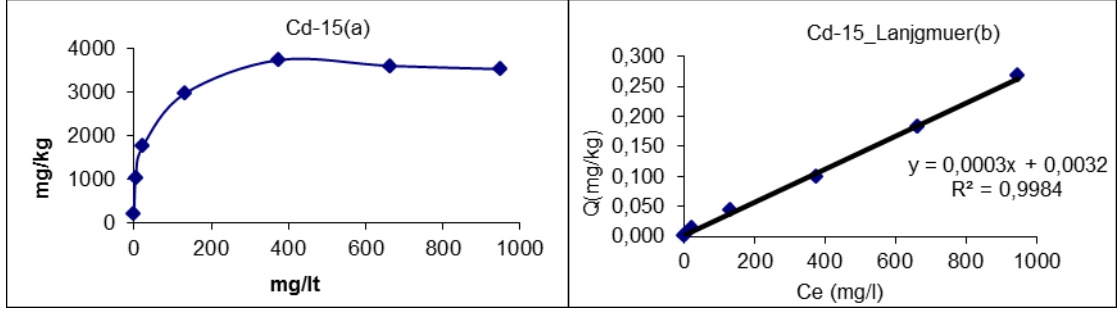
Şekil 4.13 Toprak 13 ün a. Freundlich (13-Cd), b.Langmuir(13-Cd), c. Log tabanlı Freundlich(13-Cd) izotermi

Şekil 4.14. a,b,c'de 14 nolu toprağın adsorpsiyon maksimum eğrisi ile Langmuir ve Freundlich izoterm eğrileri verilmiştir. Bu toprakta Kadmium (Cd) adsorpsiyon verileri her iki izoterm ile kabul edilebilir seviyelerde tanımlanmıştır. Langmuir izotermi için regresyon katsayısı  $R^2=0,9970$  Freundlich izotermine göre ise regresyon katsayısı  $R^2=0,8540$  olarak bulunmuş olup ( $R^2>0,7545$ ) bu toprak için Langmuir izotermi daha iyi bir sonuç vermiştir. Langmuir izotermine adsorpsiyon maksimum değerleri  $b=5000$   $\text{mg kg}^{-1}$  ve  $k=0,056$  olarak belirlenmiştir. Freundlich izoterm eğrisi incelendiğinde  $n=2,63$  ve  $K_f=606,3$  olarak belirlenmiştir.



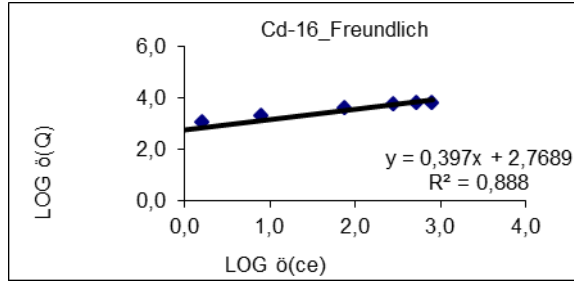
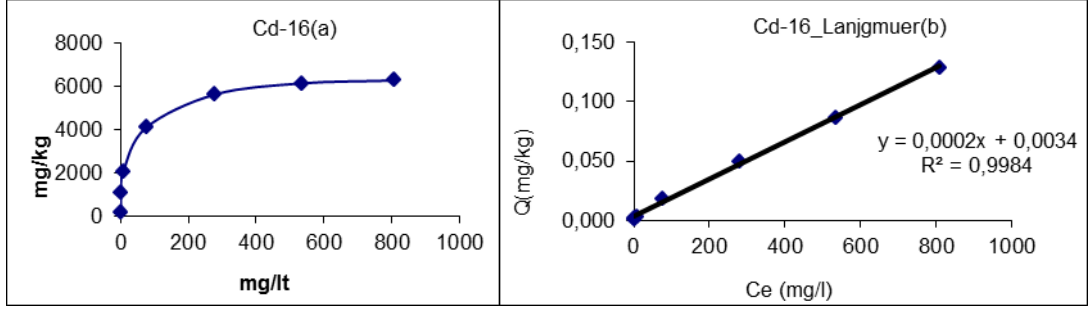
Şekil 4.14 Toprak 14'ün a. Freundlich (14-Cd), b. Langmuir(14-Cd), c. Log tabanlı Freundlich(14-Cd) izotermi

Şekil 4.15. a,b,c'de 15 nolu toprağın adsorpsiyon maksimum eğrisi ile Langmuir ve Freundlich izoterm eğrileri verilmiştir. Bu toprakta Kadmium (Cd) adsorpsiyon verileri her iki izoterm ile kabul edilebilir seviyelerde tanımlanmıştır. Langmuir izotermi için regresyon katsayısı  $R^2=0,9980$  Freundlich izotermine göre ise regresyon katsayısı  $R^2=0,9420$  olarak bulunmuş olup ( $R^2>0,7545$ ) bu toprak için Langmuir izotermi daha iyi bir sonuç vermiştir. Langmuir izotermine adsorpsiyon maksimum değerleri  $b=3333 \text{ mg kg}^{-1}$  ve  $k=0,094$  olarak belirlenmiştir. Freundlich izoterm eğrisi incelendiğinde  $n=3,07$  ve  $K_f=504,4$  olarak belirlenmiştir.



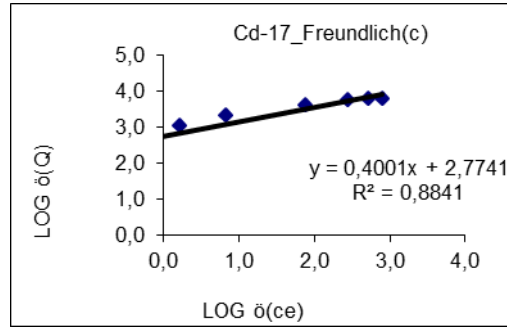
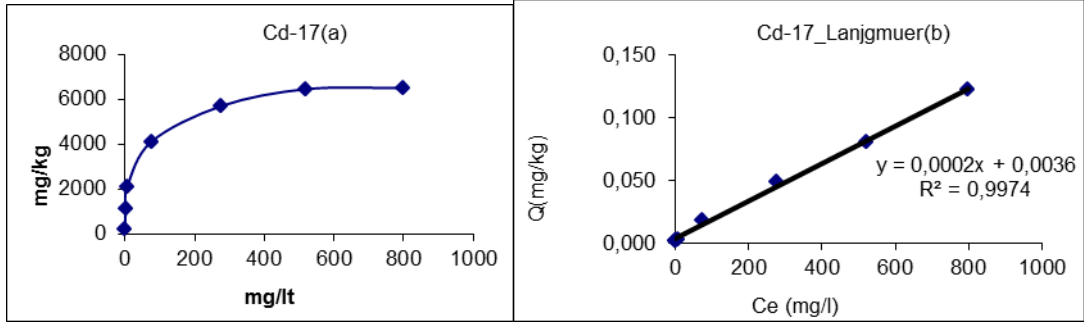
Şekil 4.15 Toprak 15'in a. Freundlich (15-Cd), b. Langmuir(15-Cd), c. Log tabanlı Freundlich(15-Cd) izotermi

Şekil 4.16. a,b,c'de 16 nolu toprağın adsorpsiyon maksimum eğrisi ile Langmuir ve Freundlich izoterm eğrileri verilmiştir. Bu toprakta Kadmium (Cd) adsorpsiyon verileri her iki izoterm ile kabul edilebilir seviyelerde tanımlanmıştır. Langmuir izotermi için regresyon katsayısı  $R^2=0,9980$  Freundlich izortemine göre ise regresyon katsayısı  $R^2=0,8880$  olarak bulunmuş olup ( $R^2>0,7545$ ) bu toprak için Langmuir izortermi daha iyi bir sonuç vermiştir. Langmuir izotermiminin adsorpsiyon maksimum değerleri  $b=5000$   $\text{mg kg}^{-1}$  ve  $k=0,059$  olarak belirlenmiştir. Freundlich izoterm eğrisi incelendiğinde  $n=2,52$  ve  $K_f=587,4$  olarak belirlenmiştir.



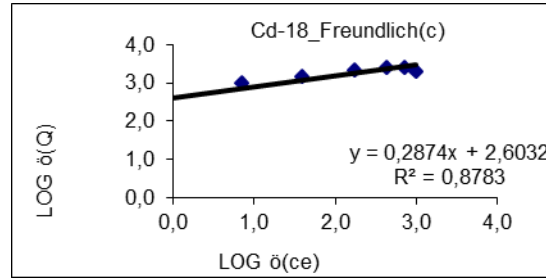
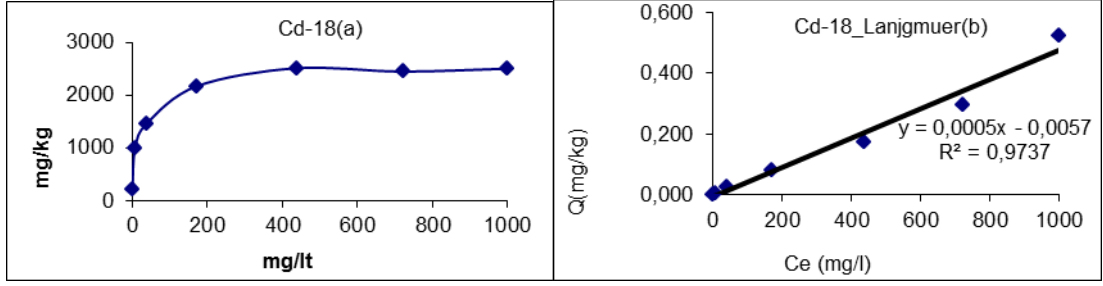
Şekil 4.16 Toprak 16'nın a. Freundlich (16-Cd), b. Langmuir(16-Cd), c. Log tabanlı Freundlich(16-Cd) izotermi

Şekil 4.17. a,b,c'de 17 nolu toprağın adsorpsiyon maksimum eğrisi ile Langmuir ve Freundlich izoterm eğrileri verilmiştir. Bu toprakta Kadmium (Cd) adsorpsiyon verileri her iki izoterm ile kabul edilebilir seviyelerde tanımlanmıştır. Langmuir izotermi için regresyon katsayısı  $R^2=0,9970$  Freundlich izotermine göre ise regresyon katsayısı  $R^2=0,8840$  olarak bulunmuş olup ( $R^2>0,7545$ ) bu toprak için Langmuir izotermi daha iyi bir sonuç vermiştir. Langmuir izotermine adsorpsiyon maksimum değerleri  $b=5000$   $\text{mg kg}^{-1}$  ve  $k=0,056$  olarak belirlenmiştir. Freundlich izoterm eğrisi incelendiğinde  $n=2,50$  ve  $K_f=594,4$  olarak belirlenmiştir.



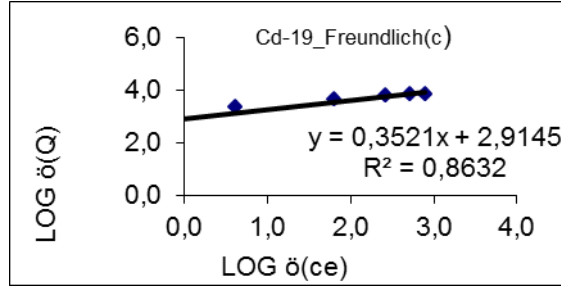
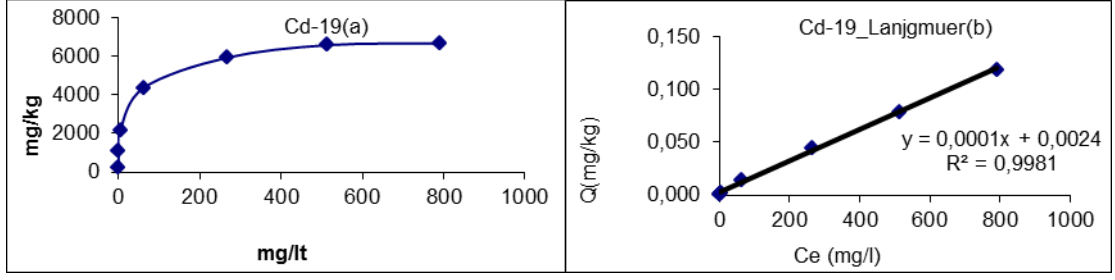
Şekil 4.17 Toprak 17'nin a. Freundlich (17-Cd), b. Langmuir(17-Cd), c. Log tabanlı Freundlich(17-Cd) izotermeleri

Şekil 4.18. a,b,c'de 18 nolu toprağın adsorpsiyon maksimum eğrisi ile Langmuir ve Freundlich izoterm eğrileri verilmiştir. Bu toprakta Kadmium (Cd) adsorpsiyon verileri her iki izoterm ile kabul edilebilir seviyelerde tanımlanmıştır. Langmuir izotermi için regresyon katsayısı  $R^2=0,9730$  Freundlich izortemine göre ise regresyon katsayısı  $R^2=0,8780$  olarak bulunmuş olup ( $R^2>0,7545$ ) bu toprak için Langmuir izortermi daha iyi bir sonuç vermiştir. Langmuir izotermine adsorpsiyon maksimum değerleri  $b=2000$   $\text{mg kg}^{-1}$  ve  $k=0,088$  olarak belirlenmiştir. Freundlich izoterm eğrisi incelendiğinde  $n=3,48$  ve  $K_f=401,1$  olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.18 Toprak 18 in a. Freundlich (18-Cd), b.Langmuir(18-Cd), c. Log tabanlı Freundlich(18-Cd) izotermi

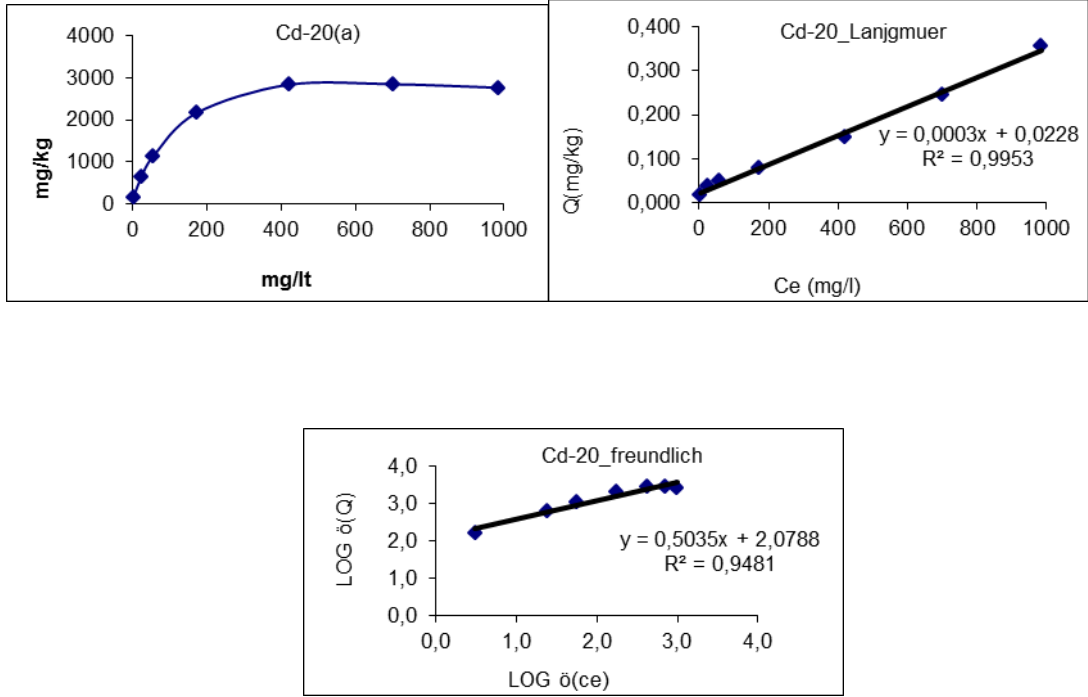
Şekil 4.19. a,b,c'de 19 nolu toprağın adsorpsiyon maksimum eğrisi ile Langmuir ve Freundlich izoterm eğrileri verilmiştir. Bu toprakta Kadmium (Cd) adsorpsiyon verileri her iki izoterm ile kabul edilebilir seviyelerde tanımlanmıştır. Langmuir izotermi için regresyon katsayısı  $R^2=0,9980$  Freundlich izotermine göre ise regresyon katsayısı  $R^2=0,8630$  olarak bulunmuş olup ( $R^2>0,7545$ ) bu toprak için Langmuir izotermi daha iyi bir sonuç vermiştir. Langmuir izotermine adsorpsiyon maksimum değerleri  $b=10000 \text{ mg kg}^{-1}$  ve  $k=0,042$  olarak belirlenmiştir. Freundlich izoterm eğrisi incelendiğinde  $n=2,84$  ve  $K_f=821,3$  olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.19 Toprak 19' un a. Freundlich (19-Cd), b. Langmuir(19-Cd), c. Log tabanlı Freundlich(19-Cd) izotermi

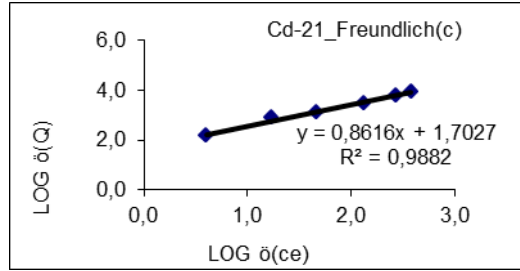
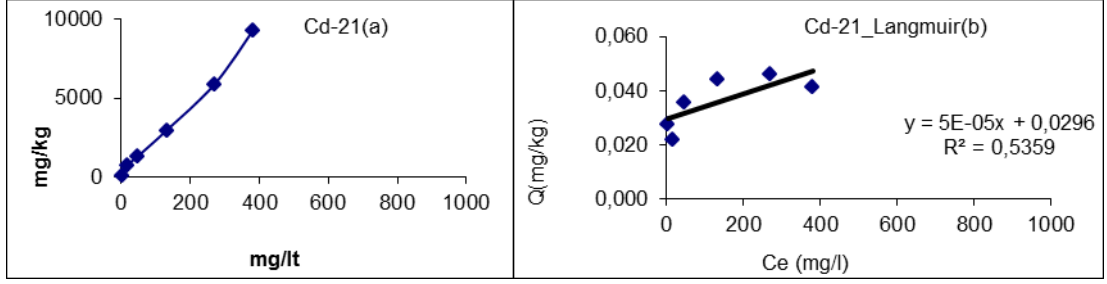
Şekil 4.20. a,b,c'de 20 nolu toprağın adsorpsiyon maksimum eğrisi ile Langmuir ve Freundlich izoterm eğrileri verilmiştir. Bu toprakta Kadmium (Cd) adsorpsiyon verileri her iki izoterm ile kabul edilebilir seviyelerde tanımlanmıştır. Langmuir izotermi için regresyon katsayısı  $R^2=0,9950$  Freundlich izotermine göre ise regresyon katsayısı  $R^2=0,9480$  olarak bulunmuş olup ( $R^2>0,7545$ ) bu toprak için Langmuir izotermi daha iyi bir sonuç vermiştir. Langmuir izotermine adsorpsiyon maksimum değerleri  $b=3333 \text{ mg kg}^{-1}$  ve  $k=0,013$  olarak belirlenmiştir. Freundlich izoterm eğrisi incelendiğinde  $n=1,99$  ve  $K_f=119,9$  olarak belirlenmiştir.





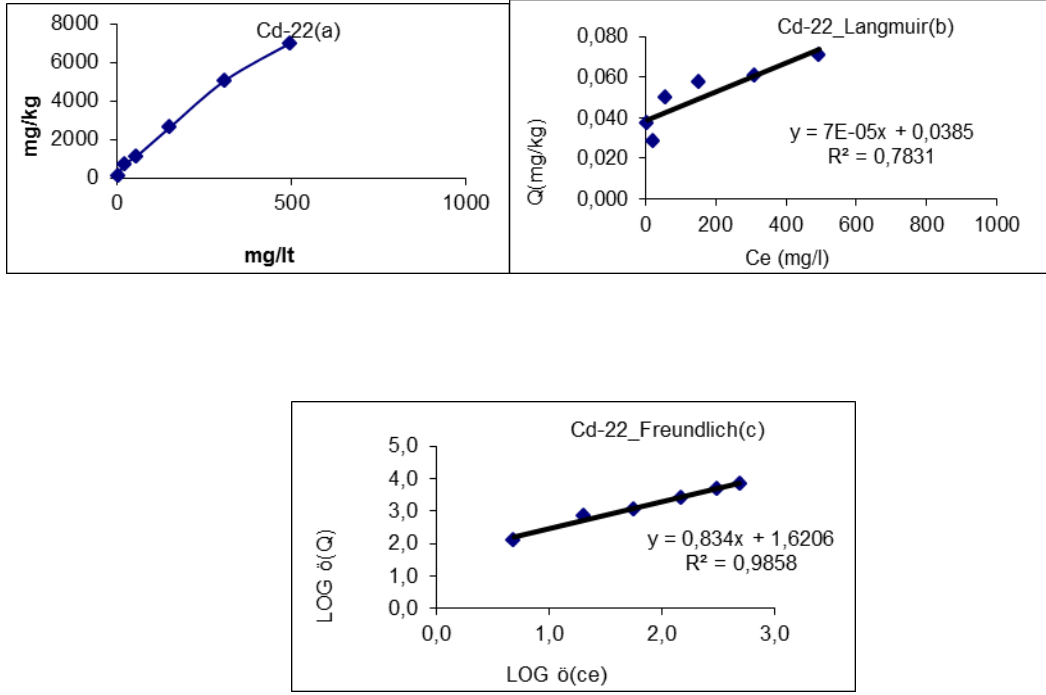
Şekil 4.20 Toprak 20'nin a. Freundlich (20-Cd), b. Langmuir(20-Cd), c. Log tabanlı Freundlich(20-Cd) izotermi

Şekil 4.21. a,b,c'de 21 nolu toprağın adsorpsiyon maksimum eğrisi ile Langmuir ve Freundlich izoterm eğrileri verilmiştir. Bu toprakta Kadmium (Cd) adsorpsiyon verileri Freundlich izotermi ile kabul edilebilir seviyelerde tanımlanmıştır. Langmuir izotermi için regresyon katsayısı  $R^2=0,5359$  Freundlich izotermine göre ise regresyon katsayısı  $R^2=0,9880$  olarak bulunmuş olup ( $R^2>0,7545$ ) bu toprak için Freundlich izotermi daha iyi bir sonuç vermiştir. Langmuir izotermine adsorpsiyon maksimum değerleri  $b=20000 \text{ mg kg}^{-1}$  ve  $k=0,002$  olarak belirlenmiştir. Freundlich izoterm eğrisi incelendiğinde  $n=1,16$  ve  $K_f=50,4$  olarak belirlenmiştir.



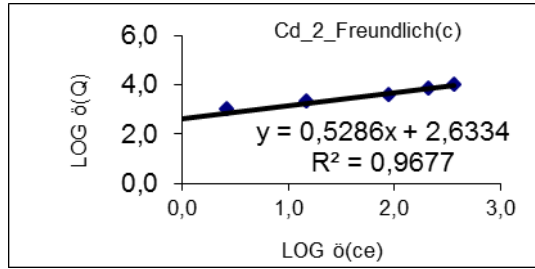
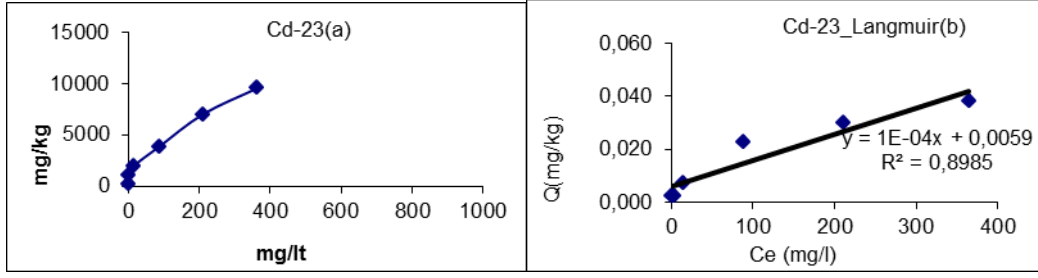
Şekil 4.21 Toprak 21'in a. Freundlich (21-Cd), b. Langmuir(21-Cd), c. Log tabanlı Freundlich(21-Cd) izotermi

Şekil 4.22. a,b,c'de 22 nolu toprağın adsorpsiyon maksimum eğrisi ile Langmuir ve Freundlich izoterm eğrileri verilmiştir. Bu toprakta Kadmium (Cd) adsorpsiyon verileri her iki izoterm ile kabul edilebilir seviyelerde tanımlanmıştır. Langmuir izotermi için regresyon katsayısı  $R^2=0,7830$  Freundlich izortemine göre ise regresyon katsayısı  $R^2=0,9850$  olarak bulunmuş olup ( $R^2>0,7545$ ) bu toprak için Freundlich izortermi daha iyi bir sonuç vermiştir. Langmuir izoterminin adsorpsiyon maksimum değerleri  $b=14285 \text{ mg kg}^{-1}$  ve  $k=0,002$  olarak belirlenmiştir. Freundlich izoterm eğrisi incelendiğinde  $n=1,20$  ve  $K_f=41,7$  olarak belirlenmiştir.



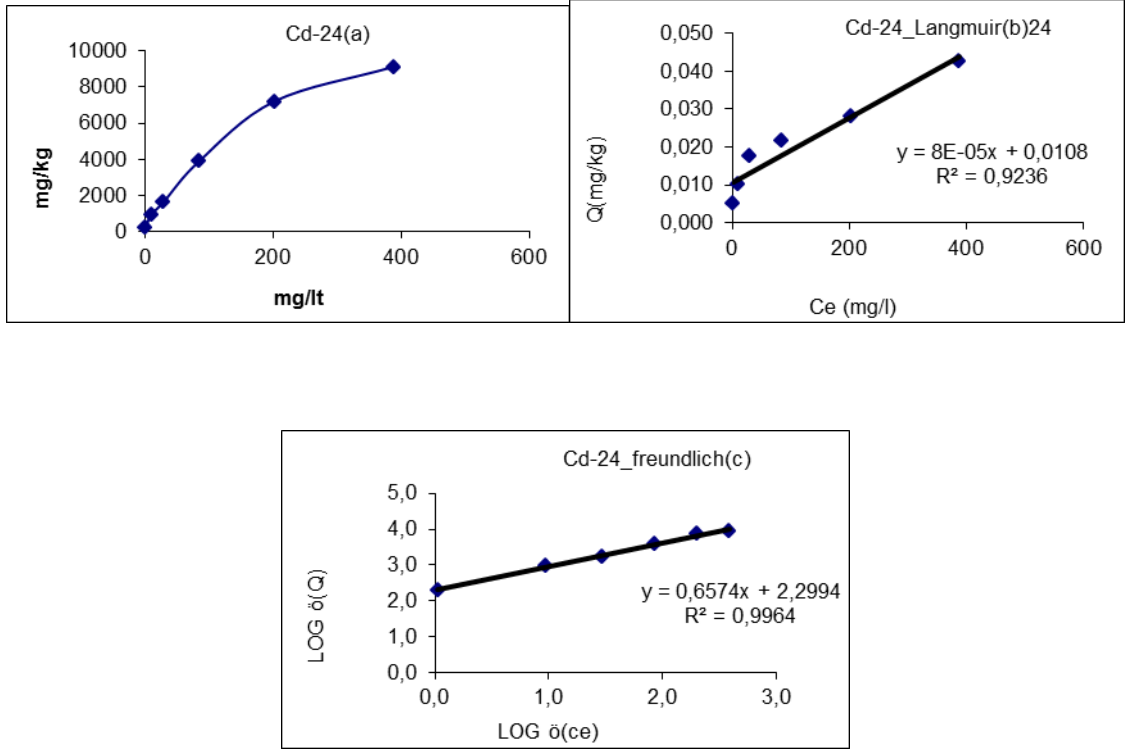
Şekil 4.22 Toprak 22 nin a. Freundlich (22-Cd), b. Langmuir(22-Cd), c. Log tabanlı Freundlich(22-Cd) izotermi

Şekil 4.23. a,b,c'de 23 nolu toprağın adsorpsiyon maksimum eğrisi ile Langmuir ve Freundlich izoterm eğrileri verilmiştir. Bu toprakta Kadmium (Cd) adsorpsiyon verileri her iki izoterm ile kabul edilebilir seviyelerde tanımlanmıştır. Langmuir izotermi için regresyon katsayısı  $R^2=0,8980$  Freundlich izortemine göre ise regresyon katsayısı  $R^2=0,9670$  olarak bulunmuş olup ( $R^2>0,7545$ ) bu toprak için Freundlich izortermi daha iyi bir sonuç vermiştir. Langmuir izoterminin adsorpsiyon maksimum değerleri  $b=10000 \text{ mg kg}^{-1}$  ve  $k=0,017$  olarak belirlenmiştir. Freundlich izoterm eğrisi incelendiğinde  $n=0,38$  ve  $K_f=429,9$  olarak belirlenmiştir.



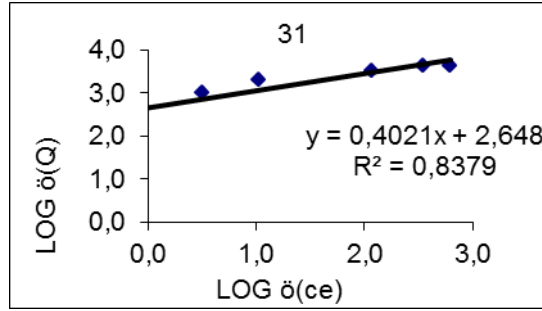
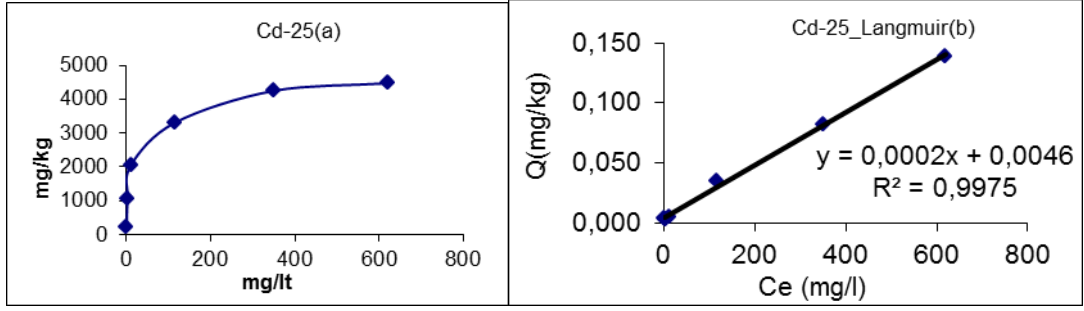
Şekil 4.23 Toprak 23'ün a. Freundlich (23-Cd), b. Langmuir(23-Cd), c. Log tabanlı Freundlich(23-Cd) izotermi

Şekil 4.24. a,b,c'de 24 nolu toprağın adsorpsiyon maksimum eğrisi ile Langmuir ve Freundlich izoterm eğrileri verilmiştir. Bu toprakta Kadmium (Cd) adsorpsiyon verileri her iki izoterm ile kabul edilebilir seviyelerde tanımlanmıştır. Langmuir izotermi için regresyon katsayısı  $R^2=0,9236$  Freundlich izotermine göre ise regresyon katsayısı  $R^2=0,9964$  olarak bulunmuş olup ( $R^2>0,7545$ ) bu toprak için Freundlich izotermi daha iyi bir sonuç vermiştir. Langmuir izoterminin adsorpsiyon maksimum değerleri  $b=12500 \text{ mg kg}^{-1}$  ve  $k=0,007$  olarak belirlenmiştir. Freundlich izoterm eğrisi incelendiğinde  $n=1.52$  ve  $K_f=199,3$  olarak belirlenmiştir.



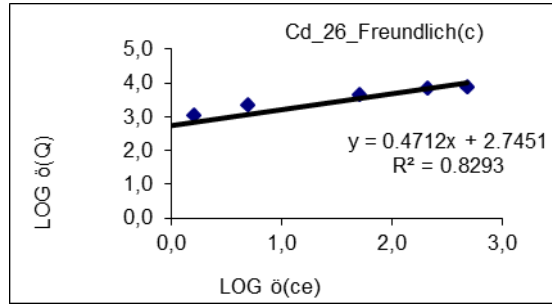
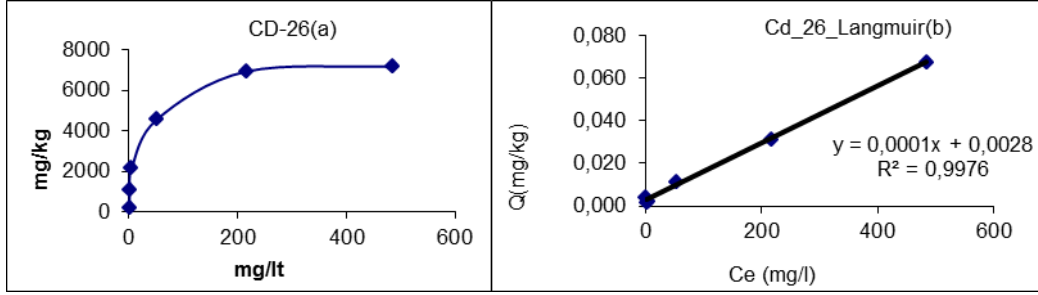
Şekil 4.24 Toprak 24'ün a. Freundlich (24-Cd), b. Langmuir(24-Cd), c. Log tabanlı Freundlich(24-Cd) izotermi

Şekil 4.25. a,b,c'de 25 nolu toprağın adsorpsiyon maksimum eğrisi ile Langmuir ve Freundlich izoterm eğrileri verilmiştir. Bu toprakta Kadmium (Cd) adsorpsiyon verileri her iki izoterm ile kabul edilebilir seviyelerde tanımlanmıştır. Langmuir izotermi için regresyon katsayısı  $R^2=0,9973$  Freundlich izotermine göre ise regresyon katsayısı  $R^2=0,8379$  olarak bulunmuş olup ( $R^2>0,7545$ ) bu toprak için Langmuir izotermi daha iyi bir sonuç vermiştir. Langmuir izotermi için adsorpsiyon maksimum değeri  $b=5000 \text{ mg kg}^{-1}$  ve  $k=0,043$  olarak belirlenmiştir. Freundlich izoterm eğrisi incelendiğinde  $n=2.49$  ve  $K_f=444,6$  olarak belirlenmiştir.



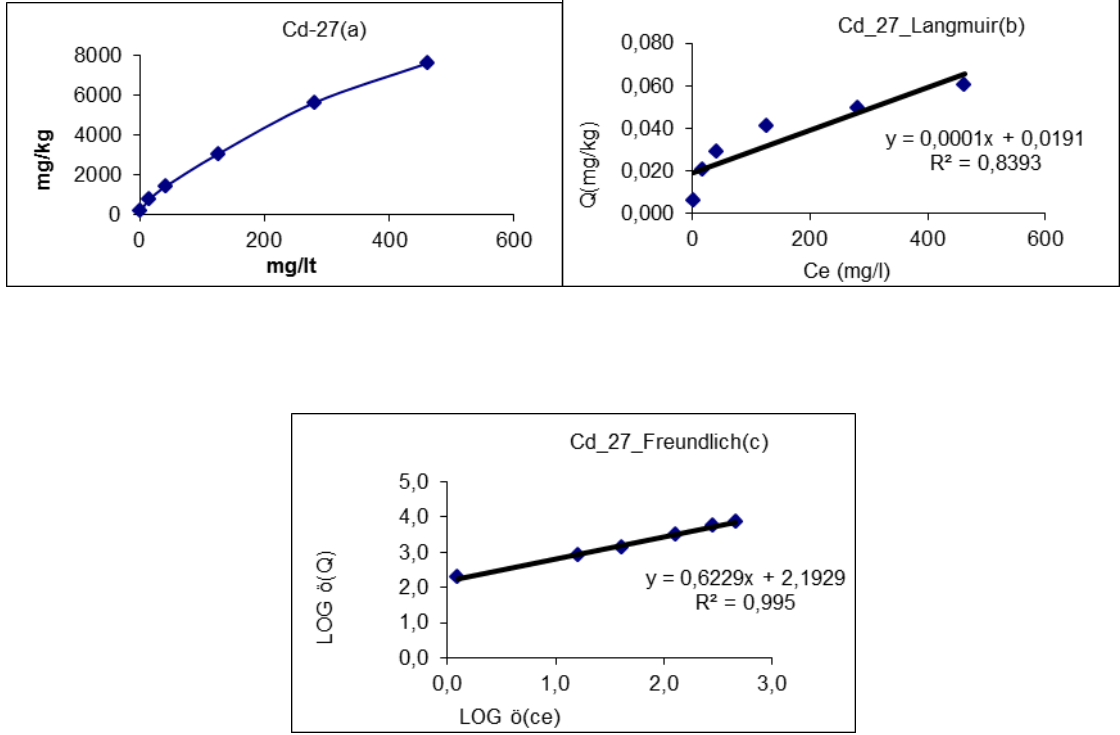
Şekil 4.25 Toprak 25' in a.Freundlich (25-Cd), b. Langmuir(25-Cd) c. Log tabanlı Freundlich(25-Cd) izotermi

Şekil 4.26. a,b,c'de 26 nolu toprağın adsorpsiyon maksimum eğrisi ile Langmuir ve Freundlich izoterm eğrileri verilmiştir. Bu toprakta Kadmium (Cd) adsorpsiyon verileri her iki izoterm ile kabul edilebilir seviyelerde tanımlanmıştır. Langmuir izotermi için regresyon katsayısı  $R^2=0,9976$  Freundlich izotermine göre ise regresyon katsayısı  $R^2=0,8293$  olarak bulunmuş olup ( $R^2>0,7545$ ) bu toprak için Langmuir izotermi daha iyi bir sonuç vermiştir. Langmuir izotermine adsorpsiyon maksimum değerleri  $b=10000 \text{ mg kg}^{-1}$  ve  $k=0,036$  olarak belirlenmiştir. Freundlich izoterm eğrisi incelendiğinde  $n=2,12$  ve  $K_f=556,0$  olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.26 Toprak 26 nın a. Freundlich (26-Cd), b. Langmuir(26-Cd), c. Log tabanlı Freundlich(26-Cd) izotermi

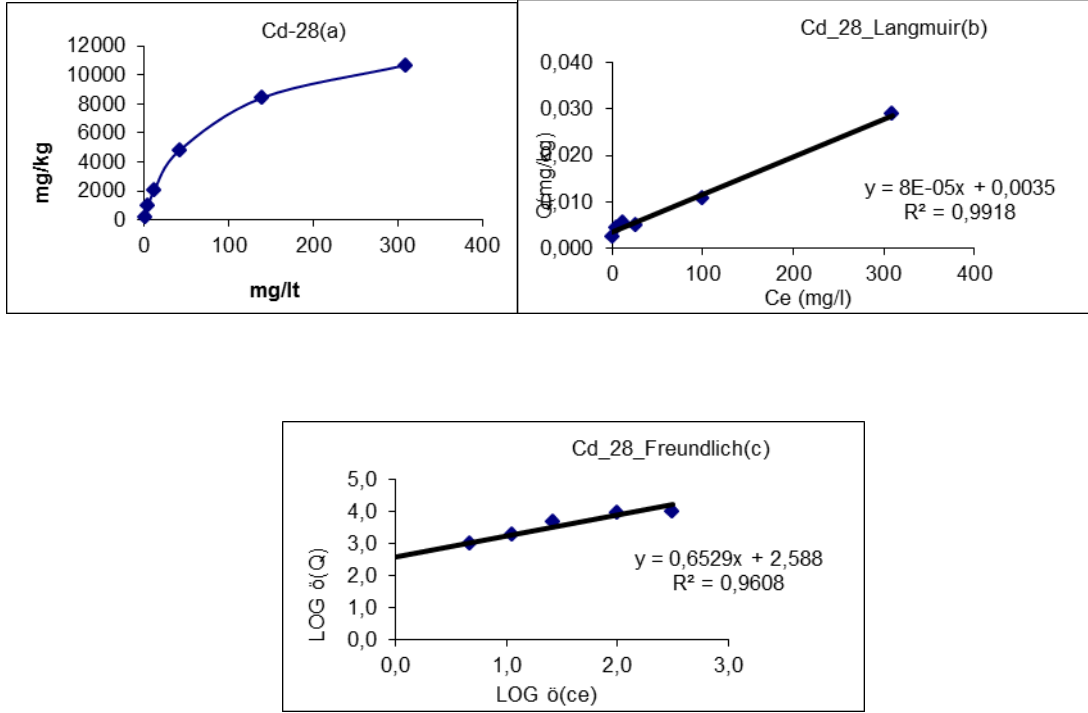
Şekil 4.27. a,b,c'de 27 nolu toprağın adsorpsiyon maksimum eğrisi ile Langmuir ve Freundlich izoterm eğrileri verilmiştir. Bu toprakta Kadmium (Cd) adsorpsiyon verileri her iki izoterm ile kabul edilebilir seviyelerde tanımlanmıştır. Langmuir izotermi için regresyon katsayısı  $R^2=0,8393$  Freundlich izotermine göre ise regresyon katsayısı  $R^2=0,9950$  olarak bulunmuş olup ( $R^2>0,7545$ ) bu toprak için Freundlich izotermi daha iyi bir sonuç vermiştir. Langmuir izotermi için adsorpsiyon maksimum değerleri  $b=10000 \text{ mg kg}^{-1}$  ve  $k=0,0005$  olarak belirlenmiştir. Freundlich izoterm eğrisi incelendiğinde  $n=1,61$  ve  $K_f=155,9$  olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.27 Toprak 27'nin a. Freundlich (27-Cd), b. Langmuir(27-Cd) c. Log tabanlı Freundlich(27-Cd) izotermi

Şekil 4.28. a,b,c'de 28 nolu toprağın adsorpsiyon maksimum eğrisi ile Langmuir ve Freundlich izoterm eğrileri verilmiştir. Bu toprakta Kadmium (Cd) adsorpsiyon verileri her iki izoterm ile kabul edilebilir seviyelerde tanımlanmıştır. Langmuir izotermi için regresyon katsayısı  $R^2=0,9918$  Freundlich izotermine göre ise regresyon katsayısı  $R^2=0,9608$  olarak bulunmuş olup ( $R^2>0,7545$ ) bu toprak için Langmuir izotermi daha iyi bir sonuç vermiştir. Langmuir izotermi için adsorpsiyon maksimum değerleri  $b=12500 \text{ mg kg}^{-1}$  ve  $k=0,0023$  olarak belirlenmiştir. Freundlich izoterm eğrisi incelendiğinde  $n=1,53$  ve  $K_f=397,3$  olarak belirlenmiştir.

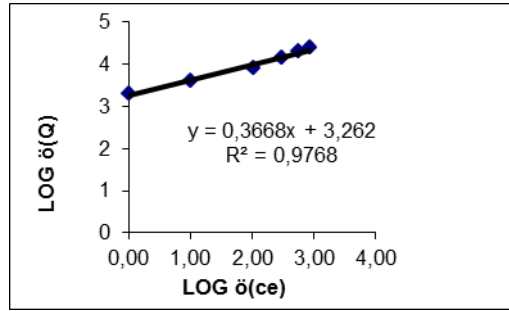
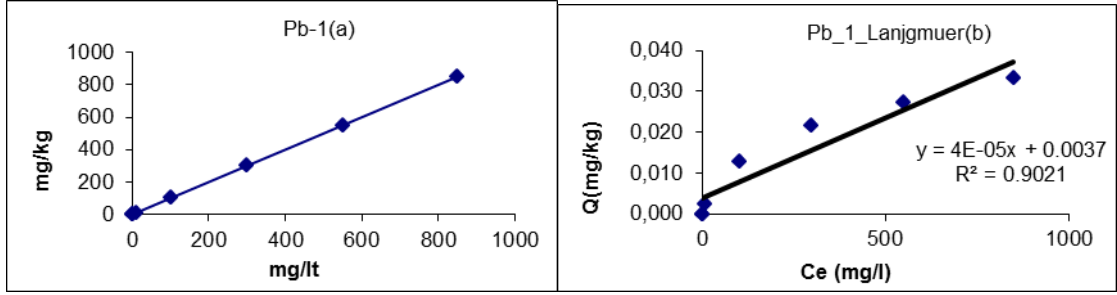




Şekil 4.28 Toprak 28'in a.Freundlich (28-Cd), b. Langmuir(28-Cd) c. Log tabanlı Freundlich(28-Cd) izotermi

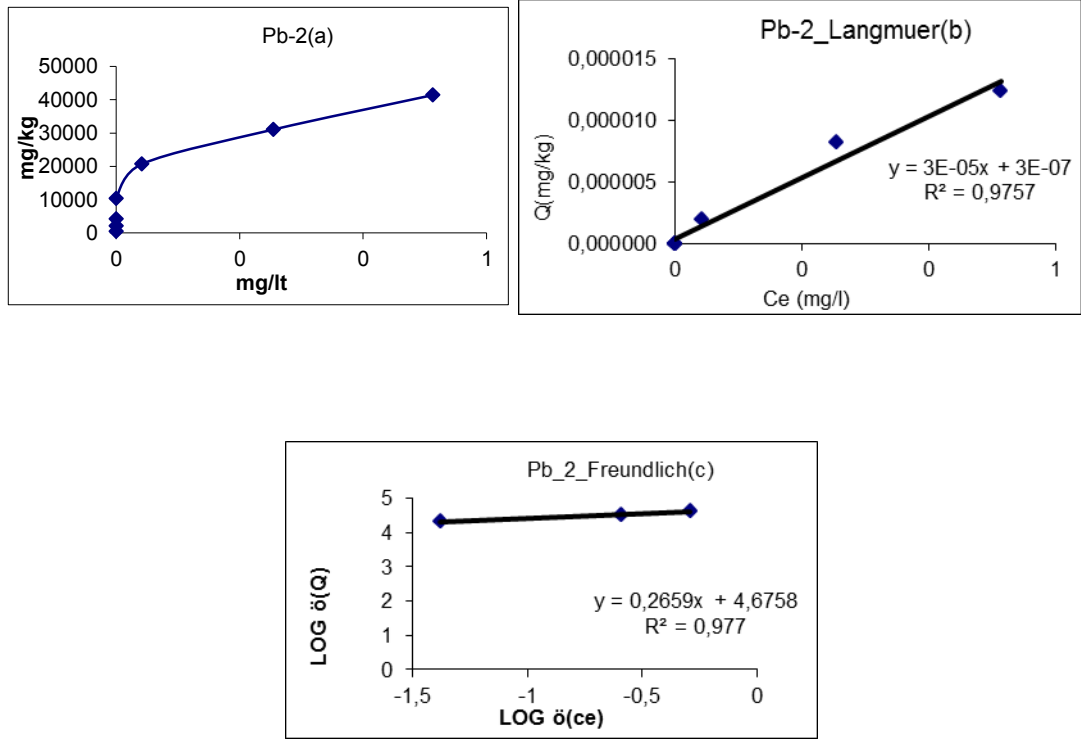
#### 4.1.3.2 Toprakların kurşun (Pb) izoterm parametresi

Şekil 4.29. a, b, c'de 1 nolu toprağın adsorpsiyon maksimum eğrisi ile Langmuir ve Freundlich izoterm eğrileri verilmiştir. Bu toprakta kurşun (Pb) adsorpsiyon verileri her iki izoterm ile kabul edilebilir seviyelerde tanımlanmıştır. Langmuir izotermi için regresyon katsayısı  $R^2=0,9021$ , Freundlich izotermine göre ise regresyon katsayısı  $R^2=0,9768$  olarak bulunmuş olup ( $R^2>0,7545$ ) bu toprak için Freundlich izotermi daha iyi bir sonuç vermiştir. Langmuir izotermine adsorpsiyon maksimum değerleri  $b=2500$   $\text{mg kg}^{-1}$  ve  $k=0,010$  olarak belirlenmiştir. Freundlich izoterm eğrisi incelendiğinde  $n=3,39$  ve  $K_f=1100,8$  olarak belirlenmiştir.



