



**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**TEKKEKÖY ÇEVRESİNDEN ALINAN TOPRAKLARDA
ÇİNKO KADMIYUM İÇERİKLERİNİN VE ADSORPSİYON
KAPASİTELERİNİN BELİRLENMESİ**

Doktora Tezi

Özcan ÇOLUK

Danışman
Prof. Dr. Ayşe KULEYİN

SAMSUN

2023

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**



**TEKKEKÖY ÇEVRESİNDEN ALINAN TOPRAKLARDA
ÇİNKO KADMIYUM İÇERİKLERİNİN VE ADSORPSİYON
KAPASİTELERİNİN BELİRLENMESİ**

Doktora Tezi

Özacan ÇOLUK

Danışman
Prof. Dr. Ayşe KULEYİN

SAMSUN

2023

TEZ KABUL VE ONAYI

Özcan ÇOLUK tarafından, Prof. Dr. Ayşe KULEYİN danışmanlığında hazırlanan “TEKKEKÖY ÇEVRESİNDEN ALINAN TOPRAKLARDA ÇİNKO KADMIYUM İÇERİKLERİNİN VE ADSORPSİYON KAPASİTELERİNİN BELİRLENMESİ” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 2.3.2023 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı Adı Soyadı Üniversitesi Ana Bilim/Ana Sanat Dalı	Sonuç
Başkan	Prof. Dr. Yüksel ARDALI Ondokuz Mayıs Üniversitesi Çevre Müh. Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Prof. Dr. Nihal BEKTAŞ Gebze Teknik Üniversitesi Çevre Müh. Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Prof. Dr. Rıdvan KIZILKAYA Ondokuz Mayıs Üniversitesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Prof. Dr. Ayşe KULEYİN Ondokuz Mayıs Üniversitesi Çevre Müh. Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Doç. Dr. Oylum Gökkurt BAKİ Sinop Üniversitesi Çevre Müh. Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

Prof. Dr. Ahmet TABAK
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım Doktora tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

Etik Kurul Gerekli mi?

Evet ☐ (Gerekli ise ekler kısmına ekleyiniz)

Hayır ☒

06/01/2023

Özcan ÇOLUK

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı : TEKKEKÖY ÇEVRESİNDEN ALINAN TOPRAKLARDA
ÇİNKO KADMİYUM İÇERİKLERİNİN VE ADSORPSİYON
KAPASİTELERİNİN BELİRLENMESİ

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 06.01.2023 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 23

Tek kaynak oranı : % 5 çıkmıştır.

06/01/2023

Prof. Dr. Ayşe KULEYİN

ÖZET

TEKKEKÖY ÇEVRESİNDEN ALINAN TOPRAKLARDA ÇİNKO KADMIYUM İÇERİKLERİNİN VE ADSORPSİYON KAPASİTELERİNİN BELİRLENMESİ

Özcan ÇOLUK

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Doktora, Mart/2023

Danışman: Prof. Dr. Ayşe KULEYİN

Sanayi devrimi ve üretim faaliyetlerindeki artış, kentleşme hızının ve nüfusun hızlı şekilde artması, kentleşmede plansızlık ve tarım arazilerinin özelliklerini kaybetmesi toprak kirliliğini çevre sorunlarının önemli bir parçası haline getirmiştir.

Sanayi tesisleri ve tarım arazileri birbirine çok yakın konumlanmış olan Tekkeköy çevresi çalışma alanı olarak seçilmiştir. Tez çalışması kapsamında bölgenin temel özelliklerini belirlemek amacı ile 63 noktadan örnek alınmıştır.

Yapılan analizlerin sonuçlarına göre Toprak örneklerinin KDK'sı (me/100g) 5,00-80,43, % Organik Madde değeri 0,21-5,02 arasında, pH 4,57-7,97, % Nem 0,00-10,03, % CaCO_3 0,00-14,27 aralığında tayin edilmiştir. Bölgeden alınan toprak örneklerinde 7 farklı bünye tespit edilmiştir.

Toprak örneklerinin çinko ve kadmiyum içerikleri sırasıyla 37, – 195,26 (mg/kg), 0,00-5,10 (mg/kg) aralığında tayin edilmiştir. Toprak örneklerine ait tayin edilen temel fiziksel ve kimyasal özellikler ile toprakların çinko ve kadmiyum içeriklerinin ters mesafe ağırlıklı (IDW) enterpolasyon yöntemiyle ve ArcGIS 9.2 yazılımı kullanılarak tematik haritaları elde edilmiştir.

Toprak örnekleri içerisinde temel fiziksel ve kimyasal özellikleri farklılık gösteren 8 adet toprak örneği seçilerek toprak örneklerinin adsorpsiyon davranışları adsorpsiyon izoterm ve kinetik modelleri ile değerlendirilmiştir. Sonuçlar toprak örneklerinin ağır metal davranışlarının Langmuir ve Freundlich izotermine uyum gösterdiğini belirtmiştir. Adsorpsiyon hızını ifade eden adsorpsiyon kinetiklerinden Yalancı II. Derece kinetiğin hem çinko hem kadmiyum için uyumlu olduğu görülmüştür. Toprak örneklerinin çinko ve kadmiyum içeriklerinin ve toprakların çinko ve kadmiyumu adsorplama kapasitelerinin, bazı temel fiziksel ve kimyasal özellikler ile bağıntısı Shapiro–Wilk normallik testi ve spearman korelasyon analiziyle değerlendirilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Toprak kirliliği, Ağır metal, Coğrafi bilgi sistemi, Adsorpsiyon

ABSTRACT

DETERMINATION OF ZINC CADMIUM CONTENT AND ADSORPTION CAPACITIES IN SOILS TAKEN FROM TEKKEKÖY REGION

Özcan ÇOLUK

Ondokuz Mayıs University

Institute of Graduate Studies

Department of Environmental Engineering

Ph.D., March/2023

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Ayşe KULEYİN

The industrial revolution and the increase in production activities, the rapid increase in the rate of urbanization and the population, the lack of planning in urbanization and the loss of the characteristics of agricultural lands have made soil pollution an important part of environmental problems.

Tekkeköy surroundings, where industrial facilities and agricultural lands are located very close to each other, were chosen as the study area. Within the scope of the thesis study, samples were taken from 63 points in order to determine the basic characteristics of the region.

According to the results of the analyzes made, some physical and chemical properties of the soil samples were determined and the ranges were observed as follows KDK (me/100g) 5.00-80.43, % Organic Matter 0.21-5.02, pH 4.57-7.97, % Moisture 0.00- 10.03, % CaCO₃ 0.00-14.27. In the soil samples taken from the region, seven different structures were determined.

The zinc and cadmium contents of the soil samples were determined in the range of 37.5 – 195.26 (mg/kg), 0.00-5.10 (mg/kg), respectively. Basic physical and chemical properties of soil samples and zinc and cadmium contents of soils were obtained by using reverse distance weighted (IDW) interpolation method as well as using ArcGIS 9.2 software.

Eight soil samples with different basic physical and chemical properties were selected from the soil samples and the adsorption behavior of the soil samples was evaluated by adsorption isotherms and kinetics models. The results indicated that the heavy metal behavior of the soil samples was consistent with the Langmuir and Freundlich isotherm. Pseudo second order kinetics, which is one of the adsorption kinetics expressing the adsorption rate, was found to be compatible for both zinc and cadmium. The correlation of zinc and cadmium contents of soil samples and zinc and cadmium adsorption capacities of soils with some basic physical and chemical properties were evaluated by Shapiro–Wilk normality test and Spearman Rank Correlation analysis.

Keywords: Soil pollution, Heavy metals, Geographic information systems, Adsorption

ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR

Akademik eğitime başlamamı ve doktora ile devam etmemi sağlayan ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen merhum hocam Prof. Dr. Fethi BAYRAKLI'ya minnet ve saygılarımı öncelikli olarak sunmayı bir borç bilirim.

Doktora tez çalışmalarım boyunca desteği, bilimsel katkıları ve bitmek bilmeyen sabrı ile her zaman yanımda olan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ayşe KULEYİN'e sonsuz teşekkür ederim.

Tez izleme süreçleri boyunca yardım ve desteklerini esirgemeyen Prof. Dr. Yüksel ARDALI, Prof. Dr. Rıdvan KIZILKAYA ve Prof. Dr. Aziz ŞİŞMAN'a teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışmaları ve tez yazım çalışmaları sırasında desteklerini esirgemeyen Çevre Yüksek Mühendisi Oğuzcan ELVER ile Dr. Kübra KÜÇÜK'e teşekkür ederim.

Yaşantım boyunca, desteklerini esirgemedi, yanımda ve arkamda duran annem, babam ve kardeşime teşekkür ederim.

Tanıştığımız andan bu zamana kadar benimle beraber, akademik hayatın ve iyisiyle kötüsüyle yaşamın tüm yükünü paylaşan değerli eşim Neslihan ÇOLUK'a sonsuz teşekkür ederim.

Özcan ÇOLUK

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI	I
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI	II
TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI	II
ÖZET	III
ABSTRACT	IV
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	V
İÇİNDEKİLER	VI
SİMGELER VE KISALTMALAR	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ	X
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİ	3
2.1. Toprak Tanımı	3
2.2. Toprağın Özellikleri	4
2.2.1. Toprağın Tekstürü	4
2.2.2. Toprağın Strüktürü	5
2.2.3. Toprağın Gözenekliliği	5
2.2.4. Toprak Suyu	5
2.2.5. Toprağın Kimyasal Özellikleri	5
2.3. Toprak Kirliliği	6
2.4. Ağır Metaller	7
2.4.1. Çinko (Zn)	10
2.4.2. Kadmiyum (Cd)	11
2.5. Adsorpsiyon	11
2.5.1. Adsorpsiyon İzotermi	12
2.5.2. Adsorplamaya Etki Eden Faktörler	14
2.6. Adsorpsiyon Kinetikleri	18
2.6.1. Yalancı Birinci ve İkinci Derece Reaksiyon Kinetiği Modeli	18
2.6.2. Elovich Modeli	19
2.6.3. Partikül İçi Difüzyon Modeli	20
2.7. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)	20
2.8. Literatür Özeti	22
3. MATERYAL - METHOD	26
3.1. Araştırma Alanı	26
3.2. Toprak Örneklerinin Alınması ve Analize Hazırlanması	29
3.3. Toprak Örneklerinde Yapılan Bazı Fiziksel ve Kimyasal Analizler	29
3.3.1. Mekanik Analiz (Tekstür)	29
3.3.2. Toprak Reaksiyonu	29
3.3.3. Kireç İçeriği (CaCO ₃)	29
3.3.4. Organik Madde	30
3.3.5. Katyon Değişim Kapasitesi	30

3.3.6. % Nem Tayini	30
3.3.7. Ağır Metal Tayini	30
3.4. Haritalama yöntemi	30
3.5. Adsorpsiyon Kapasitelerinin Belirlenmesi	31
3.5.1. Toprak Örneklerinin Seçilmesi	31
3.5.2. Adsorpsiyon Çalışmalarında Kullanılan Kimyasallar	32
3.5.3. Adsorplama Kapasitesini Etkileyen Parametrelerin Tayini	32
3.6. İstatistik Analizler	34
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	35
4.1. Toprak Örneklerinin Temel Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Tayini	35
4.2. Toprak Örneklerine Ait Ağır Metal İçeriklerinin Tayini	38
4.3. Çinko ve Kadmiyum İçeriklerinin Toprakların Diğer Özellikleriyle İstatistiksel İlişkisi	42
4.4. Toprak Örneklerine Ait Temel Parametrelerin Gösteriminde CBS Uygulamaları	43
4.5. Toprak Örneklerinin Adsorplama Kapasitesinin İncelenmesi	49
4.5.1. Zn ve Cd Adsorpsiyon Kapasitesi İçin Toprak Miktarının (Dozaj) Etkisi	50
4.5.2. Zn ve Cd Adsorpsiyon Kapasitesi Üzerine Konsantrasyonun Etkisi	51
4.5.3. Zn ve Cd Adsorpsiyon Kapasitesi Üzerine Sürenin Etkisi	53
4.6. Zn ve Cd Adsorpsiyon Verilerinin İzoterm Modellerine Uygulanması	55
4.6.1. Zn Adsorpsiyon Verilerinin İzoterm Modellerine Uygulanması	55
4.6.2. Cd Adsorpsiyon Verilerinin İzoterm Modellerine Uygulanması	59
4.7. Zn, Cd ve Cu Adsorpsiyon Verilerinin Kinetik Modellerine Uygulanması	63
4.7.1. Zn Adsorpsiyonuna Ait Kinetik Çalışmaları	63
4.7.2. Cd Adsorpsiyonuna Ait Kinetik Çalışmaları	66
4.8. Zn ve Cd Adsorplama Kapasitesinin Toprakların Diğer Özellikleriyle İstatistiksel İlişkisi	70
5. SONUÇ	72
6. KAYNAKLAR	75
7. ÖZ GEÇMİŞ	80

SİMGELER VE KISALTMALAR

KDK	: Katyon Değişim Kapasitesi
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
EPA	: A.B.D. Çevre Koruma Ajansı
ICP-MS	: İndüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektroskopisi
AAS	: Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi
T	: Tarım Alanlarından Alınan Toprak Örneği
S	: Sanayi Bölgesinden Alınan Toprak Örneği
T.E.	: Tayin Edilemedi
TKKY	: Toprak Kirliliği Kontrolü Yöetmeliği
GPS	: Küresel Konumlama Sistemi



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Toprağın Genel Durumu	3
Şekil 2.2. Tekstür Sınıflarının Belirlenmesinde Kullanılan Tekstür Üçgeni	4
Şekil 2.3. Topraklardaki Kimyasal Kirleticilerin Ana Tipleri.	7
Şekil 2.4. Freundlich İzotermi	13
Şekil 2.5. Langmuir İzotermi	13
Şekil 3.1. Araştırma Alanının Fiziki Uydu Görüntüsü	26
Şekil 3.2. Örnekleme Noktalarının Uydu Görüntüsü.....	27
Şekil 4.1. % Organik Madde Değerlerine Ait CBS Uygulaması	44
Şekil 4.2. pH Değerlerine Ait CBS Uygulaması	45
Şekil 4.3. KDK Değerlerine Ait CBS Uygulaması	45
Şekil 4.4. % CaCO ₃ Değerlerine Ait CBS Uygulaması	46
Şekil 4.5. Toprak Örneklerinin % Kum İçeriklerine Ait CBS Uygulaması	46
Şekil 4.6. Toprak Örneklerinin % Silt İçeriklerine Ait CBS Uygulaması	47
Şekil 4.7. Toprak Örneklerinin % Kil İçeriklerine Ait CBS Uygulaması.....	47
Şekil 4.8. Çinko (Zn) Değerlerine Ait CBS Uygulaması.....	48
Şekil 4.9. Çinko (Zn) Değerlerine Ait CBS Uygulaması.....	49
Şekil 4.10. Zn için Toprak Miktarı Yüzde Verim İlişkisi.....	50
Şekil 4.11. Cd için Toprak Miktarı Yüzde Verim İlişkisi	51
Şekil 4.12. Zn Adsorpsiyonuna Konsantrasyon Etkisi.....	52
Şekil 4.13. Cd Adsorpsiyonuna Konsantrasyonun Etkisi	52
Şekil 4.14. Zn Adsorpsiyonuna Sürenin Etkisi	54
Şekil 4.15. Cd Adsorpsiyonuna Sürenin Etkisi	55
Şekil 4.16. Zn Adsorpsiyonu Langmuir İzotermi	56
Şekil 4.17. Zn Adsorpsiyonu Freundlich İzotermi.....	57
Şekil 4.18. Zn Adsorpsiyonu Temkin İzoterm.....	57
Şekil 4.19. Cd Adsorpsiyonu Langmuir İzotermi	59
Şekil 4.20. Cd Adsorpsiyonu Freundlich İzotermi.....	60
Şekil 4.21. Cd Adsorpsiyonu Temkin İzotermi	61
Şekil 4.22. Zn Adsorpsiyonuna Ait Yalancı I. Derece Modeli	63
Şekil 4.23. Zn Adsorpsiyonuna Ait Yalancı II. Derece Modeli.....	65
Şekil 4.24. Zn Adsorpsiyonuna Ait Elovich Kinetik Modeli.....	65
Şekil 4.25. Zn Adsorpsiyonuna Ait Partikül İçi Difüzyon Kinetik Modeli	66
Şekil 4.26. Cd Adsorpsiyonuna Ait Yalancı I. Derece Kinetik Modeli	67
Şekil 4.27. Cd Adsorpsiyonuna Ait Yalancı II. Derece Kinetik Modeli.....	67
Şekil 4.28. Cd Adsorpsiyonuna Ait Elovich Kinetik Modeli.....	69
Şekil 4.29. Cd Adsorpsiyonuna Ait Partikül İçi Difüzyon Kinetik Modeli	69

TABLÖLER DİZİNİ

Tablo 2.1. Yer kabuğu Tabakası ve Sedimentlerin Element Bileşimleri	8
Tablo 2.2. Atıksularında Ağır Metal Bulunduran Çeşitli Endüstriler	9
Tablo 3.1. Toprak Örneklerine Ait Koordinatlar	28
Tablo 3.2. Adsorpsiyon Çalışmaları İçin Seçilen Örneklere Ait Bazı Temel Özellikler	32
Tablo 4.1. Toprak Örneklerinin Temel Kimyasal ve Fiziksel Parametreleri	35
Tablo 4.2. Sindirim Metodu Seçimi	38
Tablo 4.3. Toprak Örneklerinin Ağır Metal İçerikleri	39
Tablo 4.4. Toprak Örneklerinin Zn İçeriklerinin Diğer Parametreler İle Arasındaki İlişkiye Ait Spearman Katsayıları	42
Tablo 4.5. Toprak Örneklerinin Cd İçeriklerinin Diğer Parametreler İle Arasındaki İlişkiye Ait Spearman Katsayıları	43
Tablo 4.6. Seçilmiş Toprak Numunelerinde Temas Süresi - % Verim İlişkisi	53
Tablo 4.7. Seçilmiş Toprak Numunelerinde Temas Süresi - % Verim İlişkisi	54
Tablo 4.8. Zn Adsorpsiyonuna Ait İzoterm Katsayıları	58
Tablo 4.9. Cd Adsorpsiyonuna Ait İzoterm Katsayıları	62
Tablo 4.10. Zn Adsorpsiyonuna Uygulanan Kinetik Modellerine Ait Katsayılar	64
Tablo 4.11. Cd Adsorpsiyonuna Uygulanan Kinetik Modellerine Ait Katsayılar	68
Tablo 4.12. Zn Adsorplama Kapasitesi (qe) İle Diğer Özellikler Arasındaki İlişkiye Ait Spearman Katsayıları	70
Tablo 4.13. Cd Adsorplama Kapasitesi (qe) İle Diğer Özellikler Arasındaki İlişkiye Ait Spearman Katsayıları	71

1. GİRİŞ

İnsanların ve diğer canlıların yaşamları boyunca ilişkilerini sürdürdükleri ve karşılıklı olarak etkileşim içinde bulundukları fiziksel, kimyasal, biyolojik, sosyal, ekonomik ve kültürel ortam çevre olarak adlandırılmaktadır (İbadullayeva, 2019).

1970’li yıllardan itibaren sanayileşmeye paralel olarak çevre sorunları başlamış ve çevresel kirlilik problemi insanlık için temel problemlerden biri olarak ortaya çıkmıştır. Nüfus artışı, tüketim artışı, çarpık kentleşme sorunu büyümüş, kirliliğin ve kirlenmenin boyutu her geçen gün artış göstermiştir. Kontrolsüz ve plansız bir şekilde tüketilen çevre ve kaynaklarının tahribatı, doğal kaynakların sürdürülebilir bir biçimde korunmasını gerektirdiği açıktır. Gün geçtikçe ihtiyaçlarımızın karşılandığı çevre ve doğanın sürdürülebilirliğinin risk altında olduğu görülmektedir (Menteşe, 2017)

Doğal çevrenin fiziki elemanlarından olan toprak, su ve hava gibi hassas ekosistemler insanoğlunun faaliyetleri ile kirlenmektedir. Bu durum doğal döngüsü bozulan toprak, su ve hava ekosistemlerinin işlevlerini yerine getirememelerine sebep olmaktadır. Çevre kirliliği, insanoğlunun canlılığını devam ettirdiği bu ekosistemlerde yer almakta, sonuçta da tüm canlı ve cansız çevreyi etkilemektedir (Menteşe, 2017).

Bir kimyasalın ya da maddenin topraktaki canlılar üzerinde olumsuz etkilere neden olabilecek şekilde normal sayılabilecek konsantrasyonlardan daha yüksek düzeylerde birikmesine toprak kirliliği adı verilmektedir (Namlı vd., 2020). Nitelik ve nicelik açısından uygun olmayan bileşiklerin toprak ortamında yer alması kirlenmeyi meydana getirir (Türkoğlu, 2006). Kirleticilerin toprak ekosisteminde yer alan bitki bünyesine ya da herhangi bir şekilde su kaynaklarına taşınması çevre ve canlı sağlığı açısından olumsuz etki edeceği açıktır.

Madencilik faaliyetleri, gübreler, tarım faaliyetlerinde kullanılan ilaçlar, pestisitler, antropojenik nedenlerle direkt ve ya dolaylı farklı özellik gösteren birçok madde ekosisteme katılmakta, çoğunlukla doğa ve endüstriyel üretim arasındaki dengesiz ilişki fiziki ortamın bir parçası olan toprak ekosisteminde kirlenme problemlerini karşımıza çıkarmaktadır.

Sanayileşmenin hızla ve çoğunlukla plansız çoğalması, tarımda modern ürünlerin kullanılması ve nüfus artışının doğal kaynakların ve ekosistemin tahrip sistemi bozacak etkilerin artmasına, tüm bu faaliyetler sonucu oluşan tahribat ve

kirlilik ekolojik ortamın tüm parçaları gibi toprakta da kirliliği önemli bir çevre sorunu olarak karşımıza çıkarmıştır. Toprağın kirlenmesi canlı organizmayı ve diğer sistemleri de direkt olarak etkilemektedir. Günümüzde toprak kirliliğinin giderek önem kazanmasının bir nedeni özellikle 20. yüzyılın ikinci yarısında karşılaşılan vakalarında canlılara verdiği zararlardır. Bu bağlamda Amerika'da Lovecanal, Almanya'da Hamburg vakaları kayıtlara geçmiştir (Göksu 2007; Göksu ve Güngör, 2005). Toprak ortamına doğal ya da doğal olmayan faaliyetler sonucu bir şekilde katılan kirleticiler pestisitler, radyoaktif atıklar, organik bileşikler, gübre, petrol atıkları ve ağır metaller olarak gruplandırılabilir.

Küresel bir sorun olarak karşımıza çıkan ağır metal kirliliği tarımsal alanların, verimli arazilerinin ekolojik yapısını, tarımsal özelliklerini bozmakta ve besin zinciri aracılığıyla canlı sağlığını tehdit etmektedir (Güzel, 2006). Ağır metal kirlenmesinde topraklar için özel bir tehlike vardır, bulaşması ve birikmesi geri dönüşümsüz nitelikte olan ağır metallerin tarım topraklarına karışması sonucu, çevre ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilere sebep olmaktadır (Kızılkaya ve Korkmaz, 1998).

Toprak ortamında ağır metallerin kirlilik potansiyelleri ortamdaki konsantrasyon, hareketlilik ve biyolojik alınabilirliği ile ilişkilidir. Ortamda bulunan metal miktarı ve toprak çözücü ortamındaki metal miktarının tayin edilmesi topraktaki ağır metallerin ekolojik risklerini belirlemek için gereklidir (Şahmetlioğlu, 2004).

Tez çalışmasında sanayi ve tarım arazilerini içinde barındıran Tekkeköy bölgesinde alınan örneklerde toprak kirliliği açısından önemli kirletici grubu olan ağır metallerin toprak tarafından adsorbe edilebilme kapasitelerinin belirlenmesi üzerinde çalışılmıştır. Bölgeden alınan örneklerde toprakların ağır metal adsorplama kapasitelerinin belirlenmesi riskin analizi, kirlenmenin boyutu ve kirlenmenin kontrol altında tutulması, durum tespiti ve havzanın yönetilmesi açısından faydalı olacağı düşünülmektedir.

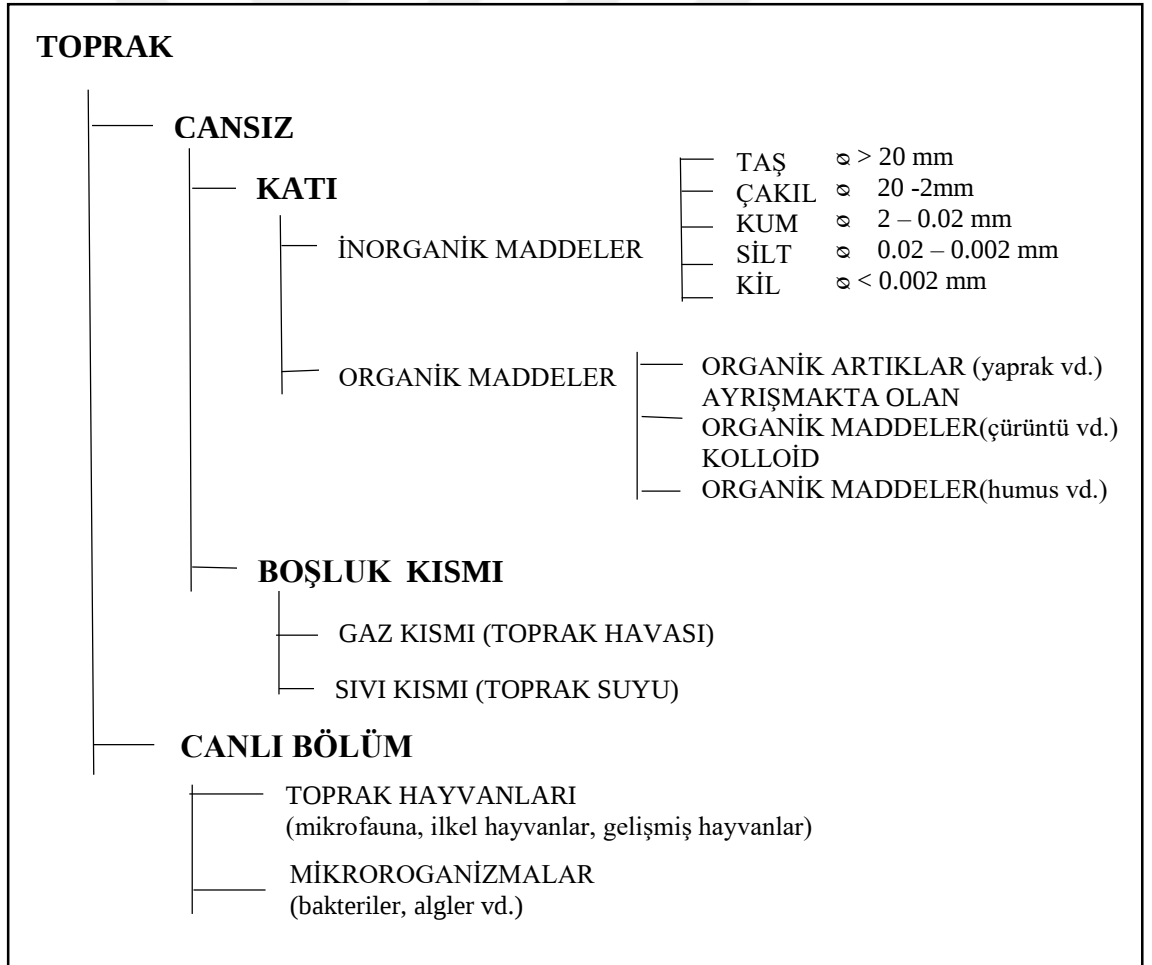
2. GENEL BİLGİ

2.1. Toprak Tanımı

Toprak atmosfer ile litosferin temas ettiği yüzey tabakasıdır (Bayraklı, 1996). Bu tabaka taşküreyi örtü gibi kaplar ve içerisinde inorganik ve organik maddeyi bulundurur. İnorganik ve organik katılarla, hava, su ve mikroorganizmaların birbiriyle etkileşim içinde olduğu canlı sistemdir (Bayraklı, 1996).

Toprağın %50'si katı materyal diğer %50'si ise farklı oranlarda su ve hava ile doludur. Katı kısmının %45'ini inorganik maddeler, %5'ini organik maddeler oluştururlar.

Genel olarak toprak yapısı mineral parçacıklar, toprağın organik maddesi, su, hava, toprağın canlı kısmı olarak 5 ana kısımda incelenir. Toprağın genel durumu Şekil 2.1.'de görülmektedir.