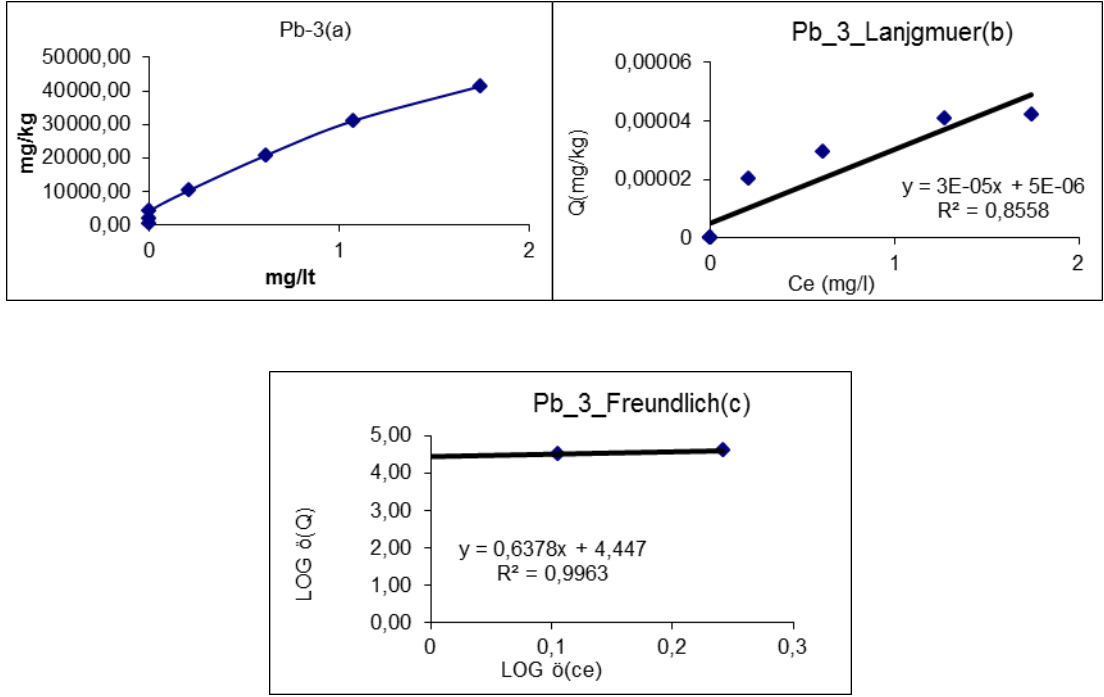
Şekil 4.29 Toprak 1'in a. Freundlich (1-Pb), b. Langmuir(1-Pb) ve c. Log tabanlı Freundlich(1-Pb) izotermi

Şekil 4.30 a,b,c'de 2 nolu toprağın adsorpsiyon maksimum eğrisi ile Langmuir ve Freundlich izoterm eğrileri verilmiştir. Bu toprakta Kurşun (Pb) adsorpsiyon verileri her iki izoterm ile kabul edilebilir seviyelerde tanımlanmıştır. Langmuir izotermi için regresyon katsayısı  $R^2=0,9757$ , Freundlich izotermine göre ise regresyon katsayısı  $R^2=0,9770$  olarak bulunmuş olup ( $R^2>0,7545$ ) bu toprak için Freundlich izotermi daha iyi bir sonuç vermiştir. Langmuir izotermine adsorpsiyon maksimum değerleri  $b=33333 \text{ mg kg}^{-1}$  ve  $k=0,043$  olarak belirlenmiştir. Freundlich izoterm eğrisi incelendiğinde  $n=3,76$  ve  $K_f=47402,4$  olarak belirlenmiştir.



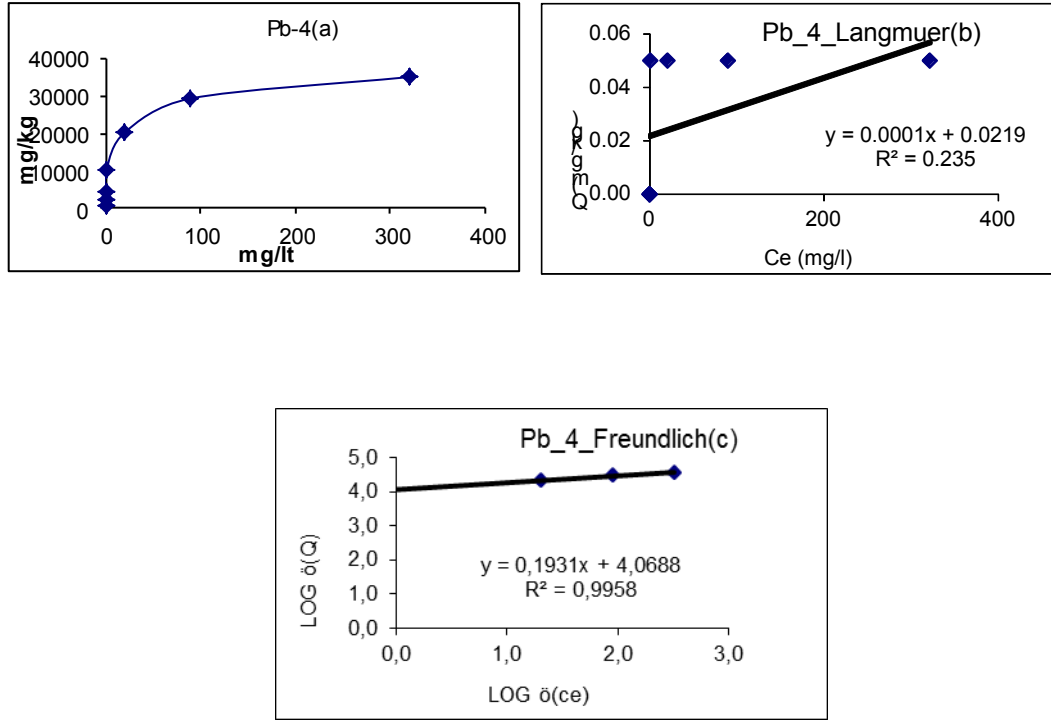
Şekil 4.30 Toprak 2'nin a. Freundlich (2-Pb), b. Langmuir(2-Pb) ve c. Log tabanlı Freundlich(2-Pb) izotermi

Şekil 4.31 a,b,c'de 3 nolu toprağın adsorpsiyon maksimum eğrisi ile Langmuir ve Freundlich izoterm eğrileri verilmiştir. Bu toprakta Kurşun (Pb) adsorpsiyon verileri her iki izoterm ile kabul edilebilir seviyelerde tanımlanmıştır. Langmuir izotermi için regresyon katsayısı  $R^2=0,8558$  Freundlich izotermine göre ise regresyon katsayısı  $R^2=0,9963$  olarak bulunmuş olup ( $R^2>0,7545$ ) bu toprak için Freundlich izotermi daha iyi bir sonuç vermiştir. Langmuir izoterminin adsorpsiyon maksimum değerleri  $b=20000 \text{ mg kg}^{-1}$  ve  $k=1,00$  olarak belirlenmiştir. Freundlich izoterm eğrisi incelendiğinde  $n=1,57$  ve  $K_f=27989,8$  olarak belirlenmiştir.



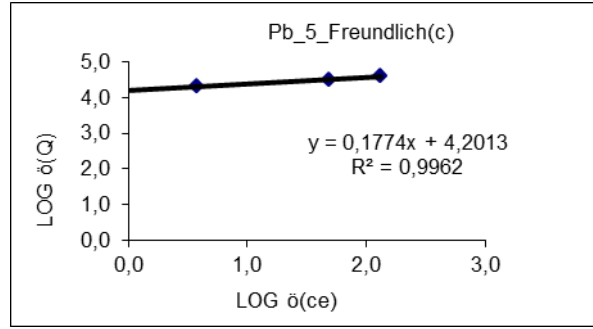
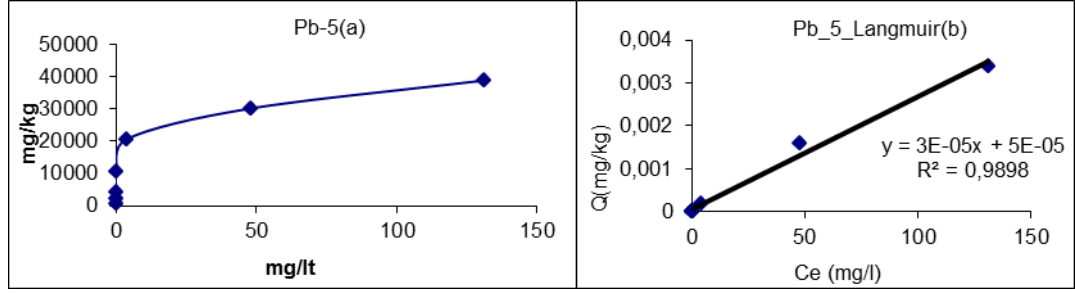
Şekil 4.31 Toprak 3'ün a. Freundlich (3-Pb), b. Langmuir(3-Pb) ve c. Log tabanlı Freundlich(3-Pb) izotermi

Şekil 4.32 a,b,c'de 4 nolu toprağın adsorpsiyon maksimum eğrisi ile Langmuir ve Freundlich izoterm eğrileri verilmiştir. Bu toprakta Kurşun (Pb) adsorpsiyon verileri Freundlich izotermi ile kabul edilebilir seviyelerde tanımlanmıştır. Langmuir izotermi için regresyon katsayısı  $R^2=0,2350$ , Freundlich izotermine göre ise regresyon katsayısı  $R^2=0,9958$  olarak bulunmuş olup ( $R^2>0,7545$ ) bu toprak için Freundlich izotermi daha iyi bir sonuç vermiştir. Langmuir izotermine adsorpsiyon maksimum değerleri  $b=10000 \text{ mg kg}^{-1}$  ve  $k=0,005$  olarak belirlenmiştir. Freundlich izoterm eğrisi incelendiğinde  $n=5,18$  ve  $K_f=11694,99$  olarak belirlenmiştir.



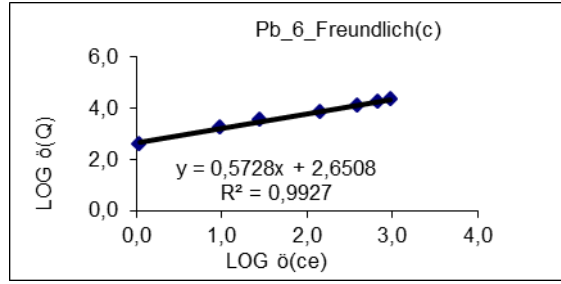
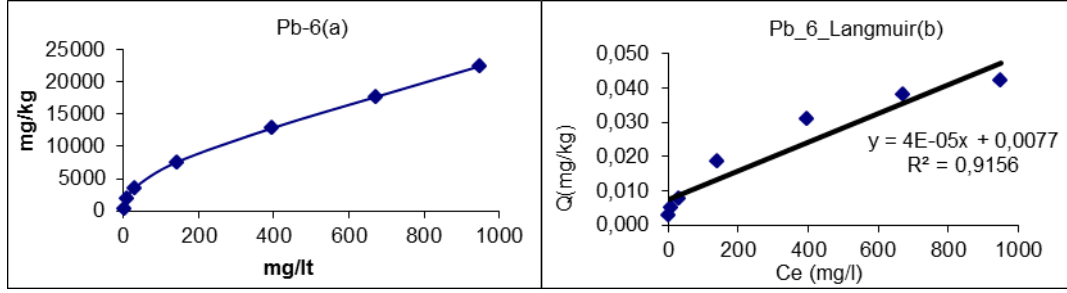
Şekil 4.32 Toprak 4'ün a. Freundlich (4-Pb), b. Langmuir(4-Pb) ve c. Log tabanlı Freundlich(4-Pb) izotermi

Şekil 4.33. a,b,c'de 5 nolu toprağın adsorpsiyon maksimum eğrisi ile Langmuir ve Freundlich izoterm eğrileri verilmiştir. Bu toprakta Kurşun (Pb) adsorpsiyon verileri her iki izoterm ile kabul edilebilir seviyelerde tanımlanmıştır. Langmuir izotermi için regresyon katsayısı  $R^2=0,9898$ , Freundlich izotermine göre ise regresyon katsayısı  $R^2=0,9962$  olarak bulunmuş olup ( $R^2>0,7545$ ) bu toprak için Freundlich izotermi daha iyi bir sonuç vermiştir. Langmuir izoterminin adsorpsiyon maksimum değerleri  $b=10000 \text{ mg kg}^{-1}$  ve  $k=0,2$  olarak belirlenmiştir. Freundlich izoterm eğrisi incelendiğinde  $n=5,64$  ve  $K_f=15896$  olarak belirlenmiştir.



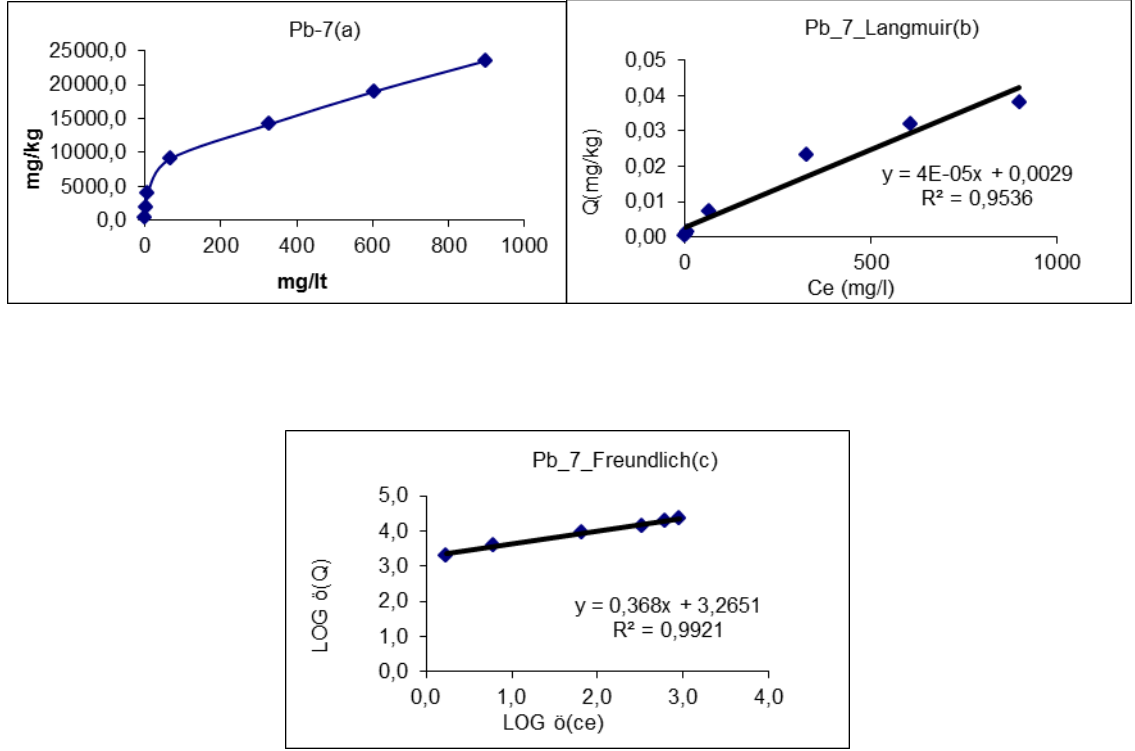
Şekil 4.33 Toprak 5 in a. Freundlich (5-Pb), b. Langmuir(5-Pb) ve c. Log tabanlı Freundlich(5-Pb) izotermi

Şekil 4.34. a,b,c'de 6 nolu toprağın adsorpsiyon maksimum eğrisi ile Langmuir ve Freundlich izoterm eğrileri verilmiştir. Bu toprakta Kurşun (Pb) adsorpsiyon verileri her iki izoterm ile kabul edilebilir seviyelerde tanımlanmıştır. Langmuir izotermi için regresyon katsayısı  $R^2=0,9156$ , Freundlich izotermine göre ise regresyon katsayısı  $R^2=0,9927$  olarak bulunmuş olup ( $R^2>0,7545$ ) bu toprak için Freundlich izotermi iyi bir sonuç vermiştir. Langmuir izotermiminin adsorpsiyon maksimum değerleri  $b=25000$   $\text{mg kg}^{-1}$  ve  $k=0,0052$  olarak belirlenmiştir. Freundlich izoterm eğrisi incelendiğinde  $n=1,75$  ve  $K_f=447,5$  olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.34 Toprak 6'nın a. Freundlich (6-Pb), b. Langmuir(6-Pb) ve c. Log tabanlı Freundlich(6-Pb) izotermi

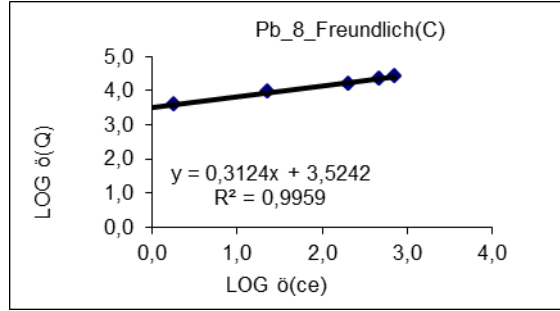
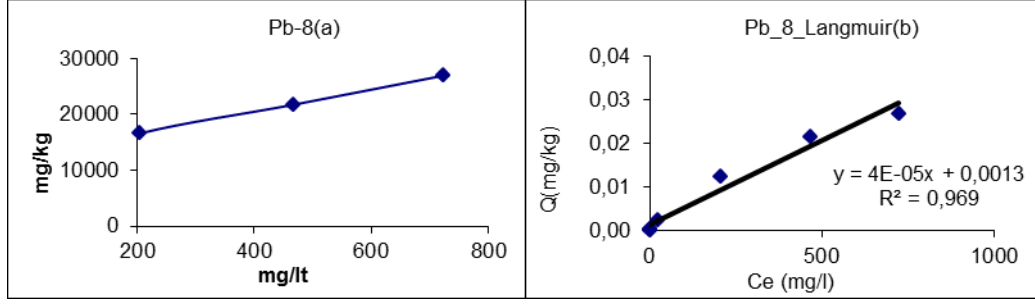
Şekil 4.35. a,b,c'de 7 nolu toprağın adsorpsiyon maksimum eğrisi ile Langmuir ve Freundlich izoterm eğrileri verilmiştir. Bu toprakta Kurşun (Pb) adsorpsiyon verileri her iki izoterm ile kabul edilebilir seviyelerde tanımlanmıştır. Langmuir izotermi için regresyon katsayısı  $R^2=0,9156$ , Freundlich izotermine göre ise regresyon katsayısı  $R^2=0,9921$  olarak bulunmuş olup ( $R^2>0,7545$ ) bu toprak için Freundlich izotermi iyi bir sonuç vermiştir. Langmuir izotermine adsorpsiyon maksimum değerleri  $b=25000 \text{ mg kg}^{-1}$  ve  $k=0,014$  olarak belirlenmiştir. Freundlich izoterm eğrisi incelendiğinde  $n=2,70$  ve  $K_f=1841,2$  olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.35 Toprak 7'nin a. Freundlich (7-Pb), b. Langmuir(7-Pb) ve c. Log tabanlı Freundlich(7-Pb) izotermi

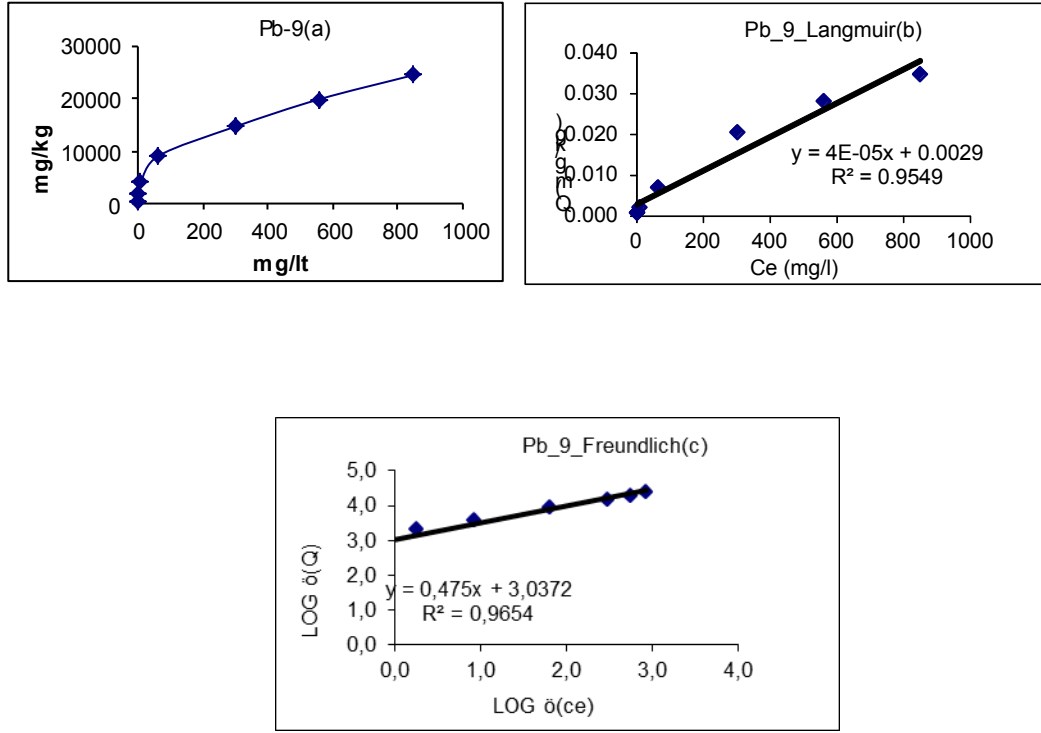
Şekil 4.36. a,b,c'de 8 nolu toprağın adsorpsiyon maksimum eğrisi ile Langmuir ve Freundlich izoterm eğrileri verilmiştir. Bu toprakta Kurşun (Pb) adsorpsiyon verileri her iki izoterm ile kabul edilebilir seviyelerde tanımlanmıştır. Langmuir izotermi için regresyon katsayısı  $R^2=0,9690$  Freundlich izotermine göre ise regresyon katsayısı  $R^2=0,9959$  olarak bulunmuş olup ( $R^2>0,7545$ ) bu toprak için Freundlich izotermi daha iyi bir sonuç vermiştir. Langmuir izoterminin adsorpsiyon maksimum değerleri  $b=25000 \text{ mg kg}^{-1}$  ve  $k=0,0308$  olarak belirlenmiştir. Freundlich izoterm eğrisi incelendiğinde  $n=3,20$  ve  $K_f=3343,49$  olarak belirlenmiştir.





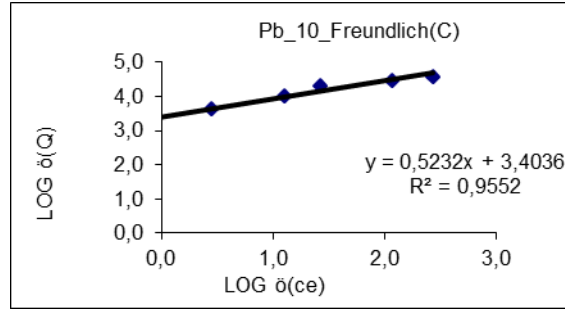
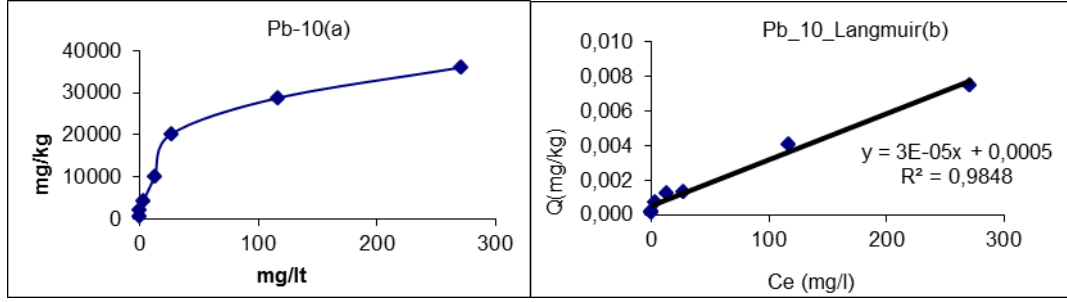
Şekil 4.36 Toprak 8'in a. Freundlich (8-Pb), b. Langmuir(8-Pb) ve c. Log tabanlı Freundlich(8-Pb) izotermleri

Şekil 4.37. a,b,c'de 9 nolu toprağın adsorpsiyon maksimum eğrisi ile Langmuir ve Freundlich izoterm eğrileri verilmiştir. Bu toprakta Kurşun (Pb) adsorpsiyon verileri her iki izoterm ile kabul edilebilir seviyelerde tanımlanmıştır. Langmuir izoterminin adsorpsiyon maksimum değerleri  $b=25000 \text{ mg kg}^{-1}$  ve  $k=0,0138$  olarak belirlenmiştir. Freundlich izoterm eğrisi incelendiğinde  $n=2,11$  ve  $K_f=1089,43$  olarak belirlenmiştir.



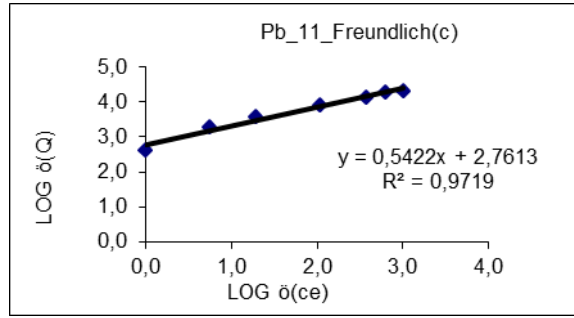
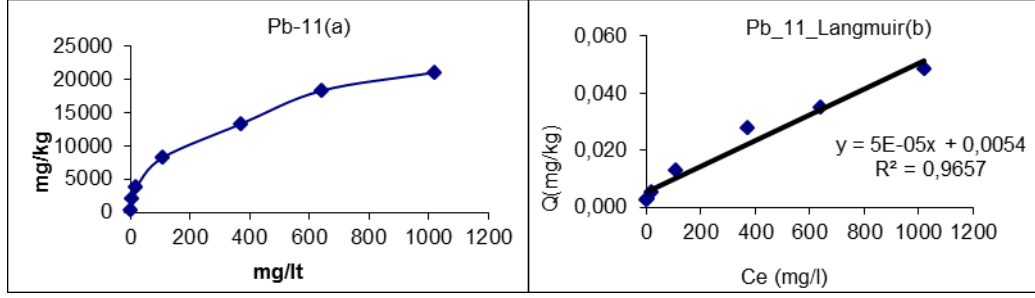
Şekil 4.37 Toprak 9'un a. Freundlich (9-Pb), b. Langmuir(9-Pb) ve c. Log tabanlı Freundlich(9-Pb) izotermi

Şekil 4.38. a,b,c'de 10 nolu toprağın adsorpsiyon maksimum eğrisi ile Langmuir ve Freundlich izoterm eğrileri verilmiştir. Bu toprakta Kurşun (Pb) adsorpsiyon verileri her iki izoterm ile kabul edilebilir seviyelerde tanımlanmıştır. Langmuir izotermi için regresyon katsayısı  $R^2=0,9848$  Freundlich izotermine göre ise regresyon katsayısı  $R^2=0,9552$  olarak bulunmuş olup ( $R^2>0,7545$ ) bu toprak için Langmuir izotermi daha iyi bir sonuç vermiştir. Langmuir izoterminin adsorpsiyon maksimum değerleri  $b=33333 \text{ mg kg}^{-1}$  ve  $k=0,060$  olarak belirlenmiştir. Freundlich izoterm eğrisi incelendiğinde  $n=1,91$  ve  $K_f=2532,8$  olarak belirlenmiştir.



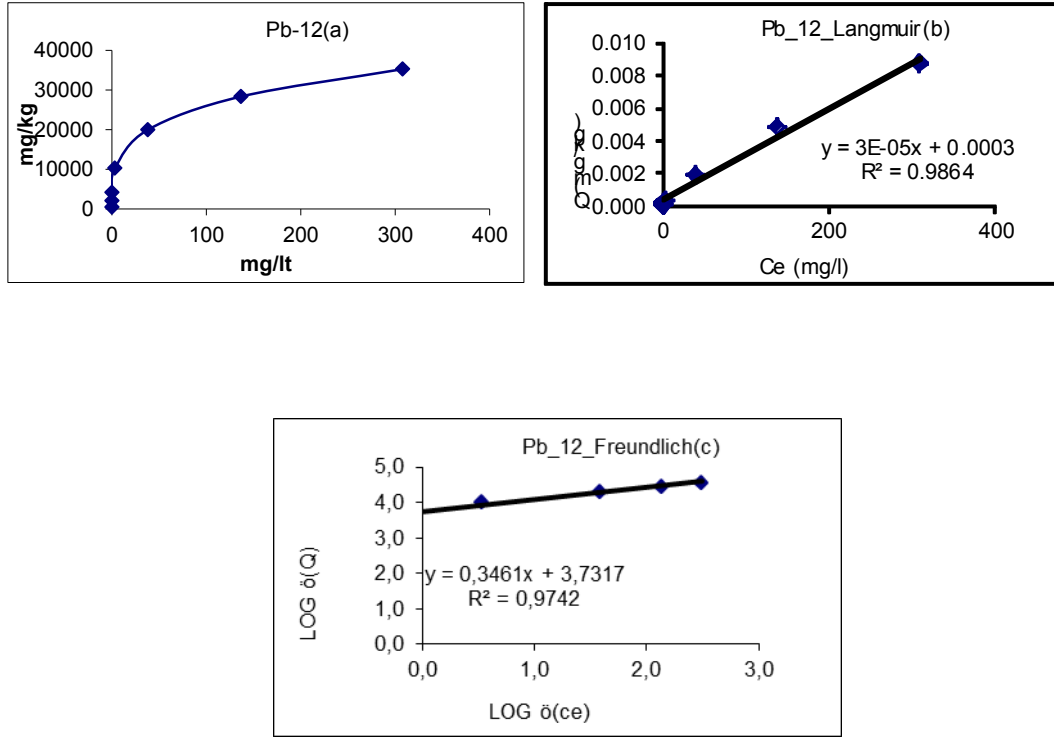
Şekil 4.38 Toprak 10'un a. Freundlich (10-Pb), b. Langmuir(10-Pb) ve c. Log tabanlı Freundlich(10-Pb) izotermi

Şekil 4.39. a,b,c'de 11 nolu toprağın adsorpsiyon maksimum eğrisi ile Langmuir ve Freundlich izoterm eğrileri verilmiştir. Bu toprakta Kurşun (Pb) adsorpsiyon verileri her iki izoterm ile kabul edilebilir seviyelerde tanımlanmıştır. Langmuir izotermi için regresyon katsayısı  $R^2=0,9657$  Freundlich izortemine göre ise regresyon katsayısı  $R^2=0,9719$  olarak bulunmuş olup ( $R^2>0,7545$ ) bu toprak için Freundlich izortermi daha iyi bir sonuç vermiştir. Langmuir izoterminin adsorpsiyon maksimum değerleri  $b=20000 \text{ mg kg}^{-1}$  ve  $k=0,009$  olarak belirlenmiştir. Freundlich izoterm eğrisi incelendiğinde  $n=1,84$  ve  $K_f=577,3$  olarak belirlenmiştir.



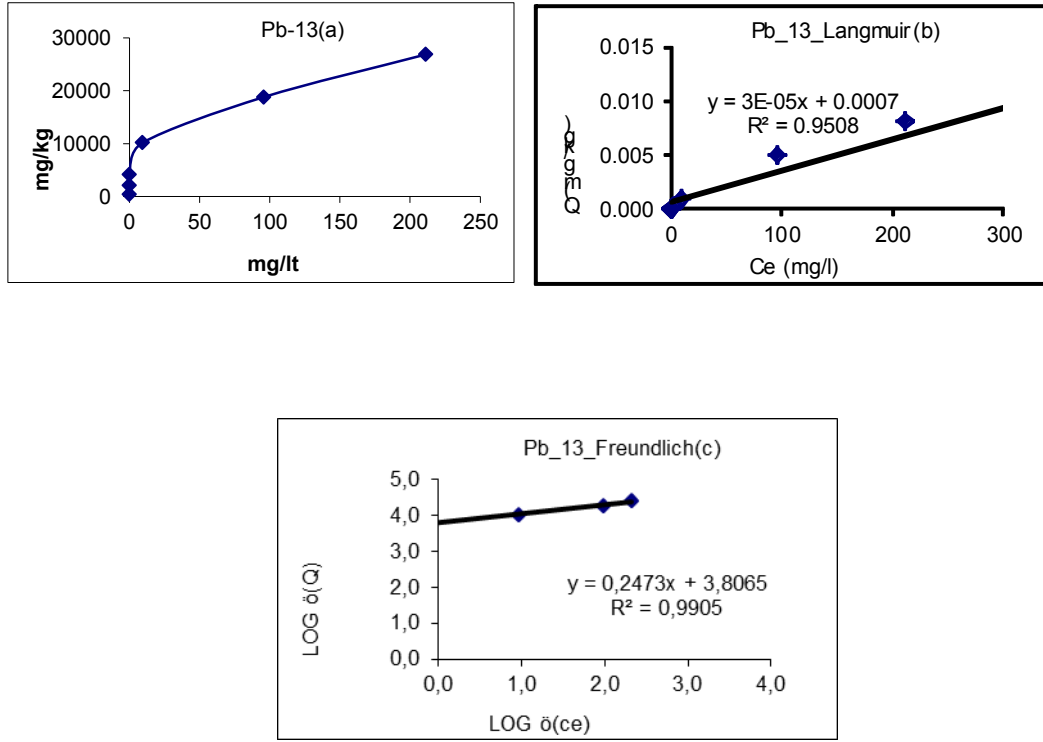
Şekil 4.39 Toprak 11'in a. Freundlich (11-Pb), b. Langmuir(11-Pb) ve c. Log tabanlı Freundlich(11-Pb) izotermi

Şekil 4.40. a,b,c'de 12 nolu toprağın adsorpsiyon maksimum eğrisi ile Langmuir ve Freundlich izoterm eğrileri verilmiştir. Bu toprakta Kurşun (Pb) adsorpsiyon verileri her iki izoterm ile kabul edilebilir seviyelerde tanımlanmıştır. Langmuir izotermi için regresyon katsayısı  $R^2=0,9864$  Freundlich izotermine göre ise regresyon katsayısı  $R^2=0,9742$  olarak bulunmuş olup ( $R^2>0,7545$ ) bu toprak için Langmuir izotermi daha iyi bir sonuç vermiştir. Langmuir izotermine adsorpsiyon maksimum değerleri  $b=33333 \text{ mg kg}^{-1}$  ve  $k=0,100$  olarak belirlenmiştir. Freundlich izoterm eğrisi incelendiğinde  $n=2,89$  ve  $K_f=5391,4$  olarak belirlenmiştir.



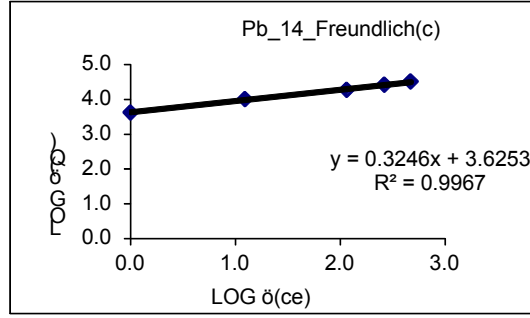
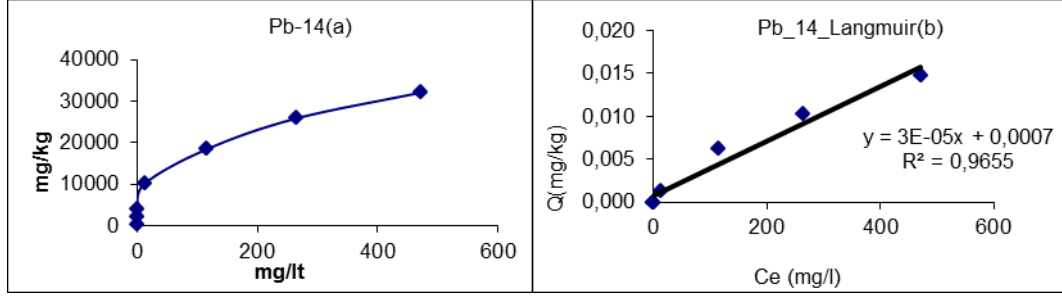
Şekil 4.40 Toprak 12'nin a) Freundlich (12-Pb), b) Langmuir(12-Pb) ve c) Log tabanlı Freundlich(12-Pb) izotermi

Şekil 4.41. a,b,c'de 13 nolu toprağın adsorpsiyon maksimum eğrisi ile Langmuir ve Freundlich izoterm eğrileri verilmiştir. Bu toprakta Kurşun (Pb) adsorpsiyon verileri her iki izoterm ile kabul edilebilir seviyelerde tanımlanmıştır. Langmuir izotermi için regresyon katsayısı  $R^2=0,9508$  Freundlich izortemine göre ise regresyon katsayısı  $R^2=0,9905$  olarak bulunmuş olup ( $R^2>0,7545$ ) bu toprak için Freundlich izortermi daha iyi bir sonuç vermiştir. Langmuir izoterminin adsorpsiyon maksimum değerleri  $b=33333 \text{ mg kg}^{-1}$  ve  $k=0,043$  olarak belirlenmiştir. Freundlich izoterm eğrisi incelendiğinde  $n=4,04$  ve  $K_f=6404,7$  olarak belirlenmiştir.



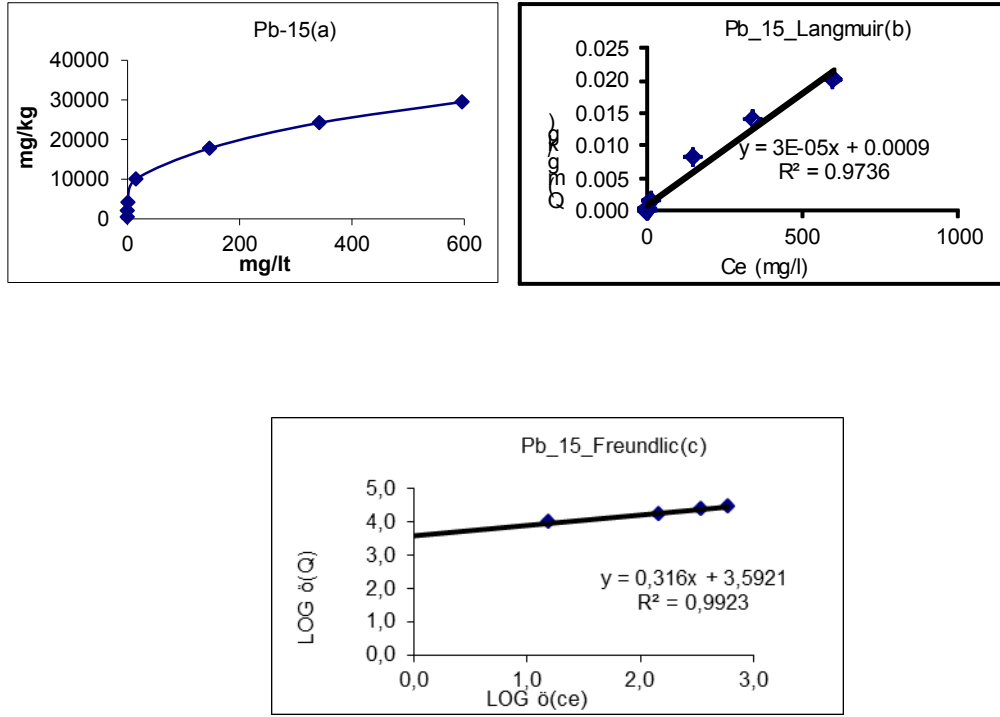
Şekil 4.41 Toprak 13'ün a. Freundlich (13-Pb), b. Langmuir(13-Pb) ve c. Log tabanlı Freundlich(13-Pb) izotermi

Şekil 4.42. a,b,c'de 14 nolu toprağın adsorpsiyon maksimum eğrisi ile Langmuir ve Freundlich izoterm eğrileri verilmiştir. Bu toprakta Kurşun (Pb) adsorpsiyon verileri her iki izoterm ile kabul edilebilir seviyelerde tanımlanmıştır. Langmuir izotermi için regresyon katsayısı  $R^2=0,9655$  Freundlich izotermine göre ise regresyon katsayısı  $R^2=0,9967$  olarak bulunmuş olup ( $R^2>0,7545$ ) bu toprak için Freundlich izotermi daha iyi bir sonuç vermiştir. Langmuir izotermine adsorpsiyon maksimum değerleri  $b=33333$  mg kg<sup>-1</sup> ve  $k=0,043$  olarak belirlenmiştir. Freundlich izoterm eğrisi incelendiğinde  $n=3,08$  ve  $K_f=4219,9$  olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.42 Toprak 14'ün a. Freundlich (14-Pb), b. Langmuir(14-Pb) ve c. Log tabanlı Freundlich(14-Pb) izotermi

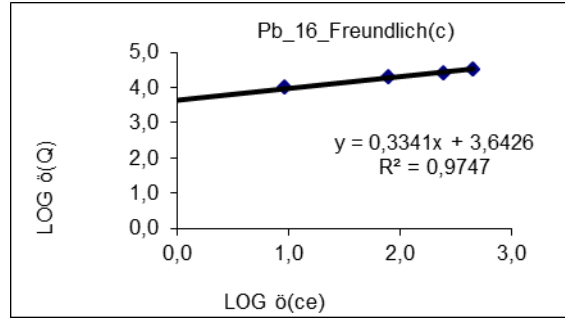
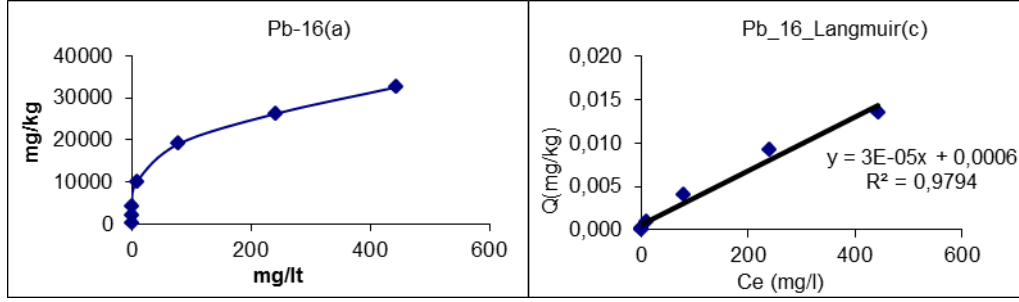
Şekil 4.43. a,b,c'de 15 nolu toprağın adsorpsiyon maksimum eğrisi ile Langmuir ve Freundlich izoterm eğrileri verilmiştir. Bu toprakta Kurşun (Pb) adsorpsiyon verileri her iki izoterm ile kabul edilebilir seviyelerde tanımlanmıştır. Langmuir izotermi için regresyon katsayısı  $R^2=0,9736$  Freundlich izotermine göre ise regresyon katsayısı  $R^2=0,9923$  olarak bulunmuş olup ( $R^2>0,7545$ ) bu toprak için Freundlich izotermi daha iyi bir sonuç vermiştir. Langmuir izotermi için adsorpsiyon maksimum değerleri  $b=3333 \text{ mg kg}^{-1}$  ve  $k=0,033$  olarak belirlenmiştir. Freundlich izoterm eğrisi incelendiğinde  $n=3,16$  ve  $K_f=3909,3$  olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.43 Toprak 15' in a. Freundlich (15-Pb), b. Langmuir(15-Pb) ve c. Log tabanlı Freundlich(15-Pb) izotermi

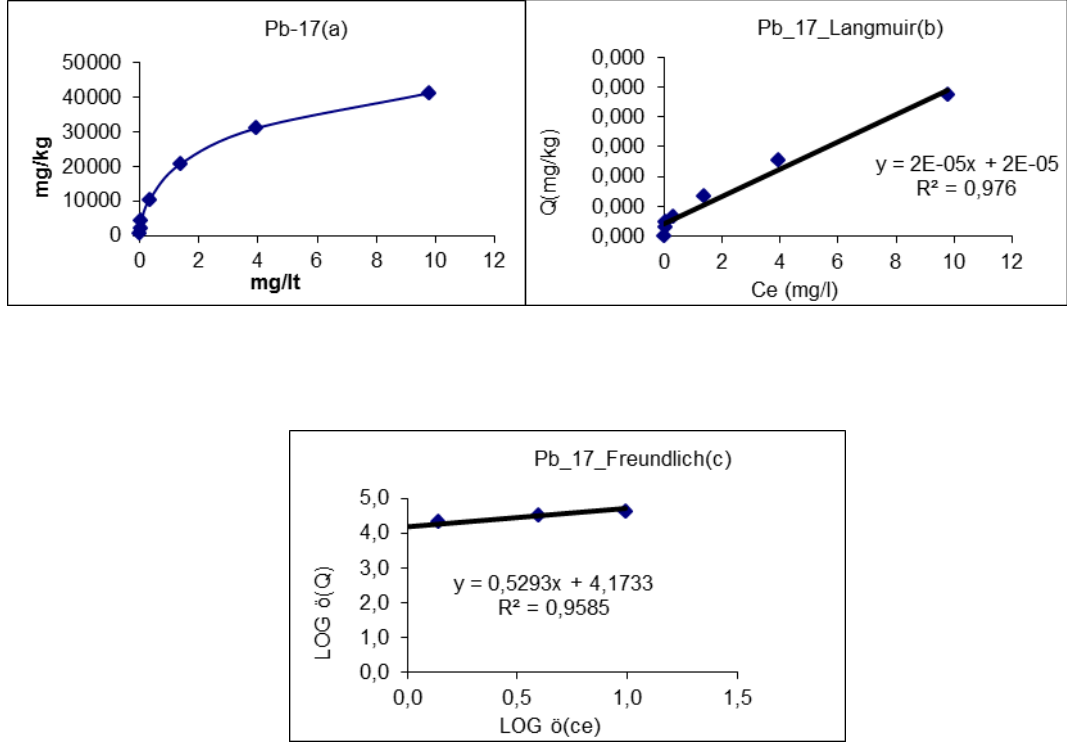
Şekil 4.44. a,b,c'de 16 nolu toprağın adsorpsiyon maksimum eğrisi ile Langmuir ve Freundlich izoterm eğrileri verilmiştir. Bu toprakta Kurşun (Pb) adsorpsiyon verileri her iki izoterm ile kabul edilebilir seviyelerde tanımlanmıştır. Langmuir izotermi için regresyon katsayısı  $R^2=0,9794$  Freundlich izotermine göre ise regresyon katsayısı  $R^2=0,9747$  olarak bulunmuş olup ( $R^2>0,7545$ ) bu toprak için Langmuir izotermi daha iyi bir sonuç vermiştir. Langmuir izotermine adsorpsiyon maksimum değerleri  $b=33333 \text{ mg kg}^{-1}$  ve  $k=0,050$  olarak belirlenmiştir. Freundlich izoterm eğrisi incelendiğinde  $n=2,99$  ve  $K_f=4703,3$  olarak belirlenmiştir.