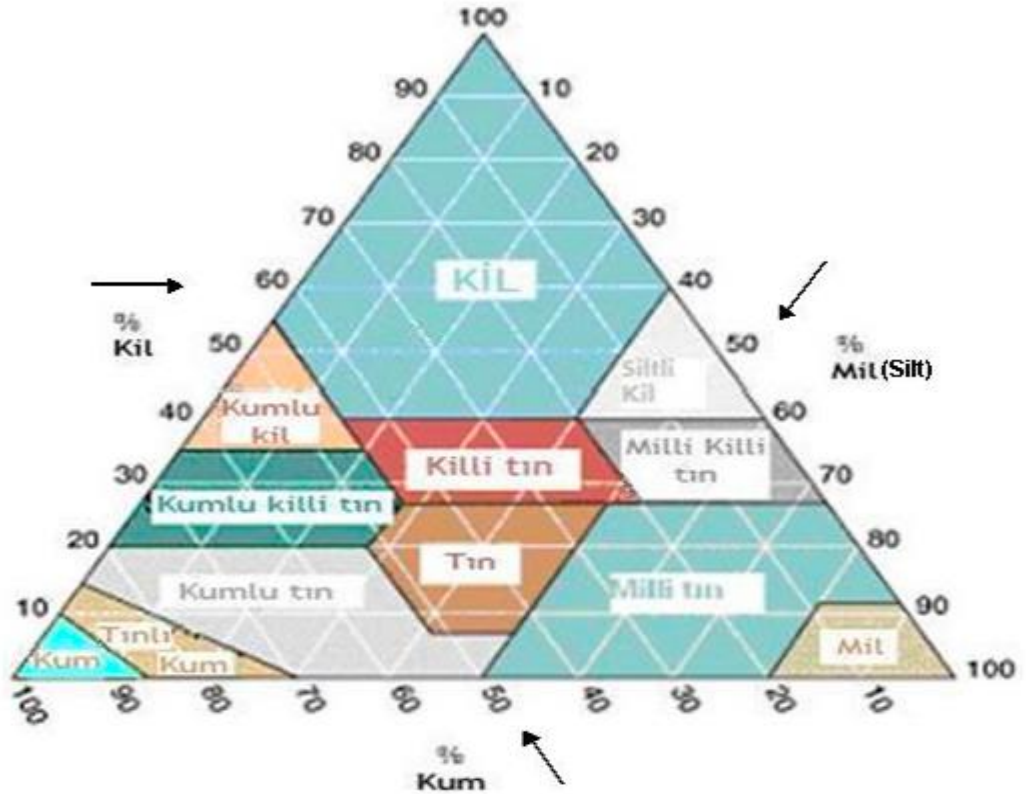
Şekil 2.1. Toprağın Genel Durumu (Kantarıcı, 2000)

2.2. Toprağın Özellikleri

Toprağa ait fiziksel ve kimyasal parametreler çoğunlukla laboratuvar ortamında yapılan analizler ile tayin edilebilmektedir. Literatürde yer alan analiz metotları ve cihazlar kullanılarak tayin edilen fiziksel bazı özellikler “toprak tekstürünün oransal bileşimi (yüzde kum, silt ve kil miktarları), strüktür (kümeli yapı) özellikleri, su tutma kapasitesi, gözeneklilik, infiltrasyon kapasitesi” gibi parametrelerdir.

2.2.1. Toprağın Tekstürü

Kil, silt ve kum boyutundaki malzemeler toprağın katı fazını oluşturmaktadır. Kil, silt ve kumun toprak içindeki oransal içerikleri ve bunların toprak içerisindeki oranları toprağın tekstürü olarak tanımlanmaktadır. Toprağın tekstür sınıflarına ayırımında yalnızca farklı boyuttaki parçaların toprakta bulunan parçaları göz önüne alınmakta, kimyasal bileşim, renk, ağırlık ve diğer özellikler dikkate alınmamaktadır. Şekil 2.2’de Tekstür sınıflarının belirlenmesinde kullanılan tekstür üçgeni verilmiştir. Topraklar tekstür sınıfları yönünden içerdikleri kil, silt ve kum yüzdeleri esas alınarak gruplandırılmaktadır. Toprak tekstürü; elek analizi, hidrometre analizi ve parmak uçlarıyla inceleme gibi yöntemlerle belirlenmektedir (Göksu, 2007).



Şekil 2.2. Tekstür Sınıflarının Belirlenmesinde Kullanılan Tekstür Üçgeni (MEB, 2015)

2.2.2. Toprağın Strüktürü

Toprağın yapısı, sıklıkla toprak tekstürü ile karıştırılır. Yapısı iyi olan toprak parçacıkları kolay ufalanabilir, aralarındaki boşluklardan hava alır ve su geçirir. Böyle topraklarda kökler, dolayısıyla bitki çok iyi ve sağlıklı gelişir. Strüktürü iyi olmayan topraklar ise çalışması zor, taşlaşmış, tezekli toprak görülmektedir. Bitkilerin orta derece bile gelişmesi için, toprak açık strüktürlü olması gerekir. Strüktürü iyi olan topraklarda, köklerin hava alması ve suyun hareket edebilmesi için boşluklar vardır. Canlı ve sağlıklı bitkiler, ancak açık strüktürlü topraklarda yetişir. İyi strüktürlü topraklarda toprak daha az taşınır, erozyon olmaz. Strüktürü bozuk topraklarda, hava ve su hareketi olmadığı için mikroorganizmalar da çalışamaz. Bu nedenle bitki kökleri gelişemez, bitki yeterli besinlere ulaşamaz ve hemen ölür (Özdemir ve Canpolat, 1997).

2.2.3. Toprağın Gözenekliliği

Gözeneklilik tekstürel ve strüktel olarak ikiye ayrılmakta olup iklim, biyolojik aktiviteler, toprağın işlenmesi, toprak tane büyüklüğü vb. parametrelerde etkilenmektedir (Şeker ve Işıldar, 2000).

2.2.4. Toprak Suyu

Toprak suyu, toprak ortamına giren ve toprakta kalan, gözeneklerde biriken, sızan ya da buharlaşan suya denilmektedir. Toprakta tutunma, hareket edebilme ve toprak ekosistemine girdikten sonra elde ettiği kimyasal özellikleri nedeniyle toprak suyu oldukça önemlidir. Kimyasal ayrışma ve parçalanma, organik madde birikimi, taşıma ve biriktirme ve bunlara benzer birçok olay üzerindeki etkileri yönünden oldukça önemlidir (Bayraklı, 1996). Toprak suyunun, toprakta bulunan kirliliğin taşınması ve mevcut kirliliğin bertarafında etkisi büyüktür (Kantarcı, 2000).

2.2.5. Toprağın Kimyasal Özellikleri

2.2.5.1. Toprağın İyon Tutma Özelliği

Toprak iyonları geniş yüzeylerde ve elektriksel güçlerin etkisi ile tutmaktadır. Toprakta bulunan kil ve organik maddelere, oksitler iyonları tutma özelliklerine sahiptir.

2.2.5.2. Toprakta Katyon Değişimi

Değişebilir katyonların tümüne toprağın iyon yükü denir. $H^{+/-}$ iyonları dahil 100

gram toprakta miliekivalent (me/100 g) olarak değişebilir katyonların tümüne değişim kapasitesi veya katyon değişim kapasitesi (KDK) denir. Katyon değişimi toprağın en önemli kimyasal özelliklerinden biridir. Bir başka ifadeyle, topraktaki negatif yüklü bağlanma yerlerinin bir ölçüsüdür. KDK, kil yüzeylerindeki iyon değişimini kontrol ederek toprağın verimliliğine doğrudan etki yapar (Belachew and Abera, 2010).

2.2.5.3. Toprakta Anyon Değişimi

Toprak çok az anyon çeşidini tutabilmektedir. Fosfat anyonu toprak içinde tutulmaya eğilimi en yüksek anyon iken sülfat, klor ve nitratın toprak kolloidlerinde tutunma yatkınlığı düşüktür.

2.2.5.4. Toprak Reaksiyonu

Toprak reaksiyonu, toprak çözeltisinin asit, nötr veya alkalın yapıda olduğunu ifade etmek için kullanılan terimdir. Toprak reaksiyonu pH olarak ifade edilir ve hidrojen iyonlarının toprak suyundaki konsantrasyonu ölçülerek tayin edilir. Toprak pH'sı; flora yapısı, toprak suyu, iklim özellikleri gibi birçok parametreden etkilenmektedir (Kantarıcı, 2000).

2.3. Toprak Kirliliği

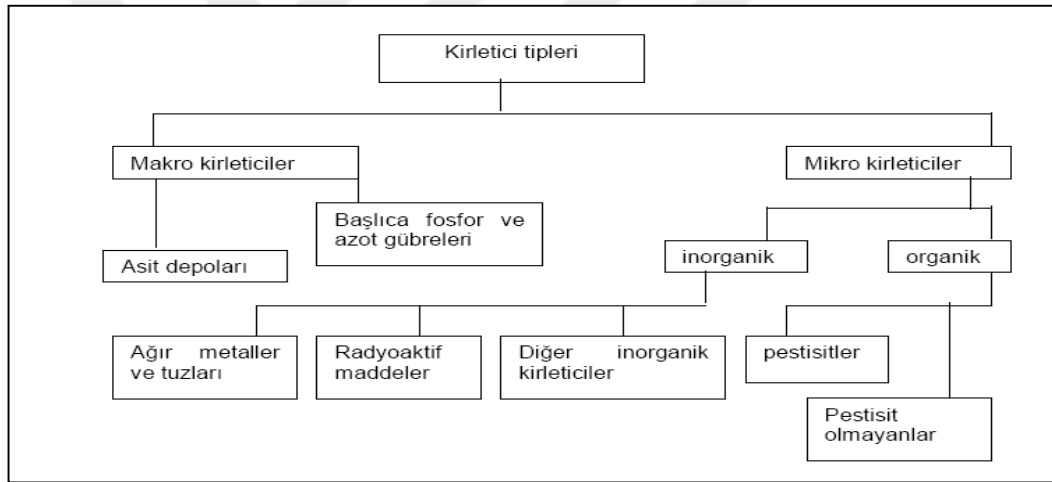
Toprak, su ve hava gibi canlıların yaşamının devamlılığında vazgeçilmez unsurlardandır. Yaşamın başlamasında, oluşumunda ve sürdürülmesinde en önemli öğelerden birini toprak teşkil etmektedir (Keleş, 2015; Menteşe, 2017). Endüstrinin gelişmediği, bilimsel bilginin günümüz seviyelerinde olmadığı, tarımın modern şekliyle yapılmadığı, nüfus artışının bu kadar fazla olmadığı dönemlerde çevresel ekosistemin diğer parçalarında olduğu gibi toprakta da kirlenmeden söz etmek çok olası değildi. Ancak sanayi devrimi ve üretim faaliyetlerindeki artış, kentleşme hızının ve nüfusun hızlı şekilde vuku bulması sonucunda tarım arazilerinin özelliklerini kaybetmesi toprak kirliliği çevre sorunlarının önemli bir parçası haline gelmiştir. Su ve hava kirliliği kadar önemsiz olmayan toprak kirliliği son yıllarda özellikle gelişmiş ülkelerde ciddi bir sorun olarak görülmeye başlanmıştır (Su vd., 2014).

Toprak kirliliği, genel bir tanımla, insan etkinlikleri sonucunda, toprağın fiziksel, kimyasal, biyolojik ve jeolojik yapısının bozulmasıdır. Başka bir tanımla toprak kirliliği, topraktaki kirlleticilerin varlığı nedeniyle toprak üretkenliğinin azalması olarak tanımlanabilir (Mishra vd., 2016). Hatalı tarım teknikleri, gereğinden fazla gübre ile ilaçlarının kullanımı, atıklar, zehirli ve tehlikeli maddelerin toprakta

birikmesi sonucunda toprağın kirlenmesi meydana gelmektedir (Karaca ve Can, 2012). Topraklar hava ve suyun taşımış oldukları kirleticiler tarafından ya da tarımsal uygulamalar ve endüstriyel aktivitelerle de kirlenebilmektedir. Toprak kirliliği boyutlara zaman içinde sürekli büyüyen ciddi bir çevre problemi haline gelmiştir.

Topraktaki kirleticilerin bitki bünyesine ya da çeşitli şekillerde taşınması sonucu su kaynaklarına geçmesiyle canlı sağlığı ve doğayı olumsuz yönde etkilemesi, toprak kirliliğinin ekolojik yaşama olumsuz etkileri açısından önemli görülmektedir.

Toprak kirleticileri makro ve mikro kirleticiler olarak genellikle iki ana grupta sınıflandırılır. Büyük miktarda toprağa bırakılan ya da normal olarak ortamda yer alan makro kirleticiler, küçük ya da iz miktarda katılmış ya da çoğunlukla mevcut olan mikro kirleticilerdir. Şekil 2.3.'de topraktaki kimyasal kirleticilerin ana tipleri verilmiştir.



Şekil 2.3. Topraklardaki Kimyasal Kirleticilerin Ana Tipleri (Türkoğlu, 2006).

Toprak kirleticileri, toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini olumsuz etkileyerek toprağın üretkenliğinin azalmasına neden olurlar. Pestisitler, gübreler, kimyasallar, radyoaktif atıklar, plastikler vb. birçok kirletici toprağın kirlenmesine katkıda bulunurlar

2.4. Ağır Metaller

Yoğunluğu 5 g/cm³'ten büyük olan veya atom ağırlığı 50 ve daha büyük olan elementlere ağır metal denilmektedir. Ağır metaller çevresel bir problemle ilgiliyken genelde "nispeten yüksek yoğunluğa sahip ve düşük konsantrasyonlarda bile toksik veya zehirleyici olan metal" olarak tanımlanmaktadır.

Toksik maddeler, bulundukları ortamda düşük konsantrasyonlarda bile canlı organizmalara zarar verebilecek hatta ölümlerine neden olabilecek potansiyele sahiptirler. Ağır metal olarak adlandırılan Cu, Hg, Ag, As, Be, Mn, Sb, Ni, Cd, Cr, Pb, Se, V, Te, U, Zn gibi elementler eser miktarlarda bile zararlı olabilen önemli bir kirlenici grubu olarak bilinmektedir.

Ağır metaller kirlilik faktörleri olarak tüm canlı ve insan hayatında tehlike ve risk oluşturmaktadır. Ağır metaller, maruziyet dozu, genetik yapı, kişinin bağışıklık direnci ve genel sağlık hali, yaş, beslenme düzeyi gibi faktörlere bağlı olarak insanlarda başta kanser olmak üzere çeşitli hastalıklara sebep olmaktadır (Seven, 2018).

Topraklardaki ağır metallerin doğal konsantrasyonları esas olarak topraklardaki ana materyallerin tip ve kimyasına bağlıdır. Yer kabuğu, bazı sedimentler ve genellikle topraklarda bulunan bazı ağır metallerin ortalama konsantrasyonları Tablo 2.1.'de gösterilmiştir. Tablodan, kadmiyum, kalay ve cıvanın insan aktiviteleri ile toprağa bırakılan en fazla metalik kirleniciler olduğu sonucuna varabiliriz. Topraklardaki kadmiyumun ortalama konsantrasyonu, tabakadaki ortalama konsantrasyonun altı katıdır. Kurşun, cıva ve kalayın topraklardaki konsantrasyonları, yer kabuğundaki ortalama konsantrasyonların iki katına erişir.

Tablo 2.1. Yer kabuğu Tabakası ve Sedimentlerin Element Bileşimleri (Salomons ve Forstner, 1984; Türkoğlu, 2006)

Element	Ana kabuk	Ana sediment	Ortalama ayrışımı	Deniz dibi kil	Sığ su sed.	Nehir suyu sed.	Kum taşı	Kireç taşı	Toprak
Demir	4.1%	4.1%	4.7%	6.5%	6.5%	4.8%	2.9%	1.7%	3.2%
Titanyum	0.6%	0.4%	0.5%	0.5%	0.5%	0.6%	0.4%	0.03%	0.5%
Vanadyum	160	105	130	120	145	170	20	45	108
Krom	100	72	90	90	60	100	35	11	84
Nikel	80	52	68	250	35	90	9	7	34
Çinko	75	95	95	165	92	350	30	20	60
Bakır	50	33	45	250	56	100	30	5.1	26
Kobalt	20	14	19	74	13	20	0.3	0.1	12
Kurşun	14	19	20	80	22	150	10	5.7	29
Kalay	2.2	4.6	6.0	1.5	2	-	0.5	0.5	5.8
Kadmiyum	0.11	0.17	0.22	0.42	-	1	0.05	0.03	0.6
Cıva	0.05	0.19	0.18	0.08	-	-	0.29	16	0.1

Çevresel unsurların kirlenmesinde en büyük etki endüstriyel kaynaklı kirliliğe aittir. Sanayi son yıllarda hızla gelişmekte ve her geçen gün üretim bandında farklı

tesisler yer almaktadır. Sanayinin her alanında farklı prosesler yürütülmekte üretim işlemleri için çok çeşitli sayıda ve yapıda maddelerden yararlanılmaktadır. Bu esnada üretim süreçlerinden kaynaklanan birçok atık ortaya çıkmaktadır. Endüstriyel faaliyetler sonucu oluşan atıkların içerdiği özellikleri nedeniyle gerekli arıtım işlemlerinden geçirilmeden alıcı ortama bırakılmalarının ekosistemi olumsuz yönde etkileyeceği kaçınılmazdır. Özellikle ağır metallerin doğaya yayınımları dikkate alındığında çok çeşitli sektörlerden farklı işlem kademelerinden alıcı ortama geçiş yaptıkları bilinmektedir. Tablo 2.2.'de atık sularında ağır metal bulunduran endüstriler verilmiştir.

Tablo 2.2. Atıksularında Ağır Metal Bulunduran Çeşitli Endüstriler

Sektör / Ağır Metal	Otomotiv	Azotlu Gübre	Fosforlu Gübre	Cam	Çimento	Deri	Metal	Petrol	Plastik Madde	Kağıt	Termik Santral	Çelik	Tekstil
Krom	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+
Siyanür	+						+	+	+			+	
Bakır	+			+			+	+			+		
Nikel	+						+						
Demir	+		+	+			+	+			+	+	
Çinko	+	+		+	+		+	+	+		+	+	
Kalay	+			+								+	
Kurşun	+						+	+					
Kadmiyum	+						+						

Toprak kirliliği açısından ağır metaller en önemli kirleticilerdir. Topraklara karışan ve biriken ağır metaller, mikrobiyal aktiviteye, toprak verimliliğine, biyolojik çeşitlilik ve ürünlerdeki verim kayıplarına, besin zinciri yoluyla sıcakkanlılarda zehirlenmelere kadar canlı sağlığında olumsuz durumların ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Ağır metallerin toprak ekosistemindeki kaynağı toprağın oluşumu sırasında ortaya çıkabileceği gibi atmosferik taşınım, biyolojik arıtım çamurlarının boşaltımı, hayvan dışkıları ile evsel atıklarının uzaklaştırılması gibi prosesler sonucunda da olabilmektedir (Özay, 2013; Seven, 2018). Özellikle bakır, çinko, kadmiyum vb. kimyasalların endüstriyel atıklar yoluyla direkt ya da hava yoluyla (örneğin asit yağmuru) dolaylı olarak toprağa uzanabileceği belirtilmiştir (Mishra, 2016).

Topraklarda ağır metal kirliliği güncel sorunlardan biri olup, özellikle verimli arazileri ve ekolojik yaşamın tüm öğelerini ciddi şekilde tehdit etmektedir (Schicker and Haddar, 1999). Tarımsal işlemler, kentsel altyapı problemleri, endüstriyel

aktiviteler, ulaşım vb. birçok faaliyetten kaynaklanan atıklar ağır metal kirliliğinin kaynakları olarak bilinmektedir.

Bazı çalışmalarda bitkilerde çeşitli miktarlarda bulunabilen ağır metallerin, sınır değerlerin üzerinde çıktığı görülmüştür. Tarım yapılan arazilerde ürün gelişimini ve verimin olumsuz etkilemesinin yanı sıra besin zincirine katılması ve canlı sağlığını tehdit etmesi nedeniyle ağır metal kirliliği önem kazanmaktadır (Güzel, 2006). Topraklarda oluşan ağır metal kirliliğinin, bitkisel üretim ile hayvanlara ve insanlara taşınımı, buna bağlı olarak hayvanlardaki ve insanlardaki birikim konsantrasyonu, toprakların fiziksel, kimyasal ve mineralojik özelliklerinden etkilenmektedir. Topraklardaki besin elementlerinin yanı sıra ağır metallerin toprak kolloidleri tarafından tutulması toprak kolloidlerinin cinsi ve miktarı ile yakından ilişkilidir (Güzel, 2006).

Toprak ortamı içinde ağır metaller gibi birkaç farklı yapıda meydana gelebilirler; absorblanmış olarak iyon değişim bölgelerinde, kristallerin ve kristal olmayan inorganik çökeltilerin yüzeyinde, organik bileşikler tarafından kompleksleştirilmiş biçimde veya toprak çözeltileri içinde bulunabilirler. Bu metallerin hareketleri ve oluşturdukları yapılar birincil derecede toprağın kendi özelliklerinden kaynaklanmaktadır.

Kirletilmiş topraklarda en fazla bulunan ağır metaller, kurşun, civa, arsenik, krom, kadmiyum, bakır ve çinko olarak karşımıza çıkmaktadır. Ağır metallerin bulunduğu topraktan yıkanması ve özellikle üretim tesislerinden kaynaklanan ve arıtılmadan deşarj edilen atık sular, ağır metalleri sucul ortamlarda, yeraltı suyunda ve buna bağlı olarak topraktaki durumunu önemli hale getirmektedir. Toprakta eser elementlerin hareketliliğini ve biyolojik birikimini kontrol eden önemli kimyasal prosesler iyon değişimi, çökme-çözünme, adsorpsiyon-desorpsiyon ve oluşturdukları bileşiklerdir (He vd., 1998; Bakırcıoğlu, 2009). Toprak reaksiyonu bu proseslerin her biri için çok önemlidir (Gobran vd., 1999).

2.4.1. Çinko (Zn)

Çinko (Zn) periyodik cetvelde II-B grubunda yer alan ve tüm bileşiklerinde iki değerlikli olan mavimsi beyaz renkli yumuşak bir metal bir elementtir. Doğada amfoterik olduğundan, Zn formları suda çözünebilen, kloratlar, klorürler, sülfat ve nitratlar şeklindedir. Emilimi toprakta Zn konsantrasyonunu yöneten önemli bir

faktördür ve toprağın pH'ı, kil mineral içeriği, toprak organik maddesi ve toprak tipi gibi faktörler tarafından etkilenir (Önder, 2012).

Zn, kanalizasyon suları, sanayi bölgelerinden bırakılan endüstriyel atıksular, ve asitli yağışların Zn üzerine yapmış olduğu aşındırıcı etki sonucu çevrede konsantrasyonu artan ve toksik düzeylere ulaşan bir iz elementtir. Zn konsantrasyonu toprakta yüksek düzeylerde bulunduğu zaman Zn zehirlenmesi ortaya çıkmaktadır (Önder, 2012). Topraklarda toplam Zn genellikle 10-300 mg/kg, ortalama olarak ise 30-50 mg/Kg arasındadır. Yıkanmanın fazla olduğu bazı asitli topraklar, 10-30 mg/kg gibi düşük düzeylerde Zn içermektedir. Çinko sadece yüksek konsantrasyonlarda toksiktir (Seven vd., 2018)

2.4.2. Kadmiyum (Cd)

Periyodik cetvelin II B grubunda yer alan kadmiyum, gümüş beyazı renkte metal elementtir. Kadmiyum iyi bir elektrik iletkenliğine sahip olması sebebiyle elektro kaplama ve bataryalarda, kolay aşınmaz özelliği sayesinde ise pigment, metal kaplama ve plastiklerde kullanılmaktadır. Kadmiyumun insan vücuduna alımı çoğunlukla gıda yoluyla gerçekleşmektedir. Mantar, kabuklu deniz ürünleri, midye, kakao tozu, kurutulmuş deniz yosunu gibi kadmiyum bakımından zengin olan gıdalar insan vücudundaki kadmiyum miktarını arttırmada oldukça etkilidir. Doğada daha çok kadmiyum sülfür (CdS) biçiminde ve çinko cevherleri arasında bulunur. Kadmiyumun birçok sanayi dalında kullanılması toprak, hava ve suyla gıda maddelerine bulaşma riskini arttırdığı ve bazı gıdalarda yüksek düzeyde kontaminasyona neden olduğu bilinmektedir (Çağlarırnak ve Hepçimen, 2010). Kadmiyum yer kabuğunda 1 mg/kg'dan az miktarda bulunur (Seven vd., 2018). Kadmiyum ağır metaller içinde, suda çözünme özelliği en yüksek olan elementtir. Bu nedenle doğada hızlı yayılım gösterir ve insan yaşamı için gerekli elementlerden değildir. Suda çözünebilir özelliğinden dolayı Cd^{2+} halinde bitki ve deniz canlıları tarafından biyolojik sistemlere alınır ve akümle olma özelliğine sahiptir. Kadmiyum gübre ve pestisitler de bulunduğu için kolayca topraklara karışabilmektedir (Seven vd., 2018).

2.5. Adsorpsiyon

Sıvı yada gaz fazında çözünmüş halde bulunan maddelerin katı bir yüzey üzerinde kimyasal yada fiziksel kuvvetlerle tutulması işlemidir. Kimyasal yapıları farklılık gösteren maddelerde adsorpsiyon özellikleri de farklılık göstermektedir. Prosesin ilerleyişi adsorbat ve adsorbanın birbirleriyle olan davranışlarına ve

oluşturdukları yapının özelliklerine bağlı olmaktadır (Boysan, 2008).

Çoğunlukla adsorbat yüzey üzerinde molekül kalınlığında bir katman oluşturur ve moleküllerin yüzey üzerinde hareket etmeleri fiziksel adsorpsiyonun tersine mümkün değildir. Adsorban üzerinde oluşan katman tamamen kaplandığında, adsorbanın adsorplama doygunluğu da en üst sınıra erişmiş olur. Bu tür adsorpsiyon çok nadir olarak geri dönüşümlüdür (tersinmez). Adsorbe olan maddenin uzaklaştırılması için (rejenerasyon) adsorbanın yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılması gibi işlemler uygulanır.

Adsorbat ile yüzey arasındaki elektriksel çekim ile ortaya çıkan değişim adsorpsiyonu, iyon değişimini de kapsayan bir süreçtir. Proseste önemli olan zıt elektrik yüklerine sahip olan adsorbat ile adsorban yüzeyinin birbirlerini çekmesidir. Küçük çaplı ve elektrik yükü fazla olan iyonların daha iyi adsorbe oldukları bilinmektedir (Sawyer and McCarty, 1978).

2.5.1. Adsorpsiyon İzotermi

Adsorpsiyon izotermi, sıcaklığın sabit tutulması şartlarında adsorbent tarafından adsorplanan madde miktarı ile denge konsantrasyonu arasındaki (gaz adsorpsiyonu durumunda denge basıncı) bağıntıya verilen isimdir. Adsorpsiyon izotermi genellikle; adsorbentın kapasitesi ve adsorpsiyon enerjisi, adsorpsiyonun ne türde olduğu gibi birtakım önemli bilgileri elde etmemizde yardımcı olur (Kertmen, 2006).

Adsorpsiyon bir denge sürecidir, matematiksel olarak adsorpsiyon izotermi ile tanımlanır. Erdös ve Jaeger'ın ortaya çıkardığı genel bir formülü temel alarak birçok araştırmacı farklı izoterm denklemleri geliştirmişlerdir. Freundlich ve Langmuir çalışmalarda en sık kullanılan izoterm denklemleri olarak karşımıza çıkmaktadır.

Freundlich adsorpsiyonu matematiksel modeli aşağıdaki eşitlik ile açıklanmıştır:

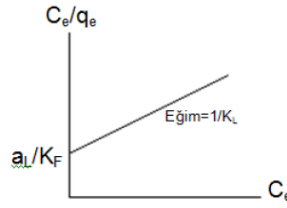
$$q_e = K_F C_e^{1/n} \quad (2.1)$$

Ce: Adsorpsiyon sonrası çözeltide kalan maddenin konsantrasyonu (mg/lt)

qe: Birim adsorban üzerine adsorblanan madde miktarı (mg/kg)

Kf: Deneyel olarak hesaplanır. Adsorpsiyon kapasite katsayısı.

n: Adsorpsiyon yoğunluğu

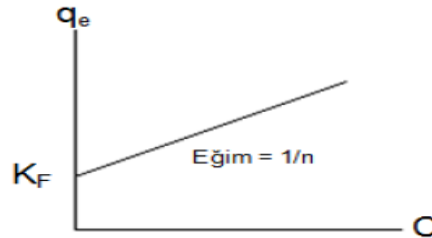


Şekil 2.4. Freundlich İzotermi (Benefield, 1982)

Freundlich izoterm denkleminde yukarıda verilen eşitliğin her iki yanının logaritması alınarak lineer şekle getirilmiş ve aşağıdaki eşitlik elde edilmiş olur.

$$\log q_e = \log K_F + 1/n \log C_e \quad (2.2)$$

K_F ve n sabitleri $\log q_e$ 'nin $\log C_e$ 'ye karşı değişiminin grafik haline getirilmesiyle bulunur. Grafiğin eğiminden $1/n$ elde edilirken, doğrunun y eksenini kesim noktası $\log K_F$ 'yi ifade etmektedir. $1/n$ heterojenite faktörüdür ve 0-1 aralığında değerler alır. Yüzeyin heterojenliği hakkında bilgi $1/n$ değerinin sıfıra yakın olması durumuyla ilişkilidir. Freundlich izotermi, heterojen adsorpsiyon sistemlerinde oldukça iyi sonuç vermektedir.



Şekil 2.5. Langmuir İzotermi (Benefield, 1982)

Langmuir izotermi, tek tabakalı homojen adsorpsiyonu açıklamak için kullanılan matematiksel modeli ifade etmektedir. Matematiksel model, adsorban yüzeyinin enerji açısından benzer olduğu düşünülerek uygulanmaktadır. Birçok kaynakta terimsel ifadelerde farklılık görülmesine rağmen işaret ettikleri sonuç aynıdır. Bu nedenle daha iyi karşılaştırma yapılabilmesi için izotermin iki farklı kavrama göre ifadesi aşağıda verilmiştir.

$$C_e/q_e = 1/K_L + (a_L/K_L)C_e \quad q_e = Q_{\max}a_L C_e / (1 + a_L C_e) \quad q_e = K_L C_e / (1 + a_L C_e) \quad (2.3)$$

C_e : Adsorpsiyon sonrası çözeltide kalan maddenin konsantrasyonu (mg/l).

q_e : Birim adsorban üzerine adsorplanan madde miktarı (mg/kg)

K_L : Adsorbatın adsorptivitesine bağlı olan sabit (lt/kg)

Q_{aL} : Adsorpsiyon enerjisine bağı olan sabit (lt/mg)

Q_{max} (K_L/a_L) tek tabakalı adsorban kapasitesini ifade etmektedir (mg/L). a_L/K_L ve $1/K_L$ sabitleri, C_e/q_e değerinin, C_e değerine göre değişimi grafiğe aktarılmasıyla oluşan doğrunun eğimi ve kesim noktasından hesaplanmaktadır. Maksimum absorplama kapasitesini Q_{max} değeri ile ifade edilmektedir. Tek tabakalı heterojen adsorpsiyon sistemlerinde Langmuir izoterm modeli denge durumunu net olarak değerlendiremez. Adsorpsiyonun elverişliliği R_L (dağılma) sabiti ile ifade edilir. Hesaplanan R_L (dağılma) sabitinin 0 ile 1 arasında değerler alması adsorpsiyonun elverişlilik durumunun sağlandığını gösterir (Başbüyük vd., 2003).

Temkin izoterm modeli, adsorbe olan maddelerin birbiriyle olan ilişkilerini göz önüne alan matematiksel bağıntıdır. Model, çözeltide yer alan tüm moleküllerin adsorpsiyon entalpisi değerlendirilerek geliştirilmiştir.

Temkin izotermini ifade eden denklem Eşitlik 2.4'de gösterilmiştir.

$$q_e = B \ln AT + B \ln C_e \quad (2.4)$$

b: Adsorpsiyon ısıyla ilgili sabit ($J.mol^{-1}$)

B: RT/bT

bT: Temkin izoterm sabitidir.

AT: Denge bağlanma sabitidir ($L g^{-1}$).

T: Mutlak sıcaklık (K).

R: İdeal gaz sabiti ($J mol^{-1} K^{-1}$).

Temkin izoterm modelinde, q_e ye karşı $\ln C_e$ kullanılarak çizilen lineer grafiğin eğim ve kesim noktasından, B ve AT değerleri hesaplanır.

Suda çözünebilen (hidrofilik) maddeler, daha az çözünenlere (hidrofobik) nispeten daha düşük miktarda adsorbe olacaktır. Adsorbatın molekül büyüklüğü, adsorbanın gözenek büyüklüğü adsorpsiyonu etkileyen önemli faktörler olarak sayılmaktadır. Çok bileşenli çözeltiler içerisindeki maddeler, aynı çözücüde birlikte bulunduğu diğer maddeler ile olan adsorbe olma rekabetinden dolayı saf olarak bulunduğu çözeltiliye göre daha az adsorbe olurlar (Sawyer ve McCarthy, 1978).

2.5.2. Adsorplamaya Etki Eden Faktörler

Adsorplamaya etki eden başlıca faktörler, yüzey alanı, adsorbantın yapısı ve

parçacık boyutu, karıştırma hızı, adsorbatın çözünürlüğü ve molekül büyüklüğü, ortamın pH değeri, temas süresi ve sıcaklıktır (Karaboyacı, 2010; Kılıç, 2004).

2.5.2.1. Adsorbantın Yüzey Alanı

Adsorblama yüzeyde ve adsorbantın kanalları arasında gerçekleşen bir olaydır. Bu nedenle maksimum adsorblama miktarı, yüzey alanı ile doğru orantılıdır. Spesifik yüzey alanı, toplam yüzey alanının adsorblamada kullanılabilir kısmı olarak tanımlanır. Bu nedenle belirli ağırlıktaki katı adsorbantın sağlayacağı adsorblama miktarı, katının daha küçük parçalara ayrılmış ve gözenekli hali için daha büyüktür. Dolayısı ile adsorblama miktarı, katı adsorbantın birim yüzey alanı ve çok gözenekli olması ile artış gösterir. Adsorbantın yüzey alanı genişledikçe adsorblanan madde miktarı da artmaktadır (Karaboyacı, 2010).

2.5.2.2. Adsorbantın Parçacık Boyutu

Bir adsorbant parçacığının büyüklüğü, adsorblama hızını etkiler. Yani adsorblama hızı, parçacık boyutu azaldıkça artmaktadır. Sabit boyuttaki parçacıkların adsorblama hızı ve adsorblama oranı belli bir boyut aralığındaki adsorbantın dozajı ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Adsorblama işleminde kullanılan adsorbantın boyutu küçüldükçe, yüzey alanı da artacaktır ve dolayısı ile adsorblama miktarı artacaktır. Adsorblama çalışmalarında kullanılan toz adsorbantın adsorblama hızı, büyük parçalar halindeki adsorbantın adsorblama hızından daha büyüktür (Keskinler, 1994). Adsorpiyon prosesinde küçük boyutlarda parçacıklar kullanıldığında adsorplama miktarında artış olduğu ve pozitif yönde katkı sağladığı görülmüştür (Aktı ve Ünal, 2014).

2.5.2.3. Adsorbat Molekülünün Büyüklüğü

Zeolitler ve killer gibi gözenekli yapıdaki malzemeler için adsorbant boyutu önemli olduğu gibi, adsorbe edilen maddenin boyutu da önemlidir. Adsorbe edilecek olan madde ne kadar küçük boyutluysa o kadar kolay adsorblanabilir. Büyük parçacıkların küçük parçacıklara dönüştürülmesi ya da adsorbantın gözenek çapının büyük olması adsorblamayı elverişli hale getirir.

Adsorblama işlemi saf bir madde için yapılmayacaksa, örneğin farklı büyüklüklere sahip bileşiklerin bir karışımından oluşan herhangi bir sıvı saflaştırılacaksa, sıvının içerisindeki parçacıkların boyutu adsorblamayı etkilemektedir. Büyük boyutlu tanecikler, adsorbantın gözeneklerini tıkayabilir ve

küçük boyutlu taneciklerin bu gözeneklere girişini engelleyebilir. Fakat küçük boyutlu parçacıklar, diğer parçacıklara göre daha hızlı hareket edeceklerinden, büyük boyutlu parçacıkların giremeyeceği gözeneklere girebilmektedirler (Karaboyacı, 2010; Kumar and Parkodi, 2006).

2.5.2.4. Adsorbatın Çözünürlüğü

Adsorblama olayında en önemli faktörlerden birisi de adsorblama dengesini kontrol eden adsorbatın çözünürlüğüdür. Genel olarak bir maddenin adsorblanma miktarıyla bu maddenin adsorblanmasının gerçekleştiği ortamdaki çözünürlüğü ile ters bir ilişki vardır. Çözünürlük ne kadar yüksek olursa adsorbat ve çözelti arasındaki bağ o kadar kuvvetli olmaktadır. Bununla birlikte, adsorblama miktarı da o kadar düşük olmaktadır. Bunun yanında, iyonlaşan moleküller ele alındığında, nötr moleküllerin, yüklü moleküllere göre daha iyi adsorblandığı görülmektedir (Karaboyacı, 2010).

2.5.2.5. pH

Adsorblamayı etkileyen en önemli faktör pH'dır. Adsorblama olayının meydana geldiği çözeltinin pH değeri adsorblama miktarını büyük ölçüde etkilemektedir. Adsorblama işleminin gerçekleşeceği ortamın asidik ya da bazik olması yani, hidrojen (H^+) ve hidroksil (OH^-) iyonlarının kuvvetli bir şekilde yüzeye tutunmalarından dolayı, diğer iyonların adsorblanması, çözeltinin pH değerinden etkilenmektedir. Adsorblama işleminde farklı iyonlar farklı pH değerlerinde adsorbe olabilirler. Belirli bir pH aralığı ya da değerinde bir iyonun adsorpsiyonu en üst seviyeye ulaşırken, aynı iyonun farklı bir adsorban üzerinde tutunması işleminde bu pH değeri genellikle değişmektedir (Orbak, 2009). Örneğin katyonik iyonların yüksek pH değerlerinde adsorbe olmaları beklenirken, anyonik iyonların düşük pH değerlerinde adsorbe olmaları beklenir. Bunun sebebi adsorbant yüzeyinin negatif veya pozitif yüklenmesi ile ilgilidir. pH parametresinin etkisi, adsorblayıcının cinsine, çözeltideki davranışına ve adsorblanan iyonların cinsine göre değişmektedir (Tchobanoglous, 1991).

2.5.2.6. Sıcaklık

Adsorblama işlemi, sıcaklığa bağlı olarak endotermik veya ekzotermik olarak değişir. Genel itibariyle sıcaklık arttıkça reaksiyon hızının da arttığı bilinmektedir. Adsorblama işleminde de sıcaklık önemli bir kriter olup, adsorblama hızını ve miktarını etkilemektedir. Sabit basınç altında gerçekleşen bir reaksiyonun entalpi değişimi (ΔH^0), sistemin adsorbladığı ısıya eşittir. Reaksiyon oluşurken reaksiyona

girenler ısı adsorbluyorsa, ΔH^0 pozitifdir ve reaksiyon endotermiktir. Adsorblamanın Gibbs serbest enerjisi aşağıdaki eşitlik ile belirlenir. Normal şartlar altında, sabit sıcaklıkta yapılmış bir adsorblama deneyinde gerçekleşen entropi değişimi (ΔS^0), Gibbs serbest enerjisi ile aşağıda gösterildiği gibi bağlıdır (Karaboyacı, 2010; Yadava, 1991).

$$\Delta G^0 = -RT \ln(K) \quad (2.5)$$

$$\Delta G^0 = \Delta H^0 - T\Delta S^0 \quad (2.6)$$

Burada,

ΔG^0 = Serbest enerji değişimi (kJ/mol)

ΔH^0 = Entalpi değişimi (kJ/mol)

ΔS^0 = Entropi değişimi (kJ/mol K)

T = Mutlak sıcaklık (Kelvin)

R: Gaz sabiti (8,314 J/mol K)

K: Denge sabiti

Negatif ΔG^0 değerleri adsorblamanın doğal olarak kendi kendine gerçekleştiğini ifade etmektedir. Pozitif ΔG^0 değerleri ise, bunun tersine, reaksiyonun gerçekleşmesi için dışarıdan ısı verilmesi gerektiğini gösterir. Diğer bir deyişle adsorblama işleminin uygulanabilirliği entalpi ve Gibbs serbest enerjisinin negatif olması ile anlaşılabilir.

2.5.2.7. Karıştırma Hızı

Adsorblama hızı, adsorblama işleminin gerçekleştiği ortamın karışma hızına bağlı olarak değişmektedir. Adsorblama hızı, çözelti içinde hareket eden veya yayılan moleküllerin hızına ve adsorbantın gözeneklerine ulaşabilen moleküllerin hızına bağlıdır. Adsorblama sırasında çözelti içerisindeki adsorbant ve adsorbat moleküllerin sabit durması çökmeye yol açabilir ve adsorblama hızını ve miktarını azaltabilir. Yüksek hızda ve devamlı olarak karıştırılan çözeltinin içerisindeki moleküllerin adsorbantın yüzeyine temas etme oranı daha fazla ve gözeneklerine girme olasılığı daha yüksektir (Karaboyacı, 2010).

2.5.2.8. Temas Süresi

Adsorblama çalışmalarında adsorblama hızına ve miktarına etki eden en önemli etkenlerden birisi de temas süresidir. Adsorblama ile temas süresi ilişkisi ele

alındığında başlangıçta mevcut olan yüksek yüzey alanı sonucunda adsorblama miktarında bir artış beklenmektedir. Süre ilerledikçe azalan yüzey nedeniyle yani adsorbat miktarının azalmasına bağlı olarak adsorblama oranının düşmeye başlaması gerekmektedir. Doygunluk değerine ulaşılmasıyla birlikte adsorblama dış yüzey yerine adsorbantın gözeneklerinde gerçekleşmekte ve iç yüzey alanının daha az olması nedeniyle, artan temas süresi, adsorblamanın azalmasına yol açmaktadır. Gözeneksiz olan adsorbantlarda denge noktasına kısa bir sürede ulaşılmakta ve adsorblama hızı zamanla hızla düşmektedir. Gözenek boyutu büyük ya da çok olan adsorbantlarda ise, denge noktasına daha geç ulaşılmaktadır (Karaboyacı, 2010).

2.5.2.9. Başlangıç Adsorbat Derişimi

Adsorblama miktarı ve hızı çözeltinin içerisinde bulunan adsorbatın derişimine bağlı olarak değişecektir. Değişik derişim değerlerinde birim hacimdeki adsorbat miktarı değişeceği için buna bağlı olarak, adsorbant tarafından adsorblanan molekül miktarı da değişecektir. Adsorblama ilerledikçe çözelti içerisindeki adsorbat miktarı azalacağından, adsorblamanın da yavaşlanması beklenmelidir. Farklı adsorbant ve adsorbatlar kullanıldığında başlangıç derişiminin etkisi de değişmektedir.

2.6. Adsorpsiyon Kinetikleri

Adsorpsiyon kinetiğinin oluşturulması ile etkin adsorbat-adsorban temas süresi yani alıkoyma süresi bulunur. Kinetik, adsorpsiyon işleminin hızına etki eden adsorpsiyon basamaklarının anlaşılması için önemli bir adımdır. Adsorpsiyon kinetikleri dört ana modelde açıklanmıştır.

2.6.1. Yalancı Birinci ve İkinci Derece Reaksiyon Kinetiği Modeli

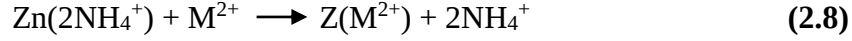
Lagergren yalancı birinci dereceden kinetik modeli biyosorpsiyon mekanizmasını açıklamada yetersiz kaldığında, yalancı ikinci dereceden kinetik modelinden yararlanılmaktadır. Bu kinetik modele göre biyosorpsiyonun hız belirleyici basamağında, biyosorban ile biyosorplanan arasında kimyasal bir etkileşim olmaktadır.

$$\log(q_e - q_t) = \log(q_e) - (k_1/2,303)t \quad (2.7)$$

Burada, q_e ; denge anında adsorbentin gramı başına adsorplanan madde miktarı (mg/g), q_t ; herhangi bir anda adsorbentin gramı başına adsorplanan madde miktarı (mg/g), k_1 hız sabiti (dk^{-1}), t ise temas süresidir. Hız sabiti $\log(q_e - q_t)$ 'nin t 'ye karşı

Çizilen grafiğinin eğiminden hesaplanır.

Zeolit üzerinde çözeltideki iki değerklikli metalik iyonlarla amonyum iyonlarının değışim reaksiyonunu aşığıdaki gibi ifade etmişlerdir



Zeolit üzerinde NH₄-N iyonlarının değışim miktarı Z(NH₄) ve Z(M²⁺) değışimiyle gösterilirken, M²⁺ ve NH₄ konsantrasyonları ise (meq/l) olarak ifade edilmiştir. Olayda ilk saatler içerisinde metalik konsantrasyonun çok az değıştiğı varsayılmıştır. Katının kapasitesine bağı ikinci düzen oranının tanımlanması atık suda iki değerklikli metal iyonlarının adsorpsiyonunun kinetikleri için sunulmuştur. İkinci derece reaksiyon kinetiğı modeli su şekilde ifade edilmiştir:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k \cdot q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (2.9)$$

q_e : Birim adsorban ağırlığı başına adsorplanan adsorbat miktarı (mg/g)

q_t : Herhangi bir zamanda adsorbanın yüzeyi üzerinde iki değerklikli metal iyonlarının miktarı (mg/g)

k : Adsorpsiyon hız sabiti (g/mg.dk).

t : Temas süresi (dk).

t/q_t 'ye karşılık t çizilirse kayma miktarı $1/k \cdot q_e^2$, eğim ise $1/q_e$ olur. İkinci derece reaksiyon kinetiğı modeli son zamanlarda sulu çözeltilerden sorpsiyon kinetiklerinin analizi için uygulanan bir modeldir.

2.6.2. Elovich Modeli

Katılar üzerinde gazın kemisorpsiyonunun kinetiklerini tanımlamak için yaygın olarak kullanılan denklem olan Elovich, kinetik eğrisiyle uzanan sınırlandırılmış özelliklerini anlatmak için de kullanılmaktadır. Elovich denklemi, Elovich kinetik denklemlerinden türetilmiştir:

$$q_t = \beta \cdot \ln(\alpha) + \beta \cdot \ln(t) \quad (2.10)$$

q_t : t zamanı süresince adsorplanan gaz miktarı (mg/g)

t : Temas süresi (dk).

α : Elovich modeli için adsorpsiyon hız sabiti (mg/g.dk).

2.6.3. Partikül İçi Difüzyon Modeli

Partikül İçi Difüzyon Modeli Partikül içi difüzyon modeli Weber ve Morris (1963) tarafından geliştirilmiştir. Aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$q_t = k_i \cdot t^{1/2} + C \quad (2.11)$$

Buradaki partikül içi difüzyon hız sabiti ($\text{mg}/(\text{g} \cdot \text{dk}^{0,5})$), C adsorbent ile adsorbat arasında oluşan tabakanın kalınlığı hakkında bilgi veren bir sabittir. Hız sabiti k_i , q_t 'nin $t^{1/2}$ 'ye karşı çizilen grafiğin eğiminden hesaplanır. C ise kesişim değerine eşittir. Deneylerden elde edilen veriler grafikler yardımıyla değerlendirilerek adsorpsiyona en uygun izoterm ve adsorpsiyon hızının derecesi bulunur

2.7. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)

Coğrafi bilgi sistemleri, mekana ait verilerin toplandığı, istendiği zaman bilgiye ulaşıldığı, uzaysal bilgiyi görüntüleyebilen, grafik ve nitelik bilgileri birlikte ve eş zamanlı olarak ilişkilendiren, sorgulayan, analiz eden, farklı bilgi kaynaklarından gelen verileri entegre ederek yönetim, planlama ve analiz problemlerinin çözümüne katkıda bulunan, bilgi alışverişinde standardizasyonu, harita ve tabloların kombinasyonunu sağlayan bilgisayar destekli sistemler topluluğudur. Beşeri olaylar yanında doğal ortam özellikleri (jeolojik, jeomorfolojik, iklim, toprak, bitki örtüsü vs.) coğrafyanın insanla ilgili yaklaşımları, mevcut araziden faydalanma, düzenleme ve planlama faaliyetleri, zaman içindeki değişimlerin takibi, tespiti, güncelleştirme, karşılaştırma, çakıştırma, temin edilen bilgilerin saklanması, analiz edilmesi ve sayısal ifadeler ile somut sonuçlara ulaşılması Coğrafi Bilgi Sistemleri metodolojisinin kapsamı içindeki yeteneklerdendir (Turoğlu, 2000; Yiğit vd., 2011).

CBS'nin kavramsal anlamda ilk ortaya çıkışı, 1963 yılında Roger Tomlinson liderliğinde başlatılan ve Kanada'nın ulusal arazilerinin özelliklerine göre tespitine yönelik olarak geliştirilen Kanada CBS projesiyle olmuştur (Yomralıoğlu, 2002; Yiğit vd., 2011). Kullanım alanı ve işlevi bugünkü yetenekleri ile kıyaslanamayacak ölçüde kısıtlı olan CBS, o günden sonra bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere (bilgisayar haritacılığı, veri tabanı, uzaktan algılama, veri işleme gibi alanlardaki gelişmelere) paralel bir şekilde gelişerek kamu kurumları ve özel sektörde mekânsal analizler için yaygın olarak kullanılan profesyonel bir bilgisayar sistemine dönüşmüştür. Günümüze kadar geçen sürede kullanım alanları gittikçe çeşitlenen ve yaygınlaşan CBS kendi içinde de kavram, içerik ve işlev olarak değişimler geçirmiştir. Bu gelişmeler ışığında

CBS günümüzde diğer mekânsal teknolojiler olan Uzaktan Algılama ve Küresel Konumlandırma Sistemlerini de içinde barındıran ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) olarak adlandırılan ayrı bir disiplin altında değerlendirilmektedir. Coğrafya, Matematik, Bilgisayar, Jeodezi ve Fotogrametri gibi bilim dallarının prensiplerine dayalı olarak işlevini yürüten CBS, günümüzde coğrafya, çevre bilimleri, ormancılık, arazi kullanımı, bölge planlama, güvenlik, sağlık ve tarım başta olmak üzere çok çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Demirci, 2007; Yiğit vd., 2011).

CBS ile çalışmak için coğrafi nesneler hakkında iki temel bilgi gerekir: nesnenin geometrik/konum bilgisi, nesnenin özniteliği veya onu karakterize etmeyi sağlayan açıklayıcı bilgiler. Konum bilgilerini, öznitelik bilgilerine bağlama hizmeti veren özgün bir tanımlayıcı ile bu bilginin iki tipi CBS'ye girdi verisi olarak girilir. CBS'nin planlanması safhasında, tanımlayıcının özgünlüğü kesinleştirilmelidir. Aksi durumda çoklu ve özgün olmayan tanımlayıcılar, doğru olmayan ve yanıltıcı sonuçlar verecektir (Shariff and Rashid, 2006).

Çevre problemlerinin analiz edilmesi ve çözümlenmesinde bilgisayar teknolojisinin kullanılması son zamanlarda yaygınlaşmıştır. Problemlerin analiz, modelleme ve farklı senaryoları değerlendirebilme imkânı sunan programlar, karar vericiler için bir destek mekanizması haline gelmiştir (Nas ve Berktaş, 2001).

Coğrafi Bilgi Sistemleri, birçok problemin hızlı ve etkili bir şekilde çözülmesinde önemli bir araç haline gelmiştir. Coğrafi bilgi sistemlerinin çevre problemlerinin çözümünde kullanımı, en güçlü ve en başarılı uygulama alanlarından biridir (Nas ve Berktaş, 2002). Environmental Protection Agency (EPA), 1987 yılında Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemi Programını kurmuş, CBS'nin çevre problemlerinin çözümünde kullanımı ile ilgili olarak 1994 ve 1999 yıllarında iki ulusal konferans düzenlemiştir. Çevre problemlerinin tanımlanmasında, değerlendirilmesinde ve çözümünde CBS'nin nasıl kullanılabileceği tartışılmıştır (Nas ve Berktaş, 2002).

Coğrafi Bilgi Sistemi, konumsal olan ve olmayan verileri ilişkili bir biçimde içinde bulunduran, aynı zamanda konumsal verilerin birbirleri ile topolojik ilişkilerini kuran ve geometrik bir ağa dönüştürerek birçok farklı analiz imkânı sunan bir modeldir (Ünverdi ve Şişman, 2021).

Çok ve değişik türdeki verilerin yönetilmesinde kullanılan, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), klasik arşivleme, değerlendirme süreçlerinde önemli bir araç olarak

karşımıza çıkmaktadır. Birçok dalda uygulama alanları bulunan Coğrafi Bilgi Sistemleri, çevresel verilerin toplanmasında, yönetilmesinde, sorgulanmasında ve çözümlenmesinde doğru kararlar vermede kullanılan etkili bir araçtır (Gündoğdu vd., 2007).

Coğrafi Bilgi Sistemleri ile birlikte, veri toplama aşamasında zaman kaybı olmadan büyük alanlardan elde edilen verilerin değişkenlikleri hakkında hızlı ve etkili bir şekilde sonuç alınabilmektedir. Bunun dışında, değişken parametrelerin yüzeysel dağılımlarının belirlenmesi ve bunlarla ilgili daha iyi karar verilebilmesi için CBS ve jeoistatistik yöntemleri birlikte kullanılabilir. Özellikle son yıllarda geliştirilen CBS yazılımlarına jeoistatistik yöntemlerinin entegre edilmesi sayesinde taban suyu tuzluluğu, derinliği ve toprak tuzluluğunun değişimi gibi birçok çalışmada CBS ve jeoistatistik yöntemlerinin birlikte kullanılması mümkün olmuştur (Cemek vd., 2006). Birçok tarımsal uygulama ve planlamalarda CBS, verilerin değerlendirilmesinde, güncelleştirilmesinde, haritalanmasında ve takibinde kolaylık sağlamaktadır. Uzaktan algılama ile elde edilen veriler çalışılan alan hakkında düzenli bilgiler sağlar. Bu bilgiler düşünsel değil bizzat çalışma alanındaki ölçümlere dayanmaktadır. Böylece zamansal değişimlerin tespiti ve karşılaştırılması sağlanır. Geniş alanları bir anda algılama imkânı veren uydu verileri aynı zamanda CBS ortamına aktarılarak verilerin analizi, güncelleştirilmesi ve diğer verilerle birleştirilmesine olanak verir (Aydoğdu vd., 2009). Toprak bilgi sistemleri toprakla ilişkili olan tüm disiplinler için önemli bir bilgi kaynağı olmaktadır. Ancak basılı haritaların yorumlanması hayli zor olmakta, konumsal verilerle oluşturulan ve sayısal veri tabanlarına sahip bilgi sistemleri ortamındaki haritaların yorumlanması ise kolay olmaktadır.

2.8. Literatür Özeti

Tayland'ın kuzeydoğu kısmından toplanan 15 adet toprak örneğinde Cu, Ni ve Z'nin davranışları üzerine çalışılmış ve ilgili metallerin temas süresi, sıcaklık etkisi ve adsorpsiyon izotermi incelenmiştir. Araştırmacılar tüm topraklar için Cu, Ni ve Zn adsorpsiyonu denge süresinin 6-12 saat aralığında tayin etmişlerdir. Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izotermi 24 saatlik denge süresi sonunda tüm topraklar için ($R^2 = 0,95$)'in üzerinde uygunluk gösterdiğini bildirmişlerdir. Freundlich izotermi için $R^2 = 0,9111-0,9989$ arasında değerler alırken, Langmuir izotermi için $R^2 = 0,9408-0,9995$ arasında değerler aldığını bildirmişlerdir (Sangiumsak and Punrattanasin, 2014).

Bir başka çalışmada Nijerya’da yol kenarından alınan toprak örneklerinde ağır metal konsantrasyonları tayin edilmiştir. Yağışlı ve yağışsız mevsimlerde alınan toprak örneklerinin sindirimleri $\text{HNO}_3 - \text{HCl} - \text{HF}$ kombinasyonu kullanarak yapmış ve ağır metal içerikleri belirlenmiştir. Toprak örneklerinin yağışlı mevsim için Cu konsantrasyonu 0,99-23,72 $\mu\text{g/g}$, Cd konsantrasyonu 0,54-7,02 $\mu\text{g/g}$, Zn konsantrasyonu 33,84-131,06 $\mu\text{g/g}$ arasında, yağışsız mevsimler için Cu konsantrasyonu 14,86-29,30 $\mu\text{g/g}$, Cd konsantrasyonu 0,14-7,00 $\mu\text{g/g}$, Zn konsantrasyonu 81,60-202,40 $\mu\text{g/g}$ arasında tayin edilmiştir. Araştırmacılar toprak örneklerinin pH değerlerini yağışlı mevsim için 6,82-7,47 yağışsız mevsim için 6,34-7,12 arasında olduğunu, %organik madde değerlerinin ise yağışlı sezon için 5,01-6,94 yağışsız mevsim için 5,94-7,42 olduğunu bildirmişlerdir (Yahaya vd., 2010).

Çinin kuzeydoğusunda orta derecede kirlenmiş tarım arazilerinde Pb, Cd ve Cr(VI)’nın topraktan yeraltı suyuna potansiyel hareketliliği incelenen çalışmalarda üç noktadan alınan toprak örneklerinde kolon çalışmaları yapılmıştır. Cr(VI) için doğrusal adsorpsiyon izoterminde uygunluk, Pb ve Cd adsorpsiyon çalışmalarının Freundlich ve Langmuir izotermine iyi uyum sağladığını bildirmişlerdir (Dong vd., 2009).