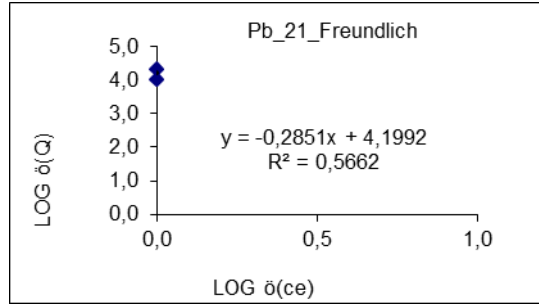
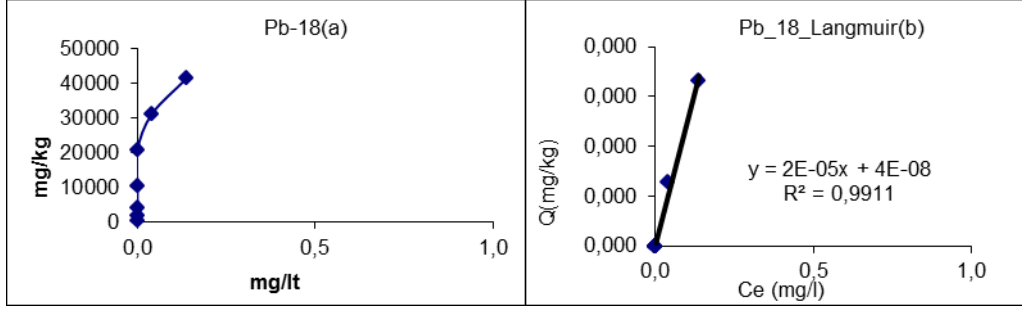
Şekil 4.44 Toprak 16'nın a. Freundlich (16-Pb), b. Langmuir(16-Pb) ve c. Log tabanlı Freundlich(16-Pb) izotermi

Şekil 4.45. a,b,c'de 17 nolu toprağın adsorpsiyon maksimum eğrisi ile Langmuir ve Freundlich izoterm eğrileri verilmiştir. Bu toprakta Kurşun (Pb) adsorpsiyon verileri her iki izoterm ile kabul edilebilir seviyelerde tanımlanmıştır. Langmuir izotermi için regresyon katsayısı  $R^2=0,9760$  Freundlich izotermine göre ise regresyon katsayısı  $R^2=0,9585$  olarak bulunmuş olup ( $R^2>0,7545$ ) bu toprak için Langmuir izotermi daha iyi bir sonuç vermiştir. Langmuir izotermine adsorpsiyon maksimum değerleri  $b=5000 \text{ mg kg}^{-1}$  ve  $k=1$  olarak belirlenmiştir. Freundlich izoterm eğrisi incelendiğinde  $n=1,89$  ve  $K_f=14903,9$  olarak belirlenmiştir.



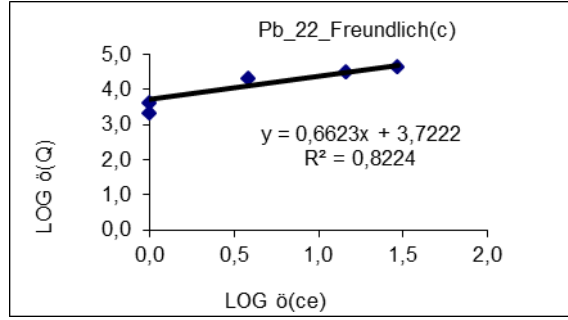
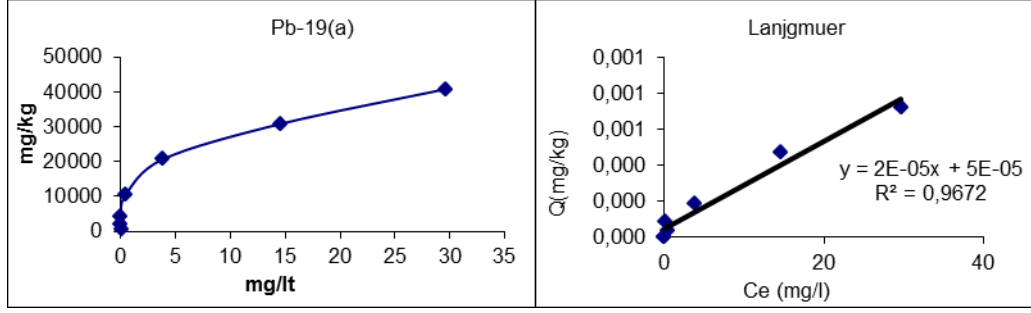
Şekil 4.45 Toprak 17'nin a. Freundlich (17-Pb), b. Langmuir(17-Pb) ve c. Log tabanlı Freundlich(17-Pb) izotermleri

Şekil 4.46. a,b,c'de 18 nolu toprağın adsorpsiyon maksimum eğrisi ile Langmuir ve Freundlich izoterm eğrileri verilmiştir. Bu toprakta Kurşun (Pb) adsorpsiyon verileri Langmuir izotermi ile kabul edilebilir seviyelerde tanımlanmıştır. Langmuir izotermi için regresyon katsayısı  $R^2=0,9911$  Freundlich izotermine göre ise regresyon katsayısı  $R^2=0,5662$  olarak bulunmuş olup ( $R^2>0,7545$ ) bu toprak için Langmuir izotermi daha iyi bir sonuç vermiştir. Langmuir izotermiminin adsorpsiyon maksimum değerleri  $b=5000$   $\text{mg kg}^{-1}$  ve  $k=500$  olarak belirlenmiştir. Freundlich izoterm eğrisi incelendiğinde  $n=3,51$  ve  $K_f=15819,8$  olarak belirlenmiştir.



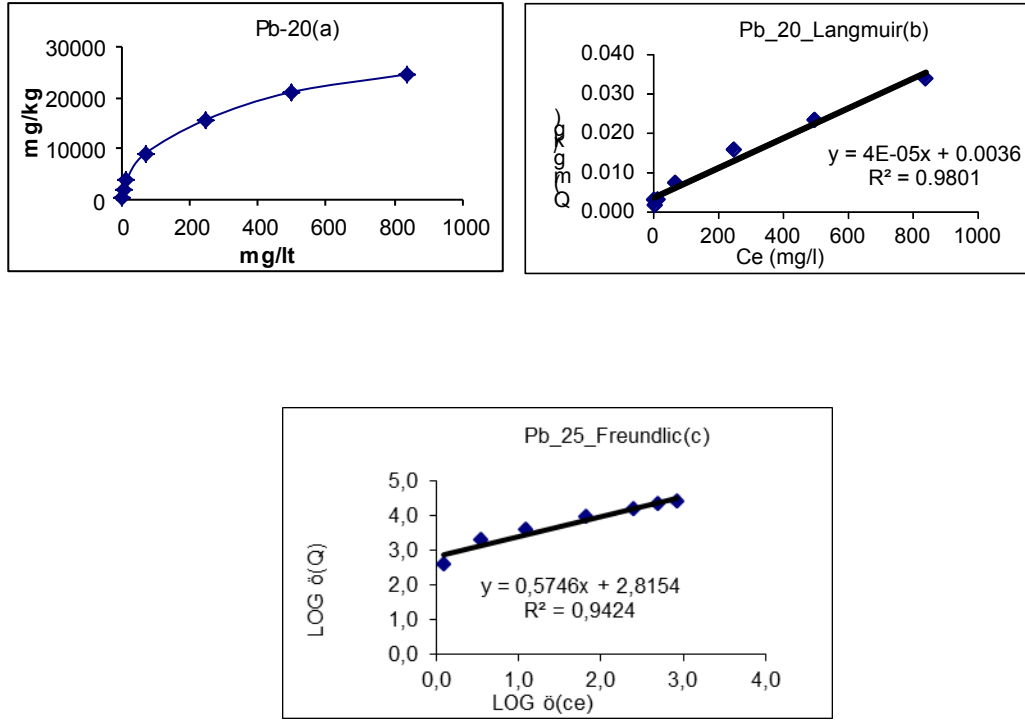
Şekil 4.46 Toprak 18'in a. Freundlich (18-Pb), b. Langmuir(18-Pb) ve c. Log tabanlı Freundlich(18-Pb) izotermi

Şekil 4.47. a,b,c'de 19 nolu toprağın adsorpsiyon maksimum eğrisi ile Langmuir ve Freundlich izoterm eğrileri verilmiştir. Bu toprakta Kurşun (Pb) adsorpsiyon verileri her iki izoterm ile kabul edilebilir seviyelerde tanımlanmıştır. Langmuir izotermi için regresyon katsayısı  $R^2=0,9672$  Freundlich izotermine göre ise regresyon katsayısı  $R^2=0,8224$  olarak bulunmuş olup ( $R^2>0,7545$ ) bu toprak için Langmuir izotermi daha iyi bir sonuç vermiştir. Langmuir izotermine adsorpsiyon maksimum değerleri  $b=50000 \text{ mg kg}^{-1}$  ve  $k=0,400$  olarak belirlenmiştir. Freundlich izoterm eğrisi incelendiğinde  $n=1,51$  ve  $K_f=5274,7$  olarak belirlenmiştir.



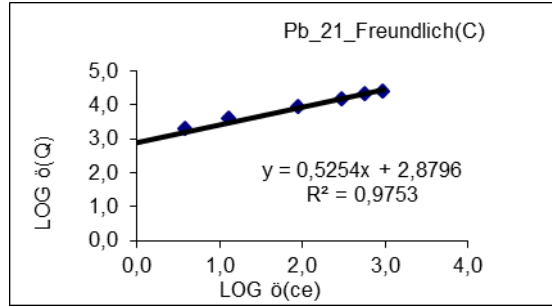
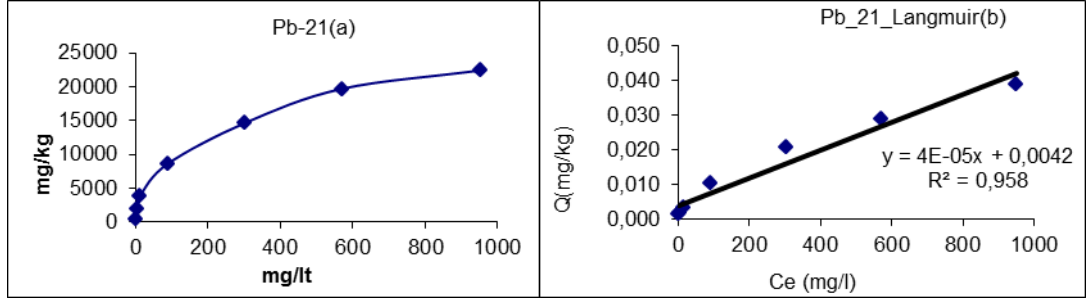
Şekil 4.47 Toprak 19'un a. Freundlich (19-Pb), b. Langmuir(19-Pb) ve c. Log tabanlı Freundlich(19-Pb) izotermi

Şekil 4.48. a,b,c'de 20 nolu toprağın adsorpsiyon maksimum eğrisi ile Langmuir ve Freundlich izoterm eğrileri verilmiştir. Bu toprakta Kurşun (Pb) adsorpsiyon verileri her iki izoterm ile kabul edilebilir seviyelerde tanımlanmıştır. Langmuir izotermi için regresyon katsayısı  $R^2=0,9801$  Freundlich izotermine göre ise regresyon katsayısı  $R^2=0,9424$  olarak bulunmuş olup ( $R^2>0,7545$ ) bu toprak için Langmuir izotermi daha iyi bir sonuç vermiştir. Langmuir izotermine adsorpsiyon maksimum değerleri  $b=25000 \text{ mg kg}^{-1}$  ve  $k=0,011$  olarak belirlenmiştir. Freundlich izoterm eğrisi incelendiğinde  $n=1,74$  ve  $K_f=653,7$  olarak belirlenmiştir.



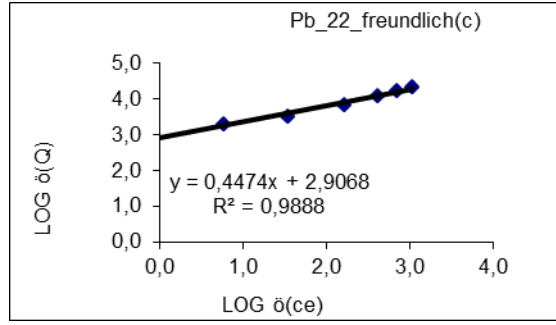
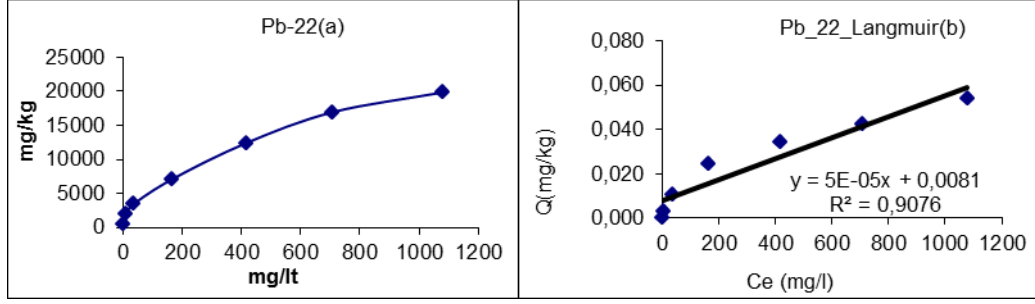
Şekil 4.48 Toprak 20'nin a. Freundlich (20-Pb), b. Langmuir(20-Pb) ve c. Log tabanlı Freundlich(20-Pb) izotermi

Şekil 4.49. a,b,c'de 21 nolu toprağın adsorpsiyon maksimum eğrisi ile Langmuir ve Freundlich izoterm eğrileri verilmiştir. Bu toprakta Kurşun (Pb) adsorpsiyon verileri her ikinizoterm ile kabul edilebilir seviyelerde tanımlanmıştır. Langmuir izotermi için regresyon katsayısı  $R^2=0,9580$  Freundlich izotermine göre ise regresyon katsayısı  $R^2=0,9753$  olarak bulunmuş olup ( $R^2>0,7545$ ) bu toprak için Langmuir izotermi daha iyi bir sonuç vermiştir. Langmuir izotermine adsorpsiyon maksimum değerleri  $b=20000 \text{ mg kg}^{-1}$  ve  $k=0,012$  olarak belirlenmiştir. Freundlich izoterm eğrisi incelendiğinde  $n=1,87$  ve  $K_f=757,9$  olarak belirlenmiştir.



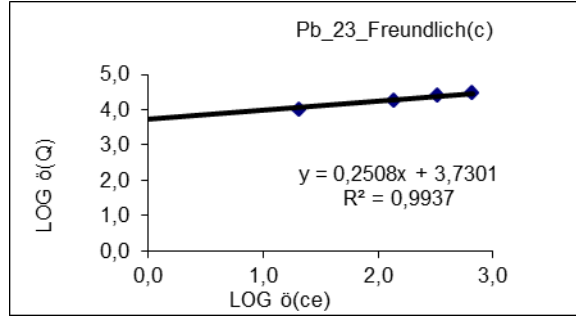
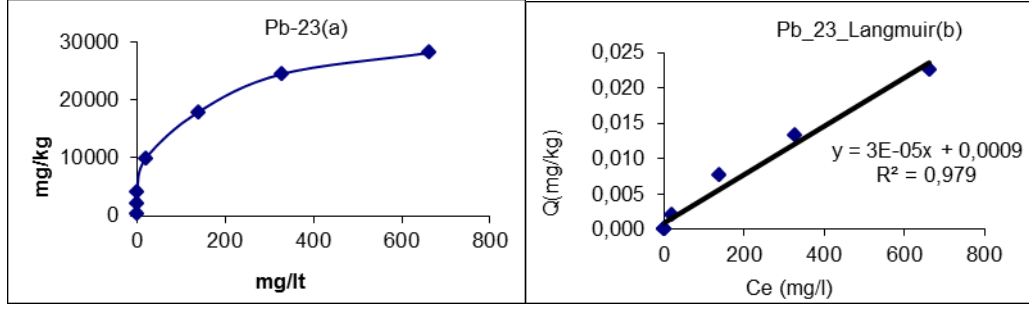
Şekil 4.49 Toprak 21'in a. Freundlich (21-Pb), b. Langmuir(21-Pb) ve c. Log tabanlı Freundlich(21-Pb) izotermi

Şekil 4.50. a,b,c'de 22 nolu toprağın adsorpsiyon maksimum eğrisi ile Langmuir ve Freundlich izoterm eğrileri verilmiştir. Bu toprakta Kurşun (Pb) adsorpsiyon verileri her iki izoterm ile kabul edilebilir seviyelerde tanımlanmıştır. Langmuir izotermi için regresyon katsayısı  $R^2=0,9076$  Freundlich izortemine göre ise regresyon katsayısı  $R^2=0,9888$  olarak bulunmuş olup ( $R^2>0,7545$ ) bu toprak için Freundlich izortermi daha iyi bir sonuç vermiştir. Langmuir izoterminin adsorpsiyon maksimum değerleri  $b=20000 \text{ mg kg}^{-1}$  ve  $k=0,006$  olarak belirlenmiştir. Freundlich izoterm eğrisi incelendiğinde  $n=2,24$ ve  $K_f=806,9$ olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.50 Toprak 22'nin a. Freundlich (22-Pb), b. Langmuir(22-Pb) ve c. Log tabanlı Freundlich(22-Pb) izotermi

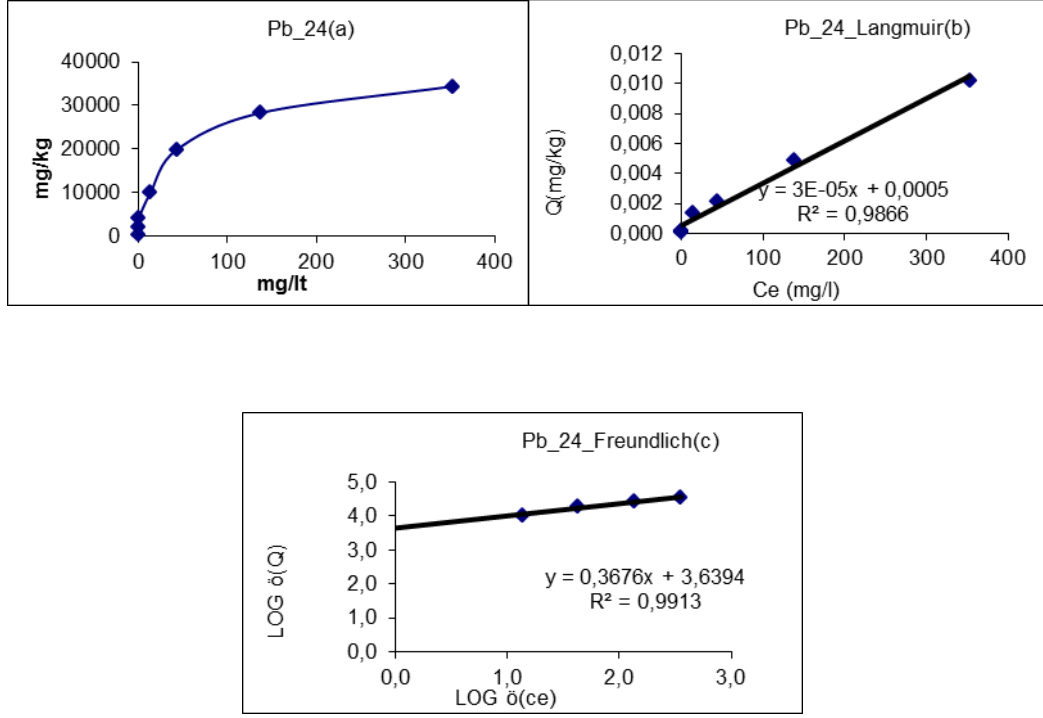
Şekil 4.51. a,b,c'de 23 nolu toprağın adsorpsiyon maksimum eğrisi ile Langmuir ve Freundlich izoterm eğrileri verilmiştir. Bu toprakta Kurşun (Pb) adsorpsiyon verileri her iki izoterm ile kabul edilebilir seviyelerde tanımlanmıştır. Langmuir izotermi için regresyon katsayısı  $R^2=0,9790$  Freundlich izotermine göre ise regresyon katsayısı  $R^2=0,9937$  olarak bulunmuş olup ( $R^2>0,7545$ ) bu toprak için Freundlich izotermi daha iyi bir sonuç vermiştir. Langmuir izotermine adsorpsiyon maksimum değerleri  $b=33333 \text{ mg kg}^{-1}$  ve  $k=0,033$  olarak belirlenmiştir. Freundlich izoterm eğrisi incelendiğinde  $n=0,27$  ve  $K_f=429,9$  olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.51 Toprak 23'ün a. Freundlich (23-Pb), b. Langmuir(23-Pb) ve c. Log tabanlı Freundlich(23-Pb) izotermi

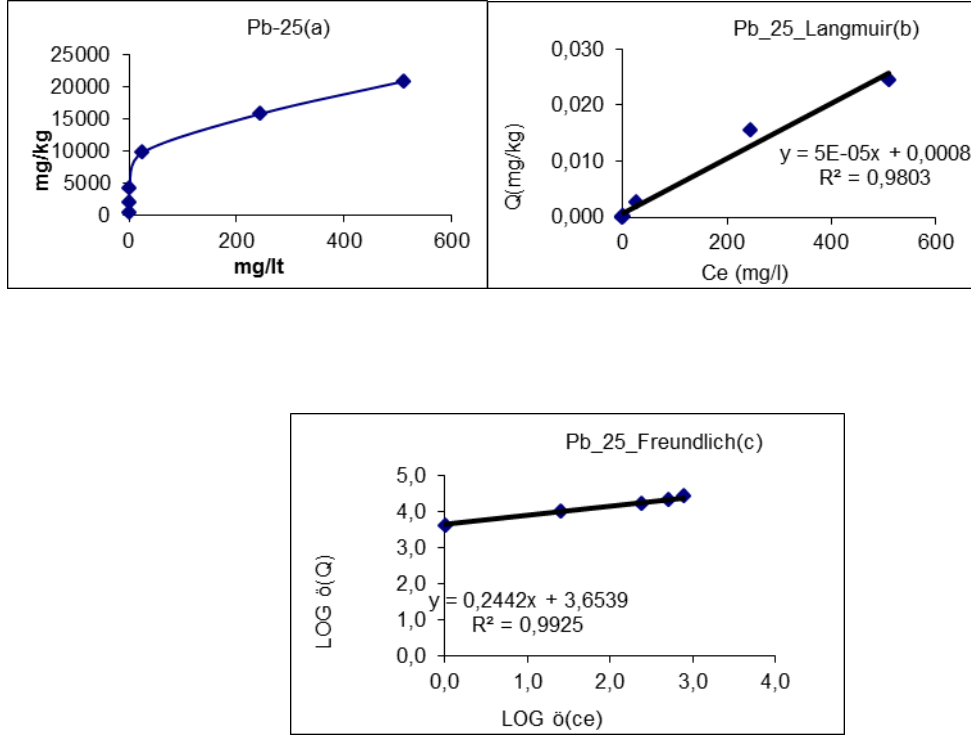
Şekil 4.52. a,b,c'de 24 nolu toprağın adsorpsiyon maksimum eğrisi ile Langmuir ve Freundlich izoterm eğrileri verilmiştir. Bu toprakta Kurşun (Pb) adsorpsiyon verileri her iki izoterm ile kabul edilebilir seviyelerde tanımlanmıştır. Langmuir izotermi için regresyon katsayısı  $R^2=0,9866$  Freundlich izortemine göre ise regresyon katsayısı  $R^2=0,9913$  olarak bulunmuş olup ( $R^2>0,7545$ ) bu toprak için Freundlich izortermi daha iyi bir sonuç vermiştir. Langmuir izotermine adsorpsiyon maksimum değerleri  $b=33333 \text{ mg kg}^{-1}$  ve  $k=0,060$  olarak belirlenmiştir. Freundlich izoterm eğrisi incelendiğinde  $n=2.72$  ve  $K_f=4359.1$  olarak belirlenmiştir.





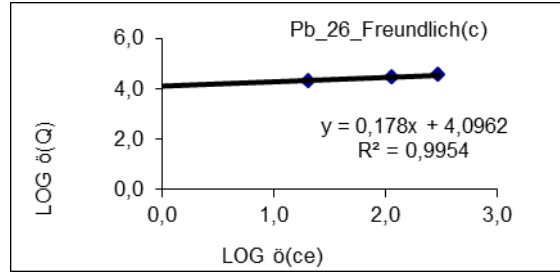
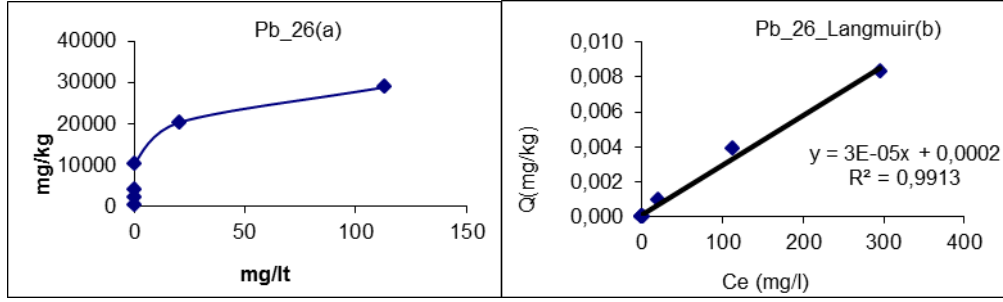
Şekil 4.52 Toprak 24'ün a. Freundlich (24-Pb), b. Langmuir(24-Pb) ve c. Log tabanlı Freundlich(24-Pb) izotermi

Şekil 4.53. a,b,c'de 25 nolu toprağın adsorpsiyon maksimum eğrisi ile Langmuir ve Freundlich izoterm eğrileri verilmiştir. Bu toprakta Kurşun (Pb) adsorpsiyon verileri her iki izoterm ile kabul edilebilir seviyelerde tanımlanmıştır. Langmuir izotermi için regresyon katsayısı  $R^2=0,9803$ , Freundlich izotermine göre ise regresyon katsayısı  $R^2=0,9925$  olarak bulunmuş olup ( $R^2>0,7545$ ) bu toprak için Freundlich izotermi daha iyi bir sonuç vermiştir. Langmuir izoterminin adsorpsiyon maksimum değerleri  $b=20000 \text{ mg kg}^{-1}$  ve  $k=0,063$  olarak belirlenmiştir. Freundlich izoterm eğrisi incelendiğinde  $n=2.49$  ve  $K_f=444,6$  olarak belirlenmiştir.



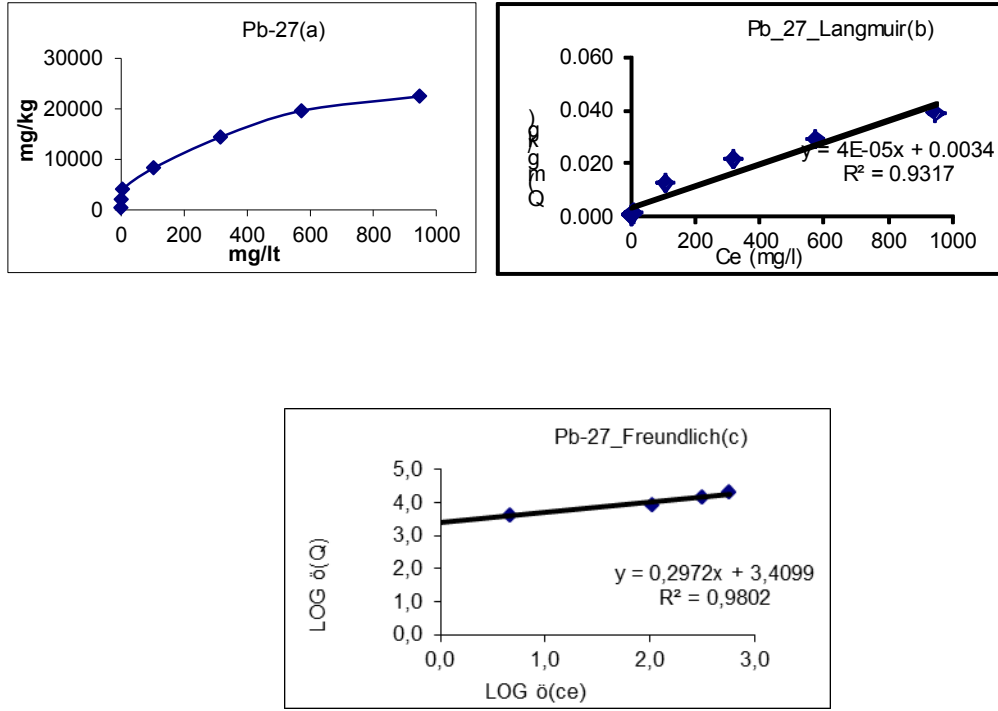
Şekil 4.53 Toprak 25'in a. Freundlich (25-Pb), b. Langmuir(25-Pb) ve c. Log tabanlı Freundlich(25-Pb) izotermi

Şekil 4.54. a,b,c'de 26 nolu toprağın adsorpsiyon maksimum eğrisi ile Langmuir ve Freundlich izoterm eğrileri verilmiştir. Bu toprakta Kurşun (Pb) adsorpsiyon verileri her iki izoterm ile kabul edilebilir seviyelerde tanımlanmıştır. Langmuir izotermi için regresyon katsayısı  $R^2=0,9913$ , Freundlich izotermine göre ise regresyon katsayısı  $R^2=0,9954$  olarak bulunmuş olup ( $R^2>0,7545$ ) bu toprak için Freundlich izotermi daha iyi bir sonuç vermiştir. Langmuir izotermine adsorpsiyon maksimum değerleri  $b=33333 \text{ mg kg}^{-1}$  ve  $k=0,150$  olarak belirlenmiştir. Freundlich izoterm eğrisi incelendiğinde  $n=5,62$  ve  $K_f=12479,9$  olarak belirlenmiştir.



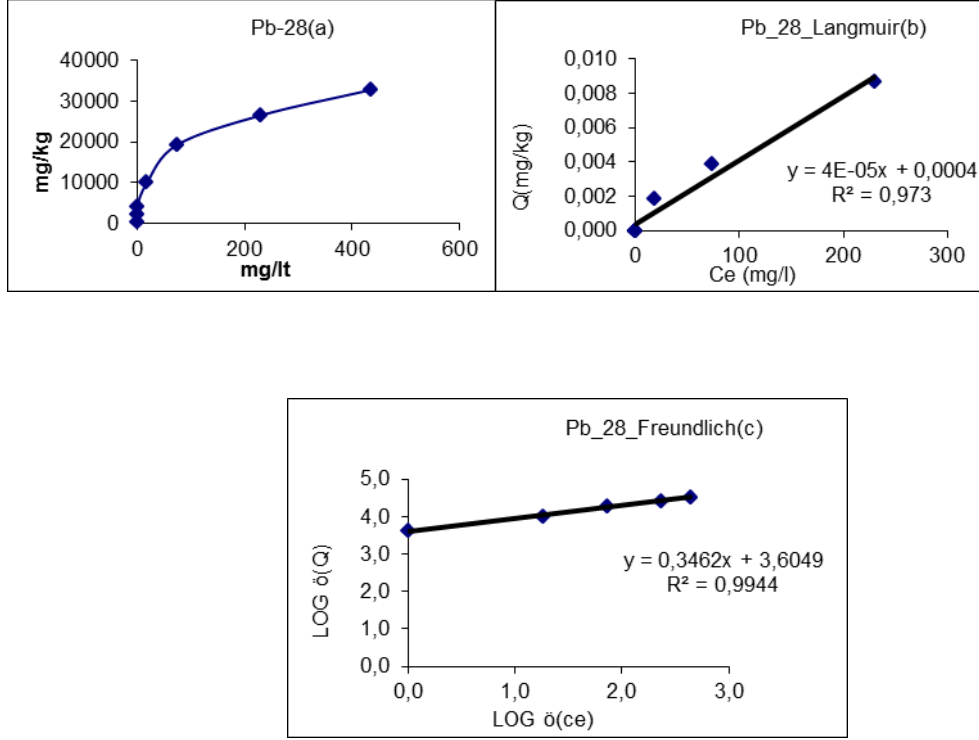
Şekil 4.54 Toprak 26'nın a).Freundlich (26-Pb), b. Langmuir(26-Pb) ve c. Log tabanlı Freundlich(26-Pb) izotermi

Şekil 4.55. a,b,c'de 27 nolu toprağın adsorpsiyon maksimum eğrisi ile Langmuir ve Freundlich izoterm eğrileri verilmiştir. Bu toprakta Kurşun (Pb) adsorpsiyon verileri her iki izoterm ile kabul edilebilir seviyelerde tanımlanmıştır. Langmuir izotermi için regresyon katsayısı  $R^2=0,9317$ , Freundlich izotermine göre ise regresyon katsayısı  $R^2=0,9802$  olarak bulunmuş olup ( $R^2>0,7545$ ) bu toprak için Freundlich izotermi daha iyi bir sonuç vermiştir. Langmuir izotermine adsorpsiyon maksimum değerleri  $b=10000 \text{ mg kg}^{-1}$  ve  $k=0,005$  olarak belirlenmiştir. Freundlich izoterm eğrisi incelendiğinde  $n=3,36$  ve  $K_f=2569,8$  olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.55 Toprak 27'nin a. Freundlich (27-Pb), b. Langmuir(27-Pb) ve c. Log tabanlı Freundlich(27-Pb) izotermi

Şekil 4.56. a,b,c'de 28 nolu toprağın adsorpsiyon maksimum eğrisi ile Langmuir ve Freundlich izoterm eğrileri verilmiştir. Bu toprakta Kurşun (Pb) adsorpsiyon verileri Freundlich izotermi ile kabul edilebilir seviyelerde tanımlanmıştır. Langmuir izotermi için regresyon katsayısı  $R^2=0,9730$ , Freundlich izotermine göre ise regresyon katsayısı  $R^2=0,9944$  olarak bulunmuş olup ( $R^2>0,7545$ ) bu toprak için Freundlich izotermi daha iyi bir sonuç vermiştir. Langmuir izotermine adsorpsiyon maksimum değerleri  $b=25000 \text{ mg kg}^{-1}$  ve  $k=0,100$  olarak belirlenmiştir. Freundlich izoterm eğrisi incelendiğinde  $n=2,89$  ve  $K_f=4026,2$  olarak belirlenmiştir.



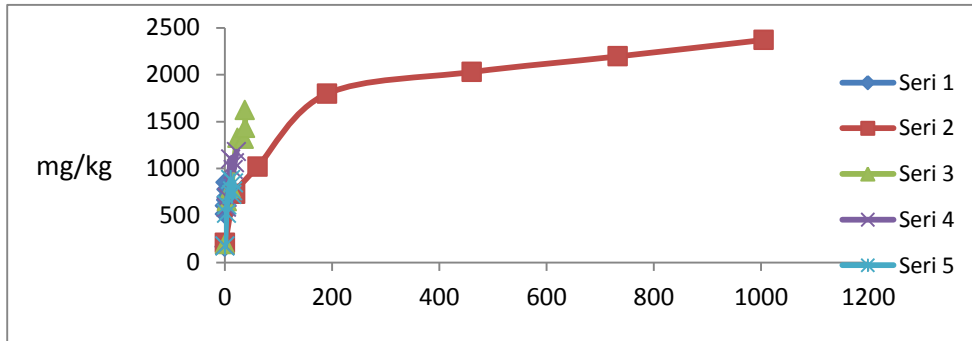
Şekil 4.56 Toprak 28'in a. Freundlich (28-Pb), b. Langmuir(28-Pb) ve c. Log tabanlı Freundlich(28-Pb) izotermi

#### 4.1.4 Kadmiyum (Cd) ve kurşun (Pb) desorpsiyonu

Desorpsiyon, adsorbe edilen elementlerin veya kirlenmiş alanlarda metallerin hareketliliğini belirleyen önemli bir özelliktir. Desorpsiyon miktarı, meydana gelen adsorpsiyon olayının doğasına yani bağlanmanın fiziksel veya elektrostatik bağlarla veya kovalent bağlarla olmasına bağlı olarak değişim göstermektedir. Fiziksel olarak adsorbe edilen katyonlar genelde toprak çözeltisinde bulunan diğer katyonlarla kolayca yer değiştirebilir veya desorbe olma yeteneğindedir. Buna karşılık kovalent bağlarla bağlanan iyon ya da moleküller ise yüksek enerji ile adsorbana bağlandıklarından kolay kolay desorbe olmazlar ve genellikle adsorbantın tamamen parçalanmasıyla tekrar çözelti fazına geçebilirler. Bu çerçevede topraklarda fiziksel ve kovalent bağlarla adsorbe edilen Pb ve Cd miktarlarının ayrıtılabilmesi için adsorpsiyon sonrası topraklar adsorpsiyondaki ortam çözeltisiyle, 0,01 M Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> çözeltisiyle muamele edilmiştir. Toprakların Pb ve Cd'nin değişen başlangıç konsantrasyonlarının desorpsiyon eğrileri bölüm 4.4.1 de verilmiştir.

#### 4.1.4.1 Toprakların kadmiyum (Cd) desorpsiyon durumları

Şekil 4.57’de 1 nolu toprağın değişen başlangıç konsantrasyonlarındaki adsorpsiyon noktalarından nasıl desorbe olduğunu gösteren desorpsiyon izotermi verilmiştir. Bu grafik incelendiğinde uygulanan her bir başlangıç konsantrasyonunda adsorbe edilen Cd dan desorbe olabilen ya da Ca ile yer değiştirebilen Cd miktarları hesaplanmıştır. Buna göre uygulanan en düşük konsantrasyon da absorblanan Cd miktarının % 19,3’si desorblanmıştır. Uygulanan en yüksek konsantrasyonda ise absorblanan kadmiyum (Cd) miktarının yaklaşık % 68’i desorblanmıştır. Genelde desorbe olan Cd miktarı artan başlangıç konsantrasyonu ile artış göstermiş 562 mg/L Cd uygulamasından sonra ise hemen hemen sabit kalmıştır (Çizelge 4.6). Bu da gösteriyorki özellikle düşük konsantrasyonlarda Cd nin yüksek bir enerji ile adsorbe olduğu; yüksek konsantrasyonlarda ise fiziksel adsorpsiyonun yani katyon değişimi mekanizmasıyla gerçekleşen adsorpsiyonun baskın olduğunu göstermektedir. Bu da Cd nin özellikle yüksek konsantrasyonlarda bu toprakta son derece hareketli olabileceğini göstermektedir. Düşük konsantrasyonlardaki % 19.3 lük değerde diğer ağır metallerle karşılaştırıldığında oldukça yüksek bir değerdir ki toprakta Cd nin mobilitesinin küçük konsantrasyonlarda bile önemli olduğunu göstermektedir.

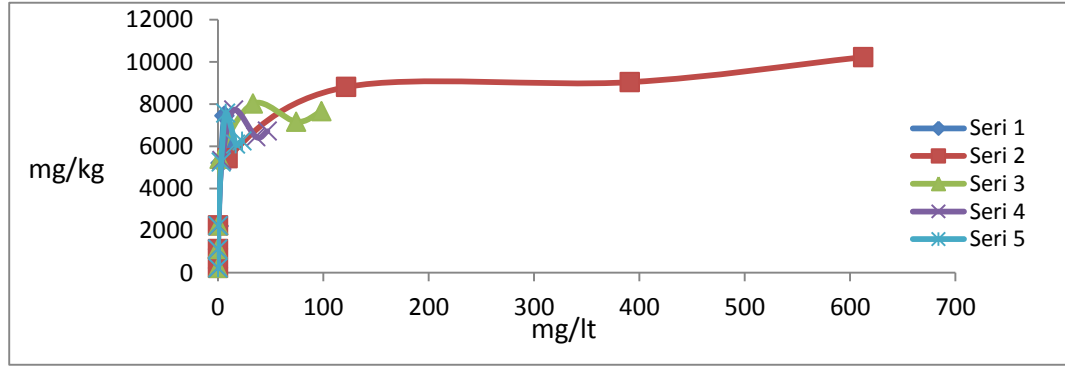


Şekil 4.57 1 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi

Çizelge 4.6 1 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kadmiyum desorpsiyon oranları

| <b>1</b> | <b>Başlangıç Konsantrasyonu (mg L<sup>-1</sup>)</b> | <b>Adsor. edilen miktar (mg kg<sup>-1</sup>)</b> | <b>Desorpsiyon Oranı %</b> | <b>Adsorblanma Oranı %</b> | <b>pH</b> |
|----------|---|--|----------------------------|----------------------------|-----------|
| <b>1</b> | 11,21   | 10,50  | 19,30                      | 93,67                      | 7,46      |
| <b>2</b> | 56,2  | 36,47  | 29,2                       | 64,89                      | 7,45      |
| <b>3</b> | 112,4   | 51   | 40,9                       | 45,37                      | 7,58      |
| <b>4</b> | 281   | 89,92  | 52,5                       | 32,00                      | 6,51      |
| <b>5</b> | 562   | 101,45   | 67,1                       | 18,05                      | 6,14      |
| <b>6</b> | 843   | 109,76   | 68,2                       | 13,02                      | 5,62      |
| <b>7</b> | 1124  | 118,54   | 67,2                       | 10,55                      | 5,61      |

Şekil 5.58’de 2 nolu toprağın desorpsiyon izotermi verilmiştir. Bu grafik incelendiğinde uygulanan her bir başlangıç konsantrasyonunda adsorbe edilen Cd dan desorbe olabilen ya da Ca ile yer değiştirebilen Cd miktarları hesaplanmıştır. Buna göre uygulanan en düşük konsantrasyon da absorblanan Cd miktarının % 0,33’ü desorblanmıştır. Uygulanan en yüksek konsantrasyonda ise absorblanan kadmiyum (Cd) miktarının yaklaşık % 41’i desorblanmıştır. Genelde desorbe olan Cd miktarı artan başlangıç konsantrasyonu ile artış göstermiştir (Çizelge 4.7). Bu da gösteriyorki özellikle düşük konsantrasyonlarda Cd nin yüksek bir enerji ile adsorbe olduğu; yüksek konsantrasyonlarda ise yine aynı şekilde yüksek enerji ile adsorbe olduğu fakat fiziksel adsorpsiyonun yani katyon değişimiyle adsorbe olan Cd miktarının nispeden daha az meydana geldiğini göstermektedir. Bu da Cd nin özellikle bu toprağın kil ve kireç içeriğinin yüksek olması Cd hareketliliğini azaltmıştır (çizelge 4.1).



Şekil 4.58 2 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi

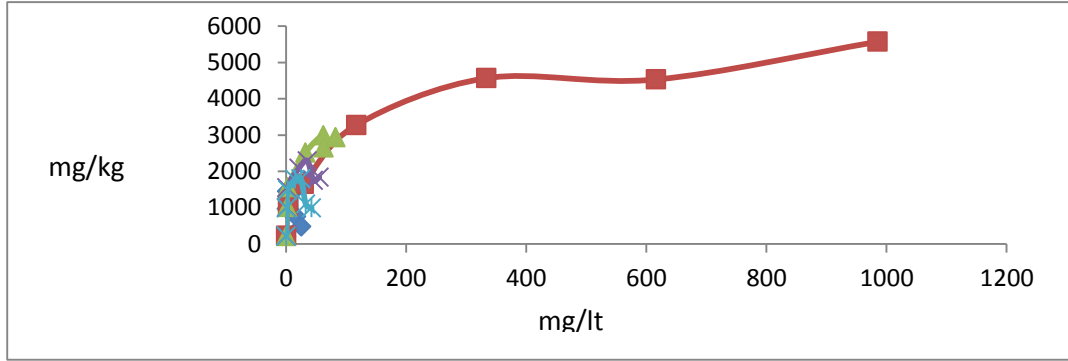
Çizelge 4.7 2 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kadmiyum desorpsiyon oranları

| 2 | Başlangıç Konsantrasyonu (mg L <sup>-1</sup> ) | Adsor. edilen miktar (mg kg <sup>-1</sup> ) | Desorpsiyon Oranı % | Adsorblanma Oranı % | pH   |
|---|--|---|---------------------|---------------------|------|
| 1 | 11,24  | 11,20                                       | 0,33                | 99,64               | 8,66 |
| 2 | 56,2   | 56,16                                       | 1,59                | 99,93               | 7,99 |
| 3 | 112,4  | 112,22                                      | 3,49                | 99,84               | 7,68 |
| 4 | 281  | 271,6                                       | 4,30                | 96,65               | 6,95 |
| 5 | 562  | 440,29                                      | 15,44               | 78,34               | 6,29 |
| 6 | 843  | 451,94                                      | 34,72               | 53,61               | 5,72 |
| 7 | 1124   | 511,37                                      | 41,19               | 45,50               | 5,47 |

Şekil 4.59'da 3 nolu toprağın desorpsiyon izotermi verilmiştir. Buna göre uygulanan en düşük konsantrasyon da absorblanan Cd miktarının % 5,14'si desorblanmıştır. Uygulanan en yüksek konsantrasyonda ise absorblanan kadmiyum (Cd) miktarının yaklaşık % 91,32'si desorblanmıştır. Genelde desorbe olan Cd miktarı artan başlangıç konsantrasyonu ile artış göstermiş 281 mg/L Cd uygulamasından sonra ise desorplanan kadmiyum miktarında oldukça fazla bulunmuştur (Çizelge 4.8). Çizelge 4.8'den anlaşıldığı gibi bu toprağın yaklaşık 230 ppm Cd adsorbma kapasitesinin olduğu görülmektedir. Bu da gösteriyorki özellikle 82,86 ppm konsantrasyona kadar Cd'nin yüksek bir enerji ile adsorbe olduğu; yüksek konsantrasyonlarda ise fiziksel adsorpsiyonun yani katyon değişimiyle adsorbe olduğunu göstermektedir. Bu da Cd'nin



özellikle yüksek konsantrasyonlarda bu toprakta son derece hareketli olduğunu göstermektedir.



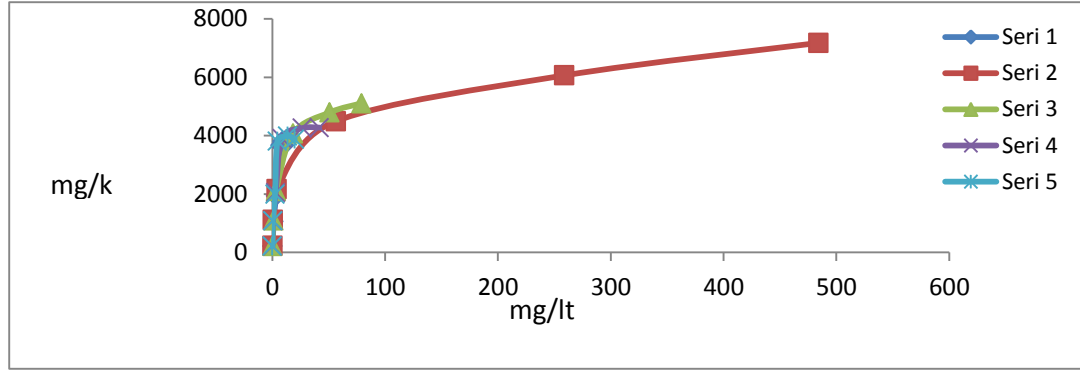
Şekil 4.59 3 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi

Çizelge 4.8 3 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı desorpsiyon kadmiyum oranları

| 3 | Başlangıç Konsantrasyonu (mg L <sup>-1</sup> ) | Adsor. edilen miktar (mg kg <sup>-1</sup> ) | Desorpsiyon Oranı % | Adsorblanma Oranı % | pH   |
|---|--|---|---------------------|---------------------|------|
| 1 | 11,24  | 11,19                                       | 5,14                | 99,56               | 6,73 |
| 2 | 56,2   | 52,94                                       | 9,09                | 94,20               | 5,78 |
| 3 | 112,4  | 82,86                                       | 12,54               | 73,72               | 6,27 |
| 4 | 281  | 163,98                                      | 51,69               | 58,36               | 5,34 |
| 5 | 562  | 228,47                                      | 67,38               | 40,65               | 5,07 |
| 6 | 843  | 226,65                                      | 83,27               | 26,89               | 4,87 |
| 7 | 1124   | 238,69                                      | 91,32               | 21,24               | 4,74 |

Şekil 4.60'da 4 nolu toprağın desorpsiyon izotermi verilmiştir. Buna göre uygulanan en düşük konsantrasyon da absorblanan Cd miktarının % 5,14'ü desorblanmıştır. Uygulanan en yüksek konsantrasyonda ise absorblanan kadmiyum (Cd) miktarının yaklaşık % 48,89'u desorblanmıştır. Genelde desorbe olan Cd miktarı artan başlangıç konsantrasyonu ile artış göstermiş 281 mg/L Cd uygulamasından sonra ise absorblanan kadmiyum miktarı hemen hemen aynı seviyelerde kalmış olup (Çizelge 4.9), Çizelge 4.9'dan anlaşıldığı gibi desorplama oranları da hemen hemen aynı seviyelerde olduğu tespit edilmiştir. Bu da gösteriyorki özellikle 224,69 ppm konsantrasyona kadar Cd nin

yüksek bir enerji ile adsorbe olduğu; yüksek konsantrasyonlarda ise fiziksel adsorpsiyonun yani katyon değişimiyle adsorbe olduğunu göstermektedir. Bu toprağın adsorbılayabildiği maksimum Cd miktarı 366 ppm civarında olduğu, bu miktarında yaklaşık % 40'nın desorblandığı tespit edilmiştir. Bu da Cd'nin özellikle yüksek konsantrasyonlarda bu toprakta son derece hareketli olduğunu göstermektedir.



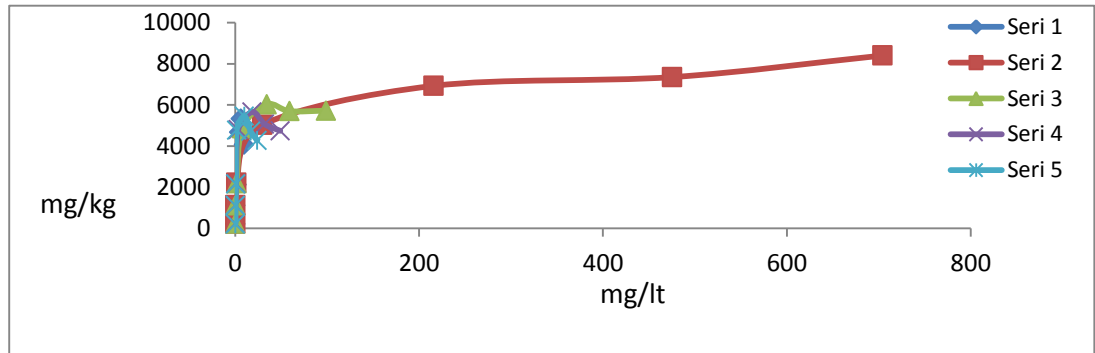
Şekil 4.60 4 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi

Çizelge 4.9 4 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kadmiyum desorpsiyon oranları

| 4 | Başlangıç Konsantrasyonu (mg L <sup>-1</sup> ) | Adsor. edilen miktar (mg kg <sup>-1</sup> ) | Desorpsiyon Oranı % | Adsorblanma Oranı % | pH   |
|---|--|---|---------------------|---------------------|------|
| 1 | 11,24  | 11,19                                       | 5,14                | 99,56               | 7,01 |
| 2 | 56,2   | 55,77                                       | 5,39                | 99,23               | 6,46 |
| 3 | 112,4  | 108,5                                       | 11,01               | 96,53               | 6,74 |
| 4 | 281  | 224,69                                      | 18,50               | 79,96               | 6,24 |
| 5 | 562  | 303,17                                      | 37,18               | 53,94               | 5,83 |
| 6 | 843  | 358,81                                      | 48,89               | 42,56               | 5,73 |
| 7 | 1124   | 366,06                                      | 38,92               | 32,57               | 5,37 |

Şekil 4.61'de 5 nolu toprağın desorpsiyon izotermi verilmiştir. Buna göre uygulanan en düşük konsantrasyon da absorblanan Cd miktarının % 1,33'ü desorblanmıştır. Uygulanan en yüksek konsantrasyonda ise absorblanan kadmiyum (Cd) miktarının yaklaşık % 51,54'ü desorblanmıştır. Genelde desorbe olan Cd miktarı artan başlangıç konsantrasyonu ile artış göstermiş (Çizelge 4.10). Bu da gösteriyorki özellikle düşük

konsantrasyonlarda Cd'nin yüksek bir enerji ile adsorbe olduğu; yüksek konsantrasyonlarda ise fiziksel adsorpsiyonun yani katyon değişimiyle adsorbe olduğunu göstermektedir. Bu toprağın adsorbılayabildiği maksimum Cd miktarı 4166 ppm civarında olduğu, bu miktarda yaklaşık % 51'in desorblandığı tespit edilmiştir. Bu da Cd'nin özellikle yüksek konsantrasyonlarda bu toprakta son derece hareketli olduğunu göstermektedir.



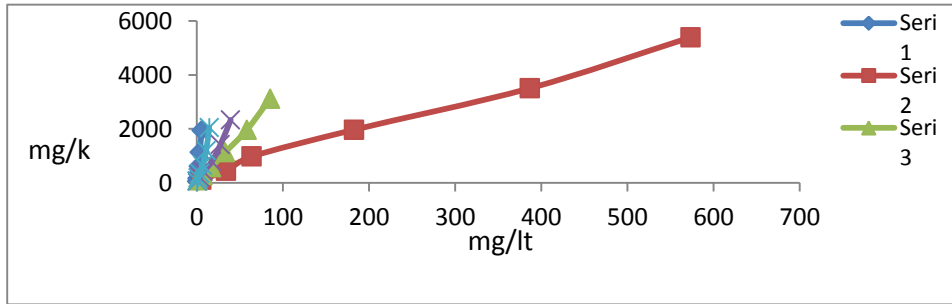
Şekil 4.61 5 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi

Çizelge 4.10 5 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kadmiyum desorpsiyon oranları

| 5 | Başlangıç Konsantrasyonu (mg L <sup>-1</sup> ) | Adsor. edilen miktar (mg kg <sup>-1</sup> ) | Desorpsiyon Oranı % | Adsorblanma Oranı % | pH   |
|---|--|---|---------------------|---------------------|------|
| 1 | 11,24  | 11,16                                       | 1,33                | 99,29               | 7,14 |
| 2 | 56,2   | 55,98                                       | 3,77                | 99,61               | 7,01 |
| 3 | 112,4  | 111,1                                       | 4,35                | 98,84               | 6,87 |
| 4 | 281  | 251,62                                      | 7,19                | 89,54               | 6,13 |
| 5 | 562  | 346,29                                      | 23,02               | 61,62               | 5,83 |
| 6 | 843  | 367,58                                      | 38,11               | 43,60               | 5,60 |
| 7 | 1124   | 419,98                                      | 51,54               | 37,36               | 5,21 |

Şekil 4. 62'de 6 nolu toprağın desorpsiyon izotermi verilmiştir. Buna göre uygulanan en düşük konsantrasyon da absorblanan Cd miktarının % 51,03'ü desorblanmıştır. Uygulanan en yüksek konsantrasyonda ise absorblanan kadmiyum (Cd) miktarının yaklaşık % 69'u desorblanmıştır. Genelde desorbe olan Cd miktarı artan başlangıç

konsantrasyonu ile artış göstermiş 843 mg/L Cd uygulamasından sonra ise hemen hemen sabit kalmıştır (Çizelge 4.11). Bu da gösteriyorki özellikle düşük konsantrasyonlarda dahi Cd'mun düşük bir enerji ile adsorbe olduğu; yüksek konsantrasyonlarda ise yine aynı şekilde fiziksel adsorpsiyonun yani katyon değişimiyle adsorbe olduğunu göstermektedir. Bu da bu toprakta olduğu gibi organik madde içeriği yüksek olan topraklarda Cd'nin özellikle düşük konsantrasyonlarda bile son derece hareketli olduğunu göstermektedir.



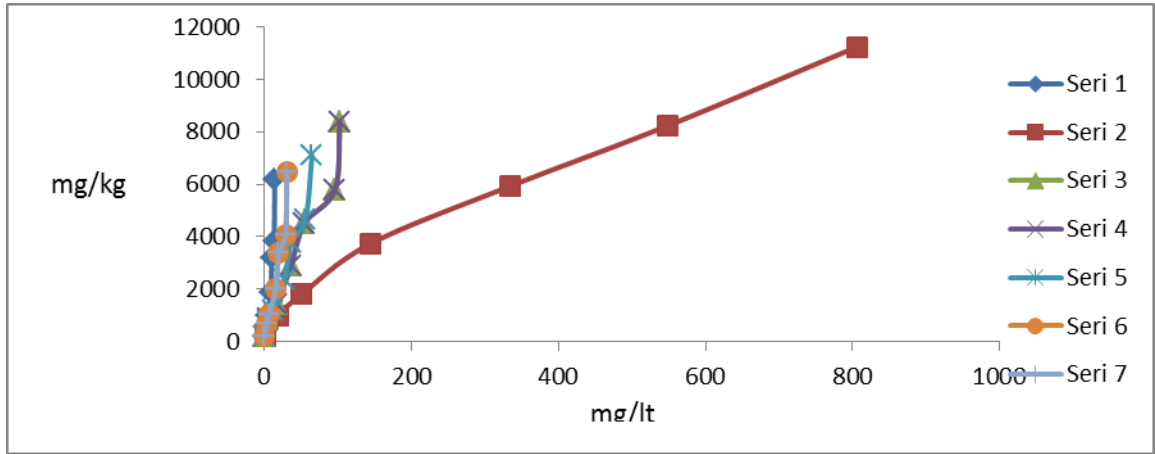
Şekil 4.62 6 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi

Çizelge 4.11 6 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kadmiyum desorpsiyon oranları

| 6 | Başlangıç Konsantrasyonu (mg L <sup>-1</sup> ) | Adsor. edilen miktar (mg kg <sup>-1</sup> ) | Desorpsiyon Oranı % | Adsorblanma Oranı % | pH   |
|---|--|---|---------------------|---------------------|------|
| 1 | 11,24  | 5,88  | 51,03               | 52,31               | 5,68 |
| 2 | 56,2   | 22,45                                       | 64,12               | 39,95               | 5,35 |
| 3 | 112,4  | 48,78                                       | 66,44               | 43,40               | 5,07 |
| 4 | 281  | 98,44                                       | 69,00               | 35,03               | 4,94 |
| 5 | 562  | 175,25                                      | 67,8                | 31,18               | 4,85 |
| 6 | 843  | 269,54                                      | 64,11               | 31,97               | 4,73 |
| 7 | 1124   | 267,52                                      | 69,12               | 23,80               | 4,67 |

Şekil 4.63'de 7 nolu toprağın desorpsiyon izotermi verilmiştir. Buna göre uygulanan en düşük konsantrasyon da absorblanan Cd miktarının % 15,06'si desorblanmıştır. Uygulanan en yüksek konsantrasyonda ise absorblanan kadmiyum (Cd) miktarının

yaklaşık % 68'i desorblanmıştır. Genelde desorbe olan Cd miktarı artan başlangıç konsantrasyonu ile artış göstermiş 281 mg/L Cd uygulamasından sonra ise hemen hemen sabit kalmıştır (Çizelge 4.12). Bu da gösteriyorki özellikle düşük konsantrasyonlarda bile Cd'nin düşük bir enerji ile adsorbe olduğu; hem yüksek hemde düşük konsantrasyonlarda fiziksel adsorpsiyonun yani katyon değişimiyle adsorbe olduğunu göstermektedir.



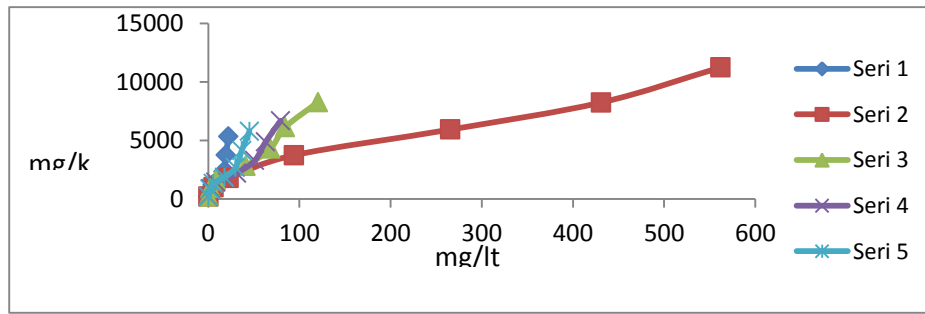
Şekil 4.63 7 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi

Çizelge 4.12 7 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kadmiyum desorpsiyon oranları

| 7 | Başlangıç Konsantrasyonu (mg L <sup>-1</sup> ) | Adsor. edilen miktar (mg kg <sup>-1</sup> ) | Desorpsiyon Oranı % | Adsorblanma Oranı % | pH   |
|---|--|---|---------------------|---------------------|------|
| 1 | 11,24  | 9,75  | 15,06               | 86,74               | 6,31 |
| 2 | 56,2   | 38,02                                       | 34,43               | 67,65               | 6,26 |
| 3 | 112,4  | 62,01                                       | 44,73               | 55,17               | 6,27 |
| 4 | 281  | 136,55                                      | 50,27               | 48,59               | 6,04 |
| 5 | 562  | 227,64                                      | 46,28               | 40,51               | 6,04 |
| 6 | 843  | 293,88                                      | 53,56               | 34,86               | 6,06 |
| 7 | 1124   | 318,01                                      | 51,32               | 23,80               | 5,90 |

Şekil 4.64'de 8 nolu toprağın desorpsiyon izotermi verilmiştir. Buna göre uygulanan en düşük konsantrasyon da absorblanan Cd miktarının % 6,05'i desorblanmıştır.

Uygulanan en yüksek konsantrasyonda ise absorblanan kadmiyum (Cd) miktarının yaklaşık % 60'ı desorblanmıştır. Genelde desorbe olan Cd miktarı artan başlangıç konsantrasyonu ile artış göstermiş 281 mg/L Cd uygulamasından sonra ise hemen hemen sabit kalmıştır (Çizelge 4.13). Bu da gösteriyorki özellikle düşük konsantrasyonlarda bile Cd'nin düşük bir enerji ile adsorbe olduğu; hem yüksek hemde düşük konsantrasyonlarda fiziksel adsorpsiyonun yani katyon değişimiyle adsorbe olduğunu göstermektedir. Bu toprağın organik madde yüksek (% 6,62), pH değerinin (6,37) düşük olduğu görülmektedir.



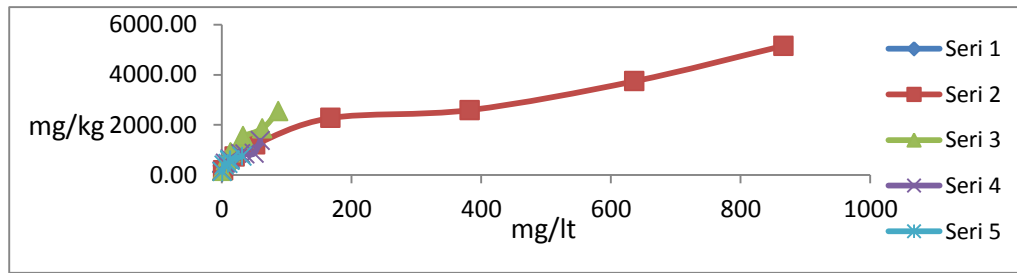
Şekil 4.64 8 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi

Çizelge 4.13 8 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kadmiyum desorpsiyon oranları

| 8 | Başlangıç Konsantrasyonu (mg L <sup>-1</sup> ) | Adsor. edilen miktar (mg kg <sup>-1</sup> ) | Desorpsiyon Oranı % | Adsorblanma Oranı % | pH   |
|---|--|---|---------------------|---------------------|------|
| 1 | 11,24  | 10,85                                       | 6,05                | 96,53               | 6,83 |
| 2 | 56,2   | 50,19                                       | 19,23               | 89,31               | 6,77 |
| 3 | 112,4  | 90  | 31,48               | 80,07               | 6,69 |
| 4 | 281  | 187,03                                      | 57,97               | 66,56               | 6,47 |
| 5 | 562  | 296,63                                      | 60,4                | 52,78               | 6,27 |
| 6 | 843  | 412,13                                      | 54,54               | 48,89               | 6,04 |
| 7 | 1124   | 562,07                                      | 52,5                | 23,80               | 5,71 |

Şekil 4.65'te 9 nolu toprağın desorpsiyon izotermi verilmiştir. Bu toprakta adsorpsiyon eğrisine göre temelde belirgin şekilde iki farklı bölge bulunduğu görülmektedir. 562

mg/L uygulamasından sonra farklı bir bölge görülmektedir. Adsorpsiyon izoterminin eğiminden toprağın Cd'yi Bu toprağın Cd'yi düşük enerji seviyelerinde adsorbe ettiğini göstermektedir ki bunun sonucu olarak desorbe olan Cd miktarı diğer topraklarla kıyaslandığında oldukça yüksektir (Çizelge 4.14). Buna göre uygulanan en düşük konsantrasyon da absorblanan kadmiyum (Cd) miktarının % 32,58'i desorbe olurken en yüksek konsantrasyonda ise bu miktar % 90,20'ye ulaşmıştır. Bu toprağın Organik madde içeriği (% 6,36) yüksek ve aynı zamanda pH (5,31) değeri oldukça düşük olarak bulunmuştur.



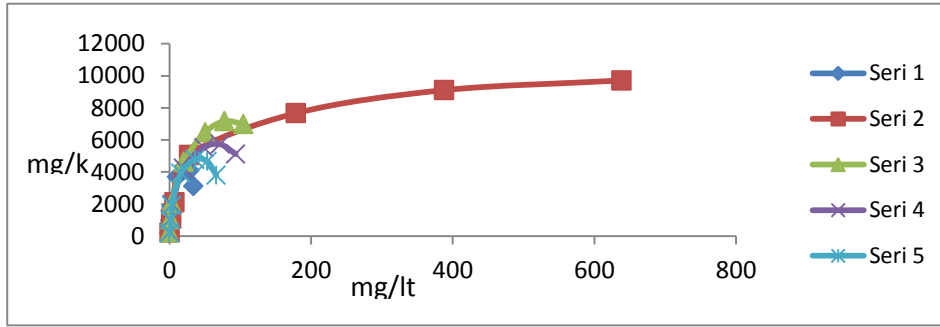
Şekil 4.65 9 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi

Çizelge 4.14 9 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kadmiyum desorpsiyon oranları

| 9 | Başlangıç Konsantrasyonu (mg L <sup>-1</sup> ) | Adsor. edilen miktar (mg kg <sup>-1</sup> ) | Desorpsiyon Oranı % | Adsorblanma Oranı % | pH   |
|---|--|---|---------------------|---------------------|------|
| 1 | 11,24  | 8,88  | 32,58               | 79,00               | 6,12 |
| 2 | 56,2   | 36,43                                       | 50,70               | 64,82               | 6,07 |
| 3 | 112,4  | 60,72                                       | 71,84               | 54,02               | 5,92 |
| 4 | 281  | 113,5                                       | 79,03               | 40,39               | 5,81 |
| 5 | 562  | 129,41                                      | 85,94               | 23,03               | 5,76 |
| 6 | 843  | 186,95                                      | 90,15               | 22,18               | 5,71 |
| 7 | 1124   | 257,81                                      | 90,2                | 23,80               | 5,58 |

Şekil 4.66'da 10 nolu toprağın desorpsiyon izotermi verilmiştir. Buna göre uygulanan en düşük konsantrasyon da absorplanan Cd miktarının % 2,46'sı desorblanmıştır. Uygulanan en yüksek konsantrasyonda ise absorplanan kadmiyum (Cd) miktarının

yaklaşık % 67,91'i desorblanmıştır. Genelde desorbe olan Cd miktarı artan başlangıç konsantrasyonu ile artış göstermiş 562 mg/L Cd uygulamasından sonra ise hemen hemen sabit kalmıştır (Çizelge 4.15). Bu da gösteriyorki özellikle düşük konsantrasyonlarda bile Cd'nin düşük bir enerji ile adsorbe olduğu; hem yüksek hemde düşük konsantrasyonlarda fiziksel adsorpsiyonun yani katyon değişimiyle adsorbe olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.66 10 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi

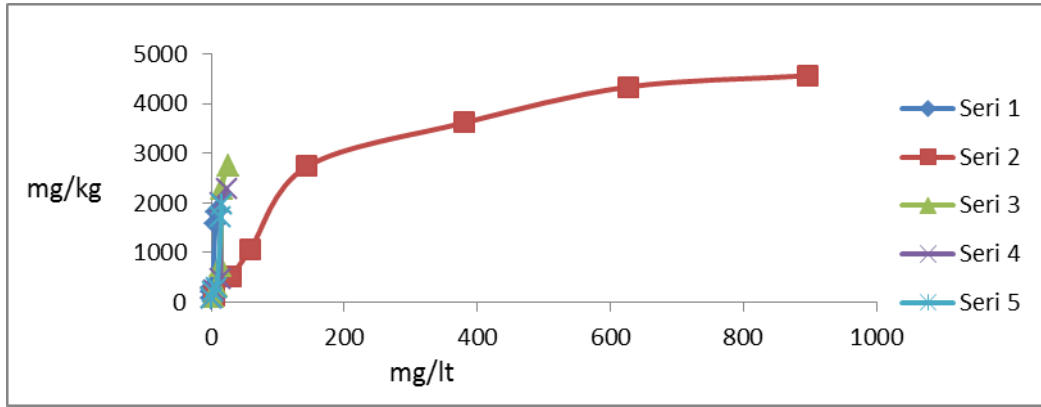
Çizelge 4.15 10 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kadmiyum desorpsiyon oranları

| 10 | Başlangıç Konsantrasyonu (mg L <sup>-1</sup> ) | Adsor. edilen miktar (mg kg <sup>-1</sup> ) | Desorpsiyon Oranı % | Adsorblanma Oranı % | pH   |
|----|--|---|---------------------|---------------------|------|
| 1  | 11,24  | 11,04                                       | 2,46                | 98,22               | 6,73 |
| 2  | 56,2   | 53,78                                       | 9,07                | 95,69               | 6,64 |
| 3  | 112,4  | 105,42                                      | 12,62               | 93,79               | 6,43 |
| 4  | 281  | 253,2                                       | 26,96               | 90,11               | 6,29 |
| 5  | 562  | 383,41                                      | 43,21               | 68,22               | 6,23 |
| 6  | 843  | 455,27                                      | 55,05               | 54,01               | 5,92 |
| 7  | 1124   | 485,59                                      | 67,91               | 23,80               | 5,78 |

Şekil 4.67'de 11 nolu toprağın desorpsiyon izotermi verilmiştir. Buna göre uygulanan en düşük konsantrasyon da absorblanan Cd miktarının % 41'i desorblanmıştır. Uygulanan en yüksek konsantrasyonda ise absorblanan kadmiyum (Cd) miktarının



yaklaşık % 74,47'si desorblanmıştır. Genelde desorbe olan Cd miktarı artan başlangıç konsantrasyonu ile artış göstermiş 562 mg/L Cd uygulamasından sonra ise hemen hemen sabit kalmıştır (Çizelge 4.16). Bu da gösteriyorki özellikle düşük konsantrasyonlarda bile Cd'nin düşük bir enerji ile adsorbe olduğu; hem yüksek hemde düşük konsantrasyonlarda fiziksel adsorpsiyonun yani katyon değişimiyle adsorbe olduğunu göstermektedir.



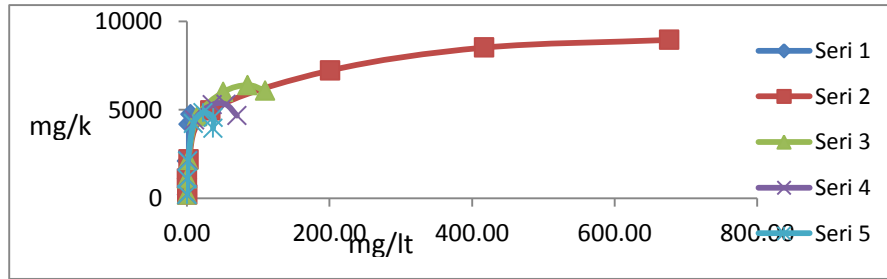
Şekil 4.67 11 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi

Çizelge 4.16 11 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kadmiyum desorpsiyon oranları

| 11 | Başlangıç Konsantrasyonu (mg L <sup>-1</sup> ) | Adsor. edilen miktar (mg kg <sup>-1</sup> ) | Desorpsiyon Oranı % | Adsorblanma Oranı % | pH   |
|----|--|---|---------------------|---------------------|------|
| 1  | 11,24  | 11,04                                       | 41,00               | 98,22               | 5,73 |
| 2  | 56,2   | 53,78                                       | 38,25               | 95,69               | 5,33 |
| 3  | 112,4  | 105,42                                      | 43,01               | 93,79               | 5,14 |
| 4  | 281  | 253,2                                       | 41,88               | 90,11               | 5,10 |
| 5  | 562  | 383,41                                      | 49,54               | 68,22               | 4,51 |
| 6  | 843  | 455,27                                      | 61,98               | 54,01               | 4,10 |
| 7  | 1124   | 485,59                                      | 74,47               | 23,80               | 4,07 |

Şekil 4.68'de 12 nolu toprağın desorpsiyon izotermi verilmiştir. Buna göre uygulanan en düşük konsantrasyon da absorblanan Cd miktarının % 0,47'si desorblanmıştır.

Uygulanan en yüksek konsantrasyonda ise absorblanan kadmiyum (Cd) miktarının yaklaşık % 55,95'i desorblanmıştır. Genelde desorbe olan Cd miktarı artan başlangıç konsantrasyonu ile artış göstermiş (Çizelge 4.17). Bu da gösteriyorki özellikle düşük konsantrasyonlarda Cd'nin yüksek bir enerji ile adsorbe olduğu; yüksek konsantrasyonlarda ise fiziksel adsorpsiyonun yani katyon değişimiyle adsorbe olduğunu göstermektedir. Bu toprağın adsorbılayabildiği maksimum Cd miktarı 225 pm civarında olduğu, bu miktarında yaklaşık % 50'sinin desorblandığı tespit edilmiştir. Bu da Cd'nin özellikle yüksek konsantrasyonlarda bu toprakta son derece hareketli olduğunu göstermektedir.

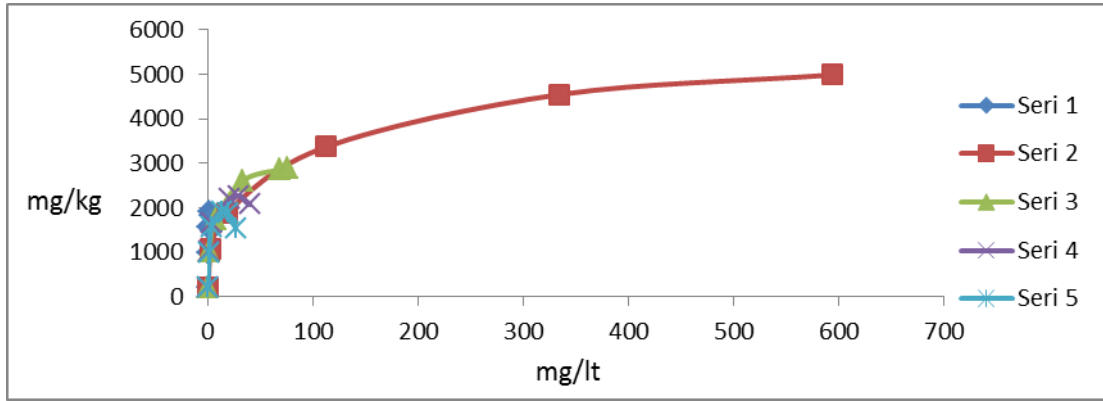


Şekil 4.68 12 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi

Çizelge 4.17 12 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kadmiyum desorpsiyon oranları

| 12 | Başlangıç Konsantrasyonu (mg L <sup>-1</sup> ) | Adsor. edilen miktar (mg kg <sup>-1</sup> ) | Desorpsiyon Oranı % | Adsorblanma Oranı % | pH   |
|----|--|---|---------------------|---------------------|------|
| 1  | 11,24  | 7,09  | 0,57                | 63,08               | 6,64 |
| 2  | 56,2   | 26,29                                       | 1,08                | 46,78               | 6,64 |
| 3  | 112,4  | 53,74                                       | 4,24                | 47,81               | 6,57 |
| 4  | 281  | 136,89                                      | 15,57               | 48,72               | 6,51 |
| 5  | 562  | 181,02                                      | 34,4                | 32,21               | 6,35 |
| 6  | 843  | 216,84                                      | 48,32               | 25,72               | 6,30 |
| 7  | 1124   | 228,16                                      | 55,95               | 23,80               | 5,86 |

Şekil 4.69’da 13 nolu toprağın desorpsiyon izotermi verilmiştir. Buna göre uygulanan en düşük konsantrasyon da absorblanan Cd miktarının % 6,32’si desorblanmıştır. Uygulanan en yüksek konsantrasyonda ise absorblanan kadmiyum (Cd) miktarının yaklaşık % 7,49’u desorblanmıştır. Genelde desorbe olan Cd miktarı artan başlangıç konsantrasyonu ile artış göstermiş (Çizelge 4.18). Bu da gösteriyorki özellikle düşük konsantrasyonlarda Cd’nin yüksek bir enerji ile adsorbe olduğu; yüksek konsantrasyonlarda ise fiziksel adsorpsiyonun yani katyon değişimiyle adsorbe olduğunu göstermektedir. Bu da Cd’nin özellikle yüksek konsantrasyonlarda bu toprakta son derece hareketli olduğunu göstermektedir.

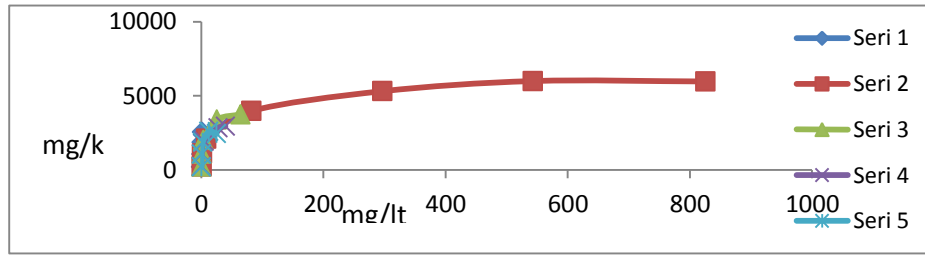


Şekil 4.69 13 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi

Çizelge 4.18 13 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kadmiyum desorpsiyon oranları

| 13 | Başlangıç Konsantrasyonu (mg L <sup>-1</sup> ) | Adsor. edilen miktar (mg kg <sup>-1</sup> ) | Desorpsiyon Oranı % | Adsorblanma Oranı % | pH   |
|----|--|---|---------------------|---------------------|------|
| 1  | 11,24  | 10,77                                       | 6,32                | 95,82               | 6,86 |
| 2  | 56,2   | 53,17                                       | 7,67                | 94,61               | 6,68 |
| 3  | 112,4  | 94,53                                       | 17,07               | 84,10               | 6,61 |
| 4  | 281  | 168,46                                      | 43,61               | 59,95               | 6,57 |
| 5  | 562  | 227,24                                      | 60,03               | 40,43               | 6,50 |
| 6  | 843  | 249,28                                      | 70,49               | 29,57               | 6,31 |
| 7  | 1124   |   | 75,95               | 23,86               | 6,04 |

Şekil 4.70'de 14 nolu toprağın desorpsiyon izotermi verilmiştir.. Buna göre uygulanan en düşük konsantrasyon da absorblanan Cd miktarının % 2,87'si desorblanmıştır. Uygulanan en yüksek konsantrasyonda ise absorblanan kadmiyum (Cd) miktarının yaklaşık % 55,20'si desorblanmıştır. Genelde desorbe olan Cd miktarı artan başlangıç konsantrasyonu ile artış göstermiş (Çizelge 4.19). Bu da gösteriyorki özellikle düşük konsantrasyonlarda Cd'nin yüksek bir enerji ile adsorbe olduğu; yüksek konsantrasyonlarda ise fiziksel adsorpsiyonun yani katyon değişimiyle adsorbe olduğunu göstermektedir. Bu toprağın adsorblayabildiği maksimum Cd miktarı 299 ppm civarında olduğu, bu miktarda yaklaşık % 55'inin desorblandığı tespit edilmiştir. Bu da Cd'nin özellikle yüksek konsantrasyonlarda bu toprakta son derece hareketli olduğunu göstermektedir.

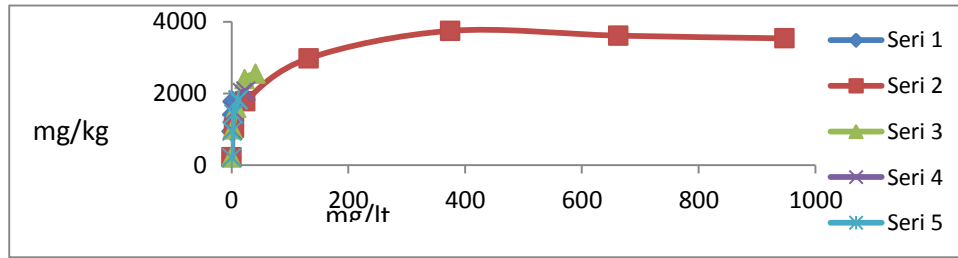


Şekil 4.70 14 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi

Çizelge 4.19 14 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kadmiyum desorpsiyon oranları

| 14 | Başlangıç Konsantrasyonu (mg L <sup>-1</sup> ) | Adsor. edilen miktar (mg kg <sup>-1</sup> ) | Desorpsiyon Oranı % | Adsorblanma Oranı % | pH   |
|----|--|---|---------------------|---------------------|------|
| 1  | 11,24  | 10,66                                       | 2,87                | 94,84               | 7,02 |
| 2  | 56,2   | 55,04                                       | 3,97                | 97,94               | 6,70 |
| 3  | 112,4  | 104,5                                       | 11,19               | 92,97               | 6,64 |
| 4  | 281  | 198,9                                       | 35,76               | 70,78               | 6,54 |
| 5  | 562  | 265,56                                      | 37,62               | 47,25               | 6,45 |
| 6  | 843  | 299,87                                      | 44,45               | 35,57               | 6,46 |
| 7  | 1124   | 298,45                                      | 55,2                | 26,55               | 6,43 |

Şekil 4.71’de 15 nolu toprağın desorpsiyon izotermi verilmiştir. Buna göre uygulanan en düşük konsantrasyon da absorblanan Cd miktarının % 6’sı desorblanmıştır. Uygulanan en yüksek konsantrasyonda ise absorblanan kadmiyum (Cd) miktarının yaklaşık % 85,95’i desorblanmıştır. Genelde desorbe olan Cd miktarı artan başlangıç konsantrasyonu ile artış göstermiş (Çizelge 4.20). Bu da gösteriyorki özellikle düşük konsantrasyonlarda Cd’nin yüksek bir enerji ile adsorbe olduğu; yüksek konsantrasyonlarda ise fiziksel adsorpsiyonun yani katyon değişimiyle adsorbe olduğunu göstermektedir. Bu toprağın adsorblayabildiği maksimum Cd miktarı 187 ppm civarında olduğu, bu miktarında yaklaşık % 52’inin desorblandığı tespit edilmiştir. Bu da Cd’nin özellikle yüksek konsantrasyonlarda bu toprakta son derece hareketli olduğunu göstermektedir.

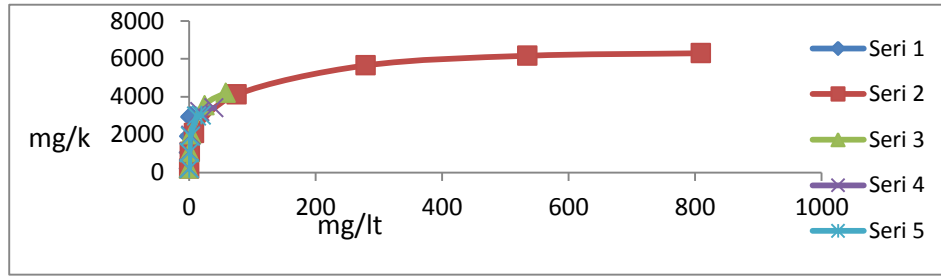


Şekil 4.71 15 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi

Çizelge 4.20 15 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kadmiyum desorpsiyon oranları

| 15 | Başlangıç Konsantrasyonu (mg L <sup>-1</sup> ) | Adsor. edilen miktar (mg kg <sup>-1</sup> ) | Desorpsiyon Oranı % | Adsorblanma Oranı % | pH   |
|----|--|---|---------------------|---------------------|------|
| 1  | 11,24  | 11,03                                       | 6,00                | 98,13               | 7,17 |
| 2  | 56,2   | 52,12                                       | 9,68                | 92,74               | 7,02 |
| 3  | 112,4  | 89  | 20,79               | 79,18               | 7,06 |
| 4  | 281  | 149,01                                      | 40,77               | 53,03               | 7,00 |
| 5  | 562  | 187,39                                      | 52,57               | 33,34               | 7,04 |
| 6  | 843  | 180,69                                      | 82,13               | 21,43               | 6,67 |
| 7  | 1124   | 176,89                                      | 85,95               | 15,74               | 6,57 |

Şekil 4.72’de 16 nolu toprağın desorpsiyon izotermi verilmiştir. Buna göre uygulanan en düşük konsantrasyon da absorblanan Cd miktarının % 3,54’ü desorblanmıştır. Uygulanan en yüksek konsantrasyonda ise absorblanan kadmiyum (Cd) miktarının yaklaşık % 55,95’i desorblanmıştır. Genelde desorbe olan Cd miktarı artan başlangıç konsantrasyonu ile artış göstermiş (Çizelge 4.21). Bu da gösteriyorki özellikle düşük konsantrasyonlarda Cd’nin yüksek bir enerji ile adsorbe olduğu; yüksek konsantrasyonlarda ise fiziksel adsorpsiyonun yani katyon değişimiyle adsorbe olduğunu göstermektedir. Bu toprağın adsorblayabildiği maksimum Cd miktarı 310 ppm civarında olduğu, bu miktarında yaklaşık % 52’sinin desorblandığı tespit edilmiştir. Bu da Cd’nin özellikle yüksek konsantrasyonlarda bu toprakta son derece hareketli olduğunu göstermektedir.

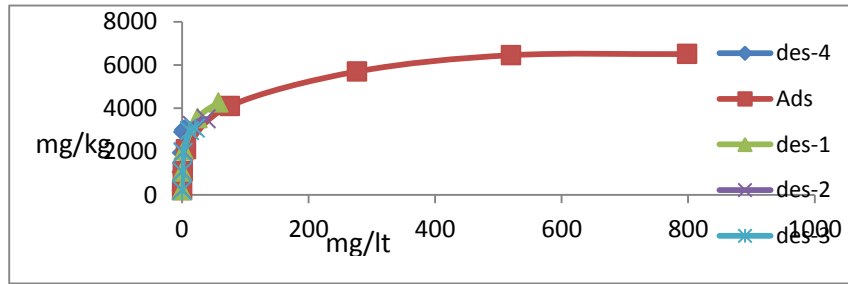


Şekil 4.72 16 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi

Çizelge 4.21 16 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kadmiyum desorpsiyon oranları

| 16 | Başlangıç Konsantrasyonu (mg L <sup>-1</sup> ) | Adsor. edilen miktar (mg kg <sup>-1</sup> ) | Desorpsiyon Oranı % | Adsorblanma Oranı % | pH   |
|----|--|---|---------------------|---------------------|------|
| 1  | 11,24  | 10,77                                       | 3,54                | 95,82               | 7,24 |
| 2  | 56,2   | 54,6  | 3,48                | 97,15               | 7,19 |
| 3  | 112,4  | 104,38                                      | 8,75                | 92,86               | 7,11 |
| 4  | 281  | 205,8                                       | 29,00               | 73,24               | 6,99 |
| 5  | 562  | 282,62                                      | 47,53               | 50,29               | 6,80 |
| 6  | 843  | 308,2                                       | 52,13               | 36,56               | 6,78 |
| 7  | 1124   | 314,84                                      | 55,95               | 28,01               | 6,43 |

Şekil 4.73’de 17 nolu toprağın desorpsiyon izotermi verilmiştir. Buna göre uygulanan en düşük konsantrasyon da absorblanan Cd miktarının % 4,86’sı desorblanmıştır. Uygulanan en yüksek konsantrasyonda ise absorblanan kadmiyum (Cd) miktarının yaklaşık % 47,33’ü desorblanmıştır. Genelde desorbe olan Cd miktarı artan başlangıç konsantrasyonu ile artış göstermiş (Çizelge 4.22). Bu da gösteriyorki özellikle düşük konsantrasyonlarda Cd nin yüksek bir enerji ile adsorbe olduğu; yüksek konsantrasyonlarda ise fiziksel adsorpsiyonun yani katyon değişimiyle adsorbe olduğunu göstermektedir. Bu toprağın adsorblayabildiği maksimum Cd miktarı 281 ppm civarında olduğu, bu miktarda yaklaşık % 30’unun desorblandığı tespit edilmiştir. Bu da Cd’nin özellikle yüksek konsantrasyonlarda bu toprakta son derece hareketli olduğunu göstermektedir.

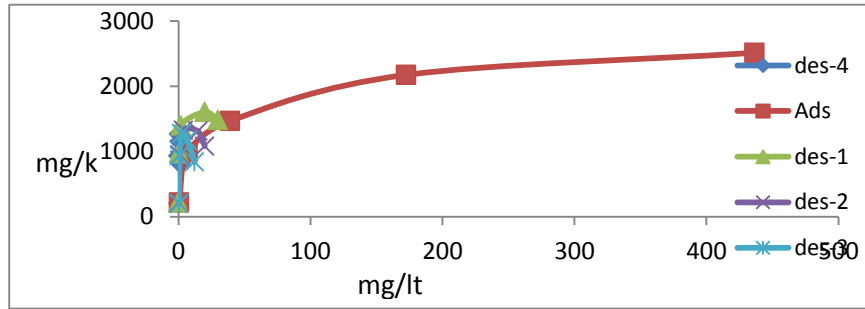


Şekil 4.73 17 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi

Çizelge 4.22 17 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kadmiyum desorpsiyon oranları

| 17 | Başlangıç Konsantrasyonu (mg L <sup>-1</sup> ) | Adsor. edilen miktar (mg kg <sup>-1</sup> ) | Desorpsiyon Oranı % | Adsorblanma Oranı % | pH   |
|----|--|---|---------------------|---------------------|------|
| 1  | 11,24  | 10,75                                       | 4,86                | 95,64               | 7,32 |
| 2  | 56,2   | 54,59                                       | 3,19                | 97,14               | 7,26 |
| 3  | 112,4  | 105,64                                      | 7,96                | 93,99               | 6,94 |
| 4  | 281  | 205,36                                      | 29,17               | 73,08               | 6,94 |
| 5  | 562  | 285,15                                      | 47,33               | 50,74               | 6,36 |
| 6  | 843  | 322,74                                      | 34,73               | 38,28               | 6,28 |
| 7  | 1124   | 325,32                                      | 46,21               | 28,94               | 6,06 |

Şekil 4.74’de 18 nolu toprağın desorpsiyon izotermi verilmiştir. Buna göre uygulanan en düşük konsantrasyon da absorblanan Cd miktarının % 5,41’i desorblanmıştır. Uygulanan en yüksek konsantrasyonda ise absorblanan kadmiyum (Cd) miktarının yaklaşık % 75,95’i desorblanmıştır. Genelde desorbe olan Cd miktarı artan başlangıç konsantrasyonu ile artış göstermiş (Çizelge 4.23). Bu da gösteriyorki özellikle düşük konsantrasyonlarda Cd’nin yüksek bir enerji ile adsorbe olduğu; yüksek konsantrasyonlarda ise fiziksel adsorpsiyonun yani katyon değişimiyle adsorbe olduğunu göstermektedir. Bu toprağın adsorblayabildiği maksimum Cd miktarı 125 ppm civarında olduğu, bu miktarda yaklaşık % 45’inin desorblandığı tespit edilmiştir. Bu da Cd’nin özellikle yüksek konsantrasyonlarda bu toprakta son derece hareketli olduğunu göstermektedir.