Uygun vd. (2017) farklı topraklarda ağır metallerin adsorpsiyonunu Türkiye’nin 7 farklı şehirden aldıkları 36 toprak örneğiyle Zn, Cu, Ni ve Cd için incelemişler ve adsorpsiyon izotermiyle değerlendirmişlerdir. Cu adsorpsiyonunu açıklamada çoğu durumda Langmuir izoterminin yetersiz kaldığını bildiren araştırmacılar genel anlamda Langmuir ve Freundlich izoterminin ağır metallerin adsorpsiyonun açıklamada tüm örnekler için başarılı olduğunu, Freundlich izoterminin Langmuir izotermine göre daha uyumlu olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar toprak örneklerinin Zn konsantrasyonunu 28,00-471,3 mg/kg, Cu konsantrasyonunu 12,00-59,80 mg/kg, Cd konsantrasyonunun 0,40-11,40 mg/kg, Ni konsantrasyonunun 18.70-298.3 mg/kg arasında değerler aldığını, pH değerlerinin 4,71-9,91, % organik madde 0,25-17,40 arasında değerler aldığını bildirmişlerdir.

Farklı kireç ve tekstür yapılarına sahip topraklarda Zn adsorpsiyon davranışlarını inceleyen çalışmada Freundlich ve Langmuir izoterm modelleri kullanarak adsorpsiyon kapasitesi araştırılmıştır. Araştırmacılar Punjab bölgesinden aldıkları 10 adet toprak örneği üzerinde çalışmış Freundlich ve Langmuir izotermine Zn adsorpsiyon verilerini açıklamada uygun olduklarını belirtmişlerdir.

Örneklerin langmuir izotermine ait R^2 değerleri 0,87-0,95, freundlich izotermine ait R^2 değerleri 0,96-0,98 arasında belirtilmiştir. Araştırmacılar 5 farklı tekstür yapısına sahip toprak örneklerinin pH değerlerinin 7,8-8,4, % OM. 0,39-0,74, %CaCO₃ içeriklerinin ise 4,46-10,6 arasında değerler aldığını tayin etmişlerdir (Ashraf vd., 2008).

Kerman bölgesi maden sahalarından alınan 2 farklı toprak örneğinde yapılan çalışmada SA ve SE olarak adlandırılan örneklerin pH değerlerini sırasıyla 8.03 ve 7,04, KDK değerlerini 4,21 ve 6,30 meq/100g, % organik madde değerlerini 0,33 ve 0,29 olarak tayin etmişlerdir. Adsorpsiyon çalışmaları Langmuir, Freundlich ve Temkin izotermiyle değerlendirilmiş SA istasyonu için Langmuir izotermi $R^2 = 0,99$, Freundlich izotermi için $R^2 = 0,98$, Temkin izotermi için $R^2 = 0,98$ olarak, SE örneği için Langmuir izotermi $R^2 = 0,99$, Freundlich izotermi için $R^2 = 0,98$, Temkin izotermi için $R^2 = 0,97$ olarak belirtilmiştir. Araştırmacılar Yalancı I. Derece ve Yalancı II. Derece kinetik modellerinin adsorpsiyona uygunluğunu incelemişler ve SA örneği için Yalancı I. Derece kinetik modelinde $R^2 = 0,75$ SE örneği için $R^2 = 0,61$, Yalancı II. Derece kinetik modelinde SA örneği için $R^2 = 0,99$ SE örneği için $R^2 = 0,99$ olduğunu belirtmişlerdir (Jalayeri vd., 2015).

Ülgen ve Yurtseven (1995), tarafından yapılan sınıflandırmaya göre toprak örneklerinin pH değerleri açısından çoğunlukla hafif asit, nötr ve hafif alkali sınıflarına dahil olduğu görülmektedir. Toprak örneklerinin % organik madde içerikleri ve %CaCO₃ içerikleri de aynı araştırmacılar tarafında yapılan sınıflandırmaya göre sırasıyla az ve orta sınıfa sahip organik madde içeriklerine sahipken, %CaCO₃ değeri açısından az kireçli, kireçli ve orta kireçli sınıfa sahip olduğu görülmektedir.

Araştırmacılar Orta ve Doğu Karadeniz bölgesi tarım toprakları üzerine yaptıkları çalışmada bölge topraklarının organik madde düzeyi açısından orta, iyi, yüksek düzeyde, pH değerleri açısından 4,5-8,5 değerleri arasında değişken şekilde, büyük çoğunluğunun ise (%61.15) az kireçli olduğunu bildirmişlerdir (Özyazıcı vd., 2016).

Artvin ve Rize bölgesinden alınan topraklar üzerinde yapılan çalışmada araştırmacılar pH değerlerini 2.80 ile 5.97 değerleri arasında, %organik madde içeriklerini Artvin için 2.45-10.68, Rize için 0.66-14.91 değerleri arasında olduğu belirtmişlerdir (Özyazıcı vd., 2010).

Kars ve Ekberli (2019) arşamba ovası buğday bitkisi altındaki topraklar üzerine yaptıkları araştırmada bölgeden alınan toprak örneklerinin pH içeriklerinin 6.57-7.97, % Organik Madde içeriklerinin 0.60-4.73, % CaCO₃ içeriklerinin 0.41-13.86, KDK değerlerini ise 4.06-65.00 arasında tayin etmişlerdir.

Kars ve Ekberli (2019), arşamba ovası işlenmiş topraklar üzerine yaptıkları araştırmada bölgeden alınan toprak örneklerinin pH içeriklerinin 5.32-7.97, % Org. Mad. İçeriklerinin 0.81-4.16, % CaCO₃ içeriklerinin 0.47-7.04, KDK değerlerini ise 7.79-79.35 arasında tayin etmişlerdir.

İstanbul bölgesindeki topraklarda ağır metal kirliliğini belirleme üzerine yapılan çalışmalarda HNO₃ - H₂O₂ - HF asit kombinasyonunu kullanarak toprakta ağır metal belirlmesi yapılmıştır (Özbek vd., 2011).

Araştırmacılar Eskişehir kent merkezindeki topraklarda ağır metal kirliliğini belirlemek üzere yaptıkları çalışmalarında sadece HNO₃ (EPA 3051) kullanarak toprakları sindirmiş ve ağır metal belirlmesi yapmışlardır (Banar vd., 2010).

3. MATERYAL - METHOD

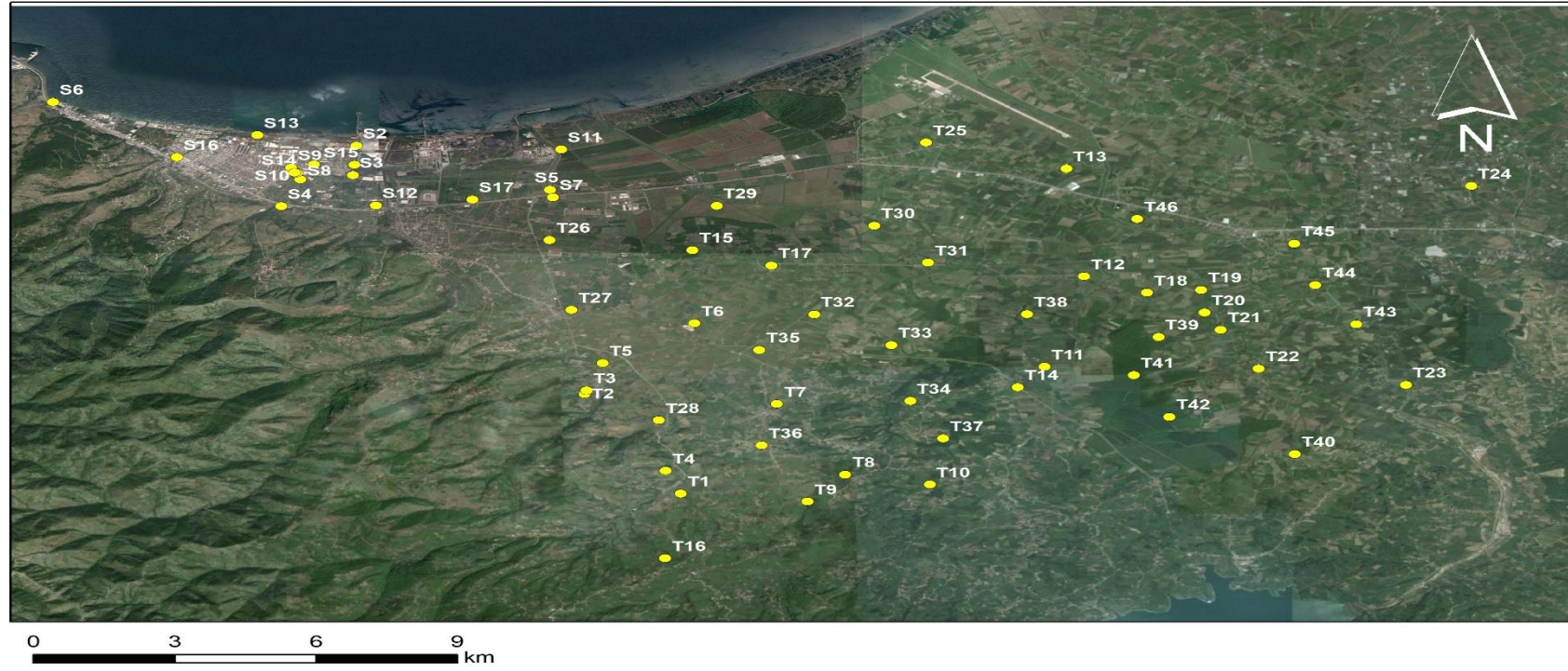
3.1. Araştırma Alanı

Samsun - Trabzon karayolunun 13 km.'sinden güneye doğru 1 km. içeride yer alan Tekkeköy Samsun iline bağlı bir ilçedir. Tekkeköy deresinin kıyı ovasına açıldığı kesimde kurulmuştur. İlçe topraklarının üçte birini Çarşamba ovasının devamı oluşturur. İlçenin doğusunda ve güneyinde Çarşamba, batısında Samsun Merkez, Kuzeyinde Karadeniz, Güney batısında Asarcık yer almaktadır. Tekkeköy ilçesi 37 derece doğu 35 derece batı boylamları ile 41 derece kuzey ve 40 derece güney enlemleri arasında yer almaktadır. İlçenin doğusunda Çarşamba ilçesi batısında Samsun ili güneyinde Asarcık ve Kavak ilçeleri olup kuzeyinde Karadeniz bulunmaktadır. Samsun'a 16 km uzaklıkta olup Yeşilırmak deltasının batısında verimli bir ovada yer almaktadır. Çalışmanın yapılacağı Tekkeköy ilçesi sınırları içerisinde sanayi tesisleri ve tarım arazileri birbirine yakın konumda yer almaktadırlar. Bölge içinde gübre, enerji vb. konularında faaliyet gösteren büyük tesislerin yanı sıra orta ve küçük ölçekli birçok sanayi tesisi ve organize sanayi bölgeleri bulunmaktadır. Bu durum bölgeyi endüstriyel çevresel kirliliğin incelenmesi açısından oldukça önemli kılmaktadır. Araştırma alanının fiziki görüntüsü Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Araştırma Alanının Fiziki Uydu Görüntüsü

2010 ve 2011 yıllarında 63 noktadan alınan örneklere ait koordinat verileri Tablo 3.1'de, örnekleme noktalarının yerleri ise Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2. Örnekleme Noktalarının Uydu Görüntüsü([google.com/maps](https://www.google.com/maps))

Tablo 3.1. Toprak Örneklerine Ait Koordinatlar

Toprak No	Koordinat	
	D	K
T1	36,506195	41,143760
T2	36,487656	41,171418
T3	36,487999	41,172452
T4	36,503105	41,149448
T5	36,491089	41,180204
T6	36,508598	41,191573
T7	36,524391	41,168575
T8	36,537437	41,148414
T9	36,530228	41,140721
T10	36,553574	41,145553
T11	36,575546	41,179171
T12	36,583099	41,205006
T13	36,579666	41,235737
T14	36,570380	41,173370
T15	36,508255	41,212496
T16	36,302972	41,124499
T17	36,523361	41,208106
T18	36,595116	41,200356
T19	36,605415	41,201131
T20	36,606102	41,194673
T21	36,609192	41,189764
T22	36,616402	41,178654
T23	36,644554	41,174003
T24	36,568680	41,230831
T25	36,552887	41,243223
T26	36,480983	41,215396
T27	36,485105	41,195403
T28	36,501855	41,163929
T29	36,512857	41,225148
T30	36,543015	41,219497
T31	36,553228	41,208901
T32	36,531491	41,194141
T33	36,546234	41,185384
T33	36,549849	41,169404
T35	36,521015	41,183986
T36	36,521518	41,156727
T37	36,556131	41,158682
T38	36,572167	41,194180
T39	36,597280	41,187673
T39	36,623287	41,154267
T40	36,592581	41,176835
T42	36,599400	41,164867
T43	36,635018	41,191355
T44	36,627203	41,202539
T44	36,623209	41,214357
T46	36,593202	41,221415
S1	36,435895	41,236992
S2	36,443999	41,242302
S3	36,443352	41,233927
S4	36,429680	41,225039
S5	36,481061	41,229720
S6	36,386069	41,254807
S7	36,481589	41,227616
S8	36,433348	41,232663
S9	36,431599	41,236063
S10	36,432638	41,234553

Tablo 3.1. (Devam)

Toprak No	Koordinat	
	D	K
S11	36,483158	41,241241
S12	36,447806	41,225255
S13	36,425107	41,245364
S14	36,432204	41,234658
S15	36,409714	41,239000
S16	36,466238	41,226938
S17	36,443773	41,236686

Örnekleme noktalarının coğrafik referansları Küresel Konumlama Sistemi (GPS) kullanılarak belirlenmiştir.

3.2. Toprak Örneklerinin Alınması ve Analize Hazırlanması

Araştırma sahasından toplanan toprak örnekleri, yüzeyden 0-15 cm toprak derinliğinden alınarak polietilen torbalarda laboratuvara getirilmiştir (Jackson, 1962). Toprak örnekleri gölgede kurutulmuş, dövülmüş ve 2 mm'lik bir elekten geçirilerek analize hazır hale getirilmiştir.

3.3. Toprak Örneklerinde Yapılan Bazı Fiziksel ve Kimyasal Analizler

Toprak örneklerinin dane dağılımları pH'ları, organik madde içerikleri, katyon değişim kapasiteleri ve % CaCO_3 içerikleri aşağıda belirtilen yöntemlerle saptanmıştır.

3.3.1. Mekanik Analiz (Tekstür)

Örnekler ait kum, silt ve kil oranları, yüzde (%) olarak hidrometre (Bouyoucos hidrometre) yöntemi kullanılarak tayin edilmiştir (Bouyoucos, 1951; Demiralay, 1993).

3.3.2. Toprak Reaksiyonu

Toprak reaksiyonu, toprak saturasyonunda potansiyometrik olarak pH metre ile tayin edilmiştir (Sağlam, 1978). 5 gr tartım yapılan toprak örnekleri 1: 2.5 toprak-su süspansiyonunda yaklaşık 24 saat bekletildikten sonra cam elektrotlu pH-metre ile ölçülmüştür.

3.3.3. Kireç İçeriği (CaCO_3)

Toprakların kireç içerikleri, volümetrik olarak belirlenen karbondioksit gazı hacminden hesaplanarak, Scheibler kalsimetresi tayin edilmiştir (Hızalan ve Ünal, 1966). Kapalı sistemde asitle karıştırılan 1 gr toprak örneğinden CaCO_3 'ün parçalanması sonucu açığa çıkan karbondioksitin (CO_2) sıcaklık ve basıncın standart

olduğu şartlardaki hacmi esas alınarak tayin edilmiştir.

3.3.4. Organik Madde

Toprakların organik madde içerikleri, “Walkey-Black” yaş yakma yöntemi izlenerek belirlenmiş, tartılan 1 gr toprak örneğinde organik maddenin 1N K₂Cr₂O₇ ve H₂SO₄ ile oksitlenmesi sonucu 0.5 N FeSO₄.7H₂O ile titrimetrik olarak belirlenmiştir. Organik madde kapsamı ağırlık oranı (%) olarak ifade edilmiştir (Bayraklı, 1987).

3.3.5. Katyon Değişim Kapasitesi

5 gr toprak 0.5 M amonyum asetat çözeltisi ile yıkanmıştır. NH₄⁺ iyonu ile reaksiyona sokularak değişebilir katyonlarla yer değiştirmesi sağlanmıştır. Daha sonra toprak tarafından tutulan amonyum miktarı destilasyon yöntemi ile tayin edilmiştir ve bu değer KDK ve toprakta fiske olmuş diğer katyonların miktarı olarak değerlendirilmiştir (Bayraklı, 1987).

3.3.6. % Nem Tayini

Toprakların % nem içerikleri 5 gr toprak örneğinin 105 °C’de fırında bırakılmasıyla oluşan ağırlık yitmesinden hesaplanmıştır (Kacar, 2009).

3.3.7. Ağır Metal Tayini

Topraklara ait ağır metal içerikleri (Zn, Cd) Perkin Elmer marka ICP cihazıyla ölçülmüştür. Ağır metal ölçümleri yapılmadan önce örnekler kral suyu (3:1 HNO₃-HCl) kullanılarak CEM Mars 5 Mikrodalga cihazıyla sindirilmiştir. Sindirim yapılmadan önce bir toprak üzerinde farklı sindirim metotları uygulanmış en fazla metal geri alımının elde edildiği metot (EPA 3051A) sindirim metodu olarak seçilmiştir.

3.4. Haritalama yöntemi

CBS yazılımlarında farklı enterpolasyon metodları ile raster yüzey oluşturma yöntemleri vardır. Başlıcaları; IDW (Inverse Distance Weighted), Spline ve Kriging enterpolasyon yöntemleri olarak sıralanabilir. Enterpolasyon yöntemleri, değerleri bilinmeyen noktaları en doğru bir şekilde tahmin etmek-üretmek için tahmin konumunu çevreleyen ölçülen değerleri kullanılmaktadır. Modellenen veri türüne göre seçilen farklı enterpolasyon yöntemleri daha doğru modeller ortaya koymayı amaçlamaktadır. Ancak en önemlisi, yüzeyi en iyi şekilde modelleyebilmek için nokta

sıklığının yeterli olması ve noktaların olabildiğince yüzeyi tanımlayabilecek formda dağılmış olması, güvenilir sonuçların ortaya çıkmasını sağlamaktadır (Şen, 2007).

Bu çalışmada, toprak örneklerine ait bazı fiziksel ve kimyasal özellikler ile toprakların çinko ve kadmiyum içerikleri Ters mesafe ağırlıklı (IDW) enterpolasyon yöntemi kullanılarak haritalandırılmıştır. Uygulamada ArcGIS 9.2 yazılımı kullanılmıştır.

Ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon (Inverse Distance Weighted - IDW), birbirine yakın olan verilerin birbirleri üzerinde daha fazla etkisi olası gerektiği prensibine dayanır. IDW yönteminde tahmin edilen değerler, komşu civardaki noktaların uzaklığı ve değerin bir fonksiyonu olup, mesafenin artması ile tahmini yapılacak hücre (raster veri pikseli) üzerindeki önem ve etkisi azalır (İlker vd., 2019). Vektör veriye dayanan bu analiz sonucunda farklı analizlerde kullanılmak üzere raster tabanlı haritalar üretilmektedir.

3.5. Adsorpsiyon Kapasitelerinin Belirlenmesi

Toprak örneklerinin ağır metal adsorpsiyon kapasiteleri çalışmaları için 63 adet toprak örneğinden bazı temel fiziksel ve kimyasal özellikleri farklılık gösteren 8 adet toprak örneği seçilmiştir. Çinko ve Kadmiyum içerikleri tayin edilen toprak örneklerinin adsorpsiyon kapasitelerinin belirlenmesi için 1000 mg/L'lik stok çözeltiler hazırlanmış her iki metal için 100-800 mg/L arasında başlangıç konsantrasyonları seçilerek 125 rpm, 24 saat süreyle oda sıcaklığında muamele edilmiştir.

3.5.1. Toprak Örneklerinin Seçilmesi

Çalışma sahasından alınan 63 adet toprak örneği içinde temel bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri farklılık gösteren 8 adet toprak örneği seçilmiştir. Toprak örnekleri seçilirken tarım ve sanayi bölgelerinden olması, tekstür, organik madde, kireç, pH gibi bazı temel özellikler açısından farklılık göstermesine dikkat edilmiştir. Tablo 3.2' de seçilen toprak örneklerinin bazı temel özellikleri verilmiştir. Tablo 3.2 incelendiğinde sanayi bölgesi topraklarının kum ve tın içeriği gösterdiği tarım bölgesi topraklarının ise killi özellik gösterdiği görülmektedir. Ülgen ve Yurtseven (1995) tarafından yapılan sınıflandırmaya göre, toprak örneklerinin pH değerleri orta derece asit reaksiyonu ile hafif alkelen reaksiyon sınıfları arasında yer aldığı görülmektedir. Organik madde (%) içerikleri açısından T1 çok az, T5, T44 ve S16 az, T33 ve T39 orta, S7 iyi ve T40 ise

organik madde (%) içeriği yüksek sınıfında yer almaktadır. Toprak örneklerinin CaCO_3 (%) değerleri incelendiğinde T5 ve T33 no'lu toprakların az kireçli, T44 ve T39 no'lu toprakların kireçli, S7, S16, T40 ve T1 no'lu toprakların orta kireçli sınıfa dahil olduğu görülmektedir. Toprakların Katyon Değişim Kapasiteleri 26,40 ile 50,60 arasında değerler almakta olup en yüksek KDK değerine T39 no'lu toprakta, en az KDK değerine ise T5 no'lu toprakta görülmüştür. Toprak örneklerinin nem (%) içerikleri ise %3.65 ile 6,66 arasında değerler almakta olup ne yüksek nem (%) değeri T1 no'lu tarım toprağında görülmektedir.

Tablo 3.2. Adsorpsiyon Çalışmaları için Seçilen Örneklerle ait Bazı Temel Özellikler

Toprak No	pH	Organik Madde%	KDK	Nem %	CaCO_3 %	Tekstür Sınıfı
S7	7,02	2,38	38,52	4,78	5,75	Tınlı kum(LS)
S16	6,82	1,85	38,78	3,78	5,68	Kumlu tın(SL)
T33	5,92	2,11	26,40	5,53	0,30	Kil (C)
T44	7,45	1,67	37,40	3,68	3,85	Killi tın (CL)
T40	6,83	4,08	39,60	3,65	5,65	Tın (L)
T39	7,24	2,22	50,60	5,32	3,20	Siltli kil (SiC)
T1	7,68	0,87	27,00	6,66	5,51	Kumlu killi tın (SCL)
T5	6,52	1,08	18,20	6,44	0,13	Kumlu killi tın (SCL)

3.5.2. Adsorpsiyon Çalışmalarında Kullanılan Kimyasallar

Adsorpsiyon çalışmaları için 1000 mg/L'lik stok çözeltilerinden çalışmalar için yeterli hacimde hazırlanmış ve 100-800 mg/L arasındaki başlangıç konsantrasyonların stok çözeltilerden seyreltilerek çalışılmıştır. Çalışmalar oda sıcaklığında ve 125 rpm çalkalama hızı sabit koşullarında yürütülmüştür.

Stok çinko çözeltisi; $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (çinkosülfat) kimyasal bileşikten 4,39 gr alınarak distile su ile 1L'ye tamamlanması ile elde edilmiş ve çalışma boyunca karanlık çözelti şişelerinde saklanmıştır.

Stok kadmiyum çözeltisi; $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ kimyasal bileşikten 2,28 gr alınarak distile su ile 1L' ye tamamlanması ile elde edilmiş ve çalışma boyunca karanlık çözelti şişelerinde saklanmıştır.

3.5.3. Adsorplama Kapasitesini Etkileyen Parametrelerin Tayini

Adsorpsiyon çalışmaları bünyesinde çinko ve kadmiyum için öncelikli olarak başlangıç konsantrasyonu, toprak miktarı ve süre çalışmaları yapılmış sonuçlar bulgular ve tartışma bölümünde değerlendirilmiştir.

3.5.3.1. Toprak Miktarı (Dozaj)

Çinko ve Kadmiyum adsorpsiyonuna toprak miktarının (Dozaj) etkisini değerlendirmek için 0,25 - 0,5 - 1 ve 1,50 gr toprak örnekleri hassas terazide tartılmış çinko için 400 mg/L başlangıç konsantrasyonunda kadmiyum için ise 300 mg/L başlangıç konsantrasyonunda 50 ml çözelti hacmi kullanılarak 24 saat süre ile 125 rpm çalkalama hızında toprak ile çözeltinin muamele edilmesi ile belirlenmiştir. Çalışmalar sonunda çözeltide kalan metal miktarlarının ölçümüm UNICAM 929 AAS ile yapılmıştır.

3.5.3.2. Konsantrasyon Etkisi

Çinko adsorpsiyonuna konsantrasyonun etkisini hassas terazide tartılan 1gr toprak örnekleri üzerine hazırlanan 400-600-800-1000 mg/L'lik çözeltilerden 50 ml ilave edilmiş oda sıcaklığında 24 saat 125 rpm çalkalama hızında toprak ile çözeltinin muamele edilmesi ile belirlenmiştir. Çalışmalar sonunda çözeltide kalan metal miktarlarının ölçümüm UNICAM 929 AAS ile yapılmıştır.

Kadmiyum adsorpsiyonuna konsantrasyonun etkisi hassas terazide tartılan 1gr toprak örnekleri üzerine hazırlanan 100-400-600-800-1000 mg/L'lik çözeltilerden 50 ml eklenmesi, oda sıcaklığında 24 saat 125 rpm çalkalama hızında toprak ile çözeltinin muamele edilmesi ile belirlenmiştir. Çalışmalar sonunda çözeltide kalan metal miktarlarının ölçümüm UNICAM 929 AAS ile yapılmıştır.

3.5.3.3. Temas Sürenin Etkisi

Çinko adsorpsiyonuna temas süresinin etkisi hassas terazide tartılan 1gr toprak örnekleri üzerine hazırlanan 400 mg/L'lik çözeltilerden 50 ml ilave edilmiş oda sıcaklığında 125 rpm çalkalama hızında 0-2880 dk arasında toprak ile çözeltinin muamele edilmesi ile belirlenmiştir. Çalışmalar sonunda çözeltide kalan metal miktarlarının ölçümüm UNICAM 929 AAS ile yapılmıştır.

Kadmiyum adsorpsiyonuna konsantrasyonun etkisi hassas terazide tartılan 1gr toprak örnekleri üzerine hazırlanan 300 mg/L'lik çözeltilerden 50 ml eklenmesi, oda sıcaklığında 24 saat 125 rpm çalkalama hızında 0-2880 dk aralığında toprak ile çözeltinin muamele edilmesi ile belirlenmiştir. Çalışmalar sonunda çözeltide kalan metal miktarlarının ölçümü UNICAM 929 AAS ile yapılmıştır.