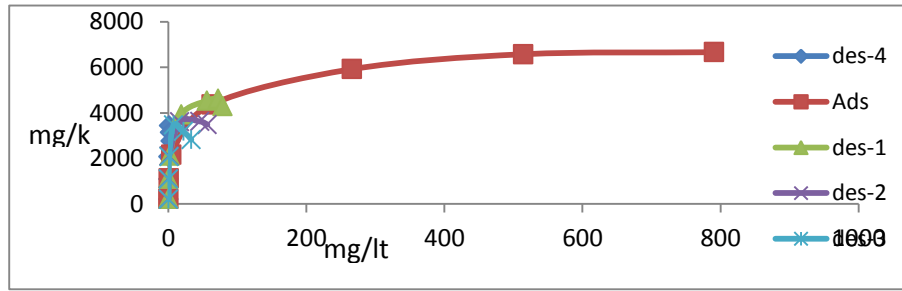
Şekil 4.74 18 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi

Çizelge 4.23 18 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kadmiyum desorpsiyon oranları

| 18 | Başlangıç Konsantrasyonu (mg L <sup>-1</sup> ) | Adsor. edilen miktar (mg kg <sup>-1</sup> ) | Desorpsiyon Oranı % | Adsorblanma Oranı % | pH   |
|----|--|---|---------------------|---------------------|------|
| 1  | 11,24  | 10,81                                       | 6,24                | 96,17               | 7,12 |
| 2  | 56,2   | 49,2  | 5,41                | 87,54               | 7,07 |
| 3  | 112,4  | 73,36                                       | 13,71               | 65,27               | 7,00 |
| 4  | 281  | 108,64                                      | 46,94               | 38,66               | 6,99 |
| 5  | 562  | 125,61                                      | 67,8                | 22,35               | 6,77 |
| 6  | 843  | 122,39                                      | 72,13               | 14,52               | 6,48 |
| 7  | 1124   | 125,24                                      | 75,95               | 11,14               | 6,42 |



Şekil 4.75 de 19 nolu toprağın desorpsiyon izotermi verilmiştir. Buna göre uygulanan en düşük konsantrasyonda absorblanan Cd miktarının % 1,44'ü desorblanmıştır. Uygulanan en yüksek konsantrasyonda ise absorblanan kadmiyum (Cd) miktarının yaklaşık % 58,04'ü desorplanmıştır. Genelde desorbe olan Cd miktarı artan başlangıç konsantrasyonu ile artış göstermiş (Çizelge 4.24). Bu da gösteriyorki özellikle düşük konsantrasyonlarda Cd'nin yüksek bir enerji ile adsorbe olduğu; yüksek konsantrasyonlarda ise fiziksel adsorpsiyonun yani katyon değişimiyle adsorbe olduğunu göstermektedir. Bu toprağın adsorblayabildiği maksimum Cd miktarı 330 ppm civarında olduğu, bu miktarda yaklaşık % 50'sinin desorblandığı tespit edilmiştir. Bu da Cd'nin özellikle yüksek konsantrasyonlarda bu toprakta son derece hareketli olduğunu göstermektedir.

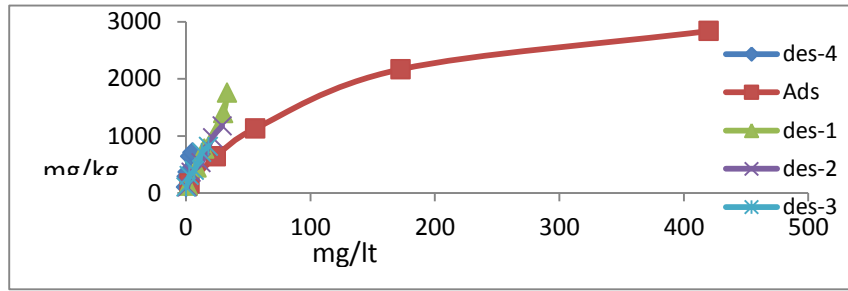


Şekil 4.75 19 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi

Çizelge 4.24 19 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kadmiyum desorpsiyon oranları

| 19 | Başlangıç Konsantrasyonu (mg L <sup>-1</sup> ) | Adsor. edilen miktar (mg kg <sup>-1</sup> ) | Desorpsiyon Oranı % | Adsorblanma Oranı % | pH   |
|----|--|---|---------------------|---------------------|------|
| 1  | 11,24  | 10,99                                       | 5,39                | 97,78               | 7,12 |
| 2  | 56,2   | 55,65                                       | 1,44                | 99,02               | 7,09 |
| 3  | 112,4  | 108,24                                      | 4,22                | 96,30               | 7,05 |
| 4  | 281  | 218,39                                      | 21,17               | 77,72               | 6,94 |
| 5  | 562  | 295,97                                      | 46,91               | 52,66               | 6,86 |
| 6  | 843  | 328,72                                      | 58,04               | 38,99               | 6,80 |
| 7  | 1124   | 333,22                                      | 55,46               | 29,65               | 6,79 |

Şekil 4.76’da 20 nolu toprağın desorpsiyon izotermi verilmiştir. Buna göre uygulanan en düşük konsantrasyon da absorblanan Cd miktarının % 36,61’i desorblanmıştır. Uygulanan en yüksek konsantrasyonda ise absorblanan kadmiyum (Cd) miktarının yaklaşık % 82,95’i desorblanmıştır. Genelde desorbe olan Cd miktarı artan başlangıç konsantrasyonu ile artış göstermiş (Çizelge 4.25). Bu da gösteriyorki özellikle düşük konsantrasyonlarda Cd’nin yüksek bir enerji ile adsorbe olduğu; yüksek konsantrasyonlarda ise fiziksel adsorpsiyonun yani katyon değişimiyle adsorbe olduğunu göstermektedir. Bu toprağın adsorblayabildiği maksimum Cd miktarı 140 ppm civarında olduğu, bu miktarda yaklaşık % 80’ninin desorblandığı tespit edilmiştir. Bu da Cd’nin özellikle yüksek konsantrasyonlarda bu toprakta son derece hareketli olduğunu göstermektedir.

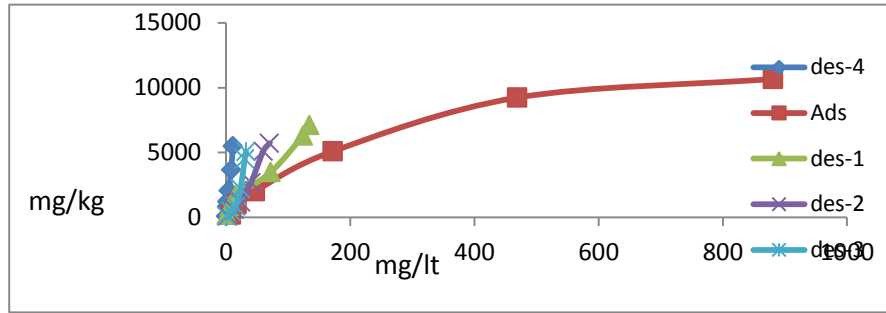


Şekil 4.76 20 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi

Çizelge 4.25 20 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kadmiyum desorpsiyon oranları

| 20 | Başlangıç Konsantrasyonu (mg L <sup>-1</sup> ) | Adsor. edilen miktar (mg kg <sup>-1</sup> ) | Desorpsiyon Oranı % | Adsorblanma Oranı % | pH   |
|----|--|---|---------------------|---------------------|------|
| 1  | 11,24  | 8,14  | 36,61               | 72,42               | 5,99 |
| 2  | 56,2   | 32,16                                       | 55,05               | 57,22               | 5,50 |
| 3  | 112,4  | 56,61                                       | 67,64               | 50,36               | 5,38 |
| 4  | 281  | 108,42                                      | 70,35               | 38,58               | 5,23 |
| 5  | 562  | 141,91                                      | 74,93               | 25,25               | 5,11 |
| 6  | 843  | 142,5                                       | 76,13               | 16,90               | 4,98 |
| 7  | 1124   | 138,33                                      | 82,95               | 12,31               | 4,79 |

Şekil 4.77’de 21 nolu toprağın desorpsiyon izotermi verilmiştir. Buna göre uygulanan en düşük konsantrasyon da absorblanan Cd miktarının % 53,11’i desorblanmıştır. Uygulanan en yüksek konsantrasyonda ise absorblanan kadmiyum (Cd) miktarının yaklaşık % 62,83’ü desorblanmıştır. Bu toprağın adsorblayabildiği maksimum Cd miktarı 460 ppm civarında olduğu, bu miktarında yaklaşık % 55’inin desorblandığı tespit edilmiştir. Bu da Cd’nin hem düşük hemde yüksek konsantrasyonlarda bu toprakta son derece hareketli olduğunu göstermektedir.



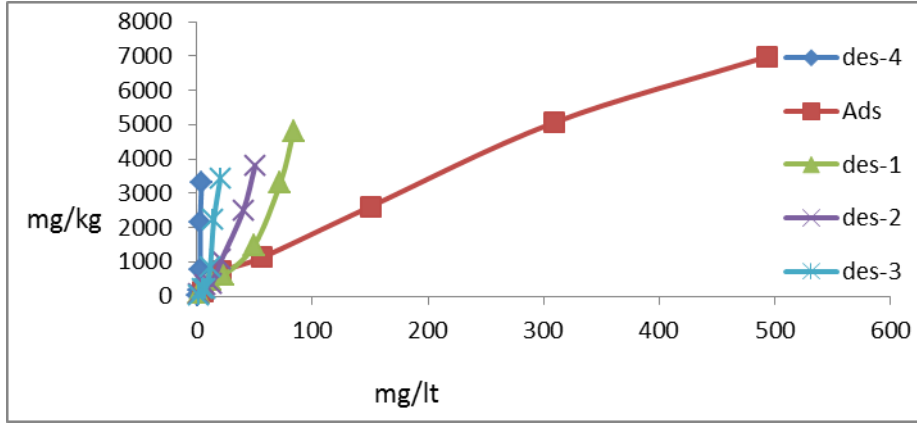
Şekil 4.77 21 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi.

Çizelge 4.26 21 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kadmiyum desorpsiyon oranları

| 21 | Başlangıç Konsantrasyonu (mg L <sup>-1</sup> ) | Adsor. edilen miktar (mg kg <sup>-1</sup> ) | Desorpsiyon Oranı % | Adsorblanma Oranı % | pH   |
|----|--|---|---------------------|---------------------|------|
| 1  | 11,24  | 7,24  | 62,83               | 64,41               | 6,86 |
| 2  | 56,2   | 39,04                                       | 59,97               | 69,47               | 6,76 |
| 3  | 112,4  | 65,67                                       | 59,35               | 58,43               | 6,73 |
| 4  | 281  | 149,24                                      | 58,31               | 53,11               | 6,70 |
| 5  | 562  | 292,87                                      | 53,11               | 52,11               | 6,67 |
| 6  | 843  | 462,3                                       | 54,54               | 54,84               | 6,65 |

Şekil 4.78’de 22 nolu toprağın desorpsiyon izotermi verilmiştir. Buna göre uygulanan en düşük konsantrasyon da absorblanan Cd miktarının % 72,38’i desorblanmıştır. Uygulanan en yüksek konsantrasyonda ise absorblanan kadmiyum (Cd) miktarının

yaklaşık % 92,37'si desorblanmıştır. Bu toprağın adsorblayabildiği maksimum Cd miktarı 349 ppm civarında olduğu, bu miktarında yaklaşık % 75'inin desorblandığı tespit edilmiştir. Bu da Cd'nin hem düşük hemde yüksek konsantrasyonlarda bu toprakta son derece hareketli olduğunu göstermektedir.



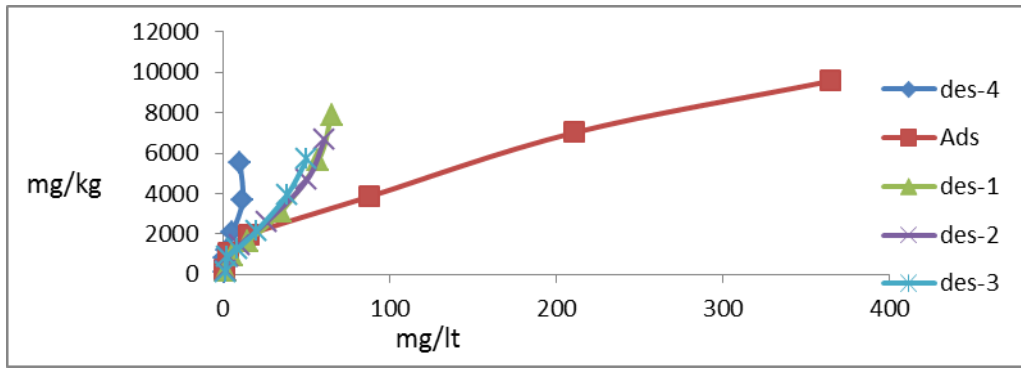
Şekil 4.78 22 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi.

Çizelge 4.27 22 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kadmiyum desorpsiyon oranları

| 22 | Başlangıç Konsantrasyonu (mg L <sup>-1</sup> ) | Adsor. edilen miktar (mg kg <sup>-1</sup> ) | Desorpsiyon Oranı % | Adsorblanma Oranı % | pH   |
|----|--|---|---------------------|---------------------|------|
| 1  | 11,24  | 6,42  | 92,37               | 57,12               | 7,10 |
| 2  | 56,2   | 35,85                                       | 75,04               | 63,79               | 6,96 |
| 3  | 112,4  | 56,34                                       | 85,64               | 50,12               | 6,76 |
| 4  | 281  | 130,73                                      | 70,59               | 46,52               | 6,71 |
| 5  | 562  | 253,01                                      | 77,39               | 45,02               | 6,71 |
| 6  | 843  | 349,21                                      | 72,38               | 41,42               | 6,67 |
| 7  | 1124   | 451,23                                      | 75,95               | 16,81               | 6,67 |

Şekil 4.79'da 23 nolu toprağın desorpsiyon izotermi verilmiştir. Buna göre uygulanan en düşük konsantrasyon da absorblanan Cd miktarının % 15,37'si desorblanmıştır. Uygulanan en yüksek konsantrasyonda ise absorblanan kadmiyum (Cd) miktarının yaklaşık % 47,67'si desorblanmıştır. Genelde desorbe olan Cd miktarı artan başlangıç konsantrasyonu ile artış göstermiş (Çizelge 4.28). Bu da gösteriyorki özellikle düşük

konsantrasyonlarda Cd'nin yüksek bir enerji ile adsorbe olduğu; yüksek konsantrasyonlarda ise fiziksel adsorpsiyonun yani katyon değişimiyle adsorbe olduğunu göstermektedir. Bu toprağın adsorblayabildiği maksimum Cd miktarı 480 ppm civarında olduğu, bu miktarda yaklaşık % 47'sinin desorblandığı tespit edilmiştir. Bu da Cd'nin özellikle yüksek konsantrasyonlarda bu toprakta son derece hareketli olduğunu göstermektedir. Bu toprağın kireç içeriği (4,81) az, organik maddesi yüksek (%2,45) ve L bünyeli kil içeriğinin (%22) yüksek olduğu görülmektedir.



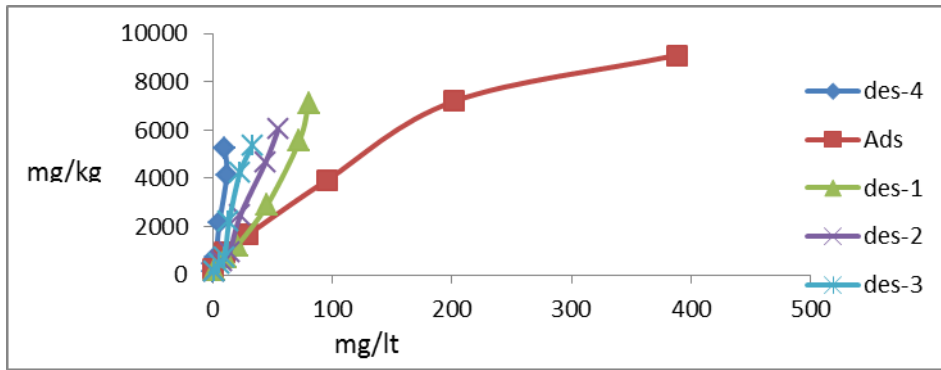
Şekil 4.79 23 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi

Şekil 4.28 23 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kadmiyum desorpsiyon oranları

| 23 | Başlangıç Konsantrasyonu (mg L <sup>-1</sup> ) | Adsor. edilen miktar (mg kg <sup>-1</sup> ) | Desorpsiyon Oranı % | Adsorblanma Oranı % | pH   |
|----|--|---|---------------------|---------------------|------|
| 1  | 11,24  | 10,74                                       | 15,37               | 95,55               | 7,27 |
| 2  | 56,2   | 53,51                                       | 21,89               | 95,21               | 7,14 |
| 3  | 112,4  | 97,4  | 37,19               | 86,65               | 6,99 |
| 4  | 281  | 193,12                                      | 46,55               | 68,73               | 6,80 |
| 5  | 562  | 351,15                                      | 47,67               | 62,48               | 6,75 |
| 6  | 843  | 478,54                                      | 42,61               | 56,77               | 6,69 |

Şekil 4.80'de 24 nolu toprağın desorpsiyon izotermi verilmiştir. Buna göre uygulanan en düşük konsantrasyonda absorblanan Cd miktarının % 45,37'si desorplanmıştır. Uygulanan en yüksek konsantrasyonda ise absorblanan kadmiyum (Cd) miktarının yaklaşık % 57,97'si desorplanmıştır. Genelde desorbe olan Cd miktarı artan başlangıç

konsantrasyonu ile artış göstermiş (Çizelge 4.29). Bu da gösteriyor ki özellikle düşük konsantrasyonlarda Cd'nin yüksek bir enerji ile adsorbe olduğu; yüksek konsantrasyonlarda ise fiziksel adsorpsiyonun yani katyon değişimiyle adsorbe olduğunu göstermektedir. Bu toprağın adsorplayabildiği maksimum Cd miktarı 455 ppm civarında olduğu, bu miktarda yaklaşık % 43'ünün desorblandığı tespit edilmiştir. Bu da Cd'nin özellikle yüksek konsantrasyonlarda bu toprakta son derece hareketli olduğunu göstermektedir.



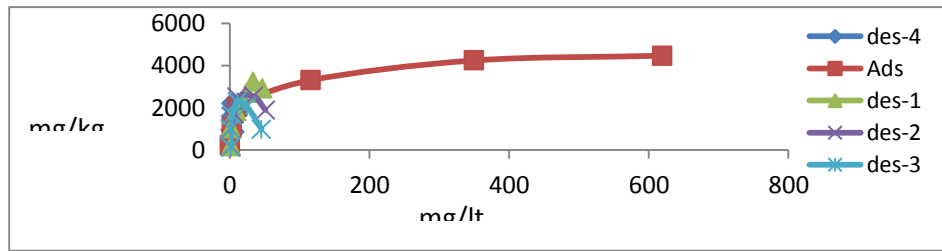
Şekil 4.80 24 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi

Çizelge 4.29 24 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kadmiyum desorpsiyon oranları

| 24 | Başlangıç Konsantrasyonu (mg L <sup>-1</sup> ) | Adsor. edilen miktar (mg kg <sup>-1</sup> ) | Desorpsiyon Oranı % | Adsorblanma Oranı % | pH   |
|----|--|---|---------------------|---------------------|------|
| 1  | 11,24  | 10,17                                       | 45,37               | 90,48               | 7,35 |
| 2  | 56,2   | 46,67                                       | 53,83               | 83,04               | 7,33 |
| 3  | 112,4  | 83,07                                       | 57,97               | 73,91               | 7,14 |
| 4  | 281  | 195,85                                      | 45,57               | 69,70               | 7,05 |
| 5  | 562  | 360,09                                      | 42,65               | 64,07               | 7,02 |
| 6  | 843  | 455,39                                      | 42,53               | 54,02               | 6,87 |

Şekil 4.81'de 25 nolu toprağın desorpsiyon izotermi verilmiştir. Buna göre uygulanan en düşük konsantrasyon da absorblanan Cd miktarının % 6,74'si desorblanmıştır. Uygulanan en yüksek konsantrasyonda ise absorblanan kadmiyum (Cd) miktarının

yaklaşık % 63,03'ü desorblanmıştır. Genelde desorbe olan Cd miktarı artan başlangıç konsantrasyonu ile artış göstermiş (Çizelge 4.30). Bu da gösteriyorki özellikle düşük konsantrasyonlarda Cd'nin yüksek bir enerji ile adsorbe olduğu; yüksek konsantrasyonlarda ise fiziksel adsorpsiyonun yani katyon değişimiyle adsorbe olduğunu göstermektedir. Bu toprağın adsorblayabildiği maksimum Cd miktarı 223 ppm civarında olduğu, bu miktarda yaklaşık % 63'ünün desorblandığı tespit edilmiştir. Bu da Cd'nin özellikle yüksek konsantrasyonlarda bu toprakta son derece hareketli olduğunu göstermektedir.



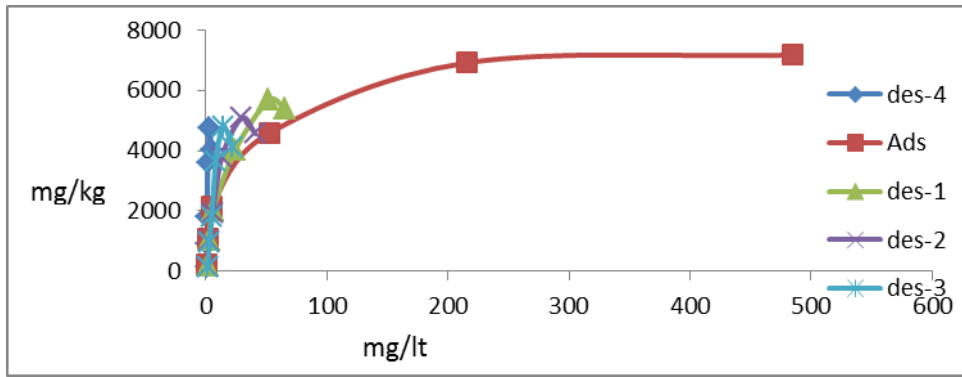
Şekil 4.81 25 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi

Çizelge 4.30 25 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kadmiyum desorpsiyon oranları

| 25 | Başlangıç Konsantrasyonu (mg L <sup>-1</sup> ) | Adsor. edilen miktar (mg kg <sup>-1</sup> ) | Desorpsiyon Oranı % | Adsorblanma Oranı % | pH   |
|----|--|---|---------------------|---------------------|------|
| 1  | 11,24  | 9,74  | 6,74                | 86,65               | 7,13 |
| 2  | 56,2   | 53,11                                       | 10,08               | 94,50               | 7,12 |
| 3  | 112,4  | 101,97                                      | 22,63               | 90,72               | 6,99 |
| 4  | 281  | 165,27                                      | 34,7                | 58,81               | 6,94 |
| 5  | 562  | 212,21                                      | 52,88               | 37,76               | 6,78 |
| 6  | 843  | 223,36                                      | 63,03               | 26,50               | 6,48 |

Şekil 4.82'de 26 nolu toprağın desorpsiyon izotermi verilmiştir. Buna göre uygulanan en düşük konsantrasyon da absorblanan Cd miktarının % 5,07'si desorblanmıştır. Uygulanan en yüksek konsantrasyonda ise absorblanan kadmiyum (Cd) miktarının yaklaşık % 43,71'i desorblanmıştır. Genelde desorbe olan Cd miktarı artan başlangıç

konsantrasyonu ile artış göstermiş (Çizelge 4.31). Bu da gösteriyorki özellikle düşük konsantrasyonlarda Cd'nin yüksek bir enerji ile adsorbe olduğu; yüksek konsantrasyonlarda ise fiziksel adsorpsiyonun yani katyon değişimiyle adsorbe olduğunu göstermektedir. Bu toprağın adsorblayabildiği maksimum Cd miktarı 358 ppm civarında olduğu, bu miktarda yaklaşık % 43'ünün desorblandığı tespit edilmiştir. Bu da Cd'nin özellikle yüksek konsantrasyonlarda bu toprakta son derece hareketli olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.82 26 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi

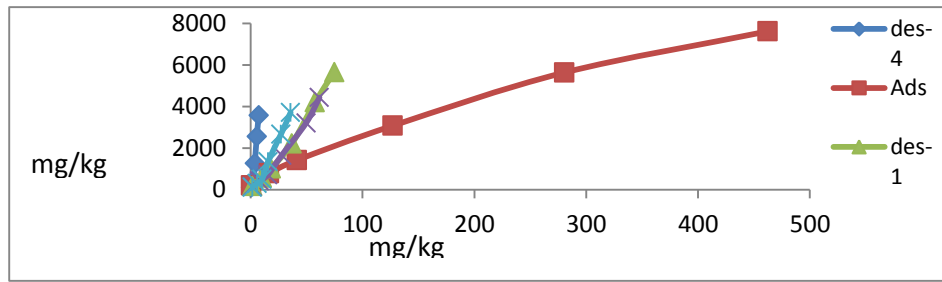
Çizelge 4.31 26 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kadmiyum desorpsiyon oranları

| 26 | Başlangıç Konsantrasyonu (mg L <sup>-1</sup> ) | Adsor. edilen miktar (mg kg <sup>-1</sup> ) | Desorpsiyon Oranı % | Adsorblanma Oranı % | pH   |
|----|--|---|---------------------|---------------------|------|
| 1  | 11,24  | 10,37                                       | 5,07                | 92,26               | 7,10 |
| 2  | 56,2   | 54,6  | 15,81               | 97,15               | 8,46 |
| 3  | 112,4  | 107,37                                      | 16,31               | 95,52               | 6,76 |
| 4  | 281  | 228,87                                      | 21,65               | 81,45               | 6,71 |
| 5  | 562  | 346,1                                       | 31,42               | 61,58               | 6,71 |
| 6  | 843  | 358,76                                      | 43,71               | 42,56               | 6,67 |

Şekil 4.83'de 27 nolu toprağın desorpsiyon izotermi verilmiştir. Buna göre uygulanan en düşük konsantrasyon da absorblanan Cd miktarının % 43,37'si desorblanmıştır. Uygulanan en yüksek konsantrasyonda ise absorblanan kadmiyum (Cd) miktarının yaklaşık % 67,99'u desorblanmıştır. Genelde desorbe olan Cd miktarı artan başlangıç



konsantrasyonu ile artış göstermiş (Çizelge 4.32). Bu da gösteriyorki özellikle düşük konsantrasyonlarda bile Cd'nin düşük bir enerji ile adsorbe olduğu; yüksek konsantrasyonlarda ise fiziksel adsorpsiyonun yani katyon değişimiyle adsorbe olduğunu göstermektedir. Bu toprağın adsorblayabildiği maksimum Cd miktarı 380 ppm civarında olduğu, bu miktarda yaklaşık % 67'sinin desorblandığı tespit edilmiştir. Bu da Cd'nin özellikle yüksek konsantrasyonlarda bu toprakta son derece hareketli olduğunu göstermektedir. Bu toprağın kireç içeriği çok düşük, organik maddesi az (%1,55) ve SL bünyeli kum içeriğinin (%60) yüksek olduğu görülmektedir.



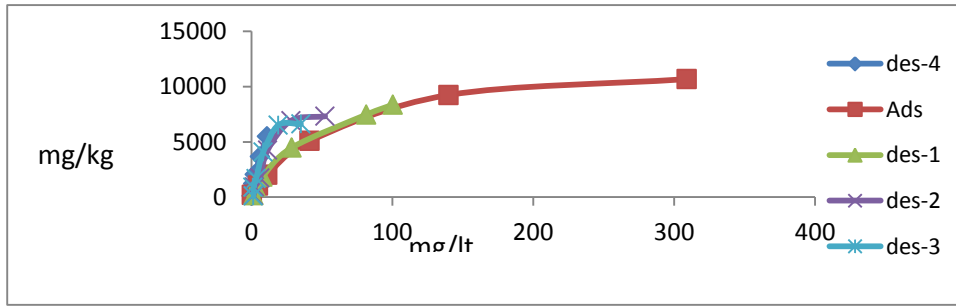
Şekil 4.83 27 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi

Çizelge 4.32 27 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kadmiyum desorpsiyon oranları

| 27 | Başlangıç Konsantrasyonu (mg L <sup>-1</sup> ) | Adsor. edilen miktar (mg kg <sup>-1</sup> ) | Desorpsiyon Oranı % | Adsorblanma Oranı % | pH   |
|----|--|---|---------------------|---------------------|------|
| 1  | 11,24  | 9,98  | 45,37               | 88,79               | 6,80 |
| 2  | 56,2   | 39,88                                       | 64,41               | 70,96               | 6,78 |
| 3  | 112,4  | 71,08                                       | 67,99               | 63,24               | 6,73 |
| 4  | 281  | 153,96                                      | 58,53               | 54,79               | 6,70 |
| 5  | 562  | 281,69                                      | 54,49               | 50,12               | 6,67 |
| 6  | 843  | 380,81                                      | 53,08               | 45,17               | 6,65 |

Şekil 4.84' de 28 nolu toprağın desorpsiyon izotermi verilmiştir. Buna göre uygulanan en düşük konsantrasyon da absorblanan Cd miktarının % 5,37'si desorblanmıştır. Uygulanan en yüksek konsantrasyonda ise absorblanan kadmiyum (Cd) miktarının

yaklaşık % 40,15'i desorblanmıştır. Genelde desorbe olan Cd miktarı artan başlangıç konsantrasyonu ile artış göstermiş (Çizelge 4.33). Bu da gösteriyorki özellikle düşük konsantrasyonlarda Cd'nin yüksek bir enerji ile adsorbe olduğu; yüksek konsantrasyonlarda ise fiziksel adsorpsiyonun yani katyon değişimiyle adsorbe olduğunu göstermektedir. Bu toprağın adsorbilabildiği maksimum Cd miktarı 533 ppm civarında olduğu, bu miktarda yaklaşık % 40'ının desorblandığı tespit edilmiştir. Bu da Cd'nin özellikle yüksek konsantrasyonlarda bu toprakta son derece hareketli olduğunu göstermektedir. Bu toprağın kireç içeriği (7,72) kireçli, organik maddesi düşük (%1,86) ve SiCL bünyeli kil içeriğinin (%37,50) yüksek olduğu görülmektedir.



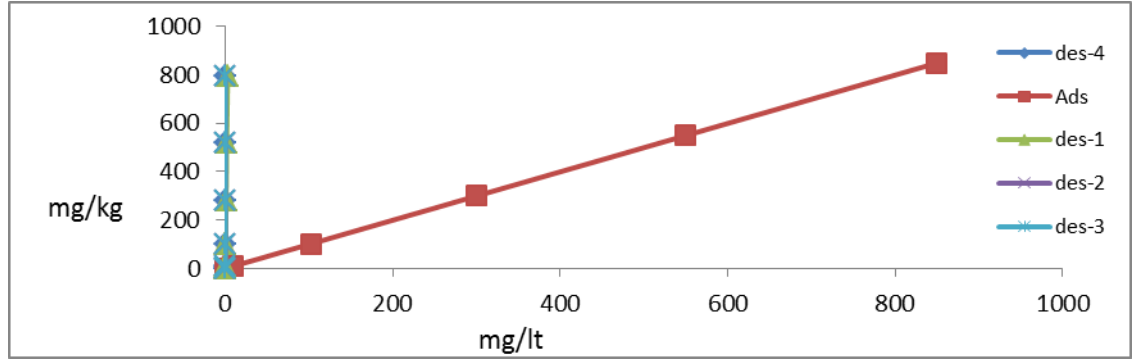
Şekil 4.84 28 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi

Çizelge 4.33 28 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kadmiyum desorpsiyon oranları

| 28 | Başlangıç Konsantrasyonu (mg L <sup>-1</sup> ) | Adsor. edilen miktar (mg kg <sup>-1</sup> ) | Desorpsiyon Oranı % | Adsorblanma Oranı % | pH   |
|----|--|---|---------------------|---------------------|------|
| 1  | 11,24  | 10,74                                       | 5,37                | 95,55               | 7,13 |
| 2  | 56,2   | 51,48                                       | 14,1                | 91,60               | 6,96 |
| 3  | 112,4  | 101,02                                      | 18,94               | 89,88               | 6,85 |
| 4  | 281  | 239,62                                      | 20,86               | 85,27               | 6,76 |
| 5  | 562  | 422   | 30,76               | 75,09               | 6,74 |
| 6  | 843  | 533,84                                      | 40,15               | 63,33               | 6,68 |

#### 4.1.4.2 Toprakların kurşun (Pb) desorpsiyon durumları

Şekil 4. 85’de 1 nolu toprağın desorpsiyon durumlarını gösteren grafik verilmiştir. Bu toprakta adsorpsiyon eğrisine göre desorpsiyon durumları görülmektedir. Bu grafik incelendiğinde uygulanan her bir konsantrasyona göre desorblanan kurşun miktarı hesaplanmıştır. Buna göre uygulanan en düşük konsantrasyon da absorplanan kurşun (Pb) miktarında hiçbir şekilde (% 0) desorblanmamıştır. Uygulanan en yüksek konsantrasyonda ise absorplanan kurşun (Pb) miktarının yaklaşık % 6,63’ü desorplanmış yani çözeltiliye geçtiği tespit edilmiştir.

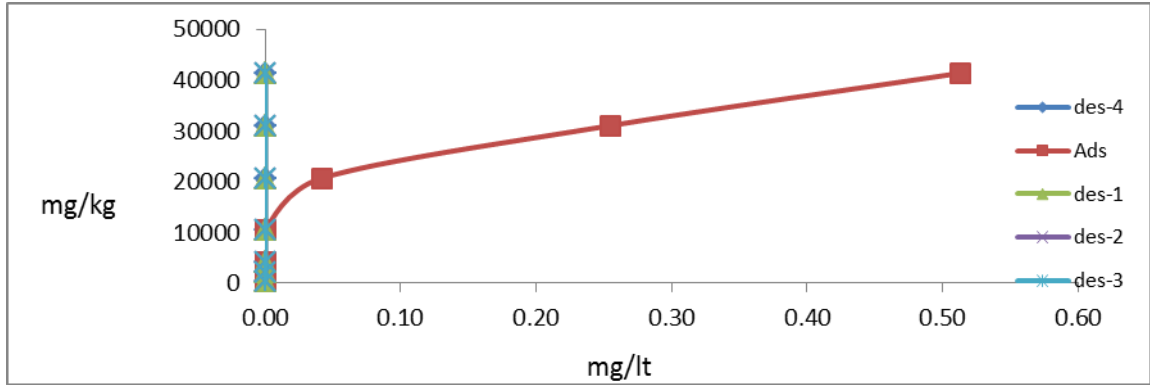


Şekil 4.85 1 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi

Çizelge 4.34 1 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kurşun desorpsiyon oranları

| 1 | Başlangıç Konsantrasyonu (mg L <sup>-1</sup> ) | Adsor. edilen miktar (mg kg <sup>-1</sup> ) | Desorpsiyon Oranı % | Adsorblanma Oranı % | pH   |
|---|--|---|---------------------|---------------------|------|
| 1 | 20,72  | 20,72                                       | 0                   | 100,00              | 6,90 |
| 2 | 103,6  | 103,6                                       | 0                   | 100,00              | 6,42 |
| 3 | 207,19   | 197,24                                      | 0                   | 95,20               | 5,95 |
| 4 | 517,98   | 415,75                                      | 1,17                | 80,26               | 4,97 |
| 5 | 1035,95  | 735,95                                      | 6,69                | 71,04               | 4,53 |
| 6 | 1553,93  | 1003,93                                     | 5,75                | 64,61               | 4,32 |
| 7 | 2071,9   | 1221,9                                      | 6,63                | 58,97               | 4,29 |

Şekil 4.86’da 2 nolu toprağın desorpsiyon durumlarını gösteren grafik verilmiştir. Bu toprakta adsorpsiyon eğrisine göre desorpsiyon durumları görülmektedir. Bu grafik incelendiğinde uygulanan her bir konsantrasyona göre desorblanan kadmiyum miktarı hesaplanmıştır. Buna göre uygulanan bütün konsantrasyon da absorblanan kurşun (Pb) miktarının hiç biri desorplanmadığı yani çözeltiye geçmediği tespit edilmiştir.



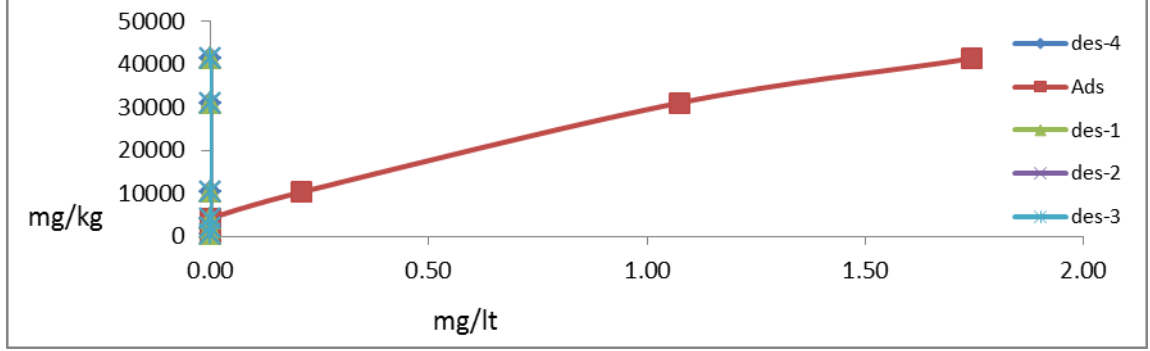
Şekil 4.86 2 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi

Çizelge 4.35 2 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kurşun desorpsiyon oranları

| 2 | Başlangıç Konsantrasyonu (mg L <sup>-1</sup> ) | Adsor. edilen miktar (mg kg <sup>-1</sup> ) | Desorpsiyon Oranı % | Adsorblanma Oranı % | pH   |
|---|--|---|---------------------|---------------------|------|
| 1 | 20.72  | 20.72                                       | 0.00                | 100,00              | 7,49 |
| 2 | 103.60   | 103.60                                      | 0.00                | 100,00              | 7,45 |
| 3 | 207.19   | 207.19                                      | 0.00                | 100,00              | 7,42 |
| 4 | 517.98   | 517.98                                      | 0,00                | 100,00              | 7,37 |
| 5 | 1035.95  | 1035.91                                     | 0,00                | 100,00              | 7,32 |
| 6 | 1553.93  | 1553.67                                     | 0,00                | 100,00              | 6,89 |
| 7 | 2071.90  | 2071.39                                     | 0,00                | 100,00              | 6,80 |

Şekil 4.87’de 3 nolu toprağın desorpsiyon durumlarını gösteren grafik verilmiştir. Bu toprakta adsorpsiyon eğrisine göre desorpsiyon durumları görülmektedir. Bu grafik incelendiğinde uygulanan her bir konsantrasyona göre desorblanan Kurşun miktarı

hesaplanmıştır. Buna göre uygulanan bütün konsantrasyonlar da absorblanan Kurşun (Pb) miktarının hiç bir miktarı desorblanmamıştır.



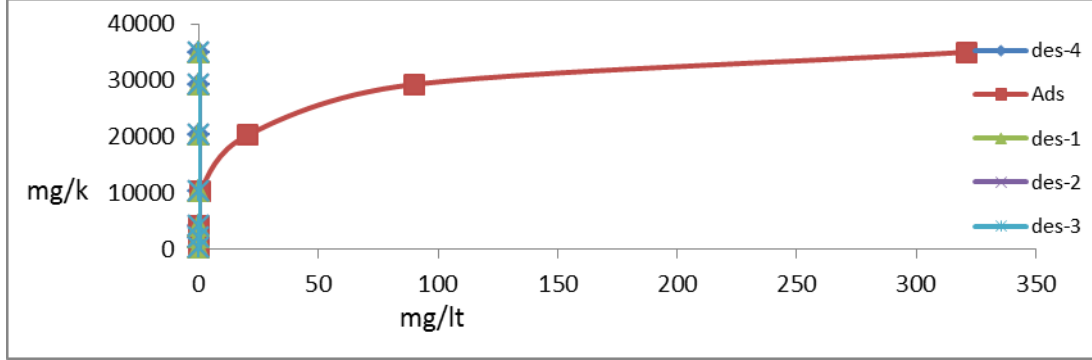
Şekil 4.87 3 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi

Çizelge 4.36 3 nolu Toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı Kurşun desorpsiyon oranları

| 3 | Başlangıç Konsantrasyonu (mg L <sup>-1</sup> ) | Adsor. edilen miktar (mg kg <sup>-1</sup> ) | Desorpsiyon Oranı % | Adsorblanma Oranı % | pH   |
|---|--|---|---------------------|---------------------|------|
| 1 | 20.72  | 20.72                                       | 0.00                | 100,00              | 7,44 |
| 2 | 103.60   | 103.60                                      | 0.00                | 100,00              | 7,38 |
| 3 | 207.19   | 207.19                                      | 0.00                | 100,00              | 7,33 |
| 4 | 517.98   | 517.77                                      | 0,00                | 100,00              | 7,31 |
| 5 | 1035.95  | 1015.67                                     | 0,00                | 100,00              | 7,30 |
| 6 | 1553.93  | 1552.85                                     | 0,00                | 100,00              | 7,23 |
| 7 | 2071.90  | 2070.15                                     | 0,00                | 100,00              | 7,23 |

Şekil 4.88'de 4 nolu toprağın desorpsiyon durumlarını gösteren grafik verilmiştir. Bu toprakta adsorpsiyon eğrisine göre desorpsiyon durumları görülmektedir. Bu grafik incelendiğinde uygulanan her bir konsantrasyona göre desorblanan Kurşun miktarı hesaplanmıştır. Buna göre uygulanan en düşük konsantrasyon da da, en yüksek konsantrasyonda da absorbe edilen Kurşun (Pb) miktarlarının hiç biri desorblanmamıştır. Yani adsorbe edilen kurşun miktarlarından çözeltiliye hiç biri

geçmemiştir. Uygulanan her konsantrasyonda bile çok yüksek enejı ile tutulduğu görölmektedir



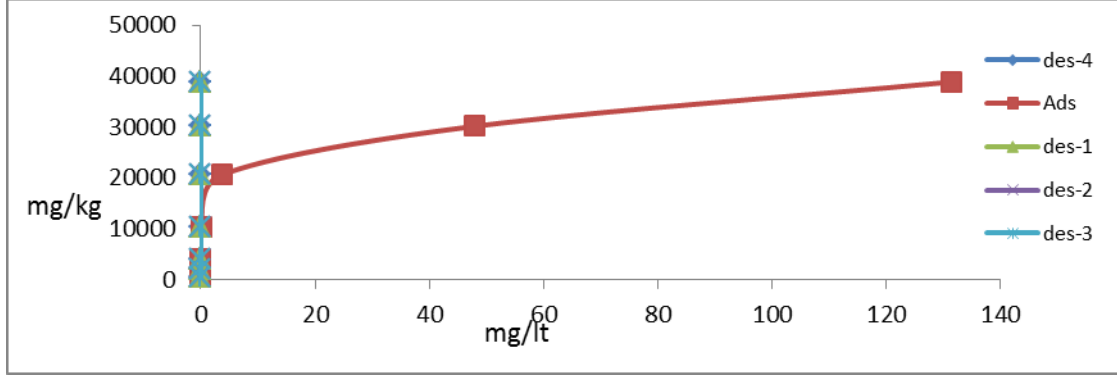
Şekil 4.88 4 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermini

Çizelge 4.37 4 nolu Toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı Kurşun desorpsiyon oranları

| 4 | Başlangıç Konsantrasyonu (mg L <sup>-1</sup> ) | Adsor. edilen miktar (mg kg <sup>-1</sup> ) | Desorpsiyon Oranı % | Adsorblanma Oranı % | pH   |
|---|--|---|---------------------|---------------------|------|
| 1 | 20,72  | 20,72                                       | 0                   | 100,00              | 7,37 |
| 2 | 103,6  | 103,6                                       | 0                   | 100,00              | 7,31 |
| 3 | 207,19   | 207,19                                      | 0                   | 100,00              | 7,20 |
| 4 | 517,98   | 517,46                                      | 0,00                | 99,90               | 6,97 |
| 5 | 1035,95  | 1015,67                                     | 0,00                | 98,04               | 6,61 |
| 6 | 1553,93  | 1464,14                                     | 0,00                | 94,22               | 6,03 |
| 7 | 2071,9   | 1750,66                                     | 0,00                | 84,50               | 5,87 |

Şekil 4.89'da 5 nolu toprağın desorpsiyon durumlarını gösteren grafik verilmiştir. Bu toprakta adsorpsiyon eğrisine göre desorpsiyon durumları görölmektedir. Bu grafik incelendiğinde uygulanan her bir konsantrasyona göre desorblanan Kurşun miktarı hesaplanmıştır. Buna göre uygulanan en düşük konsantrasyon da absorblanan Kurşun (Pb) miktarının hiçbirisi desorblanmamıştır. Uygulanan en yüksek konsantrasyonda ise % 5'i absorblanmamışken, absorblanan Kurşun (Pb) miktarının hiçbirisi

desorblanmamış yani çözeltiliye geçmediği tespit edilmiştir. Uygulanan her konsantrasyonda bile çok yüksek enerji ile tutulduğu görülmektedir

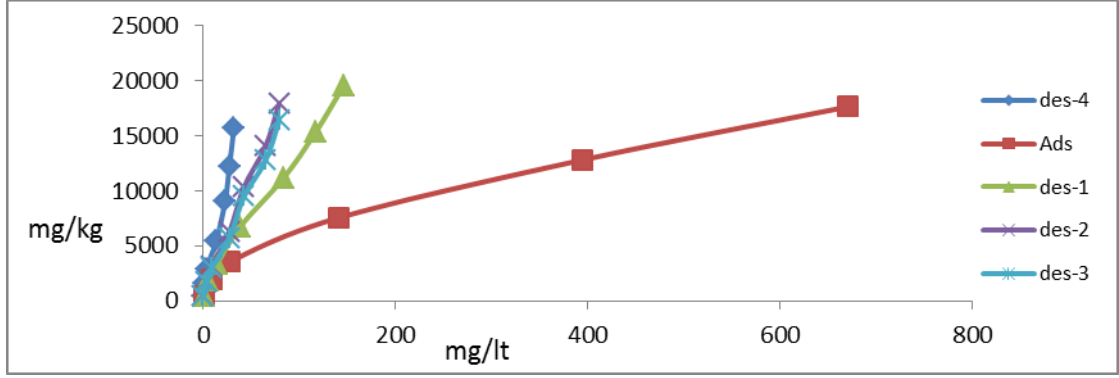


Şekil 4.89 5 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi

Çizelge 4.38 5 nolu Toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı Kurşun desorpsiyon oranları

| 5 | Başlangıç Konsantrasyonu (mg L <sup>-1</sup> ) | Adsor. edilen miktar (mg kg <sup>-1</sup> ) | Desorpsiyon Oranı % | Adsorblanma Oranı % | pH   |
|---|--|---|---------------------|---------------------|------|
| 1 | 20,72  | 20,72                                       | 0                   | 100,00              | 7,15 |
| 2 | 103,6  | 103,6                                       | 0                   | 100,00              | 7,13 |
| 3 | 207,19   | 207,19                                      | 0                   | 100,00              | 6,68 |
| 4 | 517,98   | 517,88                                      | 0,00                | 99,98               | 6,43 |
| 5 | 1035,95  | 1032,19                                     | 0,00                | 99,64               | 6,22 |
| 6 | 1553,93  | 1505,97                                     | 0,00                | 96,91               | 6,12 |
| 7 | 2071,9   | 1940,64                                     | 0,00                | 93,66               | 5,86 |

Şekil 4.90'da 6 nolu toprağın desorpsiyon durumlarını gösteren grafik verilmiştir. Bu toprakta adsorpsiyon eğrisine göre desorpsiyon durumları görülmektedir. Bu grafik incelendiğinde uygulanan her bir konsantrasyona göre desorblanan Kurşun miktarı hesaplanmıştır. Buna göre uygulanan en düşük konsantrasyon da adsorblanan Kurşun (Pb) miktarının % 2,67'si desorblanmıştır. Uygulanan en yüksek konsantrasyonda ise adsorblanan Kurşun (Pb) miktarının yaklaşık % 29,89'u desorblanmış yani çözeltiliye geçtiği tespit edilmiştir.



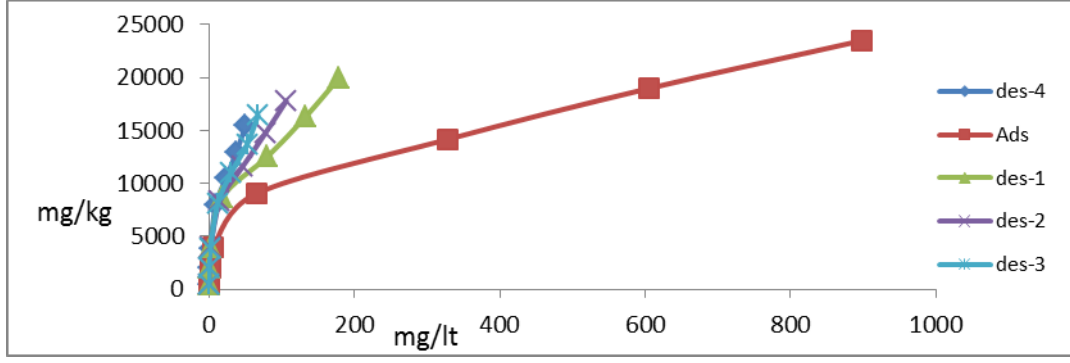
Şekil 4.90 6 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi

Çizelge 4.39 6 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kurşun desorpsiyon oranları

| 6 | Başlangıç Konsantrasyonu (mg L <sup>-1</sup> ) | Adsor. edilen miktar (mg kg <sup>-1</sup> ) | Desorpsiyon Oranı % | Adsorblanma Oranı % | pH   |
|---|--|---|---------------------|---------------------|------|
| 1 | 20,72  | 19,63                                       | 1,02                | 94,74               | 4,64 |
| 2 | 103,6  | 94,19                                       | 13,83               | 90,92               | 4,51 |
| 3 | 207,19   | 179,01                                      | 19,03               | 86,40               | 4,57 |
| 4 | 517,98   | 377,31                                      | 28,06               | 72,84               | 4,04 |
| 5 | 1035,95  | 641,09                                      | 29,67               | 61,88               | 3,92 |
| 6 | 1553,93  | 882,8                                       | 30,92               | 56,81               | 3,80 |
| 7 | 2071,9   | 1122,33                                     | 29,89               | 54,17               | 3,75 |

Şekil 4.91’de 7 nolu toprağın desorpsiyon durumlarını gösteren grafik verilmiştir. Bu toprakta adsorpsiyon eğrisine göre desorpsiyon durumları görülmektedir. Bu grafik incelendiğinde uygulanan her bir konsantrasyona göre desorblanan Kurşun miktarı hesaplanmıştır. Buna göre uygulanan en düşük konsantrasyon da absorblanan Kurşun (Pb) miktarının % 1,22’si desorblanmıştır. Uygulanan en yüksek konsantrasyonda ise absorblanan Kurşun (Pb) miktarının yaklaşık % 34,29’u desorblanmış yani çözeltiliye geçtiği tespit edilmiştir.



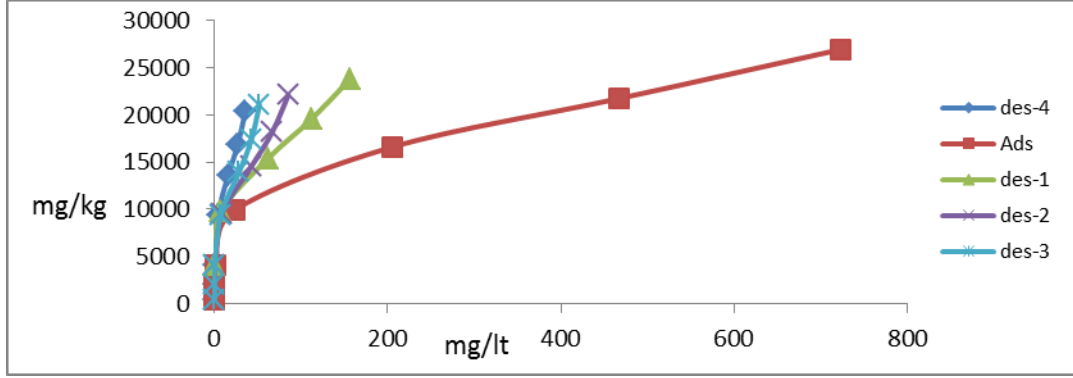


Şekil 4.91 7 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi

Çizelge 4.40 7 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kurşun desorpsiyon oranları

| 7 | Başlangıç Konsantrasyonu (mg L <sup>-1</sup> ) | Adsor. edilen miktar (mg kg <sup>-1</sup> ) | Desorpsiyon Oranı % | Adsorblanma Oranı % | pH   |
|---|--|---|---------------------|---------------------|------|
| 1 | 20,72  | 20,46                                       | 20.46               | 98,75               | 5,04 |
| 2 | 103,6  | 101,89                                      | 101.89              | 98,35               | 4,67 |
| 3 | 207,19   | 201,03                                      | 201.03              | 97,03               | 4,60 |
| 4 | 517,98   | 452,81                                      | 12,21               | 87,42               | 4,23 |
| 5 | 1035,95  | 708,17                                      | 25,62               | 68,36               | 3,89 |
| 6 | 1553,93  | 949,11                                      | 31,73               | 61,08               | 3,93 |
| 7 | 2071,9   | 1174,53                                     | 34,29               | 56,69               | 3,91 |

Şekil 4.92’de 8 nolu toprağın desorpsiyon durumlarını gösteren grafik verilmiştir. Bu toprakta adsorpsiyon eğrisine göre desorpsiyon durumları görülmektedir. Bu grafik incelendiğinde uygulanan her bir konsantrasyona göre desorblanan Kurşun miktarı hesaplanmıştır. Buna göre uygulanan en düşük konsantrasyon da absorplanan Kurşun (Pb) miktarının % 0’ı desorplanmıştır. Uygulanan en yüksek konsantrasyonda ise absorplanan Kurşun (Pb) miktarının yaklaşık % 24,44’ü desorplanmış yani çözeltiliye geçtiği tespit edilmiştir.

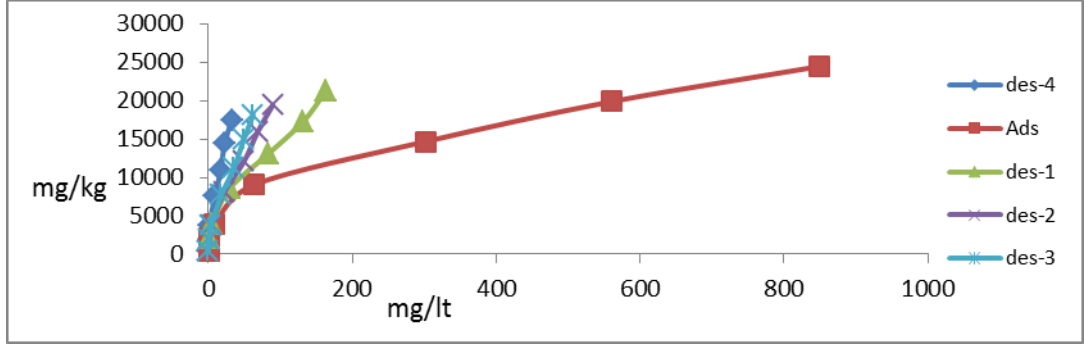


Şekil 4.92 8 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi

Çizelge 4.41 8 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kurşun desorpsiyon oranları

| 8 | Başlangıç Konsantrasyonu (mg L <sup>-1</sup> ) | Adsor. edilen miktar (mg kg <sup>-1</sup> ) | Desorpsiyon Oranı % | Adsorblanma Oranı % | pH   |
|---|--|---|---------------------|---------------------|------|
| 1 | 20,72  | 20,59                                       | 0                   | 99,37               | 6,37 |
| 2 | 103,6  | 103,34                                      | 0                   | 99,75               | 6,04 |
| 3 | 207,19   | 205,39                                      | 0,38                | 99,13               | 5,95 |
| 4 | 517,98   | 494,93                                      | 5,56                | 95,55               | 5,42 |
| 5 | 1035,95  | 830,61                                      | 17,87               | 80,18               | 5,30 |
| 6 | 1553,93  | 1087,1                                      | 22,74               | 69,96               | 4,85 |
| 7 | 2071,9   | 1348,09                                     | 24,44               | 65,07               | 4,40 |

Şekil 4.93'de 9 nolu toprağın desorpsiyon durumlarını gösteren grafik verilmiştir. Bu toprakta adsorpsiyon eğrisine göre desorpsiyon durumları görülmektedir. Bu grafik incelendiğinde uygulanan her bir konsantrasyona göre desorplanan Kurşun miktarı hesaplanmıştır. Buna göre uygulanan en düşük konsantrasyon da absorplanan Kurşun (Pb) miktarının % 32,58'i desorplanmıştır. Uygulanan en yüksek konsantrasyonda ise absorplanan Kurşun (Pb) miktarının yaklaşık % 13,92'si desorblanmış yani çözeltiliye geçtiği tespit edilmiştir

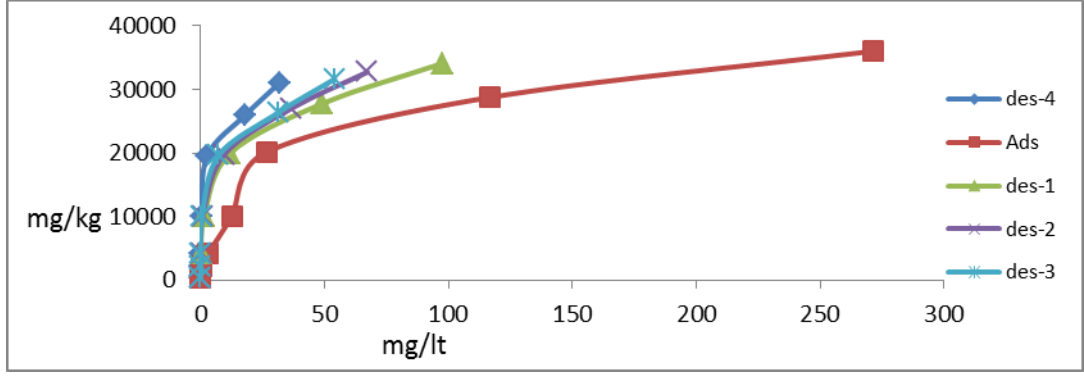


Şekil 4.93 9 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi

Çizelge 4.42 9 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kurşun desorpsiyon oranları

| 9 | Başlangıç Konsantrasyonu (mg L <sup>-1</sup> ) | Adsor. edilen miktar (mg kg <sup>-1</sup> ) | Desorpsiyon Oranı % | Adsorblanma Oranı % | pH   |
|---|--|---|---------------------|---------------------|------|
| 1 | 20,72  | 20,39                                       | 0                   | 98,41               | 4,89 |
| 2 | 103,6  | 101,78                                      | 3,71                | 98,24               | 4,81 |
| 3 | 207,19   | 198,57                                      | 6,95                | 95,84               | 4,11 |
| 4 | 517,98   | 454,08                                      | 17,15               | 87,66               | 4,09 |
| 5 | 1035,95  | 734   | 25,19               | 70,85               | 3,92 |
| 6 | 1553,93  | 993,84                                      | 27,30               | 63,96               | 3,86 |
| 7 | 2071,9   | 1222,92                                     | 28,40               | 59,02               | 3,78 |

Şekil 4.94'de 10 nolu toprağın desorpsiyon durumlarını gösteren grafik verilmiştir. Bu toprakta adsorpsiyon eğrisine göre desorpsiyon durumları görülmektedir. Bu grafik incelendiğinde uygulanan her bir konsantrasyona göre desorplanan Kurşun miktarı hesaplanmıştır. Buna göre uygulanan düşük konsantrasyonlar da absorplanan Kurşun (Pb) miktarının hiçbirisi desorblanmamıştır. Uygulanan en yüksek konsantrasyonda ise absorblanan Kurşun (Pb) miktarının yaklaşık % 28,40'ı desorblanmış yani çözeltiliye geçtiği tespit edilmiştir.

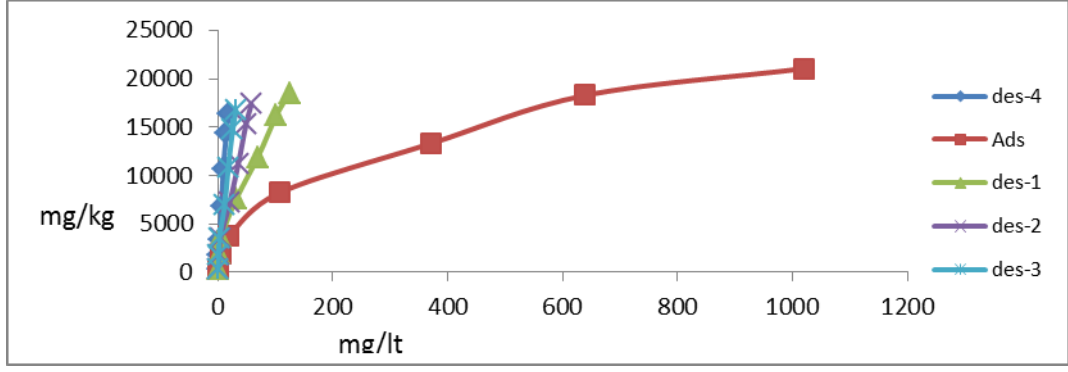


Şekil 4.94 10 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi

Çizelge 4.43 10 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kurşun desorpsiyon oranları

| 10 | Başlangıç Konsantrasyonu (mg L <sup>-1</sup> ) | Adsor. edilen miktar (mg kg <sup>-1</sup> ) | Desorpsiyon Oranı % | Adsorblanma Oranı % | pH   |
|----|--|---|---------------------|---------------------|------|
| 1  | 20,72  | 20,64                                       | 0,00                | 99,61               | 6,27 |
| 2  | 103,6  | 103,33                                      | 0,00                | 99,74               | 5,64 |
| 3  | 207,19   | 204,36                                      | 0,18                | 98,63               | 5,36 |
| 4  | 517,98   | 505,33                                      | 0,65                | 97,56               | 5,20 |
| 5  | 1035,95  | 1009,14                                     | 3,09                | 97,41               | 5,10 |
| 6  | 1553,93  | 1437,16                                     | 9,43                | 92,49               | 4,44 |
| 7  | 2071,9   | 1800,64                                     | 13,92               | 86,91               | 4,30 |

Şekil 4.95’de 11 nolu toprağın desorpsiyon durumlarını gösteren grafik verilmiştir. Bu toprakta adsorpsiyon eğrisine göre desorpsiyon durumları görülmektedir. Bu grafik incelendiğinde uygulanan her bir konsantrasyona göre desorplanan Kurşun miktarı hesaplanmıştır. Buna göre uygulanan en düşük konsantrasyonda da absorplanan Kurşun (Pb) miktarının % 4,29’u desorplanmıştır. Uygulanan en yüksek konsantrasyonda ise absorplanan Kurşun (Pb) miktarının yaklaşık % 22,22’si desorplanmış yani çözeltiliye geçtiği tespit edilmiştir.

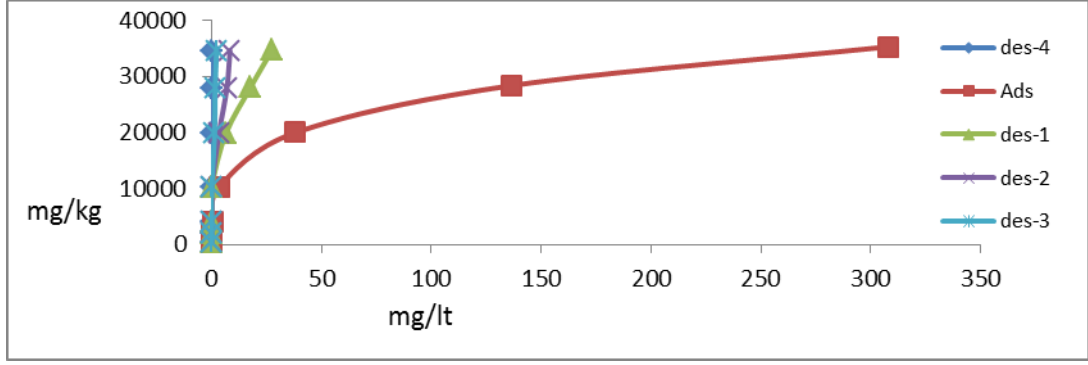


Şekil 4.95 11 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi

Çizelge 4.44 11 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kurşun desorpsiyon oranları

| 11 | Başlangıç Konsantrasyonu (mg L <sup>-1</sup> ) | Adsor. edilen miktar (mg kg <sup>-1</sup> ) | Desorpsiyon Oranı % | Adsorblanma Oranı % | pH   |
|----|--|---|---------------------|---------------------|------|
| 1  | 20,72  | 19,71                                       | 4,29                | 95,13               | 4,65 |
| 2  | 103,6  | 97,97                                       | 9,82                | 94,57               | 4,28 |
| 3  | 207,19   | 187,59                                      | 8,48                | 90,54               | 4,13 |
| 4  | 517,98   | 410,71                                      | 17,48               | 79,29               | 3,83 |
| 5  | 1035,95  | 665,36                                      | 20,07               | 64,23               | 3,64 |
| 6  | 1553,93  | 914,22                                      | 21,09               | 58,83               | 3,44 |
| 7  | 2071,9   | 1052,35                                     | 22,22               | 50,79               | 3,44 |

Şekil 4.96'da 12 nolu toprağın desorpsiyon durumlarını gösteren grafik verilmiştir. Bu toprakta adsorpsiyon eğrisine göre desorpsiyon durumları görülmektedir. Bu grafik incelendiğinde uygulanan her bir konsantrasyona göre desorblanan Kurşun miktarı hesaplanmıştır. Buna göre uygulanan düşük konsantrasyonlar da absorblanan Kurşunun (Pb) çözeltiye geçmediği yani desorblanmadığı, uygulanan en yüksek konsantrasyonda ise absorblanan Kurşun (Pb) miktarının yaklaşık % 2,15'inin desorblanmış yani çözeltiye geçtiği tespit edilmiştir.

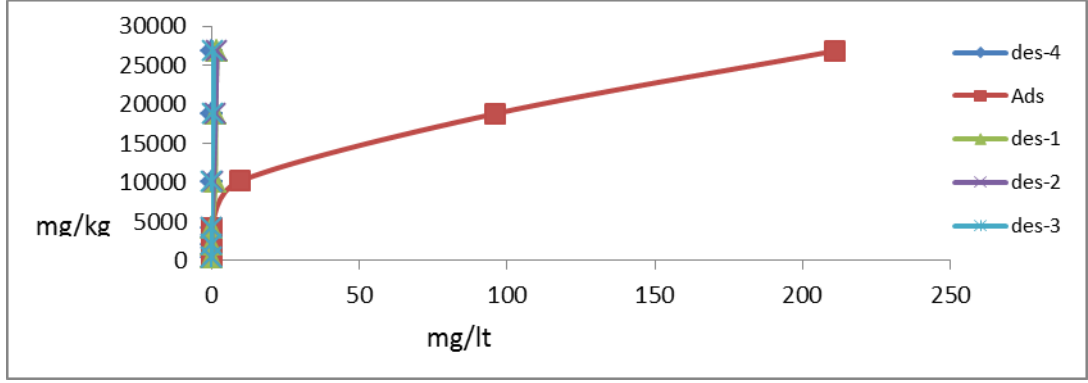


Şekil 4.96 12 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermini

Çizelge 4.45 12 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kurşun desorpsiyon oranları

| 12 | Başlangıç Konsantrasyonu (mg L <sup>-1</sup> ) | Adsor. edilen miktar (mg kg <sup>-1</sup> ) | Desorpsiyon Oranı % | Adsorblanma Oranı % | pH   |
|----|--|---|---------------------|---------------------|------|
| 1  | 20,72  | 20,62                                       | 0,00                | 99,52               | 7,11 |
| 2  | 103,6  | 103,46                                      | 0,00                | 99,86               | 7,06 |
| 3  | 207,19   | 206,89                                      | 0,00                | 99,86               | 7,02 |
| 4  | 517,98   | 514,58                                      | 0,00                | 99,34               | 6,85 |
| 5  | 1035,95  | 997,85                                      | 1,10                | 96,32               | 5,59 |
| 6  | 1553,93  | 1417,22                                     | 1,83                | 91,20               | 5,03 |
| 7  | 2071,9   | 1763,68                                     | 2,15                | 85,12               | 4,53 |

Şekil 4.97’de 13 nolu toprağın desorpsiyon durumlarını gösteren grafik verilmiştir. Bu toprakta adsorpsiyon eğrisine göre desorpsiyon durumları görülmektedir. Bu grafik incelendiğinde uygulanan her bir konsantrasyona göre desorplanan Kurşun miktarı hesaplanmıştır. Buna göre uygulanan en düşük konsantrasyon da absorplanan Kurşun (Pb) miktarının % 0,12’si desorplanmıştır. Uygulanan en yüksek konsantrasyonda ise absorplanan Kurşun (Pb) miktarının yaklaşık % 0,34’ünün desorplanmış yani çözeltiliye geçtiği tespit edilmiştir.

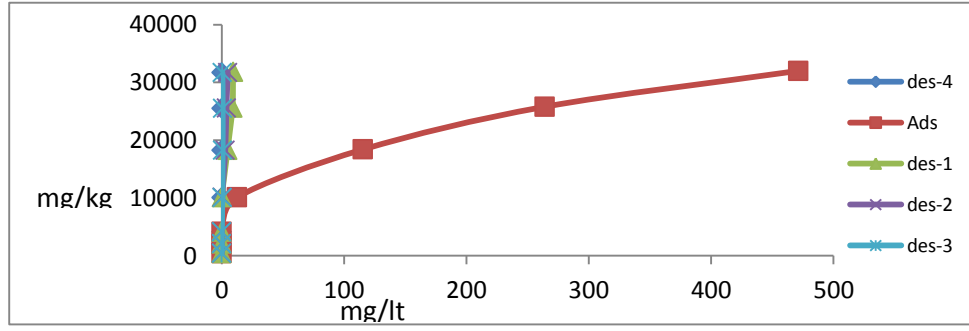


Şekil 4.97 13 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi

Çizelge 4.46 13 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kurşun desorpsiyon oranları

| 13 | Başlangıç Konsantrasyonu (mg L <sup>-1</sup> ) | Adsor. edilen miktar (mg kg <sup>-1</sup> ) | Desorpsiyon Oranı % | Adsorblanma Oranı % | pH   |
|----|--|---|---------------------|---------------------|------|
| 1  | 20,72  | 20,72                                       | 0,12                | 100,00              | 6,84 |
| 2  | 103,6  | 103,58                                      | 0,05                | 99,98               | 6,84 |
| 3  | 207,19   | 207,19                                      | 0,07                | 100,00              | 6,29 |
| 4  | 517,98   | 508,56                                      | 0,37                | 98,18               | 6,24 |
| 5  | 1035,95  | 940,21                                      | 0,35                | 90,76               | 6,18 |
| 6  | 1553,93  | 1342,84                                     | 0,32                | 86,42               | 6,15 |
| 7  | 2071,9   | 1646,16                                     | 0,34                | 79,45               | 6,09 |

Şekil 4.98'de 14 nolu toprağın desorpsiyon durumlarını gösteren grafik verilmiştir. Bu toprakta adsorpsiyon eğrisine göre desorpsiyon durumları görülmektedir. Bu grafik incelendiğinde uygulanan her bir konsantrasyona göre desorplanan Kurşun miktarı hesaplanmıştır. Buna göre uygulanan düşük konsantrasyonlar da absorplanan Kurşun (Pb) miktarının hiç birisi desorplanmıştır. Uygulanan en yüksek konsantrasyonda ise absorplanan Kurşun (Pb) miktarının yaklaşık % 0.92'i desorplanmış yani çözeltiliye geçtiği tespit edilmiştir.



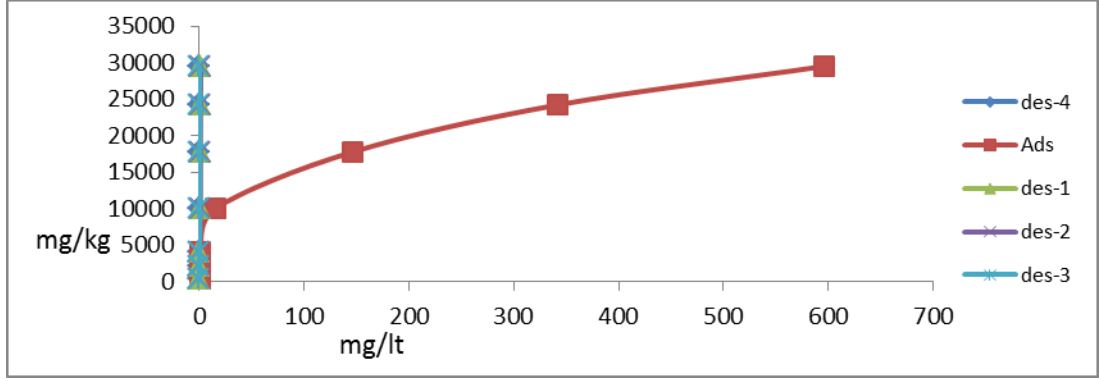
Şekil 4.98 14 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi

Çizelge 4.47 14 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kurşun desorpsiyon oranları

| 14 | Başlangıç Konsantrasyonu (mg L <sup>-1</sup> ) | Adsor. edilen miktar (mg kg <sup>-1</sup> ) | Desorpsiyon Oranı % | Adsorblanma Oranı % | pH   |
|----|--|---|---------------------|---------------------|------|
| 1  | 20,72  | 20,72                                       | 0,01                | 100,00              | 6,84 |
| 2  | 103,6  | 103,6                                       | 0,00                | 100,00              | 6,88 |
| 3  | 207,19   | 207,19                                      | 0,00                | 100,00              | 6,58 |
| 4  | 517,98   | 505,59                                      | 0,23                | 97,61               | 6,22 |
| 5  | 1035,95  | 920,51                                      | 0,90                | 88,86               | 6,67 |
| 6  | 1553,93  | 1289,91                                     | 1,03                | 83,01               | 4,21 |
| 7  | 2071,9   | 1600,76                                     | 0,92                | 77,26               | 4,03 |

Şekil 4.99'da 15 nolu toprağın desorpsiyon durumlarını gösteren grafik verilmiştir. Bu toprakta adsorpsiyon eğrisine göre desorpsiyon durumları görülmektedir. Bu grafik incelendiğinde uygulanan her bir konsantrasyona göre desorplanan Kurşun miktarı hesaplanmıştır. Bu hesaplama göre uygulanan artan dozda 7 farklı konsantrasyon da absorplanan Kurşun (Pb) miktarının hemen hemen hiç bir miktarının desorplanmadığı tespit edilmiştir. Uygulanan yüksek konsantrasyonlarda absorplanan Kurşun (Pb) miktarının yaklaşık % 0,23'ü desorplanmış yani çözeltiliye geçtiği tespit edilse bile bu ihmal edilebilecek bir miktardır.



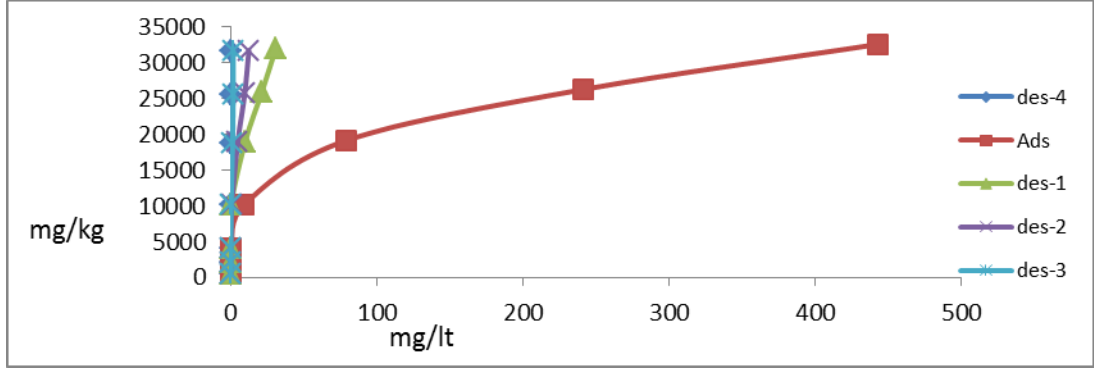


Şekil 4.99 15 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi

Çizelge 4.48 15 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kurşun desorpsiyon oranları

| 15 | Başlangıç Konsantrasyonu (mg L <sup>-1</sup> ) | Adsor. edilen miktar (mg kg <sup>-1</sup> ) | Desorpsiyon Oranı % | Adsorblanma Oranı % | pH   |
|----|--|---|---------------------|---------------------|------|
| 1  | 20,72  | 20,62                                       | 0,00                | 99,52               | 7,13 |
| 2  | 103,6  | 103,4                                       | 0,00                | 99,81               | 6,88 |
| 3  | 207,19   | 206,39                                      | 0,00                | 99,61               | 6,66 |
| 4  | 517,98   | 502,58                                      | 0,23                | 97,03               | 6,24 |
| 5  | 1035,95  | 889,66                                      | 0,15                | 85,88               | 4,80 |
| 6  | 1553,93  | 1211,71                                     | 0,14                | 77,98               | 4,53 |
| 7  | 2071,9   | 1475,55                                     | 0,16                | 71,22               | 4,29 |

Şekil 4.100'de 16 nolu toprağın desorpsiyon durumlarını gösteren grafik verilmiştir. Bu toprakta adsorpsiyon eğrisine göre desorpsiyon durumları görülmektedir. Bu grafik incelendiğinde uygulanan her bir konsantrasyona göre desorplanan Kurşun miktarı hesaplanmıştır. Buna göre uygulanan en düşük konsantrasyon da absorplanan Kurşun (Pb) miktarının % 6,00'sı desorplanmıştır. Uygulanan en yüksek konsantrasyonda ise absorplanan Kurşun (Pb) miktarının yaklaşık % 85,95'i desorplanmış yani çözeltiliye geçtiği tespit edilmiştir.

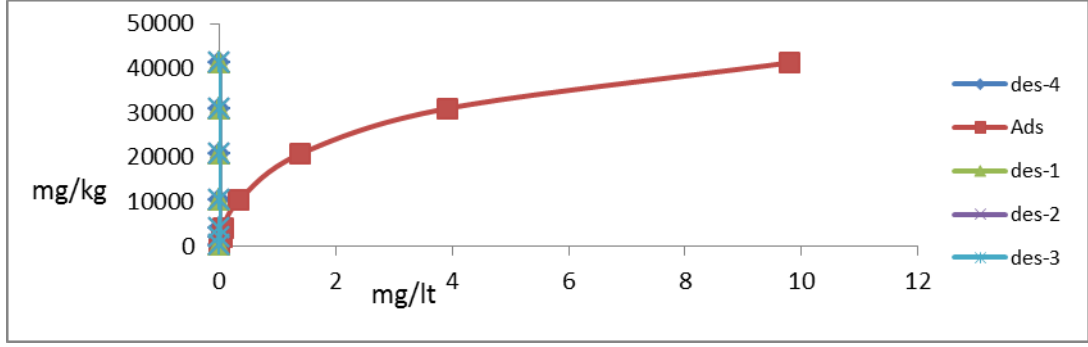


Şekil 4.100 16 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi

Çizelge 4.49 16 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kurşun desorpsiyon oranları

| 16 | Başlangıç Konsantrasyonu (mg L <sup>-1</sup> ) | Adsor. edilen miktar (mg kg <sup>-1</sup> ) | Desorpsiyon Oranı % | Adsorblanma Oranı % | pH   |
|----|--|---|---------------------|---------------------|------|
| 1  | 20,72  | 20,62                                       | 0,00                | 99,52               | 7,32 |
| 2  | 103,6  | 103,35                                      | 0,00                | 99,76               | 7,23 |
| 3  | 207,19   | 206,79                                      | 0,00                | 99,81               | 7,09 |
| 4  | 517,98   | 508,76                                      | 0,23                | 98,22               | 7,00 |
| 5  | 1035,95  | 956,82                                      | 1,65                | 92,36               | 5,80 |
| 6  | 1553,93  | 1312,78                                     | 2,47                | 84,48               | 4,93 |
| 7  | 2071,9   | 1628,65                                     | 2,75                | 78,61               | 4,58 |

Şekil 4.101'de 17 nolu toprağın desorpsiyon durumlarını gösteren grafik verilmiştir. Bu toprakta adsorpsiyon eğrisine göre desorpsiyon durumları görülmektedir. Bu grafik incelendiğinde uygulanan her bir konsantrasyona göre desorplanan Kurşun miktarı hesaplanmıştır. Buna göre uygulanan konsantrasyonlar da absorplanan Kurşun (Pb) miktarının hiç birinin desorplanmadığı yani çözeltiliye geçmediği tespit edilmiştir.

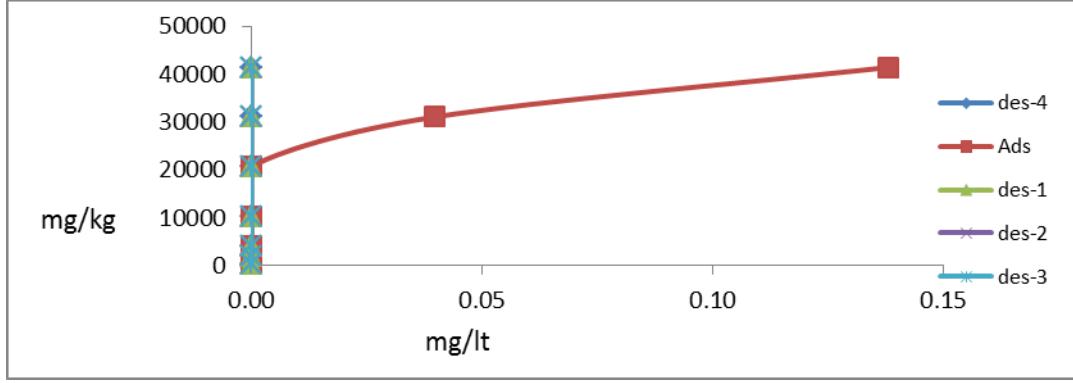


Şekil 4.101 17 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi

Çizelge 4.50 17 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kurşun desorpsiyon oranları

| 17 | Başlangıç Konsantrasyonu (mg L <sup>-1</sup> ) | Adsor. edilen miktar (mg kg <sup>-1</sup> ) | Desorpsiyon Oranı % | Adsorblanma Oranı % | pH   |
|----|--|---|---------------------|---------------------|------|
| 1  | 20,72  | 20,72                                       | 0,00                | 100,00              | 7,49 |
| 2  | 103,6  | 103,55                                      | 0,00                | 99,95               | 7,43 |
| 3  | 207,19   | 207,13                                      | 0,00                | 99,97               | 7,33 |
| 4  | 517,98   | 517,64                                      | 0,00                | 99,93               | 7,22 |
| 5  | 1035,95  | 1034,57                                     | 0,00                | 99,87               | 6,97 |
| 6  | 1553,93  | 1550  | 0,00                | 99,75               | 6,59 |
| 7  | 2071,9   | 2062,11                                     | 0,00                | 99,53               | 6,54 |

Şekil 4.102'de 18 nolu toprağın desorpsiyon durumlarını gösteren grafik verilmiştir. Bu toprakta adsorpsiyon eğrisine göre desorpsiyon durumları görülmektedir. Bu grafik incelendiğinde uygulanan her bir konsantrasyona göre desorplanan Kurşun miktarı hesaplanmıştır. Buna göre uygulanan konsantrasyonlar da absorplanan Kurşun (Pb) miktarının hiç birinin desorplanmadığı yani çözeltiliye geçmediği tespit edilmiştir.

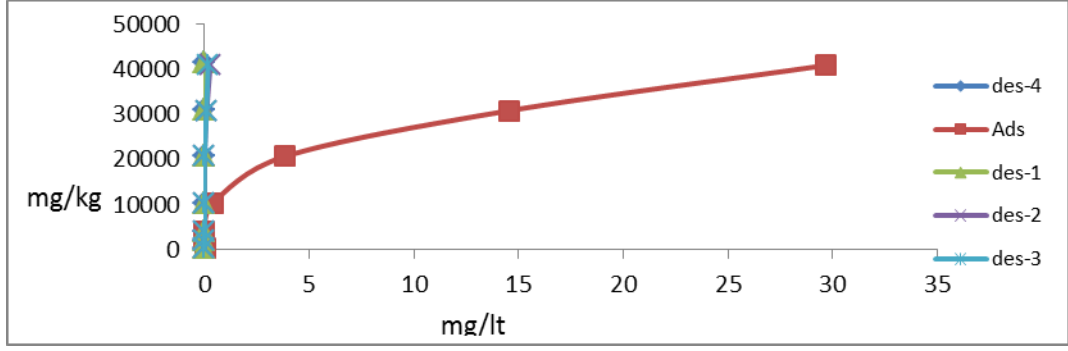


Şekil 4.102 18 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi

Çizelge 4.51 18 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kurşun desorpsiyon oranları

| 18 | Başlangıç Konsantrasyonu (mg L <sup>-1</sup> ) | Adsor. edilen miktar (mg kg <sup>-1</sup> ) | Desorpsiyon Oranı % | Adsorblanma Oranı % | pH   |
|----|--|---|---------------------|---------------------|------|
| 1  | 20,72  | 20,72                                       | 0,00                | 100,00              | 7,23 |
| 2  | 103,6  | 103,6                                       | 0,00                | 100,00              | 7,21 |
| 3  | 207,19   | 207,19                                      | 0,00                | 100,00              | 7,15 |
| 4  | 517,98   | 517,98                                      | 0,00                | 100,00              | 7,12 |
| 5  | 1035,95  | 1035,95                                     | 0,00                | 100,00              | 7,07 |
| 6  | 1553,93  | 1553,89                                     | 0,00                | 100,00              | 7,04 |
| 7  | 2071,9   | 2071,76                                     | 0,00                | 99,99               | 7,01 |

Şekil 4.103'de 19 nolu toprağın desorpsiyon durumlarını gösteren grafik verilmiştir. Bu toprakta adsorpsiyon eğrisine göre desorpsiyon durumları görülmektedir. Bu grafik incelendiğinde uygulanan her bir konsantrasyona göre desorplanan Kurşun miktarı hesaplanmıştır. Buna göre uygulanan en düşük konsantrasyon da absorplanan Kurşun (Pb) miktarının hemen hemen tamamının adsorbe edildiği, adsorbe edilen kurşunun da çözeltiliye geçmediği yani desorplanmadığı tespit edilmiştir.

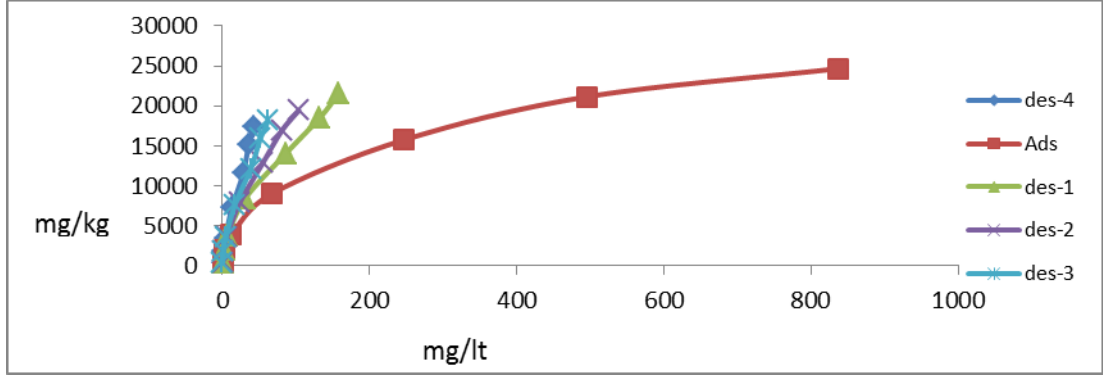


Şekil 4.103 19 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi

Çizelge 4.52 19 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kurşun desorpsiyon oranları

| 19 | Başlangıç Konsantrasyonu (mg L <sup>-1</sup> ) | Adsor. edilen miktar (mg kg <sup>-1</sup> ) | Desorpsiyon Oranı % | Adsorblanma Oranı % | pH   |
|----|--|---|---------------------|---------------------|------|
| 1  | 20,72  | 20,68                                       | 0,00                | 99,81               | 7,50 |
| 2  | 103,6  | 103,6                                       | 0,00                | 100,00              | 7,40 |
| 3  | 207,19   | 207,19                                      | 0,00                | 100,00              | 7,05 |
| 4  | 517,98   | 517,56                                      | 0,02                | 99,92               | 6,92 |
| 5  | 1035,95  | 1032,14                                     | 0,01                | 99,63               | 6,14 |
| 6  | 1553,93  | 1539,4                                      | 0,02                | 99,06               | 6,06 |
| 7  | 2071,9   | 2042,24                                     | 0,04                | 98,57               | 5,65 |

Şekil 4.104’de 20 nolu toprağın desorpsiyon durumlarını gösteren grafik verilmiştir. Bu toprakta adsorpsiyon eğrisine göre desorpsiyon durumları görülmektedir. Bu grafik incelendiğinde uygulanan her bir konsantrasyona göre desorplanan Kurşun miktarı hesaplanmıştır. Buna göre uygulanan en düşük konsantrasyon da absorplanan Kurşun (Pb) miktarının % 11,91’i desorplanmıştır. Uygulanan en yüksek konsantrasyonda ise absorplanan Kurşun (Pb) miktarının yaklaşık % 29,76’ sı desorplanmış yani çözeltiliye geçtiği tespit edilmiştir.

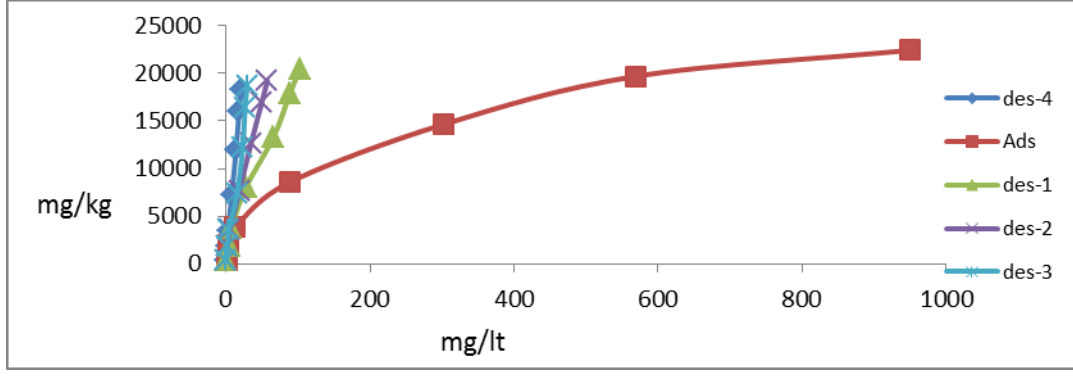


Şekil 4.104 20 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi

Çizelge 4.53 20 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kurşun desorpsiyon oranları

| 20 | Başlangıç Konsantrasyonu (mg L-1) | Adsor. edilen miktar (mg kg <sup>-1</sup> ) | Desorpsiyon Oranı % | Adsorblanma Oranı % | pH   |
|----|-----------------------------------|---|---------------------|---------------------|------|
| 1  | 20,72                             | 19,5  | 11,91               | 94,11               | 4,46 |
| 2  | 103,6                             | 100,08                                      | 6,91                | 96,60               | 4,22 |
| 3  | 207,19                            | 194,85                                      | 10,82               | 94,04               | 4,15 |
| 4  | 517,98                            | 451,3                                       | 18,66               | 87,13               | 3,93 |
| 5  | 1035,95                           | 788,8                                       | 26,43               | 76,14               | 3,64 |
| 6  | 1553,93                           | 1058,09                                     | 28,35               | 68,09               | 3,61 |
| 7  | 2071,9                            | 1234,07                                     | 29,76               | 59,56               | 3,55 |

Şekil 4.105’de 21 nolu toprağın desorpsiyon durumlarını gösteren grafik verilmiştir. Bu toprakta adsorpsiyon eğrisine göre desorpsiyon durumları görülmektedir. Bu grafik incelendiğinde uygulanan her bir konsantrasyona göre desorplanan Kurşun miktarı hesaplanmıştır. Buna göre uygulanan en düşük konsantrasyon da absorplanan Kurşun (Pb) miktarının % 4,88’si desorplanmıştır. Uygulanan en yüksek konsantrasyonda ise absorplanan Kurşun (Pb) miktarının yaklaşık % 18.69’ u desorplanmış yani çözeltiliye geçtiği tespit edilmiştir.

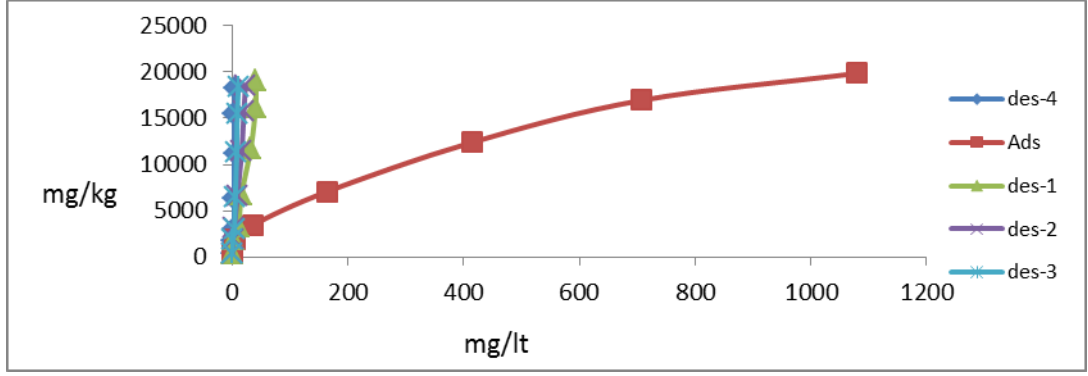


Şekil 4.105 21 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi

Çizelge 4.54 21 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kurşun desorpsiyon oranları

| 21 | Başlangıç Konsantrasyonu (mg L <sup>-1</sup> ) | Adsor. edilen miktar (mg kg <sup>-1</sup> ) | Desorpsiyon Oranı % | Adsorblanma Oranı % | pH   |
|----|--|---|---------------------|---------------------|------|
| 1  | 20,72  | 20,11                                       | 4,88                | 97,06               | 4,35 |
| 2  | 103,6  | 99,75                                       | 8,35                | 96,28               | 4,32 |
| 3  | 207,19   | 194,22                                      | 9,96                | 93,74               | 4,21 |
| 4  | 517,98   | 429,44                                      | 16,07               | 82,91               | 3,83 |
| 5  | 1035,95  | 733,07                                      | 18,75               | 70,76               | 3,75 |
| 6  | 1553,93  | 984,66                                      | 18,56               | 63,37               | 3,60 |
| 7  | 2071,9   | 1121,19                                     | 18,69               | 54,11               | 3,48 |

Şekil 4.106'da 22 nolu toprağın desorpsiyon durumlarını gösteren grafik verilmiştir. Bu toprakta adsorpsiyon eğrisine göre desorpsiyon durumları görülmektedir. Bu grafik incelendiğinde uygulanan her bir konsantrasyona göre desorplanan Kurşun miktarı hesaplanmıştır. Buna göre uygulanan en düşük konsantrasyon da absorplanan Kurşun (Pb) miktarının % 4,34'si desorplanmıştır. Uygulanan en yüksek konsantrasyonda ise absorplanan Kurşun (Pb) miktarının yaklaşık % 8,06'sı desorplanmış yani çözeltiliye geçtiği tespit edilmiştir.