3.6. İstatistik Analizler

Betimsel istatistikler (çarpıklık ve basıklık katsayıları vb.), grafikler (normal dağılım eğrisi ile histogram, normal Q-Q grafiği, gövde-yaprak diyagramı, kutu grafiği [boxplot] vb.) ya da hipotez testleri (KolmogorovSmirnov, Shapiro Wilk vb.) veri setinin normalliğinin test edilmesinde kullanılan yöntemlerdir (Uysal ve Kılıç, 2021; Pituch ve Stevens, 2016). Gözlenen veri ile bu veriye karşılık gelen normal puanlar arasındaki korelasyon Shapiro-Wilk yönteminin temelini oluşturmaktadır (Uysal ve Kılıç, 2021; Barton ve Peat, 2014). Spearman Sıralı Korelasyon (Spearman Rank Correlation) katsayıları -1 ile +1 arasında değişir ve değişkenler arasındaki ilişkinin gücünü ölçer. Spearman katsayıları, değerlerin kendisinden ziyade veri değerlerinin sıralarından hesaplanır. Tahmin edilen korelasyonların istatistiksel önemini test eden P değeridir. 0,05'in altındaki P değerleri %95 güven düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı korelasyonları ifade etmektedir. Toprak örneklerinin ağır metal içerikleri ve adsorplama kapasitelerinin örneklerin diğer özellikleri ile ilişkisini belirlemede STATGRAPHICS Centurion XVI istatistik programı kullanılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Toprak Örneklerinin Temel Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Tayini

Araştırma alanından toplanan toprak örneklerine ait parametreler daha önceki bölümlerde bahsedildiği şekilde ilgili metotlar kullanılarak tayin edilmiş ve sonuçlar Tablo 4.1’de gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Toprak Örneklerinin Temel Kimyasal ve Fiziksel Parametreleri

Toprak No	Parametreler					
	KDK	% Org. Mad.	pH	% Nem	% CaCO ₃	Tekstür
T1	27,00	0,87	7,68	6,66	5,51	SCL
T2	60,00	3,30	4,57	7,62	0,40	CL
T3	60,00	0,96	6,06	0,00	0,36	T.E.
T4	5,00	1,21	6,70	8,46	0,067	C
T5	18,20	1,08	6,52	6,44	0,13	SCL
T6	22,60	2,06	6,91	5,83	0,39	CL
T7	22,60	0,85	6,33	8,38	0,29	C
T8	16,00	1,65	5,59	5,80	0,13	C
T9	22,60	1,83	6,27	5,96	0,00	C
T10	33,60	1,62	6,14	8,16	0,27	T.E.
T11	24,80	2,19	7,55	6,49	0,29	CL
T12	38,00	2,09	7,56	4,06	6,12	SCL
T13	53,40	3,04	7,72	5,89	8,96	C
T14	29,20	0,74	7,27	4,97	0,38	SL
T15	22,60	0,78	7,36	2,88	0,35	SL
T16	44,60	3,02	7,55	7,78	1,58	CL
T17	57,80	3,02	6,59	10,30	0,34	C
T18	31,40	3,44	6,97	5,91	0,39	T.E.
T19	49,00	2,47	7,97	6,81	3,50	C
T20	35,80	2,40	7,71	6,00	2,07	C
T21	31,40	2,51	7,53	4,46	4,13	CL
T22	27,00	3,13	7,65	4,08	6,34	CL
T23	24,80	3,10	7,93	3,23	13,44	CL
T24	24,80	2,03	7,72	3,82	11,04	C
T25	31,40	2,23	7,91	4,32	14,27	SCL
T26	39,60	1,39	6,04	5,87	0,45	CL
T27	39,60	1,90	5,92	5,93	0,36	C
T28	50,60	2,22	7,37	6,91	0,30	C
T29	59,40	2,30	7,24	8,99	1,25	C
T30	33,00	1,80	7,38	4,50	9,15	C
T31	44,00	2,52	7,54	7,43	0,48	C

Tablo 4.1. (Devam)

Toprak No	Parametreler					Tekstür
	KDK	% Org. Mad.	pH	% Nem	% CaCO ₃	
T32	33,00	1,08	6,99	6,10	0,37	CL
T33	26,40	2,11	5,92	5,53	0,30	C
T33	35,20	1,16	6,50	7,16	0,36	C
T35	22,00	1,83	5,98	6,77	0,25	T.E.
T36	39,60	2,45	4,93	6,08	0,22	C
T37	22,00	0,21	7,58	4,81	0,19	SL
T38	22,00	1,63	6,66	6,68	0,52	C
T39	50,60	2,22	7,24	5,32	3,20	SiC
T39	39,60	4,08	6,83	3,65	5,65	L
T40	24,20	2,27	6,37	5,10	4,48	C
T42	28,60	1,80	5,65	5,23	5,25	C
T43	17,60	1,76	7,47	3,20	9,82	L
T44	37,40	1,67	7,45	3,68	3,85	CL
T45	30,80	2,01	7,36	3,43	8,75	CL
T46	57,20	2,14	7,42	5,30	9,20	C
S1	50,44	2,06	7,81	3,61	2,96	SL
S2	39,47	1,47	6,31	5,13	6,37	SL
S3	35,67	1,20	7,05	2,78	2,15	SL
S4	80,43	2,12	7,47	6,53	0,25	CL
S5	37,44	2,21	7,30	4,35	1,83	SL
S6	45,87	2,15	7,50	0,43	1,89	LS
S7	38,52	2,38	7,02	4,78	5,75	LS
S8	44,47	2,18	7,34	2,48	8,29	T.E.
S9	42,65	2,32	6,88	4,22	2,87	CL
S10	40,25	2,45	7,10	3,27	2,65	SL
S11	35,45	2,60	7,38	4,42	2,64	SL
S12	40,47	0,21	7,33	2,56	1,00	SL
S13	3,99	5,02	7,65	4,97	9,13	LS
S14	34,48	0,82	6,90	1,51	1,43	LS
S15	34,05	0,85	6,98	2,42	1,85	SL
S16	38,78	1,85	6,82	3,78	5,68	SL
S17	47,49	0,23	7,21	2,49	4,98	SL

0-20 cm. derinlikten alınan toprak örneklerinde pH, KDK, organik madde (%), toprak tekstürü, nem (%), CaCO₃ (%) değerleri analiz edilmiştir. Toprak örneklerinin organik madde (%) içeriklerinin alan üzerinde geniş bir şekilde 1,6–1,9 ve 2-2,6 değer aralığında yer aldığı görülmektedir. Toprak örneklerinin organik madde (%) içeriğinin alan üzerinde 0 ile 5 arasında dağılım göstermekte olduğu görülmüştür. Toprak

örneklerinin KDK değerleri 0-80 değer aralığı arasında değişim göstermektedir. Analiz sonuçları bize toprak örneklerinin bazı bölgelerde az, ortalama olarak ise orta ve iyi derecede yüzde organik madde içeriğine sahip olduğunu göstermektedir. Toprak örneklerine ait KDK değerlerinin 29,00–43,00 me/100g arasında yoğunluk gösterdiği örnekleme sahasında, Düşük KDK değerlerine sahip toprak örneklerinin çoğunlukla sahil bandında ve kuzey batı bandındaki topraklarda tayin edilmiştir. En yüksek KDK değerine S4 no'lu örneklerde rastlanırken (80,43 me/100g), en düşük KDK değerine S13 no'lu toprakta karşılaşılmıştır. Genelde KDK değerinin yüksek çıktığı örnekler verimli tarım arazilerinden alınan toprak örnekleridir. Toprakların pH değerleri incelendiğinde en düşük pH değerine T2 numaralı toprakta (pH=4,57) rastlanmış olup, en yüksek pH değerine ise 7,93 ile 26 no'lu toprak örneğinde tayin edilmiştir. Toprak örneklerinin genel durumu içinde kuvvetli asit, orta derecede asit, hafif asit, hafif alkali ve nötr topraklar mevcuttur. Toprak örneklerinde en düşük nem (%) içeriğine S6 no'lu toprakta tayin edilmiş olup (0,43), en yüksek nem (%) değerine 19 no'lu (10,3) toprakta rastlanmıştır. Toprak örneklerinin tekstür yapıları da tayin edilmiş olup bölge üzerinden alınan noktalarda 7 farklı toprak yapısı ortaya çıkmıştır. Genel olarak bakıldığında kumlu tın, killi tın ve kil içeriğinin fazla miktarda toprak örneğinde analiz edildiği görülmüştür.

Ülgen ve Yurtseven (1995), toprakların pH değerleri için < 4.5 kuvvetli asit, 4.5-5.5 orta asit, 5.5-6.5 hafif asit, 6.5-7.5 nötr, 7.5-8.5 hafif alkali, > 8.5 kuvvetli alkali şeklinde sınıflandırmıştır. Araştırmacılar % organik madde <1 çok az, 1.00-2.00 az, 2.00-3.00 orta, 3.00-4.00 iyi, > 4.00 yüksek sınıflandırmasını yaparken, % CaCO₃ için < 1.00 az kireçli, 1.00-5.00 kireçli, 5.00-15.00 orta kireçli, 15.00-25.00 fazla kireçli, > 25.00 çok fazla kireçli olarak sınıflandırmışlardır.

Ülgen ve Yurtseven (1995) tarafından yapılan sınıflandırmaya göre toprak örneklerinin pH değerleri açısından çoğunlukla hafif asit, nötr ve hafif alkali sınıflarına dahil olduğu görülmektedir. Toprak örneklerinin organik madde (%) içerikleri ve CaCO₃ (%) içerikleri de aynı araştırmacılar tarafında yapılan sınıflandırmaya göre sırasıyla az ve orta sınıfa sahip organik madde içeriklerine sahipken, CaCO₃ (%) değeri açısından az kireçli, kireçli ve orta kireçli sınıfa sahip olduğu görülmektedir.

Özyazıcı ve ark. (2016) Orta ve Doğu Karadeniz bölgesi tarım toprakları üzerine yaptıkları çalışmada bölge topraklarının organik madde düzeyi açısından orta, iyi, yüksek düzeyde, pH değerleri açısından 4,5-8,5 değerleri arasında değişken şekilde,

büyük çoğunluğunun ise (% 61.15) az kireçli olduğunu bildirmişlerdir.

Özyazıcı ve ark., (2010) Artvin ve Rize bölgesinden alınan topraklar üzerinde yaptıkları çalışmada pH değerlerini 2.80 ile 5.97 değerleri arasında, %organik madde içeriklerini Artvin için 2.45-10.68, rize için 0.66-14.91 değerleri arasında olduğu belirtmişlerdir.

Kars ve Ekberli (2019) Çarşamba ovası buğday bitkisi altındaki topraklar üzerine yaptıkları araştırmada bölgeden alınan toprak örneklerinin pH içeriklerinin 6.57-7.97, organik madde (%) içeriklerinin 0.60-4.73, CaCO₃ (%) içeriklerinin 0.41-13.86, KDK değerlerini ise 4.06-65.00 arasında tayin etmişlerdir.

Kars ve Ekberli (2019) Çarşamba ovası işlenmiş topraklar üzerine yaptıkları araştırmada bölgeden alınan toprak örneklerinin pH içeriklerinin 5.32-7.97, % Org. Mad. İçeriklerinin 0.81-4.16, CaCO₃ (%) içeriklerinin 0.47-7.04, KDK değerlerini ise 7.79-79.35 arasında tayin etmişlerdir.

Bölge üzerinde yapılan çalışmalar ile tez çalışmasında kullanılan toprak örneklerinin temel bazı fiziksel ve kimyasal özellikler açısından benzer içeriklere sahip olduğu görülmüştür.

4.2. Toprak Örneklerine Ait Ağır Metal İçeriklerinin Tayini

Örnekleme noktalarından alınan topraklara ait ağır metal içerikleri (Zn ve Cd) Perkin Elmer marka ICP cihazıyla ölçülmüştür. Ağır metal ölçümleri yapılmadan önce örnekler kral suyu (HNO₃-HCl 3:1) kullanılarak CEM Mars 5 Mikrodalga cihazıyla sindirilmiştir. Sindirim yapılmadan önce bir toprak üzerinde farklı sindirim metotları uygulanmış en fazla metal geri alımının elde edildiği metot sindirim metodu olarak seçilmiştir. Deneme sonuçları Tablo 4.2'.de verilmiştir.

Tablo 4.2. Sindirim Metodu Seçimi

		Zn(mg/L)	Cd(mg /L)
Metot 1	10 ml HNO ₃	0,649±0,02	0,034±0,007
Metot 2	9 ml HNO ₃ + 3 ml HCl	0,882±0,019	0,171±0,03
Metot 3	7.5 ml HNO ₃ + 2 ml H ₂ O ₂	0,704±0,012	0,083±0,013

Araştırmacılar Eskişehir kent merkezindeki topraklarda ağır metal kirliliğini belirlemek üzere yaptıkları çalışmalarında sadece HNO₃ (EPA 3051) kullanarak toprakları sindirmiş ve ağır metal belirlemesi yapmışlardır (Banar vd., 2010).

Araştırmacı ağır metal tayini için yaptığı çalışmasında nitrik asit, hidroklorik asit, nitrik-perklorik asit ve sülfirik asit seçeneklerini kullanarak toprakları sindirmiş ve sonuçları AAS ile değerlendirmiştir (Hseu, 2004).

Sandroni ve Smith, (2002) yılında yaptıkları çalışmalarında $\text{HNO}_3 - \text{HCl}$, $\text{HNO}_3 - \text{HClO}_4$, HCl kullanarak toprakların sindirimini yapmış ve ağır metal belirlemesini gerçekleştirmiştir.

Sindirim metodu seçiminde metal analizleri için Unicam 919 AAS ile değerlendirilmiş ve metot 2 (EPA 3051A) (EPA, 2007) sindirim metodu olarak seçilmiştir. Mikrodalga sindirim işlemi sonucunda elde edilen materyal Whatman 42 No'lu filtre kağıdından süzülerek son hacim 50 ml' ye tamamlanmıştır. Süzükler ilgili metale göre kalibre edilerek ölçüme hazır hale getirilen ICP'de (Perkin Elmer) ölçülmüştür. Ölçümler sonucu elde edilen ağır metal ortalama değerleri Tablo 4.3'de gösterilmiştir.

Tablo 4.3. Toprak Örneklerinin Ağır Metal İçerikleri (mg/kg)

Toprak No	Zn(mg/kg)	Cd(mg/kg)
T1	76,33±8,55	0±0,00
T2	91,30±6,92	0±0,00
T3	76,66±14,22	0±0,00
T4	70,50±3,85	0±0,00
T5	79,03±14,99	0±0,00
T6	84,23±5,20	0±0,00
T7	66,76±10,66	0,6±1,03
T8	51,93±9,67	0±0,00
T9	72,60±13,88	0±0,00
T10	93,43±36,33	0±0,00
T11	91,86±43,53	0±0,00
T12	70,40±16,43	0±0,00
T13	76,33±10,92	0±0,00
T14	88,76±16,15	0±0,00
T15	54,10±12,62	2,53±4,38
T16	88,80±11,62	0±0,00
T17	88,00±10,85	0±0,00
T18	147,06±139,98	5,1±8,83
T19	70,50±8,75	0±0,00
T20	158,83±153,95	0±0,00
T21	71,33±13,18	0±0,00
T22	63,00±4,68	0±0,00
T23	54,33±7,76	0±0,00
T24	53,43±8,11	0,23±0,40
T25	68,03±4,24	0±0,00
T26	72,46±8,85	1,5±2,59
T27	89,6±18,44	0±0,00
T28	78,83±20,30	0±0,00

Tablo 4.3. (Devam)

Toprak No	Zn(mg/kg)	Cd(mg/kg)
T29	151,33±136,29	5,1±8,83
T30	90,7±14,17	0±0,00
T31	143,96±166,86	0±0,00
T32	78,16±8,85	0±0,00
T33	68,8±39,72	0±0,00
T33	68,46±11,28	0±0,00
T35	58,7±10,30	0±0,00
T36	72,36±8,59	1,5±2,59
T37	66,53±17,36	0±0,00
T38	69,5±16,52	0±0,00
T39	66,6±12,40	0±0,00
T39	64,83±10,97	0±0,00
T40	88,33±40,28	0±0,00
T42	98,43±38,24	0±0,00
T43	91,46±7,77	0±0,00
T44	72,63±14,47	0,6±1,03
T44	80,16±23,23	0±0,00
T46	80,03±23,33	0±0,00
T47	71,46±17,68	0±0,00
S1	65,06±1,50	0±0,00
S2	107,53±8,31	0,93±0,25
S3	118,66±2,36	0,63±0,11
S4	74,2±2,36	0±0,00
S5	95,86±15,27	0±0,00
S6	37,5±4,75	0±0,00
S7	65,13±3,02	0±0,00
S8	149,6±20,35	0±0,00
S9	195,26±21,77	0±0,00
S10	69,6±4,07	0±0,00
S11	65,4±3,14	0±0,00
S12	67,56±5,98	0±0,00
S13	71,9±7,07	0±0,00
S14	113,56±9,88	0±0,00
S15	71,03±2,79	0±0,00
S16	84,73±4,76	0±0,00
S17	138,03±34,79	0±0,00

Toprak örneklerinin Zn içerikleri açısından değerlendirildiğinde 37,5–195,26 mg/kg arasında değerler aldığı görülmektedir. En yüksek Zn içeriğine sanayi bölgesinden alınan S9 no'lu toprakta belirlenirken, en düşük Zn içeriği yine sanayi bölgesinden alınan S6 no'lu toprakta karşımıza çıkmıştır. Örnekler Cd açısından değerlendirildiğinde sırasıyla 0,23-5,10 mg/kg içeriklere sahip olduğu görülmekte olup en yüksek Cd değerine T29 ve T18 no'lu tarım sahalarından alınan topraklarda (5,10 mg/kg) rastlanırken, en düşük Cd değerine 0,23 mg/kg ile T24 no'lu toprakta rastlanmıştır.

Kara vd. (1998) TÜGSAŞ VE KBİ tesisleri çevresinden 3 farklı yönde farklı derinlikte aldıkları toprak örnekleri üzerine çalışmışlar ve 0-20 cm derinlikten alınan örneklerde Çinko (Zn) içeriğini 0,15 - 2,85 mg/kg arasında tayin etmişlerdir.

Tekkeköy bölgesinde noktasal kaynaklar çevresinden (OSB, TÜGSAŞ, KBİ) alınan toprak örneklerinde ağır metal içerikleri tayin edilmiştir. 1999-2001 yılları arasında toprak örneği alınmış ve TKKY'ne (yürürlükte değil) göre değerlendirilmiştir. TÜGSAŞ ve OSB tesisleri çevresinde yaklaşık 2 km² 'lik bir alanda kritik değerin 2-3 kat üzerinde (> 150 ppm) çinko içeriği görülmüştür Buna karşın KBİ tesisinden alınan örneklerin tamamında Zn değerleri, kritik seviyenin altında kalmaktadır. TÜGSAŞ ve OSB tesislerinden uzaklaştıkça Zn değerlerinde azalma görülmektedir (Çubukçu ve Tüysüz, 2005).

Çarşamba ve Bafra ovaları tarım arazileri üzerine yapılan çalışmada kadmiyum düzeylerini incelemiştir. Çarşamba ovası tarım arazilerinde ortalama kadmiyum miktarını 0,162 mg/kg olarak belirlemiştir (Kartal, E. M., 2003).

Samsun ve Sinop toprakları üzerine yaptıkları çalışmalarında 2 farklı sindirim metodu kullanarak Samsun topraklarının çinko içeriğini 88 ve 96 mg/kg, kadmiyum içeriğini ise 0,5 ve 2,4 mg/kg olarak belirlemişlerdir (Güngör vd. 2009).

Samsun, Kastamonu ve Merzifon'dan alınan toprak örneklerinin Cu, Zn, Cd ve Pb içeriklerinin belirlenmesi üzerine yaptıkları çalışmalarında Samsun örneklerine ait Cd miktarının 0-2,4 mg/kg arasında değerler aldığını belirlemişlerdir. Aynı örneklere ait Zn miktarlarının ise 50-300 mg/kg arasında değiştiği gözlenmiştir (Orkun vd. 2010).

Kars ve Ekberli (2019) Çarşamba ovasına işlenen tarım arazilerinden alınan toprak örneklerinin temel özelliklerinin tayini üzerine yaptıkları çalışmalarında bazı ağır metal içeriklerini de değerlendirmişlerdir. Çalışmacılar bölgeden topladıkları 40 adet toprak örneğinde çinko (Zn) miktarının 0,31 – 4,50 (mg/kg) arasında değiştiğini bildirmişlerdir.

Bölge üzerinde geçmişten bugüne yapılan çalışmalar kronolojik sırayla değerlendirildiğinde çinko değerlerinin bölge genelinde özellikle sanayi alanlarında artışta olduğu görülmektedir. Benzer durum kadmiyum içinde geçerlilik göstermektedir. Samsun ilinin potansiyel tarım alanları üzerine yapılan çalışmada, ilin çok az bir kısmı olan %14.7'lik yani 141.112,8 hektarlık bir alanın yüksek tarımsal

potansiyele sahip olduğunu, toplam alan içerisinde tarımsal potansiyeli yüksek alanları oldukça az ve bu alanların büyük bir kısmı da özellikle Bafra ve Çarşamba Ovaları üzerinde yer almakta olduğunu bildirmiştir (Dengiz ve Sarıoğlu, 2011). Bölgenin temel özelliği sanayi ve tarım alanlarının çok yakın konumlanmış olmasıdır. Önceki çalışmalarda incelenen noktasal bazı kaynaklar faaliyetlerini durdurmuş olsa da yerini yeni tesisler almıştır. Kronolojik olarak elde edilen verilerden bölgede genel anlamda çinko ve kadmiyum içeriğinin arttığı görülmektedir. Tarımsal potansiyelin yüksek olduğu bölgede bu artışın göz önünde bulundurulması tarımsal potansiyelin olumsuz etkilenmemesi açısından da önemli görülmektedir.

4.3. Çinko ve Kadmiyum İçeriklerinin Toprakların Diğer Özellikleriyle İstatiksel İlişkisi

Toprak örneklerinin Zn ve Cd içeriklerinin toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleriyle ilişkisini incelemek için Sperman Sıralama Korelasyon testi (Spermans Rank Correlation) uygulanmıştır. Tablo 4.4’de toprak örneklerinin çinko konsantrasyonlarının örneklerin temel fiziksel ve kimyasal özellikleri ile ilişkisine ait korelasyon katsayıları verilmiştir.

Tablo 4.4. Toprak Örneklerinin Zn İçeriklerinin Diğer Parametreler İle Arasındaki İlişkiye Ait Spearman Katsayıları

	% Org. Mad.	pH	% Nem	% CaCO ₃	Zn(mg/kg)
KDK	0.299	0.035	0.007	0.085	0.248
	0.017	0.777	0.955	0.498	0.048
% Org. Mad.		0.269	0.176	0.298	0.048
		0.032	0.161	0.017	0.698
pH			-0.249	0.543	-0.179
			0.047	0.000	0.154
% Nem				-0.516	0.108
				0.000	0.390
% CaCO₃					0.018
					0.884

Correlation
P-Value 0.05

Tablo 4.4’den görüldüğü üzere Zn içeriği ile KDK arasında pozitif yönde ilişki olduğu görülürken diğer parametrelerle istatistiksel anlamlı herhangi bir ilişki olmadığı görülmektedir.

Toprak örneklerinin Cd konsantrasyonlarının örneklerin temel fiziksel ve kimyasal özellikleri ile ilişkisine ait korelasyon katsayıları Tablo 4.5’de verilmiştir. Tablo 4.5 incelendiğinde Cd ve diğer parametrelerin arasında istatistik olarak bir ilişki bulunmadığı görülmektedir.

Tablo 4.5. Toprak Örneklerinin Cd İçeriklerinin Diğer Parametreler ile Arasındaki İlişkiye Ait Spearman Katsayıları

	% Org. Mad.	pH	% Nem	% CaCO ₃	Cd(mg/kg)
KDK	0.299	0.035	0.007	0.085	-0.222
	0.017	0.777	0.955	0.498	0.077
% Org. Mad.		0.269	0.176	0.298	-0.112
		0.032	0.161	0.017	0.371
pH			-0.249	0.543	0.013
			0.047	0.000	0.914
% Nem				-0.516	-0.031
				0.000	0.800
% CaCO ₃					0.017
					0.891
Correlation P-Value 0,05					

4.4. Toprak Örneklerine Ait Temel Parametrelerin Gösteriminde CBS Uygulamaları

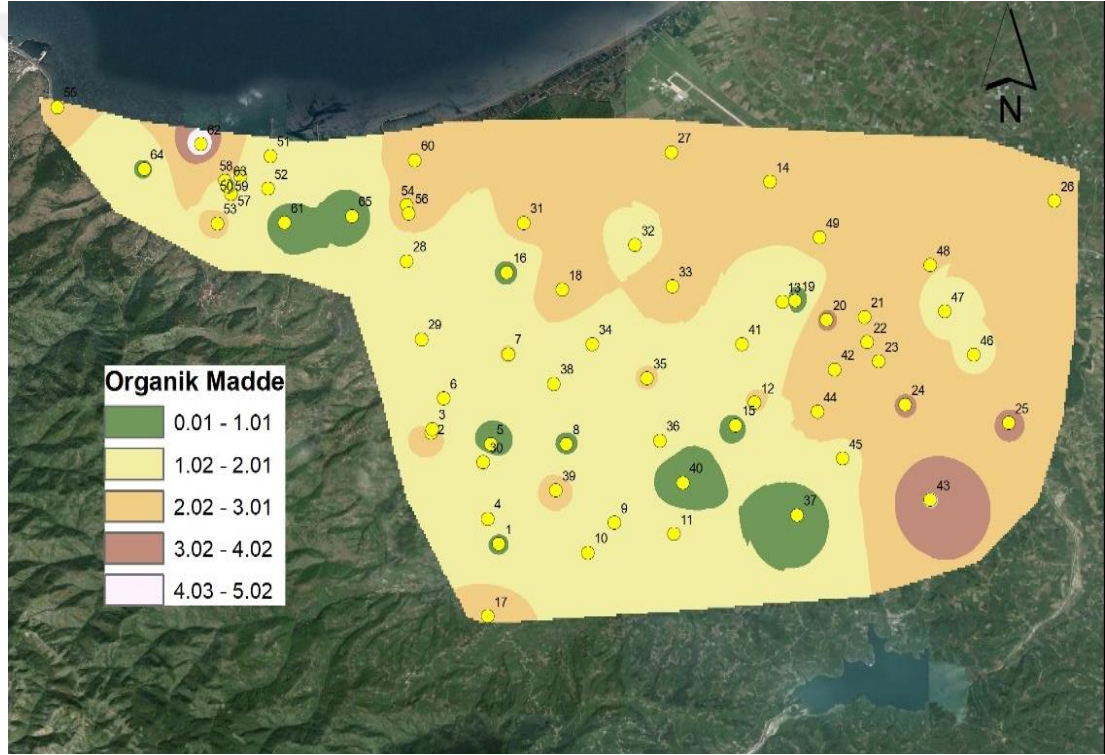
CBS birçok sektör tarafından kullanılan etkin bir konumsal analiz aracı olarak, günümüzde geniş bir uygulama alanına sahiptir. CBS sahip olduğu özellikleri itibarıyla, konum bilgisiyle alakalı her türlü uygulamanın içerisinde yer almaktadır. Özellikle, kentsel ve bölgesel planlama, kadastro, tarım, orman, peyzaj, jeoloji, benzeri birçok uygulamalı meslek dalında CBS önemli bir ortak kavram olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Toprakla ilişkili olan tüm disiplinler için toprak bilgi sistemi, önemli bir bilgi kaynağı olarak karşımıza çıkmaktadır. Basılı haritaların yorumlanması oldukça zor olmakla birlikte, koordinat verileri ile oluşturulan ve sayısal veri tabanlarına sahip bilgi sistemleri haritaların yorumlanmasında oldukça kolaylık sağlamaktadır (Dinç, 2008; Finke vd., 2003; King vd., 1995).

Çalışma kapsamında Tekkeköy bölgesinde 63 noktadan toprak örneği alınmıştır.

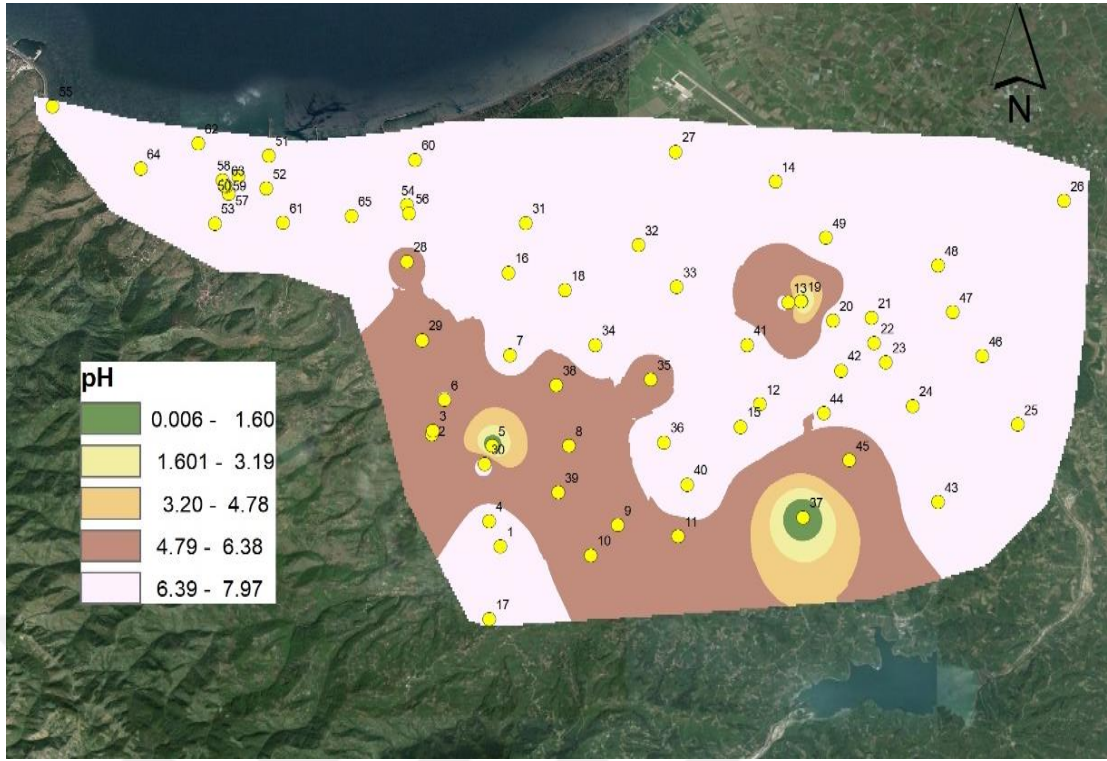
Toprak örneklerine ait koordinatlar el tipi GPS cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Laboratuvar ortamında belirlenen topraklara ait temel bazı fiziksel ve kimyasal parametreler ile toprak örneklerinin Zn ve Cd içerikleri CBS kullanılarak değerlendirilmiştir. CBS uygulamasına aktarılan verilerin ArcGIS 9.2 yazılımı kullanılarak işlenmesi ile tematik görsel haritalar elde edilmiştir.

Şekil 4.1. incelendiğinde toprak örneklerinin % organik madde içeriklerinin alan üzerinde geniş bir şekilde 1,6–1,9 ve 2-2,6 renk aralığında yer aldığı görülmektedir. Toprak örneklerinin % organik madde içeriğinin alan üzerinde 0 ile 5 arasında dağılım göstermekte olduğunu göstermekte olup 2–2,6 arasındaki değerlerin çoğunlukla alanın kuzey doğu tarafında yer aldığını göstermektedir.

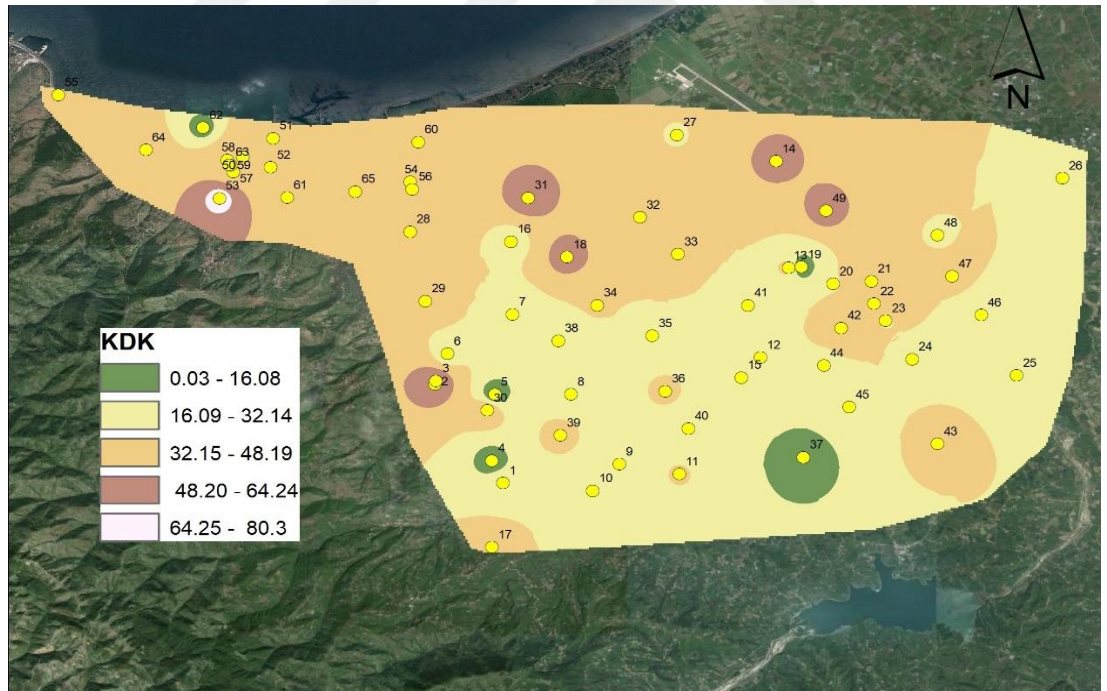


Şekil 4.1. % Organik Madde Değerlerine Ait CBS Uygulaması

Şekil 4.2’de örnekleme alanının pH, Şekil 4.3.’de KDK (me/100g) ve Şekil 4.4’de ise CaCO_3 (%) değerleri verilmiştir. Haritadan görüldüğü üzere düşük pH değerlerine sahip toprak örnekleri bölgenin kuzey batısında örnekler arasında olup az sayıda yer almaktadır. Alanın büyük bölümünde örneklerin 5,08-6,98 aralığında değerler aldığı ve bu şekliyle nötr pH seviyelerinde olduğu karşımıza çıkmaktadır.



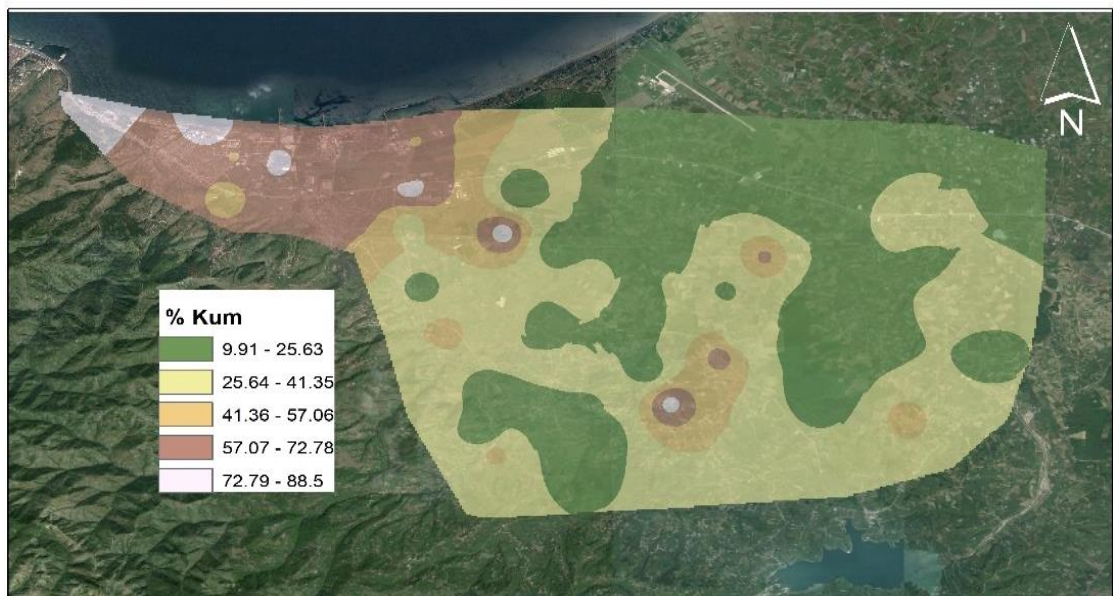
Şekil 4.2. pH Değerlerine Ait CBS Uygulaması.



Şekil 4.3. KDK Değerlerine Ait CBS Uygulaması

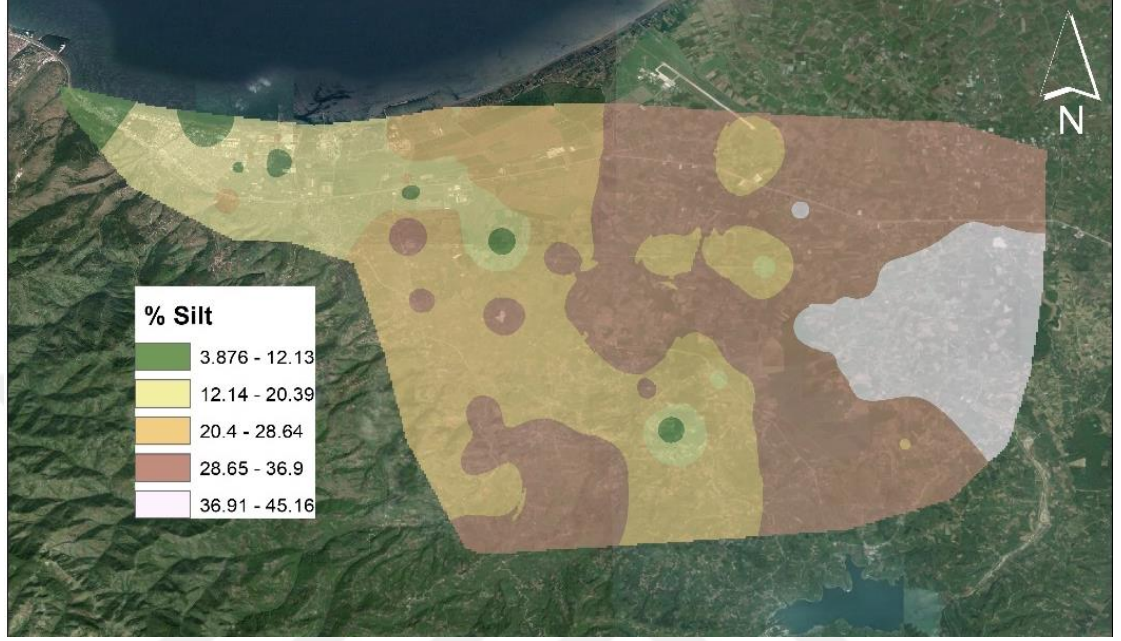
Şekil 4.3.'de haritalandırılmış olan örnekleme alanının KDK değerleri incelendiğinde, örnekleme sahasından alınan toprak örneklerinin KDK içeriklerinin 29,00–43,00 (me/100g) arasında yoğunluk gösterdiği görülmektedir. Düşük KDK değerlerine sahip toprak örneklerinin çoğunlukla sahil bandında ve kuzey batı

Şekil 4.4.'da örnekleme alanının %CaCO₃ değerleri gösterilmektedir. Şekil 4.4.'den görüldüğü üzere örnekleme sahasından alınan toprak örneklerinin 2,08–8,33 arasında yoğunluk göstermektedir. Düşük CaCO₃ değerlerine sahip toprak örneklerinin çoğunlukla örnekleme alanının doğusunda tarım arazilerinin yoğun olduğu bölgede yer aldığı haritadan görülmektedir. Örnekleme bölgesinden alınan toprak örneklerinin kum (%), silt (%) ve kil (%) içeriklerine ait haritalar sırasıyla Şekil 4.5., Şekil 4.6. ve Şekil 4.7.'de verilmiştir.



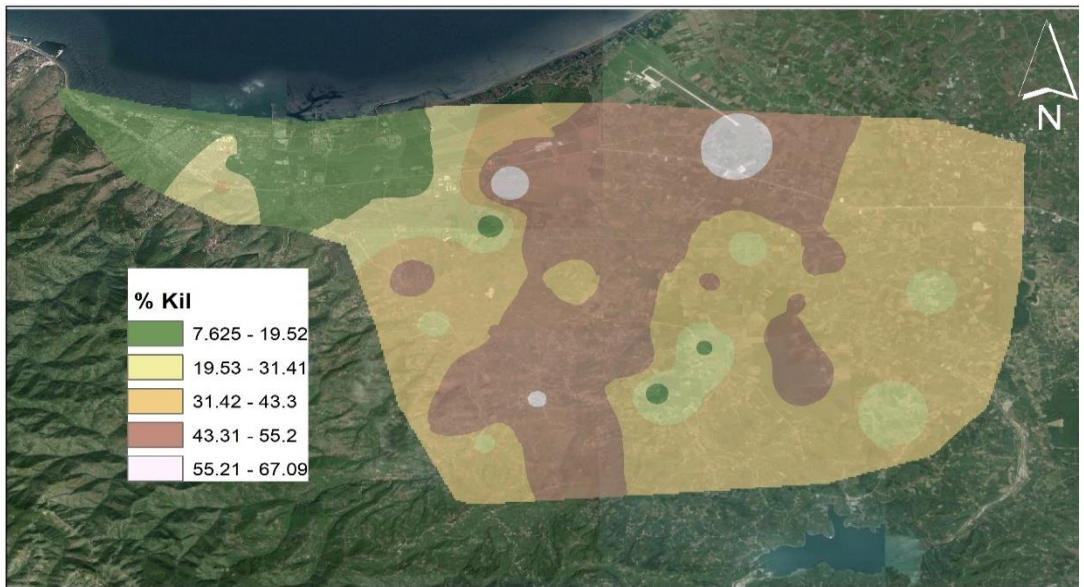
46

Şekil 4.5.'de örnekleme alanının kum (%) değerleri gösterilmektedir. Şekil 4.5.'den görüldüğü üzere örnekleme sahasından alınan toprak örneklerinde yüksek kum (%) içeriklerine çoğunlukla denize kıyılı alanlarda olduğu görülmektedir. Düşük kum (%) değerleri ise çoğunlukla örnekleme alanının doğu kısmında yer almaktadır.



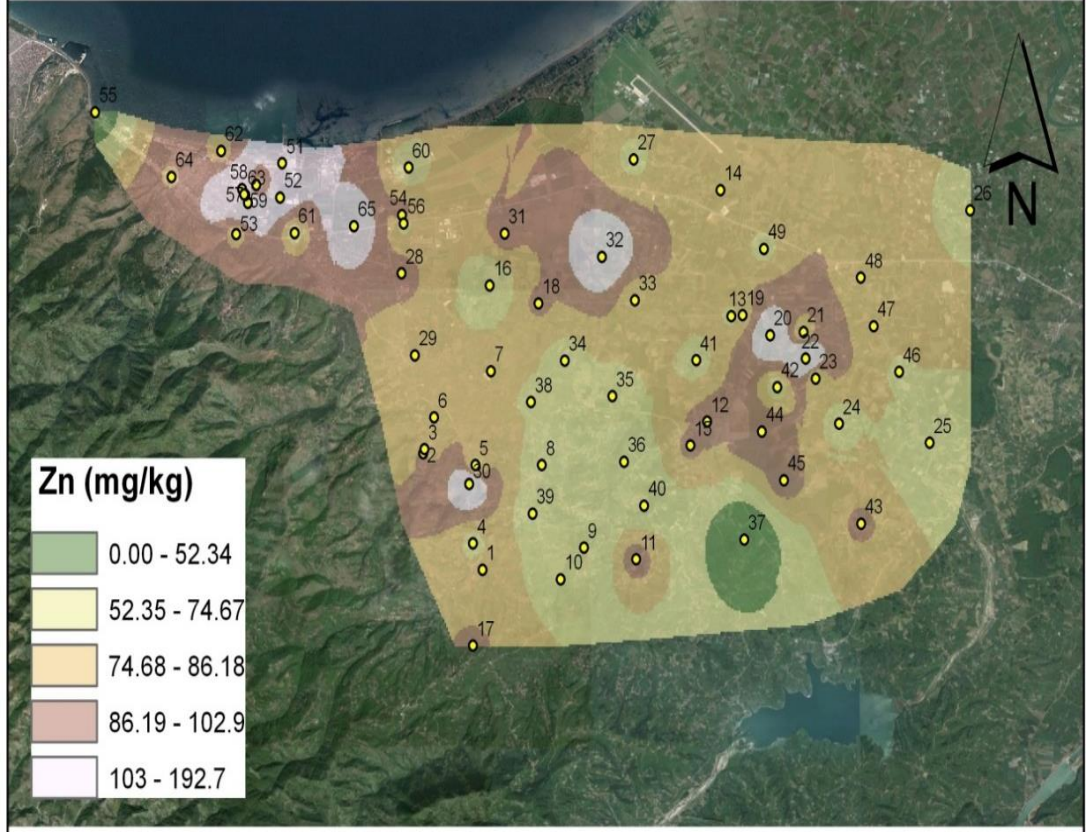
Şekil 4.6. Toprak Örneklerinin % Silt İçeriklerine Ait CBS Uygulaması

Şekil 4.6.'da örnekleme alanının silt (%) değerleri gösterilmektedir. Şekil 4.6.'dan görüldüğü üzere örnekleme sahasından alınan toprak örneklerinde yüksek silt (%) içeriklerine çoğunlukla alanın doğu tarafında olduğu görülmektedir. Düşük kum (%) değerleri ise çoğunlukla örnekleme alanının doğu kısmında yer almaktadır.



Şekil 4.7. Toprak Örneklerinin kil (%) içeriklerine ait CBS uygulaması

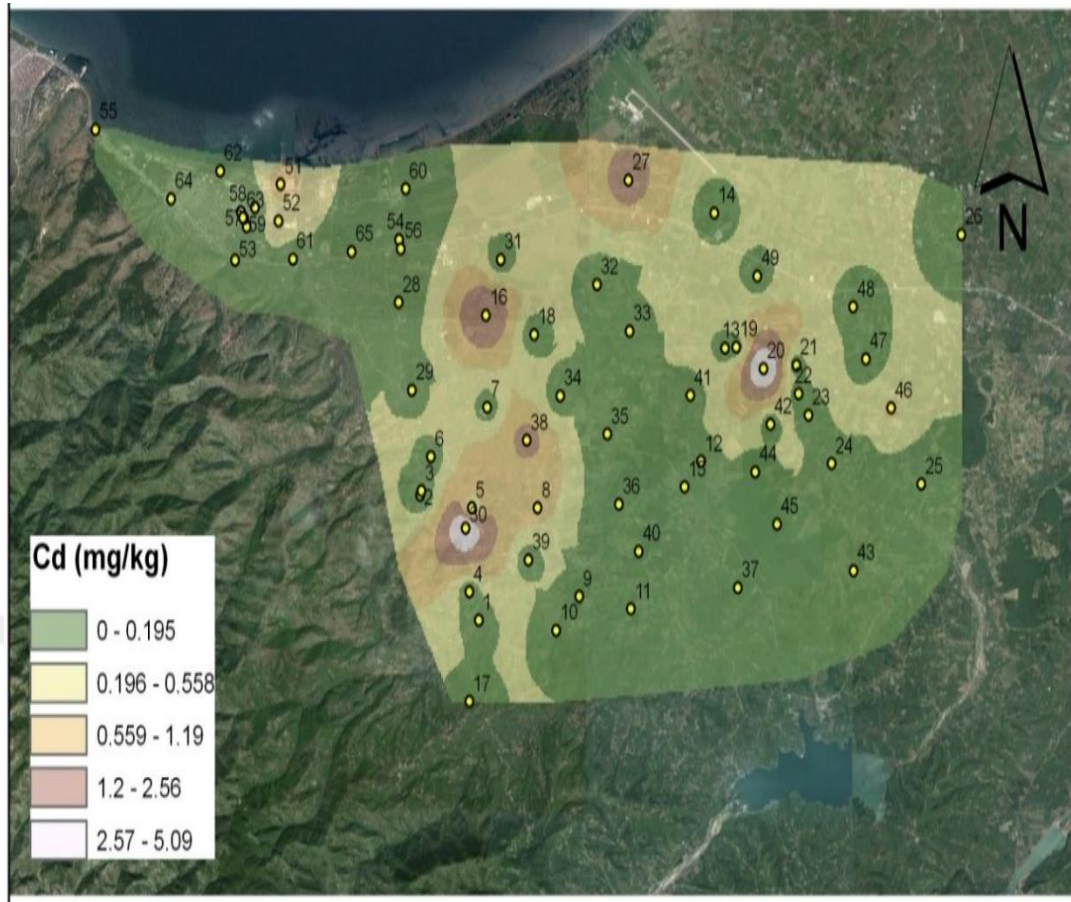
Şekil 4.7.'de örnekleme alanının kil (%) değerleri gösterilmektedir. Şekil 4.7.'den görüldüğü üzere örnekleme sahasından alınan toprak örneklerinde yüksek kil (%) içerikleri çoğunlukla alanın orta kısmında ve tarım sahalarının yoğun olduğu bölgelerde görülmektedir. Düşük kil (%) içeriklerine ise alanın batı bölgesinde ve denize yakın bölgelerde rastlanmaktadır.



Şekil 4.8. Çinko (Zn) Değerlerine Ait CBS Uygulaması

Örnekleme bölgesinin Zn içeriği açısından değerlendirilmesi Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Uygulama bize bölge topraklarının büyük çoğunluğunun Zn içeriği açısından 74,68-86,18 aralığında değiştiğini göstermektedir. En yüksek Zn içeriklerine örnekleme sahasının sanayi bölgelerinden alınan toprak örneklerinde 103,00-192,7 aralığında rastlanmıştır.

Örnekleme bölgesinin Cd içeriği açısından değerlendirilmesi Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Uygulama bize bölge topraklarının Cd içeriği açısından dağılımının 0,00-5,09 aralığında değiştiğini göstermektedir. Örnekleme sahasının büyük bölümünde düşük Cd içeriği hakim olmakta olup Cd içerikleri 0,00-0,195 arasında değerler almaktadır. Toplam örneklem içerisinde az sayıdaki noktada 2,57-5,09 aralığında Cd içeriğine sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 4.9. Kadmiyum (Cd) Değerlerine Ait CBS Uygulaması

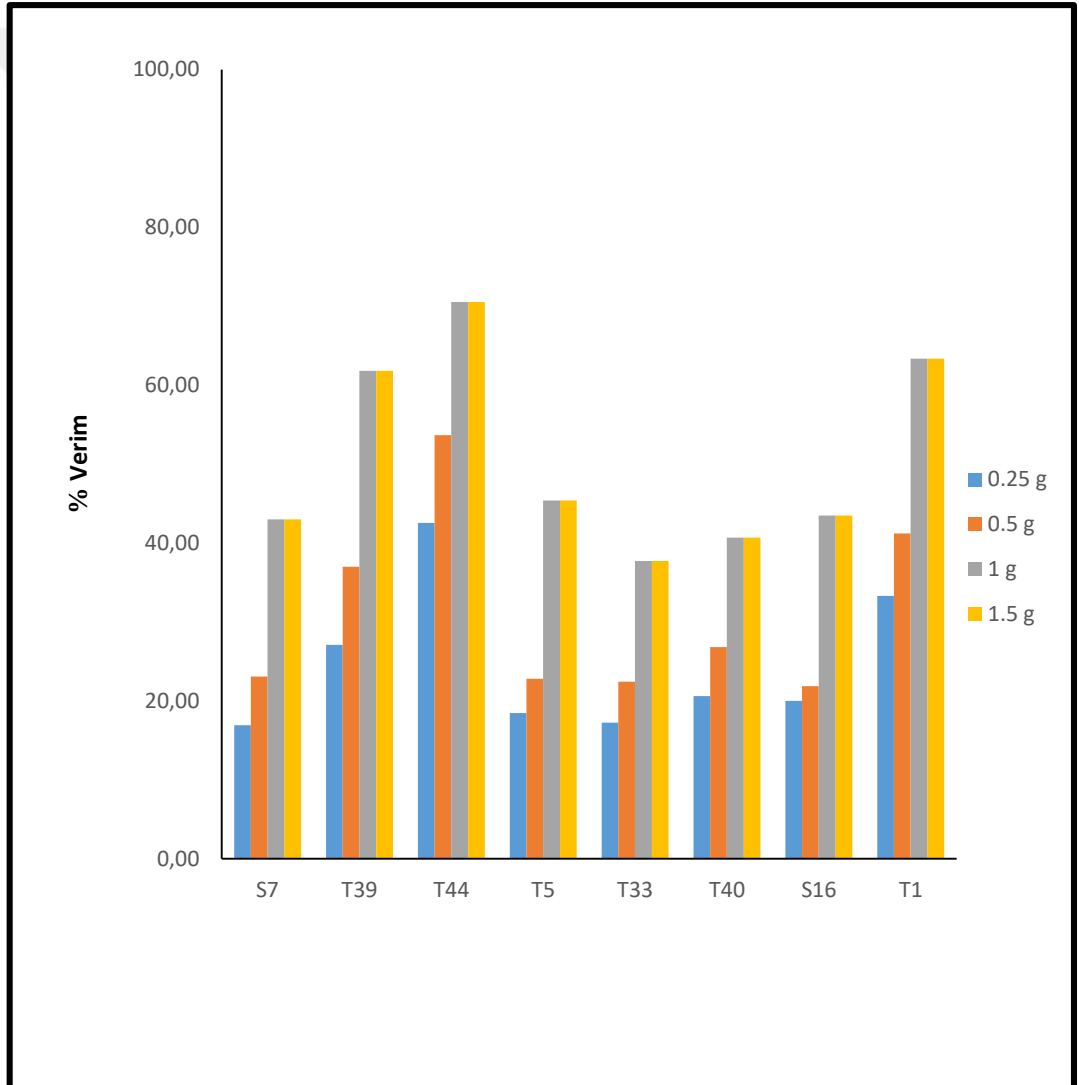
Toprak örneklerinin tematik haritalandırılması konusunda son yıllarda birçok çalışma ortaya konmaktadır. Orta Kelkit havzasından alınan 164 toprak örneğinin pH, tekstür, elektriksel iletkenlik (EC), toplam azot (N), yarıyışlı fosfor (P), organik madde ve kireç (CaCO_3) içerikleri tayin edildikten sonra ters mesafe ağırlık (IDW) enterpolasyon yöntemi kullanarak tematik haritalar elde etmişlerdir. Araştırmacılar 320 km'lik uzunluğu ile beş ili kapsayan (Amasya, Gümüşhane, Giresun, Sivas, Tokat) çalışma alanından elde edilen verilen genel değerlendirmesinde IDW yönteminin uygun bir metot olduğunu bildirmişlerdir (Doğan, vd. 2013).

4.5. Toprak Örneklerinin Adsorplama Kapasitesinin İncelenmesi

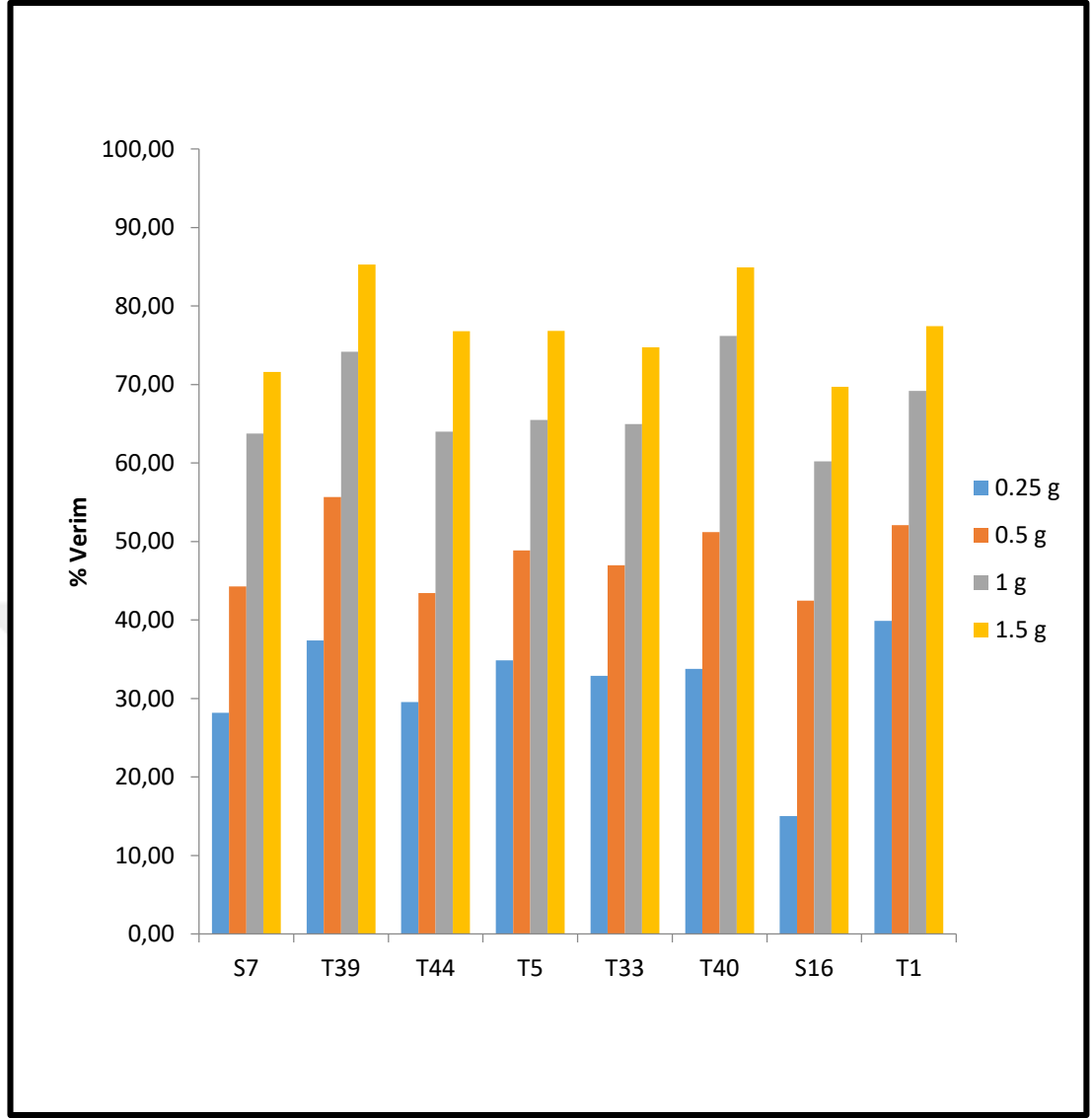
Adsorpsiyon kapasitelerinin tayini için analiz edilen toprak örnekleri içinden 2 tanesi sanayi bölgesinden geri kalan 6 tanesi ise tarım yapılan sahalardan olmak üzere 8 adet toprak örneği seçilmiştir. Toprak örnekleri seçilirken bölge topraklarının temel fiziksel ve kimyasal özellikleri benzerlik gösterdiğinden tekstür sınıfları göz önüne alınmıştır. Çalışmalar için seçilen toprak örneklerine ait temel bazı fiziksel ve kimyasal özellikler üçüncü bölümde yer alan Tablo 3.2.'de verilmiştir.