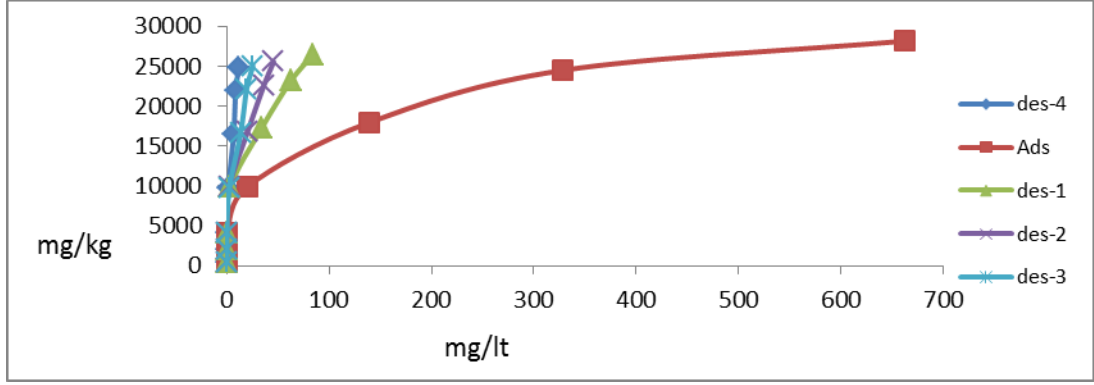
Şekil 4.106 22 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi

Çizelge 4.55 22 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kurşun desorpsiyon oranları

| 22 | Başlangıç Konsantrasyonu (mg L <sup>-1</sup> ) | Adsor. edilen miktar (mg kg <sup>-1</sup> ) | Desorpsiyon Oranı % | Adsorblanma Oranı % | pH   |
|----|--|---|---------------------|---------------------|------|
| 1  | 20,72  | 20,53                                       | 4,34                | 99,08               | 5,72 |
| 2  | 103,6  | 97,69                                       | 6,61                | 94,30               | 5,67 |
| 3  | 207,19   | 172,31                                      | 11,85               | 83,17               | 5,49 |
| 4  | 517,98   | 353,87                                      | 9,55                | 68,32               | 4,68 |
| 5  | 1035,95  | 620,61                                      | 9,77                | 59,91               | 4,64 |
| 6  | 1553,93  | 847,18                                      | 8,69                | 54,52               | 4,40 |
| 7  | 2071,9   | 992,75                                      | 8,06                | 47,91               | 4,36 |

Şekil 4.107’de 23 nolu toprağın desorpsiyon durumlarını gösteren grafik verilmiştir. Bu toprakta adsorpsiyon eğrisine göre desorpsiyon durumları görülmektedir. Bu grafik incelendiğinde uygulanan her bir konsantrasyona göre desorplanan Kurşun miktarı hesaplanmıştır. Buna göre uygulanan en düşük konsantrasyon da absorplanan Kurşun (Pb) miktarının % 1,93’ü desorplanmıştır. Uygulanan en yüksek konsantrasyonda ise absorplanan Kurşun (Pb) miktarının yaklaşık % 11,93’ü desorplanmış yani çözeltiliye geçtiği tespit edilmiştir.



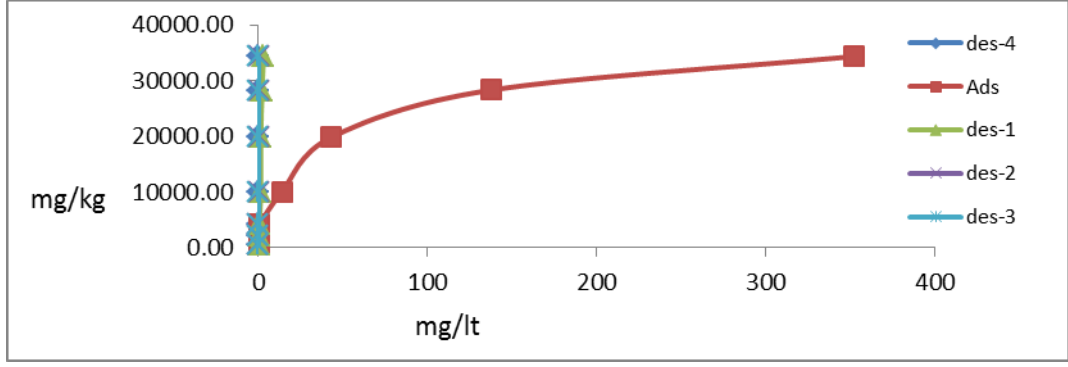


Şekil 4.107 23 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi

Çizelge 4.56 23 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kurşun desorpsiyon oranları

| 23 | Başlangıç Konsantrasyonu (mg L <sup>-1</sup> ) | Adsor. edilen miktar (mg kg <sup>-1</sup> ) | Desorpsiyon Oranı % | Adsorblanma Oranı % | pH   |
|----|--|---|---------------------|---------------------|------|
| 1  | 20,72  | 20,72                                       | 1,93                | 100,00              | 7,10 |
| 2  | 103,6  | 103,58                                      | 0,34                | 99,98               | 6,96 |
| 3  | 207,19   | 206,8                                       | 0,29                | 99,81               | 6,86 |
| 4  | 517,98   | 497,41                                      | 2,04                | 96,03               | 6,54 |
| 5  | 1035,95  | 896,93                                      | 8,37                | 86,58               | 5,99 |
| 6  | 1553,93  | 1225,37                                     | 10,41               | 78,86               | 5,87 |
| 7  | 2071,9   | 1409,13                                     | 11,93               | 68,01               | 5,82 |

Şekil 4.108’de 24 nolu toprağın desorpsiyon durumlarını gösteren grafik verilmiştir. Bu toprakta adsorpsiyon eğrisine göre desorpsiyon durumları görülmektedir. Bu grafik incelendiğinde uygulanan her bir konsantrasyona göre desorplanan Kurşun miktarı hesaplanmıştır. Buna göre uygulanan en düşük konsantrasyon da absorplanan Kurşun (Pb) miktarının % 0,55’i desorplanmıştır. Uygulanan en yüksek konsantrasyonda ise absorplanan Kurşun (Pb) miktarının yaklaşık % 0,18’ i desorplanmış yani çözeltiliye geçtiği tespit edilmiştir.

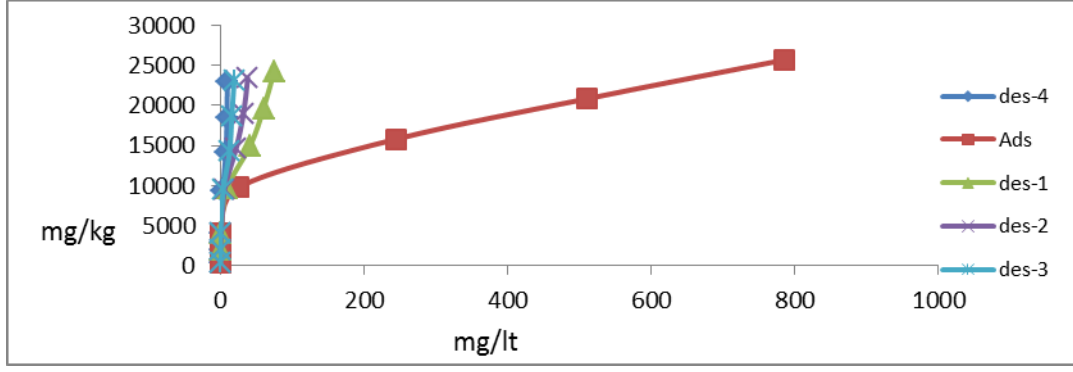


Şekil 4.108 24 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi

Çizelge 4.57 24 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kurşun desorpsiyon oranları

| 24 | Başlangıç Konsantrasyonu (mg L <sup>-1</sup> ) | Adsor. edilen miktar (mg kg <sup>-1</sup> ) | Desorpsiyon Oranı % | Adsorblanma Oranı % | pH   |
|----|--|---|---------------------|---------------------|------|
| 1  | 20,72  | 20,64                                       | 0,55                | 99,61               | 7,27 |
| 2  | 103,6  | 103,44                                      | 0,10                | 99,85               | 7,16 |
| 3  | 207,19   | 206,49                                      | 0,18                | 99,66               | 6,95 |
| 4  | 517,98   | 504,09                                      | 0,27                | 97,32               | 6,54 |
| 5  | 1035,95  | 992,77                                      | 0,15                | 95,83               | 6,26 |
| 6  | 1553,93  | 1416,29                                     | 0,15                | 91,14               | 6,22 |
| 7  | 2071,9   | 1719,33                                     | 0,18                | 82,98               | 6,14 |

Şekil 4.109'da 25 nolu toprağın desorpsiyon durumlarını gösteren grafik verilmiştir. Bu toprakta adsorpsiyon eğrisine göre desorpsiyon durumları görülmektedir. Bu grafik incelendiğinde uygulanan her bir konsantrasyona göre desorplanan Kurşun miktarı hesaplanmıştır. Buna göre uygulanan en düşük konsantrasyon da absorplanan Kurşun (Pb) miktarının % 0,67'si desorplanmıştır. Uygulanan en yüksek konsantrasyonda ise absorplanan Kurşun (Pb) miktarının yaklaşık % 11,03'ü desorplanmış yani çözeltiliye geçtiği tespit edilmiştir.

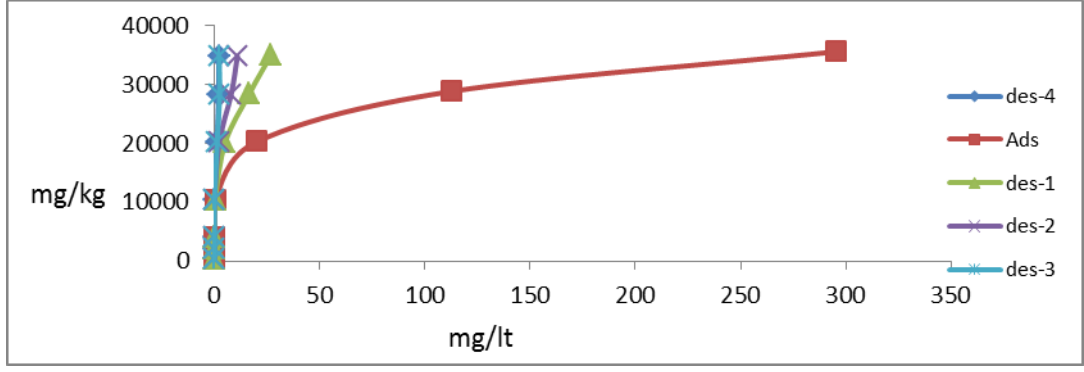


Şekil 4.109 25 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi

Çizelge 4.58 25 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kurşun desorpsiyon oranları

| 25 | Başlangıç Konsantrasyonu (mg L <sup>-1</sup> ) | Adsor. edilen miktar (mg kg <sup>-1</sup> ) | Desorpsiyon Oranı % | Adsorblanma Oranı % | pH   |
|----|--|---|---------------------|---------------------|------|
| 1  | 20,72  | 20,61                                       | 0,00                | 99,47               | 7,18 |
| 2  | 103,6  | 103,56                                      | 0,67                | 99,96               | 6,84 |
| 3  | 207,19   | 206,15                                      | 1,00                | 99,50               | 6,75 |
| 4  | 517,98   | 491,94                                      | 4,50                | 94,97               | 6,06 |
| 5  | 1035,95  | 790,91                                      | 10,61               | 76,35               | 5,84 |
| 6  | 1553,93  | 1042,98                                     | 11,27               | 67,12               | 5,14 |
| 7  | 2071,9   | 1285,5                                      | 11,03               | 62,04               | 4,97 |

Şekil 4.110'da 26 nolu toprağın desorpsiyon durumlarını gösteren grafik verilmiştir. Bu toprakta adsorpsiyon eğrisine göre desorpsiyon durumları görülmektedir. Bu grafik incelendiğinde uygulanan her bir konsantrasyona göre desorplanan Kurşun miktarı hesaplanmıştır. Buna göre uygulanan düşük konsantrasyonlar da absorplanan Kurşun (Pb) miktarının hiç birisi desorplanmıştır. Uygulanan en yüksek konsantrasyonda ise absorplanan Kurşun (Pb) miktarının yaklaşık % 2.37'i desorplanmış yani çözeltiye geçtiği tespit edilmiştir.

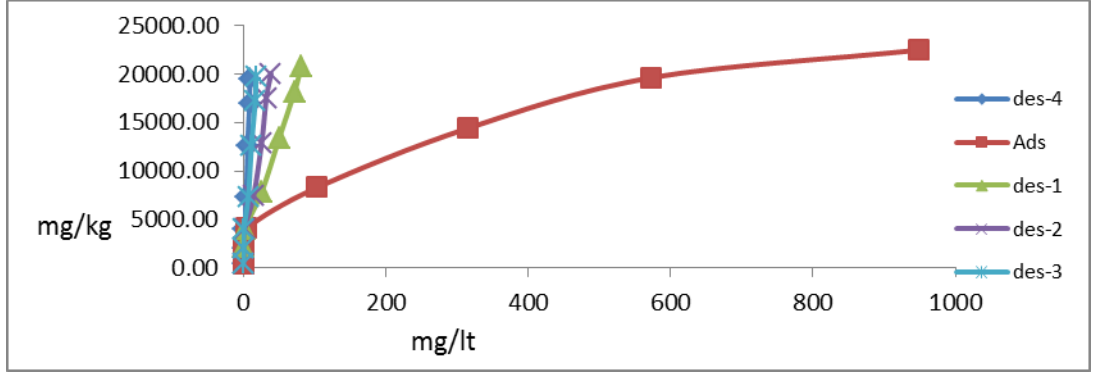


Şekil 4.110 26 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi

Çizelge 4.59 26 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kurşun desorpsiyon oranları

| 26 | Başlangıç Konsantrasyonu (mg L <sup>-1</sup> ) | Adsor. edilen miktar (mg kg <sup>-1</sup> ) | Desorpsiyon Oranı % | Adsorblanma Oranı % | pH   |
|----|--|---|---------------------|---------------------|------|
| 1  | 20,72  | 20,72                                       | 0,00                | 100,00              | 7,62 |
| 2  | 103,6  | 103,6                                       | 0,00                | 100,00              | 7,43 |
| 3  | 207,19   | 207,19                                      | 0,07                | 100,00              | 7,09 |
| 4  | 517,98   | 517,66                                      | 0,08                | 99,94               | 6,83 |
| 5  | 1035,95  | 1015,58                                     | 0,99                | 98,03               | 6,56 |
| 6  | 1553,93  | 1441,03                                     | 2,02                | 92,73               | 6,36 |
| 7  | 2071,9   | 1776,83                                     | 2,37                | 85,76               | 6,11 |

Şekil 4.111’de 27 nolu toprağın desorpsiyon durumlarını gösteren grafik verilmiştir. Bu toprakta adsorpsiyon eğrisine göre desorpsiyon durumları görülmektedir. Bu grafik incelendiğinde uygulanan her bir konsantrasyona göre desorplanan Kurşun miktarı hesaplanmıştır. Buna göre uygulanan en düşük konsantrasyon da absorplanan Kurşun (Pb) miktarının % 2,22’si desorplanmıştır. Uygulanan en yüksek konsantrasyonda ise absorplanan Kurşun (Pb) miktarının yaklaşık % 13,17’i desorplanmış yani çözeltiliye geçtiği tespit edilmiştir.

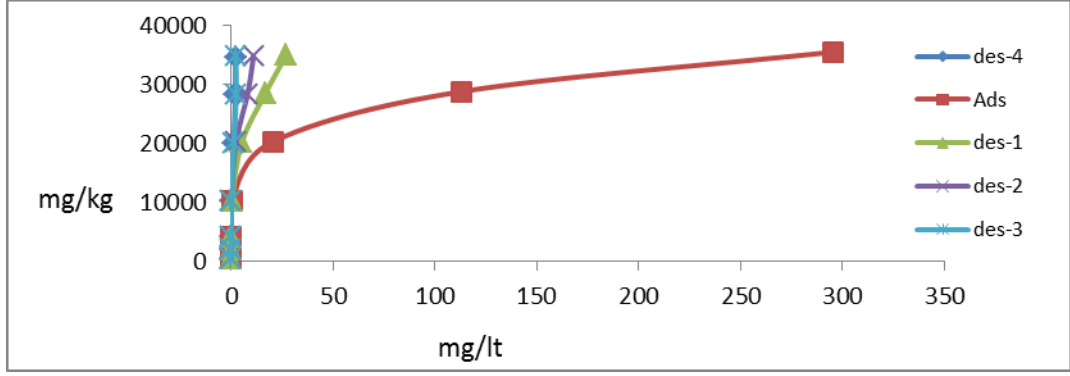


Şekil 4.111 27 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi

Çizelge 4.60 27 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kurşun desorpsiyon oranları

| 27 | Başlangıç Konsantrasyonu (mg L <sup>-1</sup> ) | Adsor. edilen miktar (mg kg <sup>-1</sup> ) | Desorpsiyon Oranı % | Adsorblanma Oranı % | pH   |
|----|--|---|---------------------|---------------------|------|
| 1  | 20,72  | 20,62                                       | 2,22                | 99,52               | 6,56 |
| 2  | 103,6  | 103,19                                      | 1,46                | 99,60               | 5,29 |
| 3  | 207,19   | 202,6                                       | 2,85                | 97,78               | 5,05 |
| 4  | 517,98   | 414,22                                      | 12,55               | 79,97               | 4,86 |
| 5  | 1035,95  | 720,53                                      | 13,10               | 69,55               | 4,82 |
| 6  | 1553,93  | 981,33                                      | 13,27               | 63,15               | 4,63 |
| 7  | 2071,9   | 1124,1                                      | 13,17               | 54,25               | 4,50 |

Şekil 4.112'de 28 nolu toprağın desorpsiyon durumlarını gösteren grafik verilmiştir. Bu toprakta adsorpsiyon eğrisine göre desorpsiyon durumları görülmektedir. Bu grafik incelendiğinde uygulanan her bir konsantrasyona göre desorplanan Kurşun miktarı hesaplanmıştır. Buna göre uygulanan en düşük konsantrasyon da absorplanan Kurşun (Pb) miktarının hiç birisi desorplanmamıştır. Uygulanan en yüksek konsantrasyonda ise absorplanan Kurşun (Pb) miktarının yaklaşık % 9,30'u desorplanmış yani çözeltiliye geçtiği tespit edilmiştir.



Şekil 4.112 28 nolu toprağa ait desorpsiyon izotermi

Çizelge 4.61 28 nolu toprağın başlangıç konsantrasyonuna bağlı kurşun desorpsiyon oranları

| 28 | Başlangıç Konsantrasyonu (mg L <sup>-1</sup> ) | Adsor. edilen miktar (mg kg <sup>-1</sup> ) | Desorpsiyon Oranı % | Adsorblanma Oranı % | pH   |
|----|--|---|---------------------|---------------------|------|
| 1  | 20,72  | 20,72                                       | 0,00                | 100,00              | 6,98 |
| 2  | 103,6  | 103,6                                       | 0,00                | 100,00              | 6,68 |
| 3  | 207,19   | 207,19                                      | 0,00                | 100,00              | 6,60 |
| 4  | 517,98   | 499,69                                      | 9,79                | 96,47               | 6,50 |
| 5  | 1035,95  | 961,91                                      | 0,07                | 92,85               | 6,28 |
| 6  | 1553,93  | 1324,01                                     | 5,57                | 85,20               | 6,20 |
| 7  | 2071,9   | 1636,95                                     | 9,30                | 79,01               | 6,12 |

## 4.2 Tartışma

### 4.2.1 Adsorpsiyon izotermelerinin uygunluğu

Adsorpsiyon izotermelerinin uygunluğunun tespit etmek için Langmuir izoterm eşitliğinden elde edilen adsorpsiyon maksimum değerleri ile deneysel olarak elde edilen adsorpsiyon maksimum değerleri (çizelge 4.62) arasında istatiki bir değerlendirme yapılmıştır.

Çizelge 4.62 Langmuir izoterm eşitliğinden ve deneysel olarak elde edilen adsorpsiyon maksimum değerleri

| No | Leng. max.Ads.<br>(Cd) | Den.Max.Ad<br>(Cd) | Leng.max. Ads.<br>(Pb) | Den.Max.Ad.<br>(Pb) |
|----|------------------------|--------------------|------------------------|---------------------|
| 1  | 2500                   | 109                | 25000                  | 1222                |
| 2  | 10000                  | 446                | 33333                  | 2071                |
| 3  | 5000                   | 231                | 20000                  | 2070                |
| 4  | 10000                  | 362                | 10000                  | 1751                |
| 5  | 10000                  | 356                | 100000                 | 1941                |
| 6  | 10000                  | 268                | 25000                  | 1122                |
| 7  | 10000                  | 318                | 25000                  | 1175                |
| 8  | 12500                  | 562                | 25000                  | 1348                |
| 9  | 5000                   | 129                | 25000                  | 1223                |
| 10 | 10000                  | 480                | 33333                  | 1801                |
| 11 | 5000                   | 441                | 20000                  | 1052                |
| 12 | 10000                  | 228                | 33333                  | 1764                |
| 13 | 5000                   | 246                | 33333                  | 1646                |
| 14 | 5000                   | 299                | 33333                  | 1601                |
| 15 | 3333                   | 180                | 33333                  | 1476                |
| 16 | 5000                   | 310                | 33333                  | 1629                |
| 17 | 5000                   | 325                | 50000                  | 2062                |
| 18 | 2000                   | 125                | 50000                  | 2072                |
| 19 | 10000                  | 333                | 50000                  | 2042                |
| 20 | 3333                   | 141                | 25000                  | 1234                |
| 21 | 20000                  | 292                | 20000                  | 1121                |
| 22 | 14286                  | 461                | 20000                  | 993                 |
| 23 | 10000                  | 478                | 33333                  | 1409                |
| 24 | 12500                  | 455                | 33333                  | 1719                |
| 25 | 5000                   | 223                | 20000                  | 1286                |
| 26 | 10000                  | 358                | 33333                  | 1777                |
| 27 | 10000                  | 380                | 10000                  | 1124                |
| 28 | 12500                  | 533                | 25000                  | 1637                |

Yapılan istatiki değerlendirmede toprakların kadmiyum ve kurşun için Langmuir izoterm eşitliğinden elde edilen adsorpsiyon maksimum değerleri ile deneysel olarak elde edilen adsorpsiyon maksimum değerleri arasında t testi uygulanmıştır (4.63). Yapılan t-testi değerlendirmesinde toprakların hem kadmiyum hem de kurşun için Langmuir izoterm eşitliğinden elde edilen adsorpsiyon maksimum değerleri ile deneysel olarak elde edilen desorpsiyon maksimum değerleri arasında istatiki olarak önemli fark elde edilmiştir. Bu da adsorpsiyon izotermeleri arasında bir uyumsuzluk olduğuna işaret

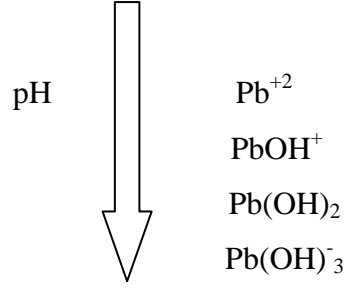
etmektedir. Bunun sebebi Langmuir izoterm eşitliğinden elde edilen adsorpsiyon maksimum değerleri hesaplanırken sadece gerçek anlamda adsorpsiyon maksimumu elde edilmesi yanında kimyasal bileşikler halinde çökme olaylarının Langmuir izoterm eşitliğinden elde edilen adsorpsiyon maksimumu içerisinde bulunmasından dolayı bu uyumsuzluk meydana gelmiştir.

Çizelge 4.63 Langmuir izoterm eşitliği ve deneysel olarak elde edilen adsorpsiyon maksimum değerleri arasındaki t testi

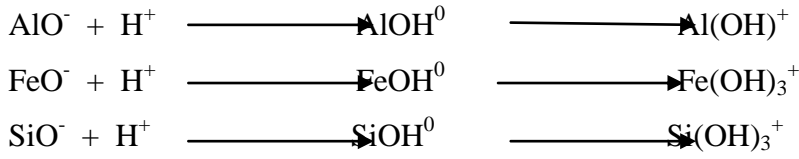
| <b>Cd</b>               |                |                | <b>Pb</b>               |                |                |
|-------------------------|----------------|----------------|-------------------------|----------------|----------------|
| <i>t-Test</i>           | <i>Değiş.1</i> | <i>Değiş.2</i> | <i>t-Test</i>           | <i>Değiş.1</i> | <i>Değiş.2</i> |
| Ortalama                | 8320           | 324            | Ortalama                | 1549           | 324            |
| Varyans                 | 17303831       | 16184          | Varyans                 | 126818         | 16184          |
| Gözlem                  | 28             | 28             | Gözlem                  | 28             | 28             |
| Pearson Korelasyonu     | 1              |                | Pearson Korelasyonu     | 0.028          |                |
| Öngörülen Ortalama Fark | 0              |                | Öngörülen Ortalama Fark | 0              |                |
| Df                      | 27             |                | df                      | 27             |                |
| t Stat                  | 10.369         |                | t Stat                  | 17.295         |                |
| P(T<=t) tek-uçlu        | 0.000          |                | P(T<=t) tek-uçlu        | 0.000          |                |
| t Kritik tek-uçlu       | 1.703          |                | t Kritik tek-uçlu       | 1.703          |                |
| P(T<=t) iki-uçlu        | 0.000          |                | P(T<=t) iki-uçlu        | 0.000          |                |
| t Kritik iki-uçlu       | 2.052          |                | t Kritik iki-uçlu       | 2.052          |                |

Ayrıca Langmuir adsorpsiyon izoterm denkleminde elde edilen adsorpsiyon maksimumu (b) ile deneysel olarak elde edilen adsorpsiyon maksimumu arasında önemli bir fark bulunmuş olması, toprakların homojen olmadığını bir göstergesi dir. Langmuir Adsorpsiyon İzoterm denkleminde toprak yüzeyinin homojen olduğu varsayımı ile hesaplamalar yapılır. Buna ilaveten artan adsorpsiyon ile pH'nın azalması adsorbe olan iyonun türünü değiştirdiği (Şekil 4.113) gibi artan konsantrasyonlar pH'nın azalmasına neden olur buda pH bağlı olarak oluşan adsorpsiyon yüzeylerinin değişmesine neden olmaktadır (Şekil 4.114). En önemli husus ise Langmuir İzotermi çökme reaksiyonlarını tanımlamasıdır.





Şekil 4.113 pH azalmasına bağlı olarak iyon yükünün değişimi



Şekil 4.114 pH azalmasına bağlı olarak adsorpsiyon yüzeylerinin değişimi

Kurşun adsorpsiyonu çalışmasında Langmuir İzoterm Denkleminde elde edilen Adsorpsiyon maksimumu (b) değeri hesaplanmış olsa da topraklarda kurşun genellikle çökeltme reaksiyonu verdiği için ve Langmuir İzotermi çökeltme reaksiyonlarını tanımladığından gerçek anlamda bir maksimum adsorpsiyonundan bahsetmek olası değildir. Bu nedenle teorik olarak hesaplanan verilerin karşılaştırılabileceği deneysel olarak elde edilmiş olan maksimum adsorpsiyon verileri bulunmamaktadır.

#### 4.2.2 Adsorpsiyon parametrelerinin toprak özellikleri ile olan ilişkileri

Toprak özellikleri ile ferundlich ve Langmuir izotermi ile elde edilen adsorpsiyon maksimum arasında korelasyon ilişkileri Çizelge 4.63’de verilmiştir. Çizelge 4.64 incelendiğinde; Kadmiyum (Cd) elementi Langmuir izotermi ile adsorpsiyon maksimumu ile toprak özelliklerinden sadece mangan oksit içerikleri ile %1 seviyesinde önemli pozitif ilişki bulunmuştur. Diğer toprak özellikleri ile bir korelasyon ilişkisi tespit edilememiştir. Bunun nedeni olarak Langmuir izotermi ile kadmiyum adsorpsiyonu yanı sıra çökeltme reaksiyonlarının belirlenmesi gösterilebilir. Ayrıca istatistik açıdan Langmuir izoterminden elde edilen adsorpsiyon maksimumu değeri ile alüminyum oksit (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ve demir oksit (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) mineralleri ile önemsiz olsa bile

mangan oksit (MnO<sub>2</sub>) minerali ile % 5 seviyesinde önemli pozitif ilişki tespit edilmiştir. Bunun sebebi olarak Fe ve Al iyonları genelde kil minerallerin yapısında yer alması, elektron yüklerin sıfır olduğu pH ile alakalı olması ve korelasyon düşük olduğunda daha geniş ve güçlü bir adsorpsiyon yüzey alanı oluşturuyor olması gösterilebilir (Uygur ve Rimmer, 2000).

Çizelge 4.64 Bazı toprak özellikleri ile adsorpsiyon maksimum değerleri arasındaki korelasyon katsayıları

| Cd                                 | Langmuir     |               | Freundlich    |               | Pb                                 | Langmuir     |              | Freundlich   |               |
|------------------------------------|--------------|---------------|---------------|---------------|------------------------------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
|                                    | b            | KL            | n             | Kf            |                                    | b            | KL           | n            | Kf            |
| <b>Kum</b>                         | 0.143        | <b>-0.414</b> | -0.345        | <b>-0.497</b> | <b>kum</b>                         | -0.289       | 0.266        | -0.133       | -0.360        |
| <b>Silt</b>                        | -0.135       | 0.190         | 0.101         | 0.234         | <b>silt</b>                        | 0.087        | -0.359       | -0.120       | 0.088         |
| <b>Kil</b>                         | -0.106       | <b>0.522</b>  | <b>0.494</b>  | <b>0.619</b>  | <b>kil</b>                         | <b>0.412</b> | -0.086       | 0.358        | <b>0.533</b>  |
| <b>Org.Mad</b>                     | 0.180        | <b>-0.430</b> | <b>-0.502</b> | <b>-0.386</b> | <b>Org.Mad</b>                     | -0.246       | -0.156       | -0.349       | <b>-0.384</b> |
| <b>KDK</b>                         | 0.033        | 0.107         | 0.054         | 0.242         | <b>KDK</b>                         | 0.089        | -0.284       | -0.047       | 0.174         |
| <b>pH</b>                          | -0.177       | <b>0.601</b>  | <b>0.670</b>  | <b>0.650</b>  | <b>pH</b>                          | 0.358        | 0.052        | <b>0.483</b> | <b>0.570</b>  |
| <b>Kireç</b>                       | -0.261       | <b>0.564</b>  | <b>0.577</b>  | <b>0.518</b>  | <b>Kireç</b>                       | <b>0.441</b> | -0.010       | 0.242        | <b>0.504</b>  |
| <b>Tuz</b>                         | 0.041        | <b>0.487</b>  | <b>0.620</b>  | <b>0.716</b>  | <b>Tuz</b>                         | -0.025       | -0.123       | 0.266        | <b>0.789</b>  |
| <b>(P2O5)</b>                      | 0.142        | 0.076         | -0.244        | 0.041         | <b>(P2O5)</b>                      | -0.110       | -0.100       | -0.012       | -0.058        |
| <b>Smektit</b>                     | -0.348       | 0.304         | <b>0.459</b>  | 0.218         | <b>Smektit</b>                     | 0.195        | 0.304        | 0.110        | 0.363         |
| <b>İllit</b>                       | 0.307        | -0.240        | <b>-0.380</b> | -0.203        | <b>İllit</b>                       | -0.148       | -0.153       | 0.067        | -0.216        |
| <b>Kaolonit</b>                    | 0.241        | <b>0.496</b>  | -0.039        | 0.293         | <b>Kaolonit</b>                    | -0.068       | <b>0.496</b> | -0.039       | 0.293         |
| <b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> | -0.129       | -0.317        | -0.284        | <b>-0.397</b> | <b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> | -0.265       | 0.099        | -0.135       | -0.323        |
| <b>MnO<sub>2</sub></b>             | <b>0.417</b> | 0.178         | 0.078         | 0.308         | <b>MnO<sub>2</sub></b>             | 0.196        | 0.050        | 0.337        | 0.111         |
| <b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> | -0.182       | 0.043         | 0.148         | 0.146         | <b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b> | 0.059        | -0.164       | 0.054        | 0.186         |
| <b>P=0,05</b>                      | <b>0.374</b> |               |               |               | <b>P=0,05</b>                      | <b>0.374</b> |              |              |               |
| <b>P=0,01</b>                      | <b>0.478</b> |               |               |               | <b>P=0,01</b>                      | <b>0.478</b> |              |              |               |

Langmuir İzoterm eşitliğinden elde edilen bağlanma enerjisi ile toprakların kum içerikleri ile % 5 seviyesinde önemli negatif bir ilişki; toprakların kil, pH, kireç ve kil tipi olarak kaolonit kil mineraki içerikleri ile % 1 seviyesinde önemli pozitif bir ilişki; toprakların organik madde içerikleri ile % 1 seviyesinde önemli negatif bir ilişki tespit edilmiştir. Organik madde ile bağlanma enerjisi (KL) arasındaki bu negatif ilişki organik maddenin şelat oluşturma özelliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Freundlich izoterm eşitliğinden elde edilen adsorblanma gücü ile (n) toprakların kil miktarı, kireç, EC ve kil tipi olarak smektit kil tipi bakımından % 1 seviyesinde önemli pozitif ilişki bulunmuştur. Toprağın organik madde içeriği ile ise % 1 seviyesinde

istatistiksel olarak önemli ve illit kil tipi içeriği ile % 5 seviyesinde önemli negatif bir korelasyon tespit edilmiştir. Toprak özelliklerinden EC ile topraklarda kadmiyumun bağlanma enerjisi ile adsorblama gücü arasında %1 seviyesinde önemli pozitif bir ilişki tespit edilmiştir. Bunun nedeni çözünebilir durumdaki CO<sub>3</sub> ve HCO<sub>3</sub> kadmiyum ile kompleks bileşikler oluşturuyor olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Papadapoulos ve Reuver, 1988).

Usman (2008) Toprakların Pb, Cu, Zn, Cd, ve Ni rekabetçi adsorpsiyonu ve seçme sırasının belirlenmesi amacı ile yaptıkları bir çalışmada toprakların ağır metalleri adsorblama kabiliyetleri katyon değişim kapasitesi, kil tipi (smektit) ve kil miktarına bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca Shaheen (2009) Mısır ve Yunanistan topraklarında Pb ve Cd'nin adsorpsiyonunu ve hareketliliğinin toprak özellikleriyle ilişkisini incelemiştir. Adsorbe olan ağır metallerin hareketliliği DTPA ekstraksiyonuyla belirlenmiştir. Freundlich yöntemini her iki elementin sorpsiyonunu başarıyla tanımlamıştır. Çalışılmış bütün topraklarda Pb'nin Kd katsayısı Cd'den daha yüksek bulunmuştur. Bu da topraklarda Pb'nin Cd'den daha güçlü adsorbe edildiğini göstermektedir. Sabit yüklü killi topraklarda (düşük demir-alimünyum ve manganoksit içerikli) daha yüksek miktarlarda Cd ve Pb adsorbe etmiştir. pH'ya bağlı yükleri yüksek olan benzer seski-oksit içerikli kırmızı topraklarda Cd ve Pb adsorpsiyonu demir ve alimünyumoksitlerin miktarına bağlı olarak değişim göstermiştir. Benzer pH'lı değişken yüklü topraklarda Pb sorbsiyonu önemli oranda değişmezken Cd sorbsiyonu demir ve manganoksitlerin miktarına bağlı olarak önemli oranda değişmiştir. Cd'nin sorbsiyon parametreleri kil içeriği, KDK, organik madde içeriği, toplam serbest ve amorf (kristal yapıda olmayan) alimünyumoksitler, amorf demiroksitler ve kalsiyum karbonat içeriğiyle değişim gösterirken; Pb sorbsiyon parametreleri kil içeriği toplam serbest ve amorf silisyumoksitler ve amorf alimünyumoksitler ile yüksek kolerasyon vermiştir. Cd'nin topraklardaki hareketliliği Pb ile kıyaslandığında daha yüksek bulunmuştur. Hareketli Cd miktarı kireç içeriği ile, Pb miktarı ise KDK, kil, organik madde, toplam serbest alimünyumoksitler ve amorf demir-alimünyumoksit içeriğiyle negatif kolerasyon verdiğini belirtmiş olup yukarıda bulduğumuz sonuçlarla benzer sonuçlar elde etmişlerdir.

Wang vd. (2011) Pb adsorpsiyon ve değişen pH, toprak çözeltili oranı ve sıcaklıklarda incelemişlerdir. Pb adsorpsiyonu freundlich ve Langmuir izotermilerinin her ikisinde tanımlandığını bildirmişlerdir. Adsorbe edilen Pb 'nun ancak % 5 ten daha az kısmının desorbe olabilmesini Pb 'nun kimyasal reaksiyonla adsorpsiyonu ile kaolin yüzeylerine bağlanmaları ile ilişkilendirmişlerdir.

Kurşun elementi (Pb) Langmuir İzoterm eşitliğinden elde edilen adsorpsiyon maksimum (b) ile toprakların kil ve kireç içerikleri arasında % 1 seviyesinde önemli pozitif bir korelasyon; Freundlich İzoterm eşitliğinden elde edilen adsorpsiyon gücü ile toprakların pH değerleri arasında %1 seviyesinde önemli pozitif bir korelasyon tespit edilmiştir. Topraklarda kurşunun bağlanma enerjisi ile toprakların pH, kireç, EC ve kil miktarları arasında %1 seviyesinde pozitif; toprakların organik madde içerikleri ile %1 seviyesinde negatif bir ilişkisi tespit edilmiştir. Buradanda anlaşılmaktadır ki topraklarda kurşun adsorpsiyonu genelde fosfatlarla, karbonatlarla oluşturduğu çökeltme reaksiyonları şeklinde olmaktadır. Kadmiyum adsorpsiyon reaksiyonları ise kil minerallerinin, oksitlerin adsorpsiyonu yanısıra karbonatlar ile çökeltme reaksiyonları şeklinde meydana gelmiştir. Kurşun toprak profilinde düzenli dağılıma sahip olmadığını ve büyük oranda hidroksitler özellikle Fe ve Mn bileşenleri şeklinde bulunduğunu, Fe ve Mn nodüllerinde Pb konsantrasyonunun 20000 mg kg<sup>-1</sup> kadar çıkabileceğini belirtmişlerdir (Kabata-Pendias ve Sadurski 2004). Bazen Pb karbonat ve fosfat tanelerinde de yoğunlaşabileceğini bu nedenle Pb' un mobilitesinin diğer metallere göre düşük olduğunu belirtmişlerdir.

Çizelge 4.65 Kadmiyum adsorpsiyonu temel bileşim analizleri tablosu

|          | Bileşen     |            |              |             |             |
|----------|-------------|------------|--------------|-------------|-------------|
|          | 1           | 2          | 3            | 4           | 5           |
| kum      | -,648       | -,574      | -,383        | ,223        | ,086        |
| silt     | ,298        | <b>0,8</b> | ,214         | -,165       | -,066       |
| kil      | <b>0,81</b> | ,161       | ,442         | -,214       | -,081       |
| org.mad  | -,664       | ,604       | ,231         | ,073        | ,161        |
| kdk      | ,294        | ,627       | ,568         | -,163       | -,053       |
| ph       | <b>0,88</b> | -,336      | -,025        | ,072        | -,110       |
| kirec    | <b>0,85</b> | -,116      | ,098         | -,287       | -,120       |
| tuz      | ,725        | ,138       | -,042        | ,403        | -,139       |
| fosfor   | -,059       | -,552      | ,459         | -,167       | ,215        |
| b        | -,279       | -,137      | ,524         | ,541        | -,464       |
| kl       | ,771        | -,024      | -,003        | ,148        | <b>,520</b> |
| n        | ,809        | ,019       | -,274        | ,158        | ,393        |
| kf       | ,792        | ,045       | ,196         | ,391        | ,269        |
| simektit | ,565        | -,037      | <b>-0,66</b> | -2,474E-5   | -,332       |
| illit    | -,343       | -,538      | ,626         | -,210       | ,163        |
| kaolin   | -,458       | ,606       | ,017         | ,420        | ,051        |
| aliminyu | -,582       | ,544       | -,172        | ,074        | ,342        |
| mangan   | ,149        | -,282      | ,370         | <b>,651</b> | -,006       |
| demir    | ,190        | ,724       | -,176        | ,039        | -,104       |

Extraction Method: Temel Bileşen Analizi

Bu çalışmada kadmiyum (Cd) ve Kurşun (Pb) desorpsiyon parametreleri üzerine hangi toprak özelliklerinin daha etkili olduğunu belirleme çalışmaları yapılmıştır. Bunun için proje çalışmasında toprak özellikleri ile adsorpsiyon parametreleri arasında Temel Bileşim Analizleri yapılmıştır (Çizelge 4.65 ve Çizelge 4.66). Temel Bileşim Analizleri sonucunda kadmiyumun (Cd) adsorpsiyonu üzerine birinci derecede toprakların kil içerikleri, kireç içerikleri ve pH etkili olduğu tespit edilmiştir. Kurşun adsorpsiyonu üzerine toprakların pH, kil içerikleri, ve kireç içeriklerinin yanısıra toprakların tuz içeriklerinin de birinci derecede etkili olduğu tespit edilmiştir.

Toprak minerallerinin kalsit ve oksitlerinin yüzey kompleksleri (Al, Fe ve Mn oksitler) Cd' un düşük konsantrasyonlarında ( $<10^{-5}M$ ) Cd' u yüksek enerji ile adsorbe ederler, yüksek konsantrasyonlarda ise ( $>10^{-5}M$ ) non-spesifik reaksiyonuyla (iyon değişim) adsorbe edilir (Brummer vd. 1988). Ayrıca metal adsorpsiyonunu pH<7 de iyon değişimi ve pH > 7 de iner -sphere (kovalent bağlanma ile) olduğunu ispat etmişlerdir (Prashant vd. 2004).

Çizelge 4.66 Kurşun adsorpsiyonu temel bileşim analizleri tablosu

|          | Bileşen     |             |              |             |              |
|----------|-------------|-------------|--------------|-------------|--------------|
|          | 1           | 2           | 3            | 4           | 5            |
| kum      | -,638       | -,640       | -,324        | ,075        | ,125         |
| silt     | ,252        | <b>,842</b> | ,167         | -,171       | -,074        |
| kil      | <b>,846</b> | ,231        | ,390         | ,050        | -,141        |
| org.mad  | -,695       | ,575        | ,177         | ,173        | ,008         |
| kdk      | ,312        | ,679        | ,467         | ,133        | -,100        |
| ph       | <b>,893</b> | -,290       | -,037        | ,043        | ,078         |
| kirec    | <b>,866</b> | -,053       | ,123         | -,171       | -,235        |
| tuz      | <b>,702</b> | ,186        | -,181        | -,050       | ,588         |
| fosfor   | -,038       | -,506       | ,544         | -,155       | ,108         |
| b        | ,446        | ,006        | ,003         | ,455        | <b>-,576</b> |
| kl       | ,036        | -,321       | -,480        | ,378        | -,389        |
| n        | ,441        | -,175       | ,069         | ,591        | ,153         |
| kf       | ,711        | ,043        | -,123        | ,101        | ,319         |
| simektit | ,570        | -,059       | <b>-,710</b> | -,172       | -,060        |
| illit    | -,278       | -,499       | <b>,735</b>  | ,029        | ,000         |
| kaolin   | -,516       | ,589        | -,074        | ,211        | ,126         |
| aliminyu | -,638       | ,461        | -,186        | ,302        | ,048         |
| mangan   | ,182        | -,261       | ,217         | <b>,624</b> | ,366         |
| demir    | ,171        | <b>,715</b> | -,248        | ,065        | ,113         |

Extraction Method: Temel Bileşen Analizi.

Kurşun adsorpsiyonu genelde topraklarda çökeltme reaksiyonu verdiği için topraktaki tuz içeriklerinin yüksek olması ve kurşun ile çökeltme reaksiyonları vermiş olması

bulgularımızı desteklemektedir. Langmuir izotermi çökeltme reaksiyonlarını tanımladığından adsorpsiyon üzerine toplam % tuz miktarının birinci derecede etkili olduğu tespit edilmiştir.

Serrano vd. (2009) Pb ve Cd tekli ve ikili adsorpsiyonunu yüzey kompleksleşmesi ve iyon değişme reaksiyonlarıyla açıklayabilen elektrostatik olmayan denge modeli geliştirmiştir. Bir optimizasyon projesiyle Cd'in ve Pb'nin yüzey değişim ve iyon değişim reaksiyonlarındaki bağlanma sabitleri deneysel olarak belirlenmiştir. Yapılan modelleme Cd ve Pb'nin düşük pH'larda iyon değişim reaksiyonlarıyla yüksek pH'larda spesifik reaksiyonlarla adsorbe edildiğini göstermiştir. Cd iyon değişim reaksiyonlarına Pb'ye oranla daha fazla girmiş, Pb ise demirhidroksit yüzeyleri ile spesifik reaksiyonlar vermiştir.

Vega vd. (2010), 20 toprak horizonunda Cd, Cu ve Pb'nin adsorpsiyonuna toprak özelliklerinin etkisini incelemiştir. Cd adsorpsiyonu, ortamda Cu ve Pb bulunduğu durumlarda azalmıştır. Cd, Pb ve Cu adsorpsiyonunda değişikliğine neden olan temel toprak parametrelerinin katyon değişim kapasitesi, pH ve manganoksit içeriği olduğu bildirilmiştir.

Durta vd. (2011) yaptıkları bir çalışmada topraktaki Pb adsorpsiyon ve desorpsiyonuna toprağın fiziksel (kum, silt, kil içeriği) ve kimyasal (pH, EC, organik karbon, katyon değişim kapasitesi) özellikleri ile karşılaştırmışlardır. Adsorpsiyonun pH ve organik karbon ile pozitif ilişki, desorpsiyonu ise pH ve organik karbon ile negatif bir ilişki tespit etmişlerdir.

Carqueira vd. (2011) Cu ve Cd birlikte ve tek tek adsorpsiyonu ve desorpsiyonu üzerine toprak özelliklerinin etkisini belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada Cu' ın Cd nazaran daha fazla adsorblandığını Cd adsorblanması ve desorblanmasına pH, mangan oksit ve kil içeriklerinin etkili olduğunu belirtmişlerdir.

Sprynskyy vd. (2011) Tarım ve orman toprakları tarafından tekli ve çoklometal çözeltileri içindeki Cu, Cd, Ni, ve Zn nin adsorpsiyonunu araştırdığı bu çalışmada toprakların pH, kiliçeriği ve organik madde içeriklerinin adsorpsiyon kapasiteleri

üzerine etki ettiklerini belirlemişlerdir ve belirtilen bu çalışmalar elde ettiğimiz bulguları doğrulamaktadır.

#### **4.2.3 Desorblanma oranlarının toprak özellikleri ile olan ilişkileri**

Topraklarda yükleme konsantrasyonu arttıkça pH düşüş göstermiştir. Genelde topraklardaki hem kurşun hemde kadmiyum adsorpsiyonlarından elde edilen parametreler arasındaki ilişkiyi baktığımızda pH ile adsorblanma oranı arasında doğrusal bir ilişki, yine pH ile desorblanma oranı arasında ters bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Ancak kadmiyum adsorpsiyonunda 21, 22, 24, 27 nolu topraklarda pH ile desorblanma oranları arasında doğrusal bir ilişki olduğu, artan konsantrasyonlara göre pH değişimi diğer topraklara oranla çok daha az olarak meydana gelmiştir. Söz konusu 21, 22, 24, 27 nolu toprakların kumlu tınlı (SL) bünyeli, kireç ,çerikleri çok az seviyelerde olduğu tespit edilmiştir. Bu topraklardaki seski oksit içerikleri de diğer topraklara oranla daha az olduğu ve çökelme reaksiyonlarında ziyade gerçek anlamda adsorpsiyon tespit edilmiştir. Kurşun adsorbssiyon çalışmalarında 18, 13, 3, 2 nolu topraklarda çökelme reaksiyonları çok az olarak meydana gelmiş ve adsorpsiyon ön planda gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Toprak minerallerinin kalsit ve oksitlerinin yüzey kompleksleri (Al, Fe ve Mn oksitler) Cd'un düşük konsantrasyonlarında ( $<10^{-5}M$ ) Cd'u yüksek enerji ile adsorbe ederler, yüksek konsantrasyonlarda ise ( $>10^{-5}M$ ) non-spesifik reaksiyonuyla (iyon değişim) adsorbe edilir (Brummer vd. 1988). Ayrıca metal adsorpsiyonunu pH<7 de iyon değişimi ve pH > 7 de iner -sphere (kovalent bağlanma ile) olduğunu ispat etmişlerdir (Prashant vd. 2004).

Minlin (1985), iyonların kil minerallerine aslında kimyasal olarak bağlandıklarını; bu bağın yüzeyin yapısına ve bunun iyonla olan etkileşimine bağlı olduğunu ayrıca elektrostatik bağlanmada çok değişik davranışlar gösterebildiğini belirtmiştir. Araştırmacı solüsyonun pH'sının adsorpsiyon kapasitesi üzerinde önemli etkileri olduğunu saptamıştır.



Toprakların kurşun (Pb) ve kadmiyumun (Cd) düşük konsantrasyonlarındaki adsorpsiyon oranları ile desorpsiyon oranları Çizelge 4.67’de verilmiştir. Çizelge 4.67 incelendiğinde topraklardaki kadmiyum adsorpsiyon çalışmalarında, en düşük adsorblanma oranı 1 nolu toprakta en yüksek adsorblanma oranı 10 nolu toprakta elde edilmiştir. 6, 9, 11, 20, 21, 22, 24, 27 nolu topraklarda desorblanma oranları yüksek olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.67 Toprakların, kadmiyum (Cd) ve kurşun’unun (Pb) düşük konsantrasyonlarındaki adsorplanma ve desorplanma oranları

| No | Adsorblanma oranı (Cd) | Desorblanma Oranı (Cd) | Adsorblanma oranı (Pb) | Desorblanma Oranı (Pb) |
|----|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 1  | 53,67                  | 19,30                  | 100                    | 0                      |
| 2  | 99,64                  | 0,33                   | 100                    | 0                      |
| 3  | 97,56                  | 5,14                   | 100                    | 0                      |
| 4  | 99,56                  | 5,14                   | 100                    | 0                      |
| 5  | 99,39                  | 1,33                   | 100                    | 0                      |
| 6  | 57,31                  | 51,03                  | 94,74                  | 13,83                  |
| 7  | 86,74                  | 15,06                  | 98,75                  | 20,46                  |
| 8  | 96,53                  | 6,05                   | 99,37                  | 20,59                  |
| 9  | 79,00                  | 32,58                  | 98,41                  | 20,39                  |
| 10 | 99,72                  | 2,46                   | 99,61                  | 0                      |
| 11 | 98,32                  | 41,00                  | 95,13                  | 4,29                   |
| 12 | 63,58                  | 0,57                   | 99,52                  | 0                      |
| 13 | 95,52                  | 6,32                   | 100                    | 0,12                   |
| 14 | 94,54                  | 2,87                   | 100                    | 0,01                   |
| 15 | 98,13                  | 6,00                   | 99,52                  | 0                      |
| 16 | 95,82                  | 3,54                   | 99,52                  | 0                      |
| 17 | 95,64                  | 5,86                   | 100                    | 0                      |
| 18 | 96,17                  | 6,24                   | 100                    | 0                      |
| 19 | 97,78                  | 5,39                   | 100                    | 0                      |
| 20 | 78,42                  | 63,61                  | 95,11                  | 10,82                  |
| 21 | 64,41                  | 62,83                  | 97,06                  | 4,88                   |
| 22 | 57,12                  | 92,37                  | 99,08                  | 4,34                   |
| 23 | 95,55                  | 15,37                  | 100                    | 0,93                   |
| 24 | 90,48                  | 45,37                  | 99,81                  | 0,55                   |
| 25 | 86,65                  | 6,74                   | 99,47                  | 0,67                   |
| 26 | 98,26                  | 5,07                   | 100                    | 0                      |
| 27 | 88,99                  | 45,37                  | 99,52                  | 2,22                   |
| 28 | 95,55                  | 5,37                   | 100                    | 0                      |

Kadmiyum (Cd) elemntinin düşük konsantrasyonlarda yüks ek olarak tespit edilmesi, bu toprakların sahip olduğu toprak özelliklerine sahip diğer topraklarda kirlilik açısından

son derece riskli olacağını göstermektedir. Yukarıda belirtilen söz konusu topraklar Çizelge 4.1'e bakıldığında kil içerikleri düşük, hafif (kaba) bünyeli, kireç içerikleri ve pH değerleri düşük olduğu görülmektedir. Bu tür topraklarda kadmiyum yıkanma ile yer altı sularına taşınması ve gıda zincirine dahil olma riski oldukça yüksektir.

Topraklardaki kurşun adsorpsiyon çalışmalarında adsorblama oranları kadmiyumun adsorpsiyon oranlarından yüksek olarak tespit edilmiştir. Desorblanma oranları kadmiyumun desorblanma oranlarına göre çok düşük seviyelerde meydana gelmiştir. Bu çalışmada ayrıca topraklardaki kurşun elementinin hareketliliği kadmiyum elementine göre çok daha az olduğu, kurşunun topraklar tarafından çok daha sıkı olarak adsorblandığı tespit edilmiştir. Bu nedenle desorblanma oranlarının kadmiyuma göre düşük olması bile kurşun elementinin bu topraklarda risk teşkil ettiği tesit edilmiştir. Çizelge 4.67 incelendiğinde kurşun, adsorpsiyon çalışmalarında 6, 7, 8, 9, 11, 20, 21, 22, 27 nolu topraklarda kurşun, düşük konsantrasyonlarda desorblanma oranları yüksek bulunmuştur. Bu toprakların toprak özelliklerine bakıldığında (Çizelge 4.1) kireç içerikleri çok çok düşük , pH değerleri düşük seviyede (asidik), hafif (kaba) bünyeli, organik madde içeriklerinde yüksek olduğu görülmektedir. Kurşun adsorpsiyon çalışmasında çökeltme reaksiyonlarının daha ön planda olması nedeni ile çökeltme reaksiyonlarında etkili rol oynayan toprak özelliklerinden kireç, seski oksitlerin ve tuz içeriklerinin bu topraklarda düşük seviyelerde olması desorblanma oranlarının yüksek olmasına sebebiyet verdiği düşünülmektedir. Ayrıca bu toprakların organik madde içeriklerinde yüksek olması kurşun ve kadmiyum elementleri üzerine şelatlayıcı etki göstermesi, bununla tekrar toprak çözeltisine geçişinin kolay etki göstermesi desorblanma oranı üzerine önemli etki ettiği düşünülmektedir. Bu durum önemli bir risk unsurudur.

Durta vd. (2011) yaptıkları bir çalışmada topraktaki Pb adsorpsiyon ve desorpsiyonuna toprağın fiziksel (kum, silt, kil içeriği) ve kimyasal (pH, EC, organik karbon, katyon değişim kapasitesi) özellikleri ile karşılaştırmışlardır. Adsorpsiyonun pH ve organik karbon ile pozitif ilişki, desorpsiyonu ise pH ve organik karbon ile negatif bir ilişki tespit etmişlerdir.

## 5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Ağır metallerin karışımlarının toprak tarafından adsorbe edilmesi ve tutulması, hem toprak özellikleri hem de metaller arasında tutulum sahalarına yönelik rekabete bağlı olan karmaşık süreçlerdir. Pb(2+) ve Cd(2+), potansiyel olarak en zehirli ağır metaller arasında yer alırlar; bunlar, ekseriya birlikte, sayısız kirletici unsurlar ve tarımsal kimyasal maddeler içinde mevcut olurlar.

Ağır metallerin topraklar ile olan reaksiyonları, bunların çevredeki mevcudiyetlerinin ve geleceklerinin tespit edilmesinde önemli olmaktadır. Bu çalışmada, farklı toprak özellikleri etkisine sahip altında bulunan topraklarda, adsorbe edilen kadmiyum (Cd) ve kurşunun (Pb) tekli metal adsorpsiyonu ve desorpsiyonu araştırılmıştır. Sonuçlar şunu göstermiştir: Langmuir ve Freundlich izoterm modeli, her iki metalin tutulumunu tatmin edici bir şekilde tanımlamıştır. İncelenmiş olan topraklarda, Pb'nin adsorpsiyon maksimum değerleri, Cd'nin değerlerinden daha yüksek çıkmıştır. Ayrıca Pb'nin desorpsiyon miktarı Cd'nin desorpsiyon değerinden daha düşük çıkmıştır. Bu da topraklar tarafından Pb'nin Cd'den daha kuvvetli tutulduğunu göstermektedir. Bu durum yer altı suyu ile bitkilere daha fazla tehdit oluşturabilir.

Bitkinin ihtiyacı olan besin maddesi miktarı, metaller, pestisitler ve ayrıca kimyasal organik bileşiklerin tane yüzeyinde tutulmasını kontrol eden adsorpsiyon olayıdır. Bu yüzden adsorpsiyon, besin maddesi ve toprak kirleticilerin (ağır metaller) toprak ortamındaki hareketliliğinde çok önemli bir olaydır.

Toprak özellikleri ile freundlich ve langmuir izotermeleri ile elde edilen adsorpsiyon maksimum arasında korelasyonlarına bakıldığında Kadmiyum (Cd) elementi kil miktarı, kireç, pH bakımından %1 seviyesinde önemli pozitif ilişki bulunmuştur. Toprağın organik madde içeriği ile istatistiksel olarak önemli bir korelasyon elde edilmemesine rağmen adsorpsiyon üzerine önemli etki etmektedir.

Kurşun (Pb), özellikle kurşuna dayalı endüstriyel sahalar, tarım arazileri ve yol kenarı topraklarında olmak üzere, çevrede mevcut, biyolojik açıdan çözünmeyen bir kirletici madde olmaktadır. Toprak içinde Pb'nin biyolojik mevcudiyeti, Pb'nin adsorpsiyon ve

desorpsiyon davranışı ile kontrol edilir; bu davranışlar ayrıca, toprağın kimyasal ve fiziksel özellikleri tarafından da kontrol edilir.

Yapılan adsorpsiyon ve desorpsiyon çalışmalarında toprakların organik madde içeriklerine göre adsorpsiyon miktarında bir artışın olduğu fakat bunların tutulma yüzeylerinde tutulma enerjilerinin düşük olduğu görülmüştür. Bunun yanısıra pH, KDK ve alüminyum hidroksitlerin miktarına bağlı olarak istatistiksel olarak % 1 seviyesinde negatif bir ilişki bulunmuştur. Bunun yanısıra yapılan çalışmalarda kil miktarı yüksek olan topraklarda adsorpsiyon yüksek olmuş fakat tutulma enerjileri çok yüksek olmadığı görülmüştür. Düşük konsantrasyonlarda kadmiyum sıkı bir şekilde adsorplanırken yüksek konsantrasyonlarda adsorblanma zayıf olmuştur. Kadmiyum elementi için düşük konsantrasyonlarda desorblama miktarı düşük seviyelerde olurken, yüksek konsantrasyonlarda desorblanma miktarları yüksek seviyede gerçekleşmiştir. Toprakların organik madde miktarlarına bağlı olarak desorblama miktarlarında artış gerçekleşmiştir. Toprakların kadmiyum miktarları topraktaki kireç ve demir alüminyum içerikleri bağlı olarak çökelmeler meydana getirdiği ve kadmiyum elementinin alımını azalttığı tespit edilmiştir. Yine aynı durum kurşun elementi için geçerli olduğu görülmüştür. Kurşun elementi için kil miktarı, kireç miktarı, tuz miktarı, pH, organik madde toprak parametreleri ön plana çıkmış aralarında %1 seviyesinde önemli pozitif bir ilişki bulunmuştur. Kadmiyum elementinden farklı olarak adsorpsiyon çok yüksek miktarlarda gerçekleşmiştir. Desorblanma miktarları çok düşük seviyelerde gerçekleşmiştir. Organik maddenin yüksek olduğu topraklarda desorlanma üzerine biraz daha etkili olmuş fakat yine yüksek miktarlarda gerçekleşmiştir.

Sonuç olarak toprakların her iki metal desorpsiyonunun değerlendirilmesinde Langmuir ve Freundlich izotermi başarıyla kullanılabildiği gibi genelde Freundlich izotermindeki n katsayısı bu değerlendirme için uygun bir parametre olarak elde edilmiştir.

Rekabet koşullarında, yani birden fazla element ekivalan miktarlarda toprağa uygulandığında hem Freundlich hemde Langmuir izotermi kullanılabilir. Ancak herhangi bir element için adsorpsiyon kapasitesi ve bağlama enerjisi çok yüksek olan topraklarda genelde Langmuir izotermi yeterince tanımlama yapamamaktadır.

Topraklarda daha önce yapılan çalışmalarda ağır metallerde Pb ve Cd, şeklinde bir sıralama ile adsorbe edilmektedir. Ancak bu sıralama her toprak için geçerli olmayıp toprak özellikleri değiştiğinde adsorpsiyon tercih sırasında da değişmeler meydana gelmektedir.

Adsorpsiyon izoterm parametreleri ile toprak özelliklerinden pH, karbonat ve kil miktarı önemli karakterlerdir. Cd diğer elementlerin aksine toprak tuzluluğu ile de önemli bir korelasyon vererekten farklı bir davranış göstermiştir.

Temel bileşim analizleri göre Cd'nin adsorpsiyonunda toprak özelliklerinden birinci derecede toprakların kil içerikleri, kireç içerikleri ve pH etkili olduğu tespit edilmiştir. Kurşun adsorpsiyonu üzerine toprakların pH, kil içerikleri, ve kireç içeriklerinin yanısıra toprakların tuz içeriklerinin de birinci derecede etkili olduğu tespit edilmiştir.

## KAYNAKLAR

- Aksoy, A., Dunen, F. and Demirezen, D. 2000. Atmosferdeki ağır metallerin tutulmasında bitki türlerinin rolü ve ağır metal dağılımında rüzgarın etkisi, Erciyes Üniv. Fen Bil. Derg. 16, 31-37.
- Al-duri, B., Mckay, G. 1988. Basic dye adsorption on carbon using a solid phase diffusion model. The Chemical Engineering Journal, 38 23-31.
- Angelone, M. and Bini, C. 1992. Trace elements concentration in soil and plants of Western Europe. In: Adriano DC, (Ed). Biogeochemistry of trace metals. CRC Pres.
- Alumaa, P., Steinnes, E., Kırso, U., Peterse, V. 2001. Heavy Metal Sorbsiyon By Different Estonia Soil Types at Low Equilibrium Solution Concentrations. Proc. Estonian Acad. Sci. Chem., 2001, 50, 2, 104-115
- Aydın, M.E., Özcan, S., Sari, S. 2004. Ağır Metallerin Doğal Killerle Uzaklaştırılması. 1. Ulusal Çevre Kongresi 13-15 Ekim.
- Baldock, I.A and Nelson. P.N. 2000. Soil Organic Matter. In: Somner Me (Ed) Handbook of Soil Chemistry. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. B25–B84.
- Basta, N.T., And M.A. Tabatabai. 1992. Effect Of Cropping Systems On Adsorption Of Metals By Soils.3. Competitive Adsorption. Soil Science 153:331-340.
- Başkaya, H.S., Teksoy, A. 1997. Topraklarda ağır Metaller ve Ağır Metal Kirliliği. I. Uludağ Çevre Mühendisliği Sempozyumu. 763-771.6.BURSA.
- Battaglia, A., N. Calace, E. Nardi, B.M. Petronio, And M. Pietroletti. 2007. Reduction Of Pb And Zn Bioavailable Forms İn Metal Polluted Soils Due To Paper Mill Sludge Addition - Effects On Pb And Zn Transferability To Barley. Bioresource Technology 98:2993-2999.
- Bayat, B. 2002. Comparative study of adsorption properties of Turkish fly ashes: I. The case of Ni (II), Cu (II) and Zi (II). Journal of Hazardous Materials, 95, 251-273.
- Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil. Agronomy Journal. 54, 464-465
- Bremner, J. M. 1965. Total Nitrogen. Methods of Soil Analysis. Part II. Amer. Soc. Of Agr. Inc. Madison, Wisconsin, USA. 1149-1176.
- Bruemmer, G.W., Gerth, J. And Tiller, K.G. 1988. Reaction Kinetics Of Adsorption And Desorption Of Nickel, Zinc, Cadmium By 7/21/2011 Goethite. I. Adsorption And Diffusion Of Metals. Journal Soil Science, 39, 37–52.

- Cerqueira, B., Cavelo, E.F., Adnradre, L., Vega, F.A. 2011. The Influence of Soil Properties on the Individual and Competitive Sorption and Desorption of Cu and Cd. *Geoderma* vol.162 sayı:1-2 2011.
- Chiou, M.S. and Li, H.Y. 2002. Equilibrium and kinetic modeling of adsorption of reactive dye on cross linked chitosan beads. *Chemosphere*, 50, 1095-1105.
- Covelo, E.F., M.L.A. Couce, And F.A. Vega. 2004. Competitive Adsorption And Desorption Of Cadmium, Chromium, Copper, Nickel, Lead, And Zinc By Humic Umbrisols. *Communications In Soil Science And Plant Analysis* 35:2709-2729.
- Covelo, E.F., F.A. Vega, And M.L. Andrade. 2008. Sorption And Desorption Of Pb, Cr, Cu, Ni, Pb And Zn By A Fibric Histosol And Its Organo-Mineral Fraction. *Journal Of Hazardous Materials* 159:342-347.
- Çağlar, K. Ö. 1949. Toprak bilgisi. A. Ü. Ziraat Fak. Yayınları No:10. Ankara.
- Çamur, M. Z., Yazıcıgil, H. 2005. Laboratory Determination Of Multicomponent Effective Diffusion Coefficients For Heavy Metals In Compacted Clay. *Turkish Journal Of Earth Science*. 14(1):91-103.
- Derrick, J. 2000. Managing Cadmium In Vegetables. State Of New South Wales, Department Of Primary Industries. [www.Cadmium-Management.Org.Au](http://www.Cadmium-Management.Org.Au).
- Dudka, S., Miller, W.P. 1998. Permissible Concentrations Of Arsenic And Lead In Soils Based On Risk Assessment. *Water, Air And Soil Pollution* . 113: 127–132.
- Durta, S.K., Singh, D., Sood, A. 2011. The Effect of Soil Chemical and Physical Properties on Sorption and Desorption Behavior of Lead in Different. *Soil And Sediment Contamination* vol. 20 sayı:3. 2011.
- Düzgünes, O.. *Bilimsel Arastırmalarda İstatistik Prensipleri ve Metodları*. S. 375. Ege Üniv. Matb., İzmir.( 1963).
- Elzinga, E. J., Sparks, D.L. 2001. Reaction Condition Effects On Nickel Sorption Mechanisms In Illite-Water Suspensions. *Soil Science Society Of American Journal*, 65(1): 1–278.
- Freibach, H. S., Hadar, Y. 2004. Interaction Of Iron Chelating Agents With Clay Minerals. *Soil Science Society American Journal*, 68(2): 470-481.
- Gao, S.A., W.J. Walker, R.A. Dahlgren, And J. Bold. 1997. Simultaneous Sorption Of Pb, Cu, Ni, Zn, Pb, And Cr On Soils Treated With Sewage Sludge Supernatant. *Water Air And Soil Pollution* 93:331-345.

- Welp, G. And G. W. Bruemmer. Adsorption And Solubility Of Ten Metals In Soil Samples Of Different Composition. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* (1999) 162, 155±161 (1999).
- G. Renella, P. Adamo, M. R. Bianco L. Landi, P. Violante & P. Nannipieri .2004. Availability And Speciation Of Cadmium Added To A Calcareous Soil Under Various Managements. *European Journal Of Soil Science*, 55, 123–133.
- Groenenberg, J.E., G.F. Koopmans, And R.N.J. Comans. 2010. Uncertainty Analysis Of The Nonideal Competitive Adsorption-Donnan Model: Effects Of Dissolved Organic Matter Variability On Predicted Metal Speciation In Soil Solution. *Environmental Science & Technology* 44:1340-1346.
- Hamurcu, M., Özyaytekin, H. H., Mikailsoy, F. D., Gezgin, S. 2003. Bazı Kil Tiplerinin Bor Adsorpsiyon Kapasitelerinin Belirlenmesi. *Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*. 17(31):41–47.
- Hutton, M. 1982. Cadmium In The European Community: A Prospective Assessment Of Sources, Human Exposure And Environmental Impact, London, Monitoring And Assessment Research Centre, Chelsea College, Uni. Of London, 26, Pp. 99.
- Hutton, M. And Symon, C. 1986. The Quantities Of Cadmium, Lead, Mercury And Arsenic Entering The U.K. Environment From Human Activities. *Sci. Total Environ*, 57,129-150.
- Hongping, H., Jiugau, G., Xiande, X., Jinlian, P. 2000. Experimental Study Of The Selective Adsorption Of Heavy Metals Onto Clay Minerals. *Chinese Journal Of Geochemistry*. 19(2):105-109.
- Hossner, L.R. 1996. Dissolution for Total Elemental Analysis. In *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods* (Soil Science Society of America Book Series, No:5
- Jalali, M., And S. Moharrami. 2007. Competitive Adsorption Of Trace Elements In Calcareous Soils Of Western Iran. *Geoderma* 140:156-163.
- Janssen, R. P. T., Bruggenwert, M. G. M., Van-Riemsdijk, W. H. 2003. Zinc Adsorption On Montmorillonite-Al Hydroxide Polymer Systems. *European Journal Of Soil Science*, 54: 347-355.
- Jalali, M., and S. Moharrami. 2007. Competitive adsorption of trace elements in calcareous soils of western Iran. *Geoderma* 140:156-163.
- Jeong, C.Y., S.D. Young, And S.J. Marshall. 2007. Competitive Adsorption Humic Substances By A Of Heavy Metals In Simple Ligand Model. *Soil Science Society Of America Journal* 71:515-528.



- Kacar, B.. Bitki ve Topragın Kimyasal Analizleri II. A. Ü. Ziraat Fakültesi Eğitim Arastırma ve Gelistirme Vakfı Yayınları No: 3. s: 705 Ankara, (1972).
- Kabata-Pendias, A. And H. Pendias , 1992. Trace Elements In Soils And Plants. 2nd Edition CRC Press, Boca Raton, Ann Arbor London.
- Kabata-Pendias A, Terelak H. 2004. Regional Variation Of Trace Elements (Pb, Cu, Ni, Pb, Zn) Contents Of Native Grassland Grasses İn Poland. 3rd Intern Conf Heavy Metals Radionuclides And Elements-Biofills İn The Environment, Semipalatinsk, Kazakhstan, 1, Pp 28–33.
- Kabata-Pendias, A.A. And Mukherjee, B. 2007. Trace Elements From Soil To Human. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Pp, 283 And 369.
- Karathanasis, A.D. 1999. Subsurface Migration Of Copper And Zinc Mediated By Soil Colloids. Soil Science Society Of America Journal 63:830-838.
- Kaya, Z., Ortaç, İ. 2000. Toprağa Uygulanan Piritin Fosfor Ve Çinkonun Dinamiği Ve Bitkilerce Alımı Üzerine Etkileri. Tübitak Togat. Proje No.1724:1–59.
- Kocaer, F.O., Alkan,U., Başkaya, H.S.2003. Linyit Ucucu Külün Kullanımı Atıksu Alkali Stebilizasyonu ve Pastörizasyon içinde Çamur. Atık Yönetimi Araştırma 21, 448-458
- Kunze, G. W. and Dixon, J. B. 1996. Pretreatment for mineralogical analysis, In A. Klute (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods. 2nd ed., SSSA book series, No. 5, Madison, WI. pp. 331-362.
- Lafuente, A.L., C. Gonzalez, J.R. Quintana, A. Vazquez, And A. Romero. 2008. Mobility Of Heavy Metals İn Poorly Developed Carbonate Soils İn The Mediterranean Region. Geoderma 145:238-244.
- Langmuir, I. 1918. The adsorption of gases on plane surfaces o glass, mica and platinum. J. Am. Chem. Soc. 40,1361-1382.
- Liao, L.X., And H.M. Selim. 2009. Competitive Sorption Of Nickel And Cadmium İn Different Soils. Soil Science 174:549-555.
- Lindsay,W.L. Ve Norvell, W.A., 1978. Development of a DTPA micronutrient soil Test. Agronomy Abstracts p 84.
- Lin, S.H., And R.S. Juang. 2002. Heavy Metal Removal From Water By Sorption Using Surfactant-Modified Montmorillonite. Journal Of Hazardous Materials 92:315-326.
- Linhares, LA., Egreja, FB., Oliveira, CV., Bellis, VM. 2009. Cadmium and Lead Adsorption in Hoils. Pesquisa Agropecuaria Brasileira. vol 44 sayı:3. 2009.

- Leita, L., M. Dee Nobili, G. Pardini, F. Ferrari And P. Segui, 1989. Anomalous Contents Of Heavy Metals In Soils And Vegetation Of A Mine Area In S.W. Sardinia, Italy. *Water, Air, And Soil Pollution* 48: 423-433.
- Lothenbach, B., Krebs, R., Furrer, G., Gupta, S. K., Schulin, R. 1998. Immobilization Of Cadmium And Zinc In Soil By Al-Montmorillonite And Gravel Sludge. *European Journal Of Soil Science*. 49: 141-148.
- Lu, S.G., And Q.F. Xu. 2009. Competitive Adsorption Of Pb, Cu, Pb And Zn By Different Soils Of Eastern China. *Environmental Geology* 57:685-693.
- Luczak, B. 1998. Fixation Of Pb-Cations By Two Different Types Of Clays From The Polish Lowland In Warsaw's Surroundings. 01.09.2006.  
[www.prgue2000.fsu.edu/content/pdf/156.pdf](http://www.prgue2000.fsu.edu/content/pdf/156.pdf)
- Lothenbach, B., Krebs, R., Furrer, G., Gupta, S. K., Schulin, R. 1998. Immobilization of Cadmium and Zinc in Soil by Al-Montmorillonite and Gravel Sludge. *European Journal of Soil Science*. 49: 141–148.
- Ma, L.Q., Choate, L.A., Rao, G.N. 1997. Effects Of Incubation And Phosphate Rock On Lead Extractability And Speciation In Contaminated Soils. *American Society Of Agronomy*. 26(3): 801-808.
- Maccarthy, P., Clapp, C.E. Malcolm, R.L. And Bloom, P.R. 1991. An Introduction To Soil Humic Substances. In: Maccarthy, C.E. Clapp, R.L. Malcolm, And P.R. Bloom (Eds.), *Humic Substances In Soil And Crop Sciences: Selected Readings*. Soil Sci. Society Of America, Madison, Wisconsin. Pp. 1-12.
- Mckay, G., Otterburn, M.S. And Sweeney, A.G. 1980. The Removal Of Clour From Effluent Using Various Adsorbents–Silica Rate Processes. *Water Research*, 14, 15-20
- Moon, H.J., Lee, W.K. 1983. Intraparticle Diffusion In Liquid-Phase Adsorption Of Phenols With Activated Carbon In Finite Batch Adsorber. *Journal Of Colloid And Interface Science*, 96, 162-171.
- Moore, D.M. and R.C.J.R. Reynolds. 1989. X-Ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals. Oxford University Press. New York.
- Marosits, E., K. Polyak, And J. Hlavay. 2000. Investigation On The Chemical Bonding Of Copper Ions On Different Soil Samples. *Microchemical Journal* 67:219-226.
- Marschner, H. 1983. Nutrient Dynamics In The Rhizosphere. *Berichte Der Deutschen Botanischen Gesellschaft* 96:176-179.
- Merdy, P., L.T. Gharbi, And Y. Lucas. 2009. Pb, Cu And Cr Interactions With Soil: Sorption Experiments And Modelling. *Colloids And Surfaces A- Physicochemical And Engineering Aspects* 347:192-199.

- Merkel, D., W. Koster, 1980. Schwermetallgehalte Von Grinlandboden In Der Oker- Und Alleraue. Landwirtsch Forsch. 37, Sonderheft, 556-563.
- Minlin, N. 1985. Specific Sorption Of Changeable Charge Surface Of Minerals In Soil To Heavy Metals. Bulletin Of Soils, 16: 138–141.
- M. Jalali & G. Khanboluki. Redistribution Of Zinc, Cadmium, And Lead Among Soil Fractions In A Sandy Calcareous Soil Due To Application Of Poultry Litter. Environ Monit Assess (2008) 136:327–335
- Moral, R., Gilkes, R.J., Moreno-Caselles, J. 2002. A Comparison Of Extractants For Heavy Metals In Contaminated Soils From Spain. Communications In Soil Science And Plant Analysis. 33: 2781–2791.
- Moral, I., And J.M. Rodriguez-Poo. 2004. An Efficient Marginal Integration Estimator Of A Semiparametric Additive Modelling. Statistics & Probability Letters 69:451-463
- Morera, M.T., J.C. Echeverria, C. Mazkaran, And J.J. Garrido. 2001. Isotherms And Sequential Extraction Procedures For Evaluating Sorption And Distribution Of Heavy Metals In Soils. Environmental Pollution 113:135-144.
- Morera, M.T., J.C. Echeverria, C. Mazkaran, And J.J. Garrido. 2001. Isotherms And Sequential Extraction Procedures For Evaluating Sorption And Distribution Of Heavy Metals In Soils. Environmental Pollution 113:135-144.
- Mouni, L., D. Merabet, D. Robert, And A. Bouzaza. 2009. Batch Studies For The Investigation Of The Sorption Of The Heavy Metals Pb<sup>2+</sup> And Zn<sup>2+</sup> Onto Amizour Soil (Algeria). Geoderma 154:30-35.
- Nascimento, C.W.A., And R.L.F. Fontes. 2004. Correlation Between Characteristics Of Latosols From Minas Gerais State, Brazil, And Parameters Of Adsorption Equations Of Copper And Zinc. Revista Brasileira De Ciencia Do Solo 28:965-971.
- Norvell, W.A. 1991, Reactions Of Metal Chelates In Soils And Nutrient Solutions, In, J.J.
- Olsen., S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S. Ve Dean., L.A., 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. U.S. Department of Agr. Circ 939. USA
- Ozbek, H, Z.Kaya, M Gok, H Kaptan, 1993 Toprak Bilimi. 1. Zir. Fak. Genel Yayın No.73 , Ders Kitapları Yayım No: 16 Adana.
- Parks, W.L., Walker, M.E., Cope, J.T., 1981. Residual P, K research in southeastern United States. Agronomy Abstracts. American Soc.of Agr. Madison, WI p 237.

- Prashant Srivastava<sup>1</sup>, Gräfel, M., Singh, B. And Balasubramanian, M. 2004. Cadmium And Lead Desorption From Kaolinite. Volume 7. Pp. 205-233
- Papadopoulos, P.D.L.Rowell 1988. The Reactions of Cd with Calcium Carbonate Surfaces. *Journal of Soil Science* 39, 23-39.
- Saatci, F.,H.Hakerlerler, H.Tuncay, I.B.Okur, 1988. Izmir İli Ve Civanndaki Bazi Onemli Endustri Kurulusjannin Tanm Arazileri Ve Sulama Sulannda Olusturduklan Cevre Kirliligi Sorunu Uzerinde Bir Arastirma E U.Rektöriüğü Araştırma Fonu, Proje No: 127.
- Scheidegger, A.M., Lamble, G.M., Sparks, D.L. 1996. Spectoscopic Evidence For The Formation Of Mixed-Cation Hydroxide Phases Upon Metal Sorption On Clays And Aluminum Oxides. *Journal Of Colloid And Interface Science*. 186, 118–128.
- Schindler,P.W And Stumm, W.(1987). The Surface Chemistry Of Oxides, Hydroxides, And Oxide Minerals. In *Aquatic Surface Chemistry. Chemical Processes At The Particle-Water Interface* (W.Stumm,Ed), Pp.83-110.John Wiley And Sons,New York
- Shuman, L.M. 1979. Zinc, Manganese And Copper In Soil Fractions. *Soil Science*, 127: 10-17.
- Serrano, S., P.A. O'Day, D. Vlassopoulos, M.T. Garcia-Gonzalez, And F. Garrido. 2009. A Surface Complexation And Ion Exchange Model Of Pb And Pb Competitive Sorption On Natural Soils. *Geochimica Et Cosmochimica Acta* 73:543-558.
- Shaheen, S.M. 2009. Sorption And Lability Of Cadmium And Lead İn Different Soils From Egypt And Greece. *Geoderma* 153:61-68.
- Singh, S. P., Ma, L.Q., Harris, W.G. 2001. Heavy Metal Interactions With Phosphatic Clay. *Journal Of American Quality*. 30: 1961-1968.
- Stevens, D. 2003. Managing Cadmium İn Vegetables. *Vegenotes* July.
- Sparks, D. L 1995. *Environmental Soil Chemistry*. Acad Press, San Diego.
- Sprynskyy, M., Kowalkowski, T., Tutu, H., Gözmuta, LM., Buszewska, B. 2011. The Adsorption Properties of Agricultural and Forest Soils Towards Heavy Metal Ions. *Soil and Sediment Contamination*. vol. 20 sayı:1 2011.
- Tirmizi, S.A.,Igbal, J.,Issa, M. 1996. A Study of Inorganic Elements in Vegetables and Soil Samples of the Polluted and non-Polluted Areas of Bahawalpu City. *Handard Medicu (Pak)*, vol 3 90-95.

- Türer, D., Maynard, B., Sansalone., J.J. 2000. Heavy Metal Contamination In Soils Of Urban Highways: Comparison Between Runoff And Soil Concentrations At Cincinnati, Ohio. *Water, Air And Soil Pollution*. Kluwer Academic Publishers Nedherland. 132: 293–314.
- Richards, L.D., 1954., Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils  
U.S Department of Agr. Handbook 60.
- Stumm, W. 1992. *Chemistry of the Solid-Water Interface*. Wiley Interscience, New York.
- Usman, A.R.A. 2008. The Relative Adsorption Selectivities Of Pb, Cu, Zn, Pb And Ni By Soils Developed On Shale In New Valley, Egypt. *Geoderma* 144:334-343.
- Uygur, V. and Rimmer, D.L. 2000. Reaction of zinc with iron coated calcite surface at alkaline pH. *European Journal of Soil Science*, 51, 511–516.
- Veeresh, H., S. Tripathy, D. Chaudhuri, B.R. Hart, And M.A. Powell. 2003. Competitive Adsorption Behavior Of Selected Heavy Metals In Three Soil Types Of India Amended With Fly Ash And Sewage Sludge. *Environmental Geology* 44:363-370.
- Vega, F.A., E.F. Covelo, And M.L. Andrade. 2009. Hysteresis In The Individual And Competitive Sorption Of Cadmium, Copper, And Lead By Various Soil Horizons. *Journal Of Colloid And Interface Science* 331:312-317.
- Vega, F.A., M.L. Andrade, And E.F. Covelo. 2010. Influence Of Soil Properties On The Sorption And Retention Of Cadmium, Copper And Lead, Separately And Together, By 20 Soil Horizons: Comparison Of Linear Regression And Tree Regression Analyses. *Journal Of Hazardous Materials* 174:522-533.
- Zanini, E., E. Banifacio, 1992. Heavy Metals Pollution In Agricultural Soils A Geostatistical Approach Near Turin (Italy). *Fresenius Envir. Bull.* 1:821-826. Birkhouser Verlag, Basel/ Switzerland
- Zhang, M.K., And S.A. Zheng. 2007. Competitive Adsorption Of Pb, Cu, Hg And Pb By Agricultural Soils Of The Changjiang And Zhujiang Deltas In China. *Journal Of Zhejiang University-Science A* 8:1808-1815.
- Zhang, M.K., He, Z.L., Calvert, D.V., Stoffella, P.J., Yang, X. E., Li, Y. C. 2003. Phosphorus And Heavy Metal Attachment And Release In Sandy Soil Aggregate Fractions. 97: 1158-1167.
- Zhuang, J., And G.R. Yu. 2002. Effects Of Surface Coatings On Electrochemical Properties And Contaminant Sorption Of Clay Minerals. *Chemosphere* 49:619-628.
- Wang, S.L., Non, Z.R., Lao, X.D., Liao, Q., Liw, J.A., Wu, W.F., Zhov, T., Zhao, C.C., Jin, W.Q. 2011. Sorption and Desorption Behavior of Lead on a Chinese Kaolin. *Environmental Earth Sciences* SN 1866-6200 Pb: 45 EP:149 2011.

- Wantanable, M.E. 1997. Pytoremediation On Brick Of Commercialization. Environmental Science And Technology News, 31: 182–186
- Whittig, L.D. and Allardic, W. R. 1996. X-Ray diffraction techniques. In A. Klute (ed.) Methods of Soil Analysis . Part 1. Physical and Mineralogical Methods. 2nd ed., SSSA book series, No. 5, Madison,WI. pp. 91-100.
- Wong, Y.C., Szeto, Cheung, Y.S.W.H. and Mckay, G. 2004. Adsorption of acid dyes on chitosan–equilibrium isotherm analyses. Process Biochem, 39, 693-702.
- Zanini, E., E. Banifacio, 1992. Heavy metals pollution in agricultural soils A geostatistical approach near Turin (Italy). Fresenius Envir. Bull. 1:821-826. Birkhouser Verlag, Basel/ Switzerland
- Zhou, D., Chen, H. 2000. Cr Adsorption On Four Typical Soil Colloids: Equilibrium An Kinetics Journal Of Environmental Sciences. 12: 325–329.

## ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı** : Mehmet KEÇECİ  
**Doğum Yeri** : Çine  
**Doğum Tarihi** : 28.04.1967  
**Medeni Hali** : Evli  
**Yabancı Dili** : İngilizce

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

**Lise** : Aydın Lisesi (1985)  
**Lisans** : Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü (1989)  
**Yüksek Lisans** : Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı (Eylül 1996- Temmuz 1999)

### Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

Toprak Gübre Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Geçici işçi (1992-1998)  
Van Çaldıran Y.S. İlköğretim Okulu sınıf öğretmeni (1998-1999)  
Tarım Reformu Didim Bölge Md. Teknik Eleman (1999-2000)  
Toprak Gübre Su KaY. Merk. Araş.Bölüm Başkanı (2000-..)

### Yayınlar

- 1- **M,Keçeci**;S,Usta,2012. Bazı Toprak Parametrelerin Ağır Metal (Zn,Pb) Adsorbsiyon ve Desorpsiyonuna Üzerine Etkisi.
- 2- **M,Keçeci**;İ,Güçdemir;M,Usul; E,Tümsavaş;C,Koca,2012Orta Anadolu Bölgesi Topraklarında Sürdürülebilir Fosfor Yönetimi
- 3- **M,Keçeci**; N,Cebel; D,Terzi; Ş,Kaya; M,Peker, Ankara Koşullarında Organik Tarım Sisteminde Kullanılan Farklı Materyallerin Domates ve Mısır Münavebe Sisteminde Toprak Özelliklerine Etkisi.
- 4- **M,Keçeci**;Domates ve Ispanağın Organik Tarım Koşullarında Yetiştirilebilirliğinin Araştırılması. Tarım Köyişleri Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü Bilimsel Araştırma ve İncelemeler Yayın No: 173 2003 YALOVA
- 5- S, Usta; **M,Keçeci**; İ, Yurdakul; M, Usul; K, Taşpınar; A, Dilsiz; S, Keskin, 2009. ASKİ (Ankara Büyük Şehir Belediye Başkanlığı Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü) Arıtma Çamuru Uygulamalarının Ankara - Yenikent Topraklarının Bazı

Özelliklerine (Kimyasal, Fiziksel ve Biyolojik) Etkisinin ve Sürdürülebilir Kullanılabilirliğinin Araştırılması. (TUBİTAK)

**6-** S, Yaman; B, Ankaralı; **M, Keçeci**, 2009. Ankara İlinde Merada Otlatma Döneminde Toprak ve Bitkideki Mineral Düzeylerin Akkaraman Koyunlarının Kan Serumu ve Yapağısındaki Bazı İz Element Miktarları Üzrine Etkilerinin Belirlenmesi

**7-** A, Avağ; H, Cebel; **M, Keçeci**; O, Başkan; G, Depeli, 2012. Ulusal Mera Islah Amenajman Projesi (TUBİTAK)

**8-M, Keçeci**; A, Güneş, 2002. Fertility Status of Greenhouse Soils in the Mediterranean Region of Turkey International Conference On Sustainable Land Use and Management 10-13 June 2002 Çanakkale- Turkey

**9-G, Beşirli; M, Keçeci**; N, Cebel; İ, Güçdemir, 2003Domatesin Organik Tarım Koşullarında Yetiştirilebilirliğinin Araştırılması II.Ulusal Ekolojik Tarım Sempozyumu 2003 Antalya

**10-Ç, Arcak; M, Keçeci**; M, Usul, 2003. Atatürk Orman Çiftliği Detaylı Toprak Etüdü ve Harşalanması Teknik Rapor no:1 Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayını 2003 ANKARA

**11-İ, Güçdemir; M, Keçeci**; M, Usul, 2006. İnegöl Organize Sanayi Bölgesi Arıtma Çamurunun Tarımda Değerlendirme İmkanlarının Araştırılması. Tarım Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayını Teknik Rapor No: 2006

**12-H, Cebel; O, Başkan; M, Keçeci**; M, Bozkurt, 2009. Rakım ve Kuraklık İndisi Değerlerine Göre Türkiyenin Homojen alanlarının Belirlenmesi.

**13-G, Beşirli; M, Keçeci**; İ, Güçdemir, 2009. Organik Domates Yetiştiriciliğinde Yeşil Gübreleme ve Bazı Besin Maddelerinin Toprak Yapısı Üzerine Etkisi. II Ulusal Ekolojik Tarım Sempozyumu 2009. Şanlıurfa.

**14-O, Dengiz; M, Usul; M, Keçeci**, 2006. Atatürk Orman Çiftliği Arazilerinin Tarımsal Kullanım Durumlarının Değerlendirilmesi, OMÜ Zir. Fak. Dergisi, 2006,21(1):55-64. J. of Fac. of Agric., OMU, 2006,21(1):55-64

**15-M, Keçeci**; M,Usul;İ, Güçdemir, 2010.İnegöl arıtma çamurunun mısırdada (zea mays l.) verim, mineral beslenme ve ağıt metal içeriği üzerine etkisi. I. ULUSAL TOPRAK VE SU KAYNAKLARI KONGRESİ. 1-4 HAZİRAN 2010. ESKİŞEHİR. S:122.

**16-M, Usul; M, Keçeci**, i, Güçdemir, 2010. Eysel ve kentsel arıtma çamurunun buğday verimi üzerine etkisi. I. ULUSAL TOPRAK VE SU KAYNAKLARI KONGRESİ. 1-4 HAZİRAN 2010. ESKİŞEHİR. S:120.

**17-M, Keçeci**, 2010. 13 Homojen Alan İçerisinde Yer Alan Eskişehir İli Mera Topraklarında Bulunan Bitkilerin Belirlenmesi. . I. ULUSAL TOPRAK VE SU KAYNAKLARI KONGRESİ. 1-4 HAZİRAN 2010. ESKİŞEHİR. S:120.

**18-M, Keçeci**, 2010. 13 Homojen Alan İçerisinde Yer Alan Eskişehir İli Mera Topraklarında Bulunan Bitkilerin Belirlenmesi. . I. ULUSAL TOPRAK VE SU KAYNAKLARI KONGRESİ. 1-4 HAZİRAN 2010. ESKİŞEHİR. S:120.

**19-M,Keçeci**; F, Ergül, S,Usta, 2010. The Research On The Effect Of Aski Sewage Sludge On Some Soil Physical Properties International Sustainable Water and Wastewater Management Symposium” 26-28 October 2010 – Konya/Turkey

**20-M, Keçeci**; S, Usta; A, Dilsiz; K, Taşpınar; A, Güntürk; M, Usul, 2011. Aski Atık Çamur Uygulamalarının Ankara-Tatlar ve Çevresi Tarım Topraklarının Bazı fiziksel ve Kimyasal Özellikleri ile Ağır Metal İçerikleri Üzerine Etkisi. II. ULUSAL TOPRAK VE SU KAYNAKLARI KONGRESİ. 22-25 KASIM 2011. ANKARA. S:702.



**21-O**, Başkan; H, Cebel; **M, Keçeci**; G, Depel; M, Bozkurt, 2011. Bölgesel Mera Alanlarındaki Toprakların Bazı Fiziksel Özellikleri ile Aşınım Arasındaki İlişkiler. II. ULUSAL TOPRAK VE SU KAYNAKLARI KONGRESİ. 22-25 KASIM 2011. ANKARA. S:539.

**22-G**, Beşirli; İ, Sönmez; **M, Keçeci**; İ, Güçdemir, 2009

Organik Domates Yetiştiriciliğinde Yeşil Gübreleme Ve Bazı Besin Maddelerinin Toprak Yapısı Üzerine Etkisi. II Ekolojik Tarım Kongresi S:2009 ŞANLIURFA.

**23- A**, Avağ; H, Cebel; **M, Keçeci**; O, Başkan; G, Depeli, 2012. Ulusal Mera Kullanımı ve Yönetimi Projesi Veri Tabanı Çalışması. Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi 5(2):102-106,2012 ANKARA