4.5.1. Zn ve Cd Adsorpsiyon Kapasitesi İçin Toprak Miktarının (Dozaj) Etkisi

Çalışma sahasından toplanana yaklaşık 63 adet örnek içinden seçilen 8 adet toprak örneğinin Zn ve Cd adsorpsiyon çalışmaları için toprak miktarının Zn adsorpsiyonuna etkisi Şekil 4.10.'da incelenmiştir. Dört farklı toprak dozajının Zn adsorpsiyonuna etkisi incelendiğinde en yüksek verime 1 ve 1,5 gr/50ml toprak kullanıldığında ulaşıldığı görülmektedir. Benzer çalışmalar Cd için yapılmış ve Şekil 4.11.'de örneklerin 1 ve 1,5 gr toprak örneklerinde yakın aralıklarda verime ulaştıkları görülmüştür. Elde edilen veriler değerlendirildiğinde çalışmaların 1 gr/50ml toprak dozajı üzerinden devam ettirmeye karar verilmiştir.



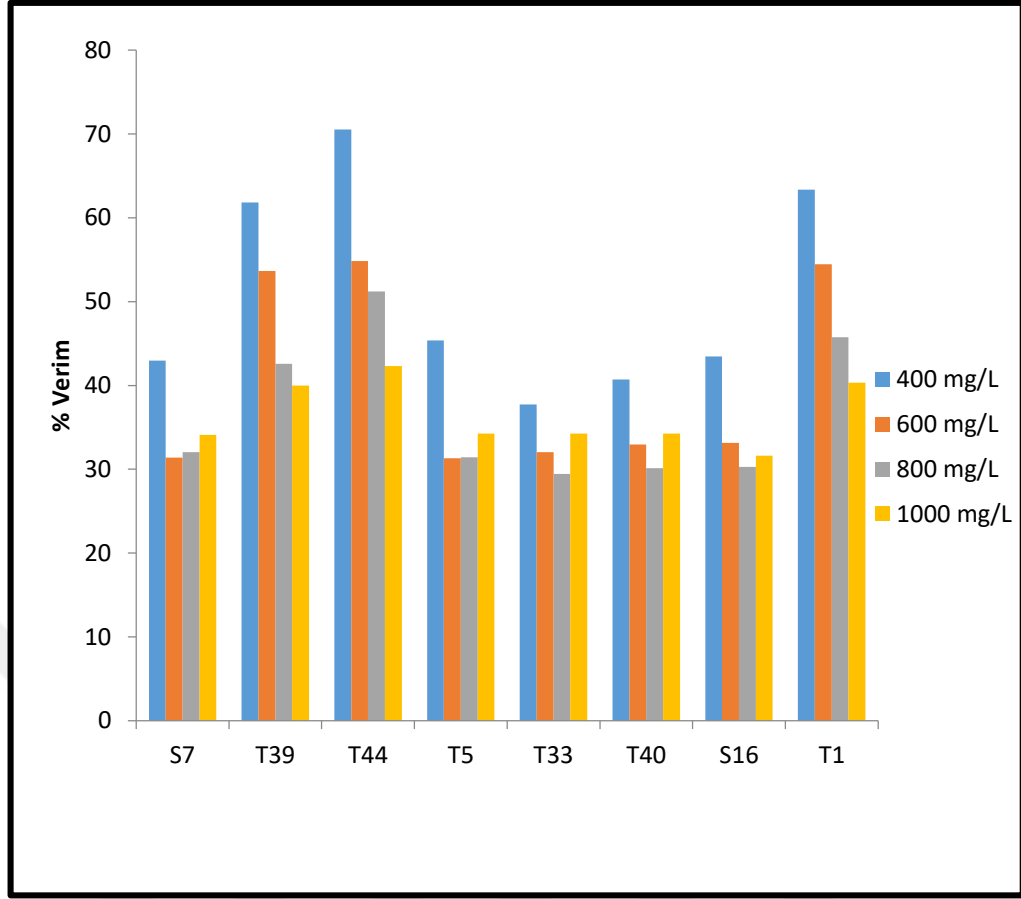
Şekil 4.10. Zn için Toprak Miktarı Yüzde Verim İlişkisi (Co=400 mg/L, t=24 saat, V=50 ml)



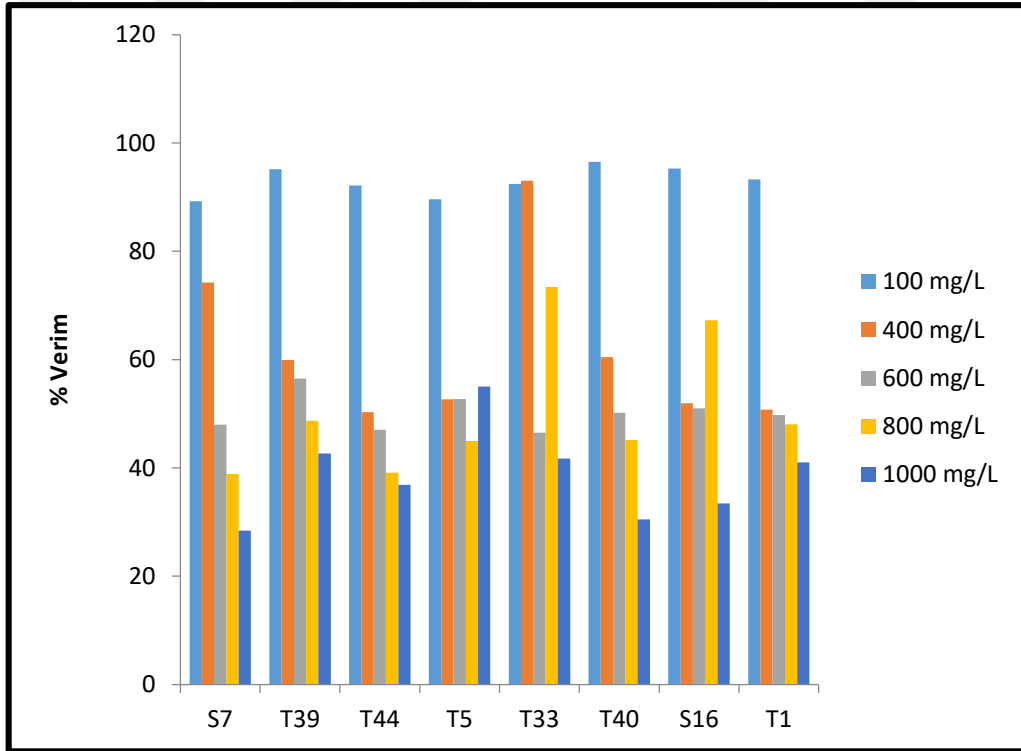
Şekil 4.11. Cd için Toprak Miktarı Yüzde Verim İlişkisi (Co=300 mg/L, t=24 saat, V=50 ml)

4.5.2. Zn ve Cd Adsorpsiyon Kapasitesi Üzerine Konsantrasyonun Etkisi

Farklı konsantrasyonlarda hazırlanan çözeltilerin toprakların Zn ve Cd adsorpsiyonu üzerine etkisi Şekil 4.12. ve Şekil 4.13.'de verilmiştir. Şekil 4.12. incelendiğinde düşük konsantrasyonlarda yüksek verimin olduğu görülmektedir. 800 ve 1000 mg/L'lik konsantrasyonlarda toprakla muamele sonrası Zn için yakın yüzde verim değerlerine ulaşılmaktadır. Şekil 4.13.'de benzer durumlar görülmektedir. Düşük konsantrasyon değerlerinde daha yüksek yüzde verime ulaşılmakta, 400 mg/L ve 600 mg/L'lik konsantrasyonlarda çalışıldığında ise birbirine yaklaşık giderim verimlerine ulaşıldığı görülmektedir. Bu kapsamda konsantrasyon çalışmaları değerlendirilirken her bir metal için farklı başlangıç konsantrasyonları uygulansa da genelde düşük konsantrasyonlarda daha fazla verim alındığı görülmektedir.



Şekil 4.12. Zn Adsorpsiyonuna Konsantrasyon Etkisi (t=24 saat, m=1g, V=50 ml)



Şekil 4.13. Cd Adsorpsiyonuna Konsantrasyonun Etkisi (t=24 saat, m=1g, V=50 ml)

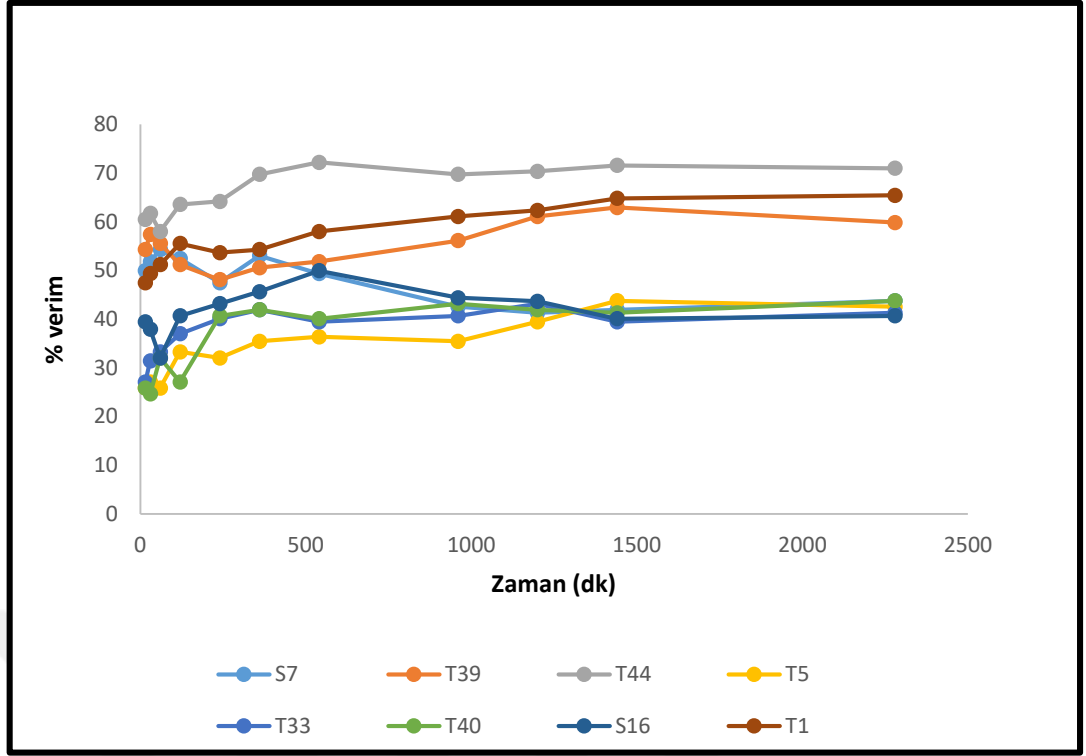
4.5.3. Zn ve Cd Adsorpsiyon Kapasitesi Üzerine Sürenin Etkisi

Adsorpsiyon çalışmalarına sürenin etkisi Zn ve Cd için farklı başlangıç konsantrasyonlarında oda sıcaklığında 125 rpm karıştırma hızında 0-2880 dk arasındaki temas sürelerinde incelenmiştir.

Zn için adsorpsiyon kapasitesine sürenin etkisi değerlendirilmiş, 400 mg/L başlangıç konsantrasyonunda 125 rpm karıştırma hızı ve oda sıcaklığı şartlarında 0-2880 dk arasındaki farklı temas sürelerinde çalışılmıştır. Çalışmalar sonunda 8 adet toprak örneği için denge süreleri belirlenmiştir. Tablo 4.6.'de toprak örneklerinin temas sürelerinde adsorpsiyon verimleri (%) verilmiştir. Toprak örneklerinin her birinin dengeye ulaşma süreleri farklı davranış gösterse de Tablo 4.6. incelendiğinde tüm topraklar için genel anlamda 960 dk temas süresinde adsorpsiyonun dengeye ulaştığı görülmektedir. İlgili tabloya ait grafik Şekil 4.14.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.6. Seçilmiş Toprak Numunelerinde Temas Süresi - % Verim İlişkisi

SÜRE (dk)	S7	T39	T44	T5	T33	T40	S16	T1
	Giderim Verimi (%)							
15	49,96	54,29	60,46	25,887	27,10	25,87	39,46	47,49
30	51,81	57,37	61,70	27,10	31,43	24,63	37,92	49,34
60	54,29	55,52	57,99	25,87	33,28	32,05	32,05	51,20
120	52,43	51,20	63,55	33,28	36,99	27,10	40,69	55,52
240	47,49	48,11	64,17	32,05	40,08	40,69	43,17	53,67
360	53,05	50,58	69,73	35,44	41,93	41,93	45,64	54,29
540	49,34	51,81	72,20	36,37	39,46	40,08	49,96	57,99
960	42,55	56,14	69,73	35,44	40,69	43,17	44,40	61,08
1200	41,31	61,08	70,35	39,46	43,17	41,93	43,66	62,32
1440	41,93	62,93	71,58	43,78	39,46	41,31	40,08	64,79
2280	43,78	59,85	70,97	42,55	41,31	43,78	40,69	65,41

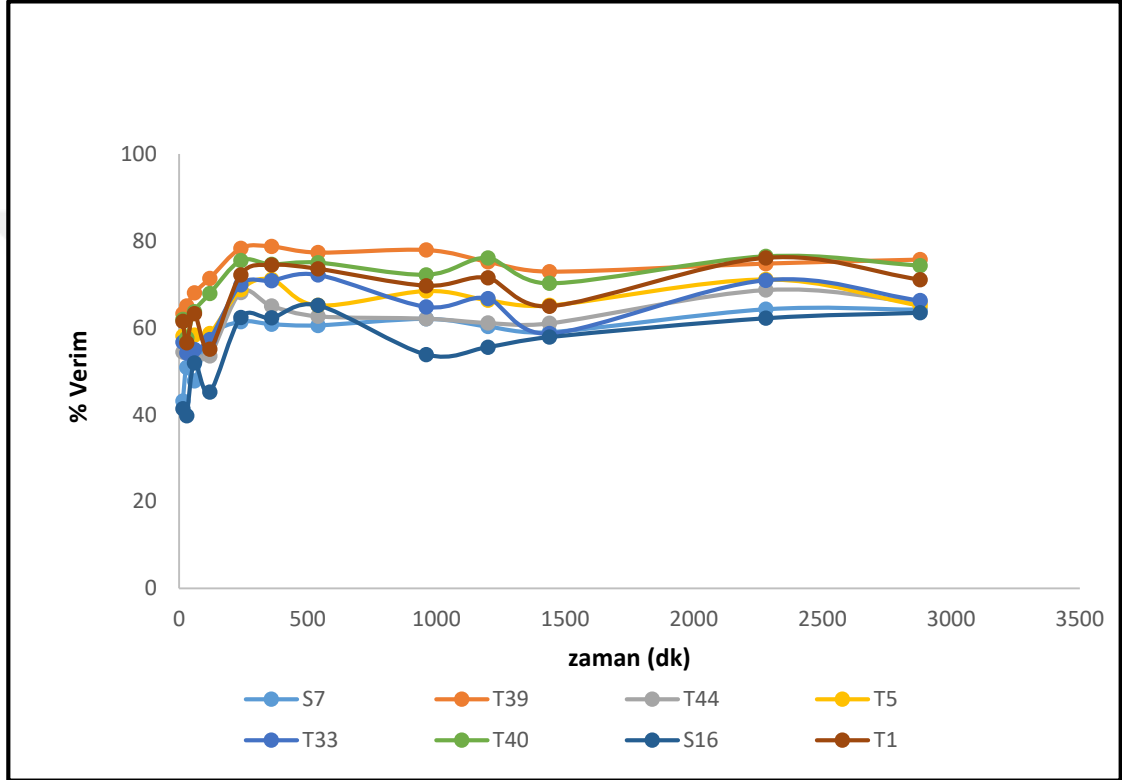


Şekil 4.14. Zn Adsorpsiyonuna Sürenin Etkisi (Co=400 mg/L, V=50 ml, m =1g)

Tablo 4.7. Seçilmiş Toprak Numunelerinde Temas Süresi - % Verim İlişkisi

SÜRE (dk)	S7	T39	T44	T5	T33	T40	S16	T1
15	43,12	63,21	54,40	58,10	56,70	61,90	41,31	61,49
30	50,88	65,01	54,94	57,52	54,18	57,65	39,73	56,52
60	47,72	68,04	53,23	58,28	54,94	63,70	51,87	63,25
120	57,97	71,38	53,50	58,65	57,29	67,86	45,19	55,08
240	61,40	78,24	68,13	68,76	69,89	75,44	62,35	72,19
360	60,81	78,69	65,01	71,11	70,84	74,58	62,26	74,45
540	60,54	77,29	62,62	65,15	72,14	74,99	65,15	73,54
960	62,03	77,88	62,08	68,49	64,79	72,19	53,81	69,66
1200	60,27	75,17	61,08	66,37	66,73	76,07	55,53	71,47
1440	58,96	72,91	60,99	65,15	58,65	70,20	57,83	64,92
2280	64,24	74,76	68,67	71,15	70,93	76,43	62,17	76,07
2880	64,15	75,67	65,78	65,10	66,23	74,31	63,43	71,06

Adsorpsiyon kapasitesine sürenin etkisi Cd için değerlendirilmiş, 300 mg/L başlangıç konsantrasyonunda 125 rpm karıştırma hızı ve oda sıcaklığı şartlarında 0-2880 dk arasındaki farklı temas sürelerinde çalışılmıştır. Çalışmalar sonunda 8 adet toprak örneği için denge süresi 240 dk olarak belirlenmiştir. Tablo 4.7.'de toprak örneklerinin temas sürelerinde adsorpsiyon verimleri (%) verilmiştir. Tablo incelendiğinde tüm topraklar için 240 dk'da adsorpsiyonun dengeye ulaştığı görülmektedir. İlgili tabloya ait grafik Şekil 4.15.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.15. Cd Adsorpsiyonuna Sürenin Etkisi (Co=300 mg/L, V=50 ml, m =1g)

4.6. Zn ve Cd Adsorpsiyon Verilerinin İzoterm Modellerine Uygulanması

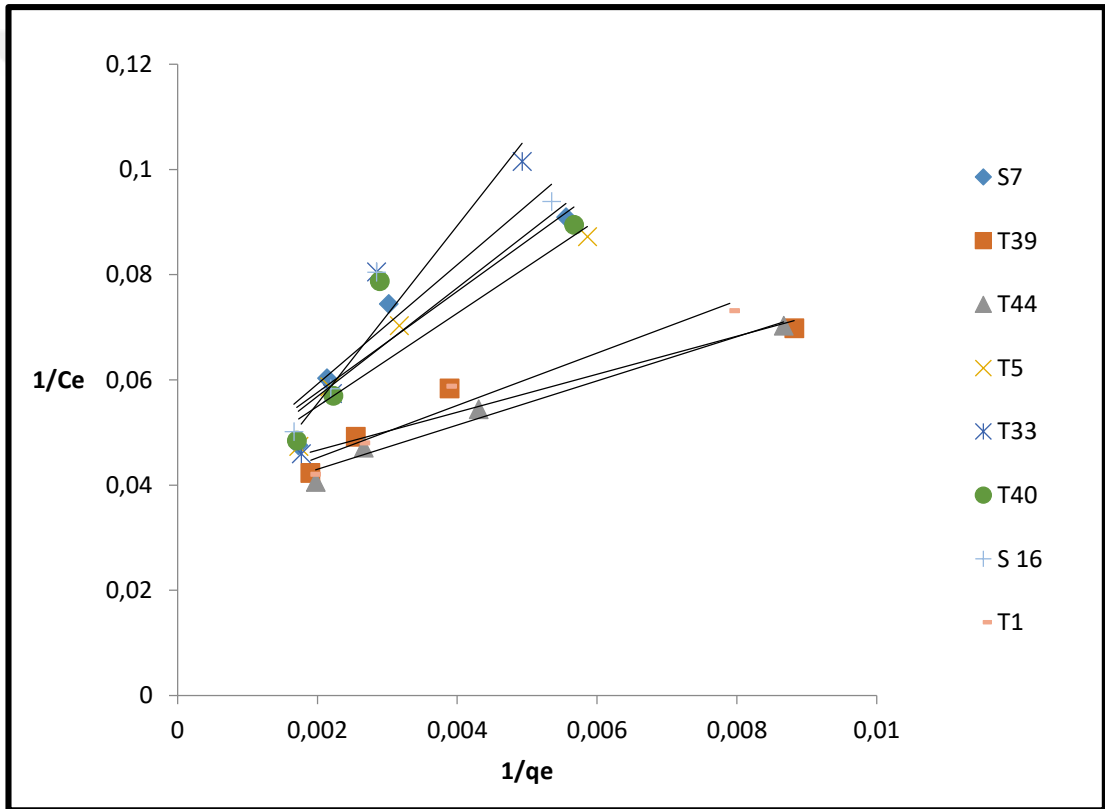
Toprak örneklerine ait izoterm çalışmaları daha önce yapılan dozaj ve konsantrasyon çalışmalarından elde edilen grafiklerdeki veriler kullanılarak yapılmış, toprak örneklerinin Zn, ve Cd ile muamelesi sonucu ortaya çıkan adsorpsiyon davranışını Langmuir, Freundlich, Temkin izotermi ile değerlendirilerek adsorpsiyon davranışının izotermelere uygunluğu incelenmiştir.

4.6.1. Zn Adsorpsiyon Verilerinin İzoterm Modellerine Uygulanması

Toprak örneklerinin Zn çözeltileri ile muamelesi sonucu oluşan dengenin matematiksel olarak ifadesi irdelenmiş Zn adsorpsiyon verilerine uygulanan izoterm modellerine ait katsayılar Tablo 4.8.'de verilmiştir.

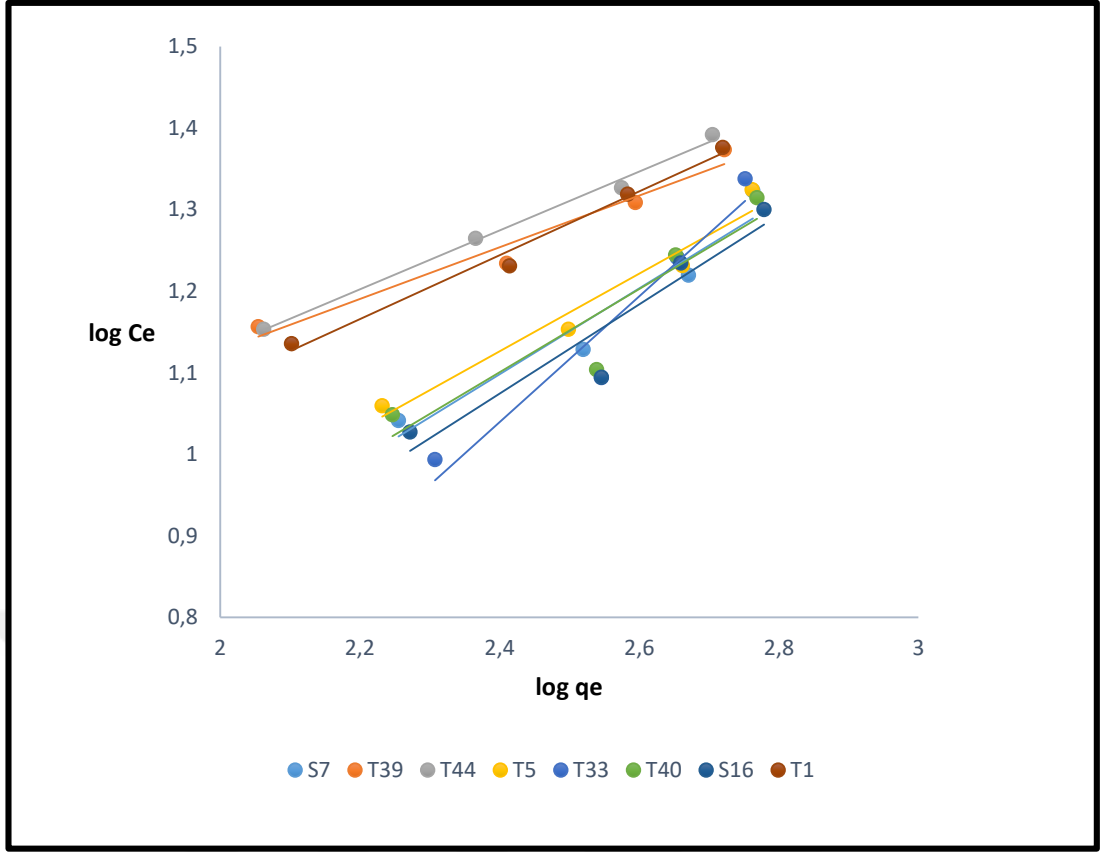
Tablo 4.8. incelendiğinde toprak örnekleri ile yapılan Zn adsorpsiyon çalışmasının hem Langmuir hem de Freundlich izotermine yüksek derecede uyumluluk gösterdiği görülmektedir. Yine de Zn için değerlendirildiğinde tüm toprak numuneleri için Freundlich izotermi Langmuir izotermine göre daha iyi uyum sağlamaktadır. Toprak örnekleri arasında en düşük derecede uyum sağlayan T40 ve S16 dır. Toprak numunelerinin adsorplama kapasitelerine bakıldığında tarım topraklarının daha yüksek adsorplama kapasitelerinin olduğu, sanayi topraklarının adsorplama kapasitelerinin daha düşük olduğu görülmektedir.

Toprak numunelerinin Zn adsorpsiyon denemelerine ait Langmuir izotermi Şekil 4.16.'da, Freundlich izoterm modeline ait grafik ise Şekil 4. 17.'de verilmiştir.

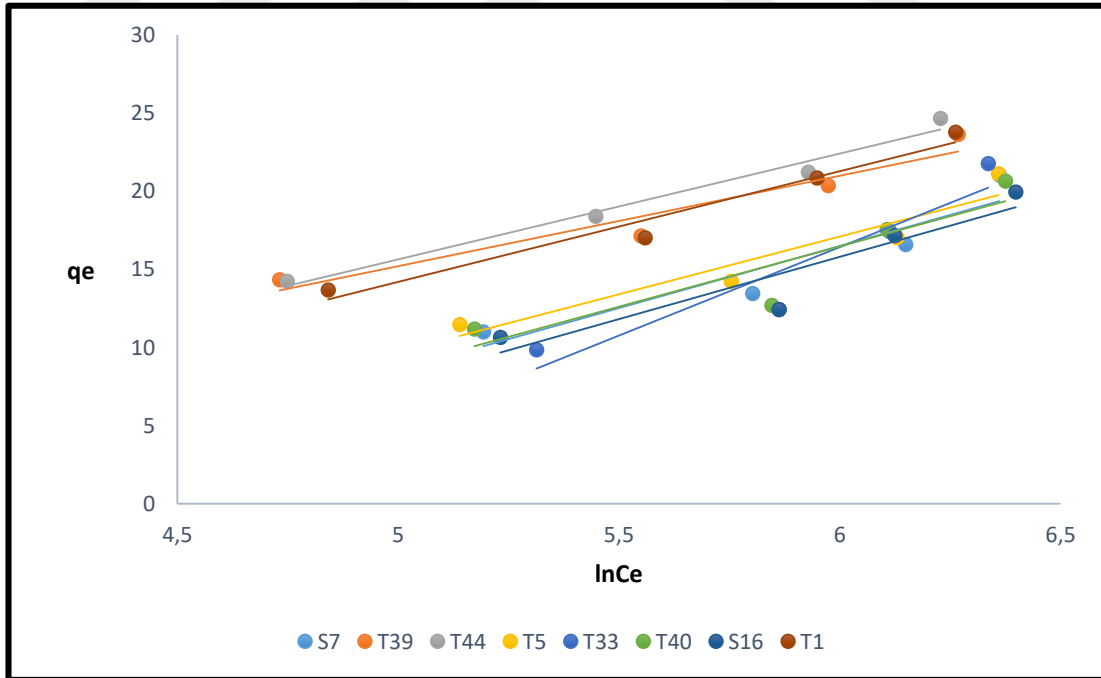


Şekil 4.16. Zn Adsorpsiyonu Langmuir İzotermi

Zn adsorpsiyon çalışmaları verileri Temkin izoterm modeli içinde uygulanmıştır. Tablo 4.8. ve Şekil 4.18.'den görüldüğü üzere Zn adsorpsiyon çalışmasının Temkin izotermine uyumunun diğer izoterm modellerine göre daha düşük olduğu gözlenmektedir. Zn adsorpsiyonunun en iyi derecede uyumu ($R^2 = 0,9804$) T44 no'lu toprak örneğinde gözlerken en düşük derecede uyumluluk gösteren toprak örneği T33 ($R^2 = 0,8331$) olarak karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 4.17. Zn Adsorpsiyonu Freundlich İzotermi



Şekil 4.18. Zn Adsorpsiyonu Temkin İzoterm

Tablo 4.8. Zn Adsorpsiyonuna Ait İzoterm Katsayıları

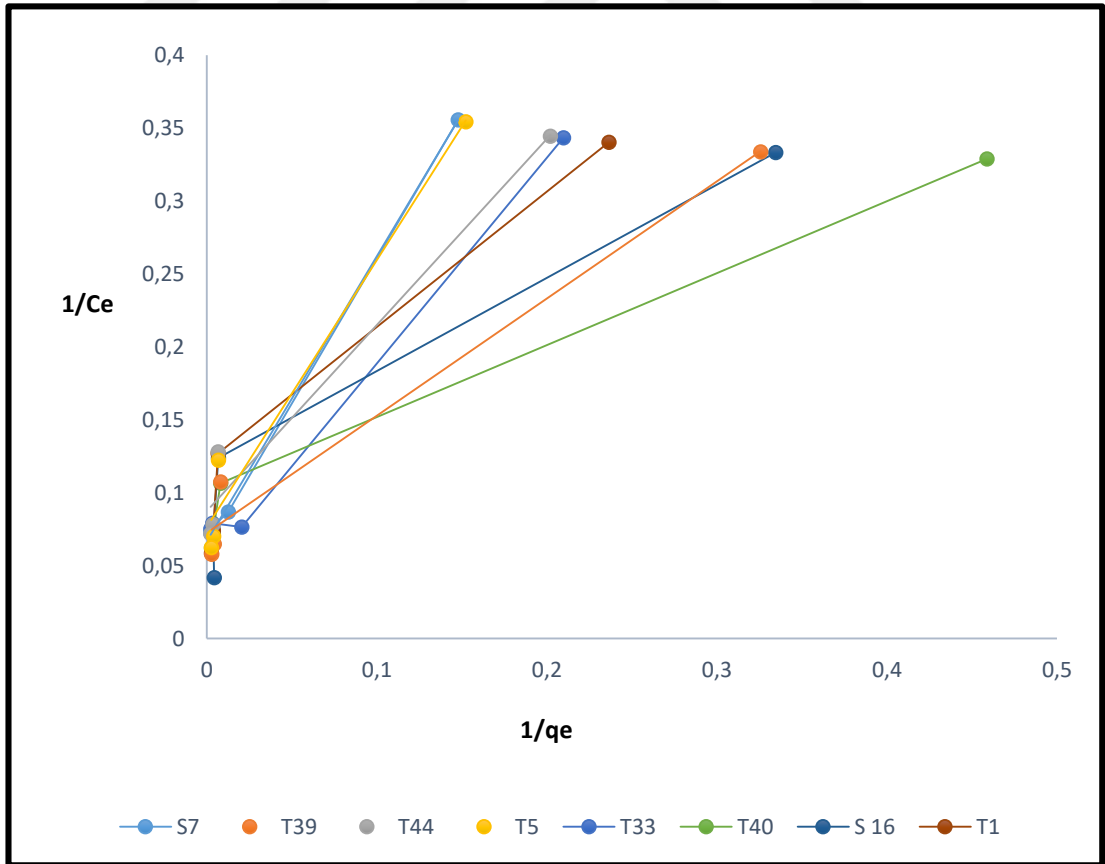
Toprak No	Langmuir			Freundlich			Temkin		
	R ²	qm (mg/g)	K _L (L/mg)	R ²	n	K _f	R ²	b	K _T (L/g)
S7	0,9013	0,097	284,78	0,9304	1,90	1,46	0,8747	312,17	50,40
T39	0,9014	0,277	91,62	0,9611	3,15	3,11	0,9289	427,48	10,80
T44	0,9785	0,237	121,94	0,9943	2,76	2,55	0,9804	316,11	14,73
T5	0,9307	0,112	240,01	0,9571	2,09	1,04	0,9113	335,90	39,64
T33	0,9115	0,059	781,06	0,9322	1,29	6,49	0,8831	219,06	94,63
T40	0,7982	0,104	249,75	0,8640	1,95	1,33	0,8326	320,96	47,94
S16	0,8483	0,088	311,33	0,8988	1,82	1,73	0,8685	310,85	55,70
T1	0,9499	0,201	140,93	0,9857	2,55	2,00	0,9646	350,25	18,26

Tablo 4.8.'den görüldüğü üzere toprak örneklerinin Langmuir ve Freundlich izotermine uyumluluğu Temkin izotermine göre daha yüksektir. Doğal materyal olan toprak örneklerinin her noktada aynı davranışı göstermeyeceği düşünüldüğünden toprak örneklerinin adsorpsiyon davranışı açısından iki izoterme de uygunluk göstermesi normal olarak değerlendirilmiştir.

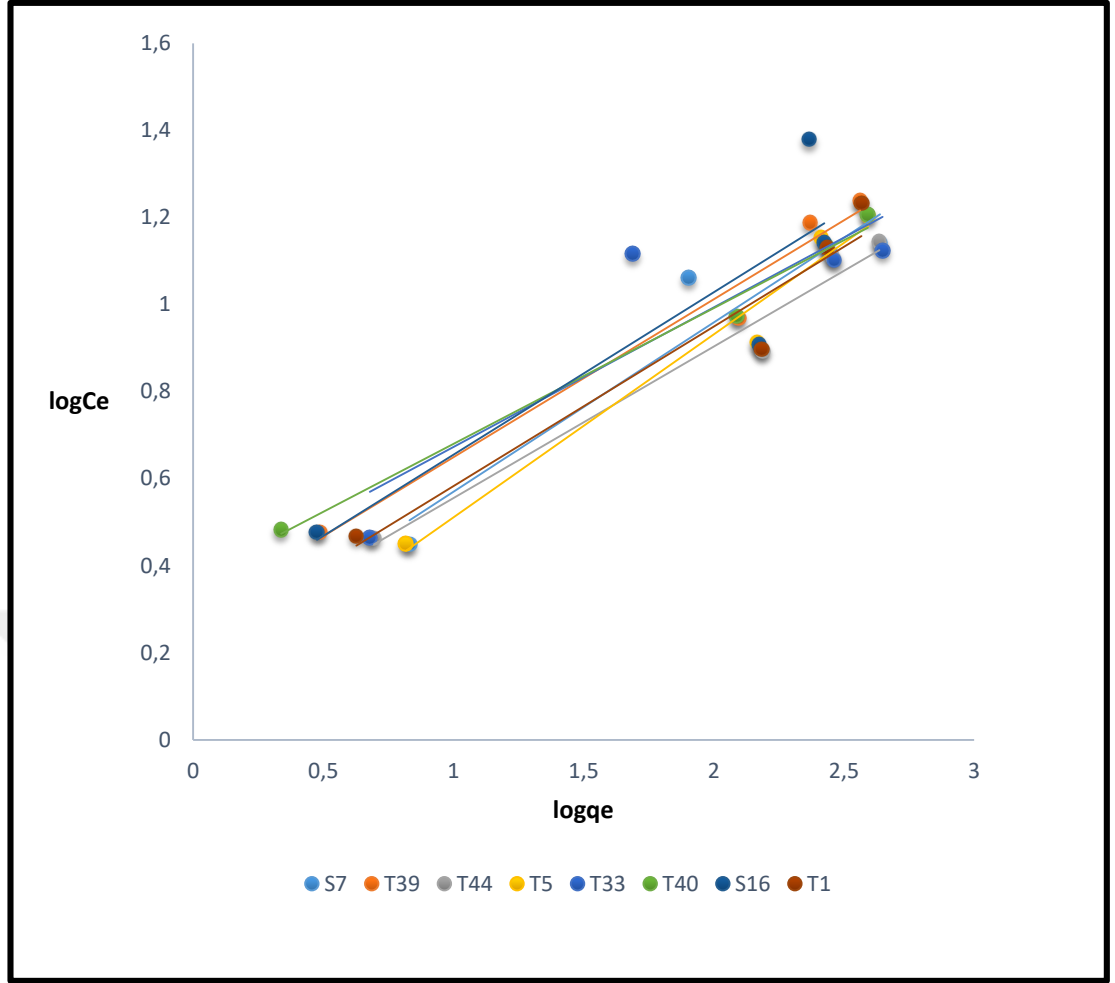
Araştırmacılar Atabey ovasından aldıkları 24 adet toprak örneğinde Zn'nin davranışlarını Langmuir ve Freundlich izotermi ile değerlendirmişlerdir. Toprak örneklerinin Zn adsorpsiyon verilerinin Langmuir izotermine ($R^2 = 0,981$) Freundlich izotermine ($R^2 = 0,966$) göre daha iyi uyum sağladığını bildirmişlerdir (Kaya ve Uygur, 2019).

4.6.2. Cd Adsorpsiyon Verilerinin İzoterm Modellerine Uygulanması

Toprak örneklerinin Cd çözeltileri ile muamelesi sonucu oluşan dengenin matematiksel olarak ifadesi irdelenmiş Cd adsorpsiyon verilerine uygulanan izoterm modellerine ait katsayılar Tablo 4.9.' da izoterm modelleri ise Langmuir, Freundlich ve Temkin için sırasıyla Şekil 4.19., Şekil 4.20., ve Şekil 4.21.'de verilmiştir.



Şekil 4.19. Cd Adsorpsiyonu Langmuir İzotermi

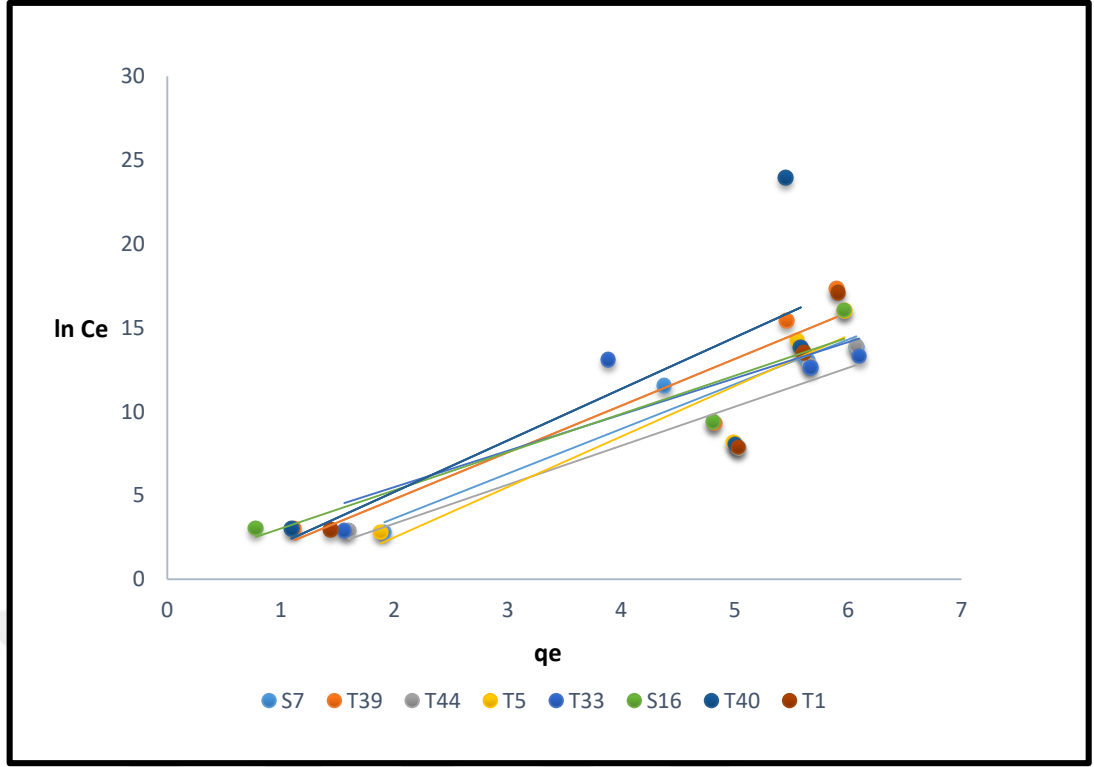


Şekil 4.20. Cd Adsorpsiyonu Freundlich İzotermi

Tablo 4.9. ve Şekil 4.19.'dan görüldüğü üzere Cd adsorpsiyonunun Langmuir izotermine büyük oranda uyum sağladığı görülmektedir. Örnekler içinde S7 no'lu toprağın en iyi şekilde izoterm uyum gösterdiği görülürken ($R^2 = 0,9995$), en az uyum S16 no'lu toprakta ($R^2 = 0,9367$) görülmüştür

Benzer şekilde Cd adsorpsiyon verilerinin Freundlich izotermine uygulanması Şekil 4.20.'de gösterilmiştir. Örnekler içinde T40 no'lu toprak örneğinin izoterm modeline uyumluluğu en iyi olurken ($R^2 = 0,9899$), en az uyum T33 no'lu toprakta ($R^2 = 0,7832$) görülmüştür.

Tablo 4.9. incelendiğinde toprak örneklerinin Cd adsorpsiyonunun Temkin izotermine genelde uyumlu olmadığı görülmektedir. Temkin izoterm modeline uyumluluğu en iyi olan toprak örneği, S7 no'lu toprak örneği olarak ($R^2 = 0,9580$) görülmüştür.



Şekil 4.21. Cd Adsorpsiyonu Temkin İzotermi

Tablo 4.9.'dan görüldüğü üzere toprak örneklerinin Langmuir izotermine uyumluluğu Freundlich ve Temkin izotermine göre daha yüksektir. Bu durum bize adsorpsiyonun tek tabaka üzerinde homojen bir davranış gösterdiğini ifade etmektedir. Doğal materyal olan toprak örneklerinin her noktada aynı davranışı göstermeyeceği düşünüldüğü gibi Cd adsorpsiyonunda homojen tavır göstermesi normal olarak değerlendirilmiştir. Tarım ve sanayi topraklarının kapasitelerine bakıldığında önemli fark gözlenmediği S16 nolu sanayi toprağının tarım toprakları ile aynı seviyede Cd adsorplayabildiği gözlenmiştir. Bunun nedeni büyük oranda toprak numuneleri içerisinde Cd metalinin çok az ya da ölçüm aralığının altında olması olarak düşünülmektedir.

Araştırmacılar Nijeryanın tarım nüfusu yoğun olan bölgesinden aldıkları toprak örneklerinde Cd adsorpsiyonunu Langmuir, Freundlich ve Temkin izotermi ile değerlendirmişlerdir. Yaptıkları çalışmalar sonucunda Cd adsorpsiyonunun Langmuir izotermine yüksek derecede uyumluluk gösterdiği ($R^2 = 0,971$) görülürken bunu sırasıyla Temkin ($R^2 = 0,968$) ve Freundlich ($R^2 = 0,950$) izotermi ile izlediğini bildirmişlerdir (Umeh vd., 2021).

Tablo 4.9. Cd Adsorpsiyonuna Ait İzoterm Katsayıları

Toprak No	Langmuir			Freundlich			Temkin		
	R ²	qm (mg/g)	K _L (L/mg)	R ²	n	K _f	R ²	b	K _T (L/g)
S7	0,9995	0,511	29,33	0,9158	2,57	1,51	0,958	930,00	1,88
T39	0,9761	1,245	11,07	0,9769	2,75	1,93	0,8782	889,00	1,32
T44	0,9576	0,757	16,80	0,9719	2,87	1,61	0,8815	1066,08	1,76
T5	0,962	0,528	27,93	0,9686	2,37	1,23	0,8618	823,19	3,22
T33	0,9927	0,759	19,99	0,7832	3,11	2,24	0,781	1144,85	1,71
T40	0,9806	1,82	7,044	0,9899	3,20	2,33	0,9118	1087,41	1,39
S16	0,9367	1,29	10,28	0,8132	2,68	1,91	0,5349	806,76	1,35
T1	0,9554	0,911	13,46	0,9388	2,73	1,64	0,7892	925,84	1,87

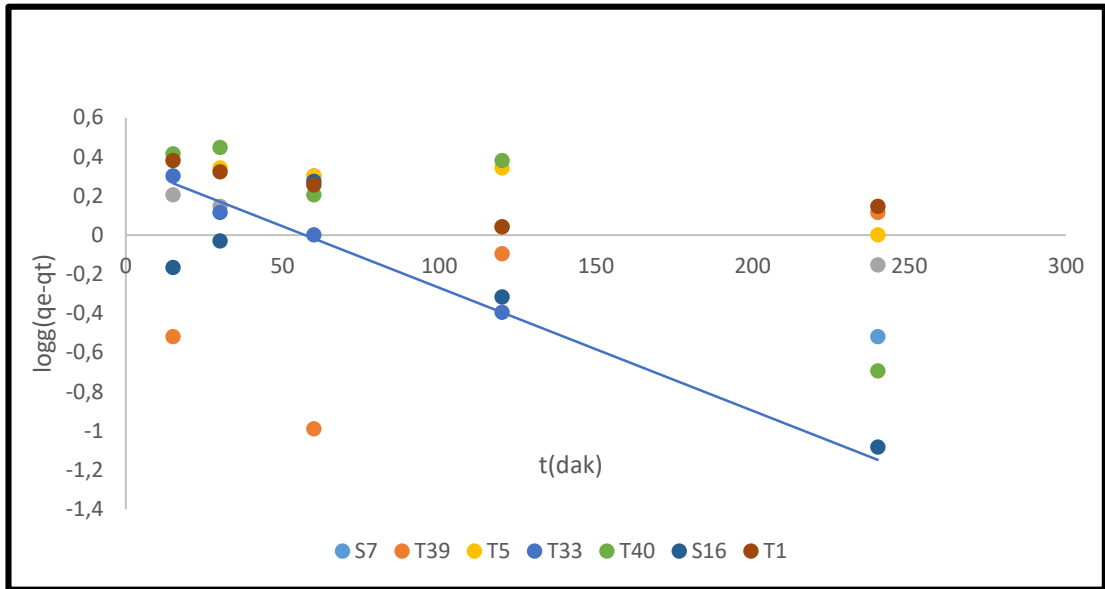
4.7. Zn, Cd ve Cu Adsorpsiyon Verilerinin Kinetik Modellerine Uygulanması

Toprak örneklerine ait kinetik çalışmaları daha önce yapılan temas süresi-verim çalışmalarından elde edilen veriler kullanılarak yapılmış, toprak örneklerinin Zn, Cd ve Cu ile muamelesi sonucu ortaya çıkan adsorpsiyon kinetik davranışını Yalancı I. Derece, Yalancı II. Derece, Elovich ve Partikül İçi Difüzyon kinetik modelleri ile değerlendirilerek modellere uygunluğu incelenmiştir.

4.7.1. Zn Adsorpsiyonuna Ait Kinetik Çalışmaları

400 mg/L başlangıç konsantrasyonunda, 125 rpm karıştırma hızı ve oda sıcaklığı şartlarında 0-2880 dk arasındaki farklı temas sürelerinde yapılan deneme sonuçları kinetik modellere uygunluk için değerlendirilmiştir. Çalışmalar sonunda 8 adet toprak örneği için denge süreleri belirlenmiştir. Zn adsorpsiyon çalışmalarına ait veriler Yalancı Birinci Derece, Yalancı İkinci Derece, Elovich ve Partikül İçi Difüzyon olmak üzere dört adet kinetik model ile değerlendirilerek adsorpsiyonun zamanla ilişkili davranışı incelenmiştir. Tablo 4.10.'da Zn adsorpsiyon verilerine uygulanan kinetik modellerine ait katsayılar verilmiştir. Kinetik modellerine ait grafikler Yalancı Birinci Derece kinetik modeli için Şekil 4.22., Yalancı ikinci Derece Kinetik Modeli için Şekil 4.23., Elovich Modeli için Şekil 4.24. ve Partikül İçi Difüzyon Modeli için Şekil 4.25.'de verilmiştir.

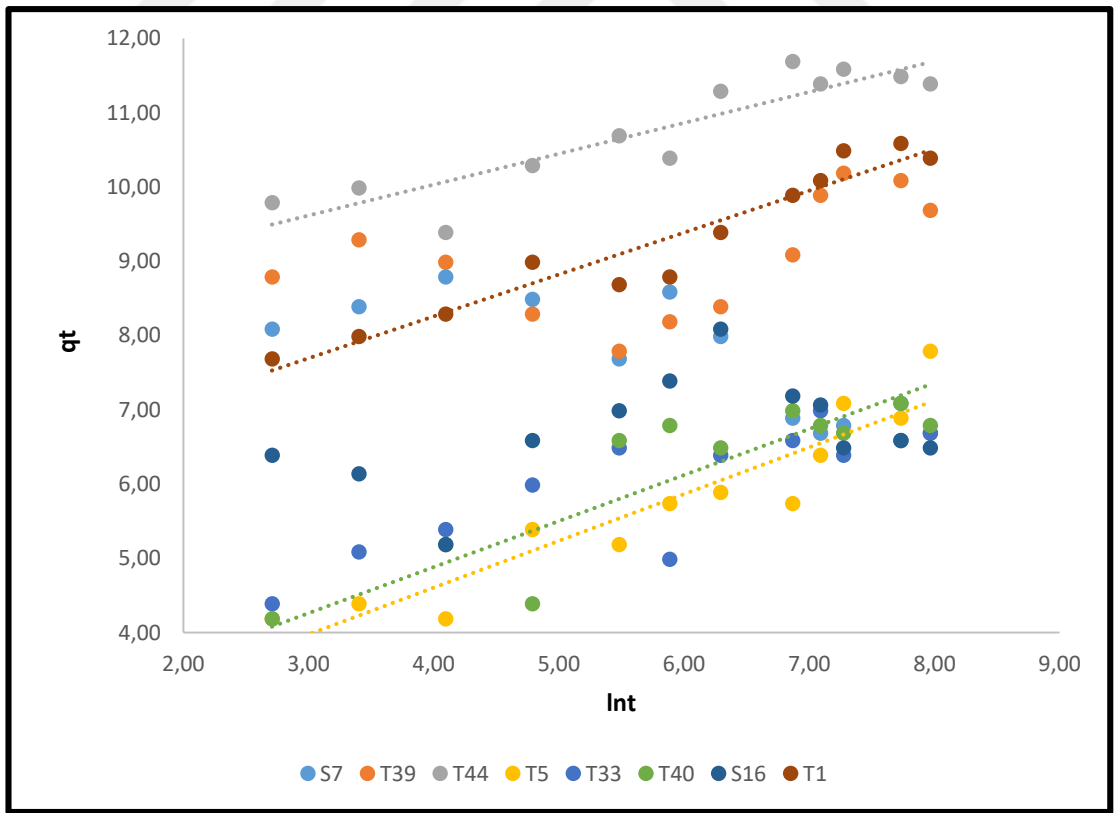
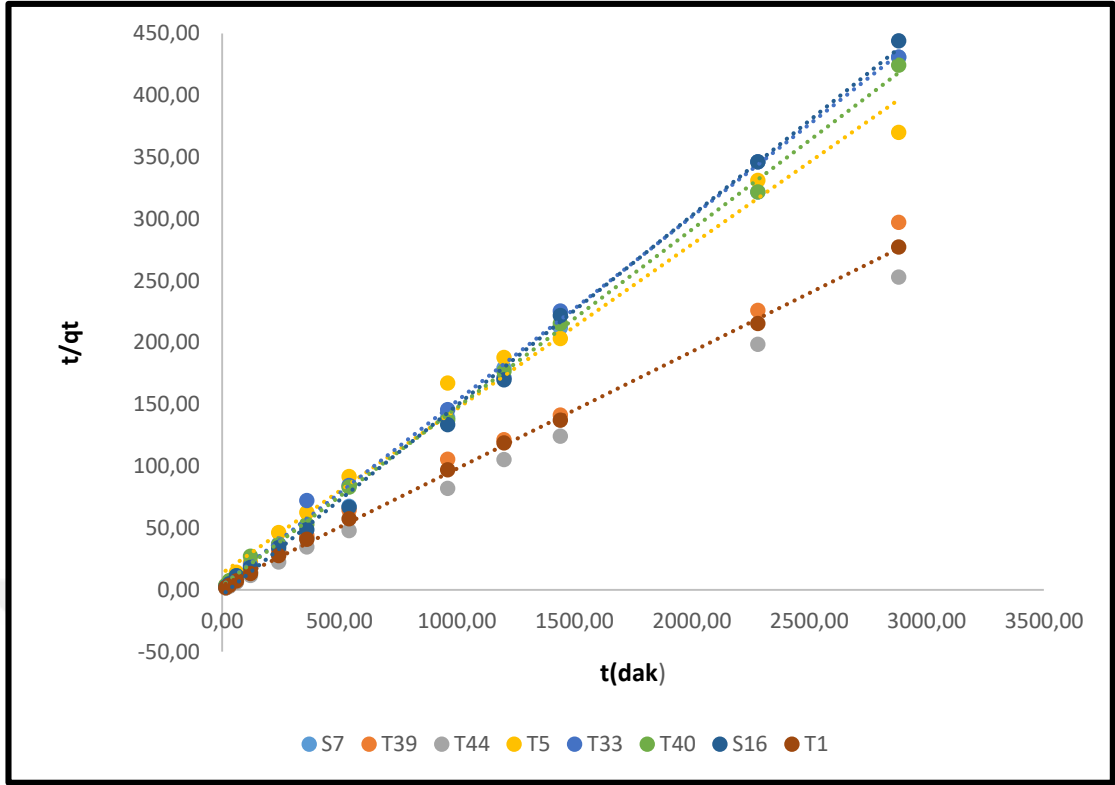
Tablo ve grafiklerden de görüleceği üzere toprak numunelerinin hemen hepsi Yalancı İkinci Derece Kinetik Modeli ile yüksek oranda uyum göstermiştir.

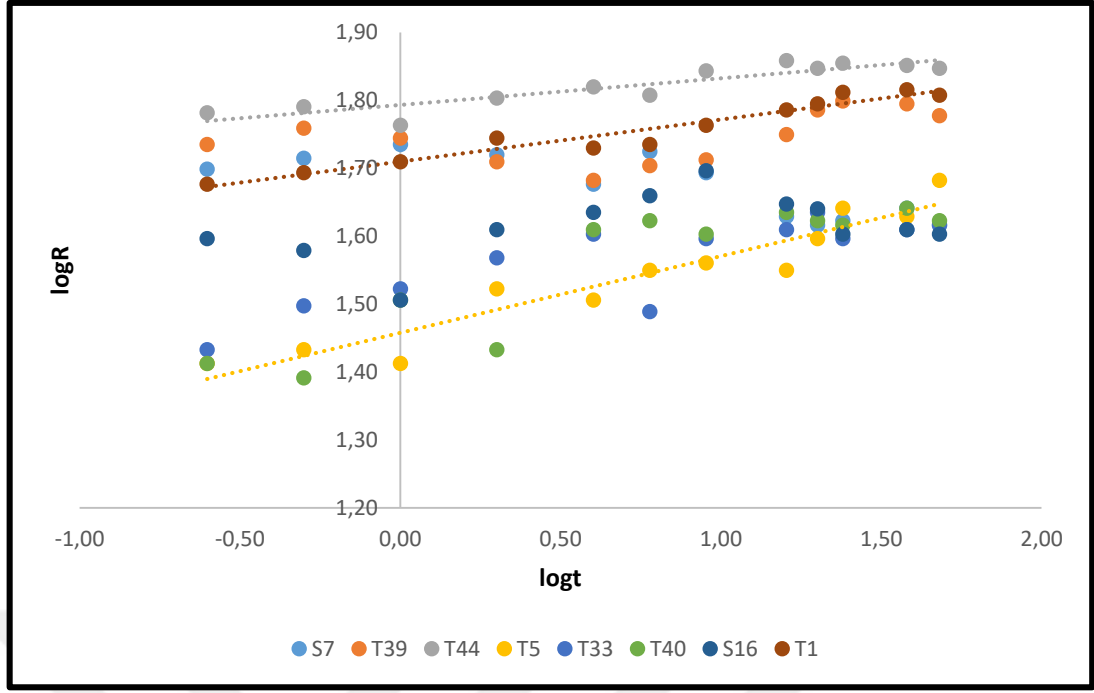


Şekil 4.22. Zn Adsorpsiyonuna Ait Yalancı 1. Derece Modeli

Tablo 4.10. Zn Adsorpsiyonuna Uygulanan Kinetik Modellerine Ait Katsayılar

Toprak No	Yalancı Birinci Derece				Yalancı İkinci Derece			Elovich			Partikül İçi Difüzyon		
	qe (denge)	k1 (1/dak)	qe(hesap) (mg/g)	R ²	k2 (mg/g.dak)	qe (mg/g)	R ²	α (mg/gdk)	β (g/mg)	R ²	kid (1/s)	α	R ²
S7	7,99			0,3170	0,035	6,74	0,9981			0,6228			0,6291
T39	9,09			0,4255	0,029	9,98	0,9975			0,2321			0,2129
T44	11,39			0,7836	0,100	11,51	0,9997	22,58	2,41	0,8225	92,40	1,050	0,8193
T5	6,39			0,7576	0,010	7,52	0,9874	15,45	1,59	0,8804	96,20	1,086	0,9080
T33	6,39	0,0075	1,140	0,9815	0,040	6,71	0,9981			0,7113			0,7044
T40	6,79			0,4227	0,042	6,95	0,9988	17,32	1,61	0,8096	88,65	1,025	0,7978
S16	7,07			0,7623	0,036	6,51	0,9978			0,1715			0,1841
T1	10,09	0,0258	1,520	0,9244	0,028	10,57	0,9991	19,30	1,77	0,9287	80,60	1,168	0,9393





Şekil 4.25. Zn Adsorpsiyonuna Ait Partikül İçi Difüzyon Kinetik Modeli

Adsorpsiyon çalışmasına ait deneysel denge kapasiteleri yüksek oranda Yalancı İkinci Derece modelinden hesaplanan kapasite değerleri ile oldukça yakındır. Bu da modele uygunluğunu ortaya koymaktadır.

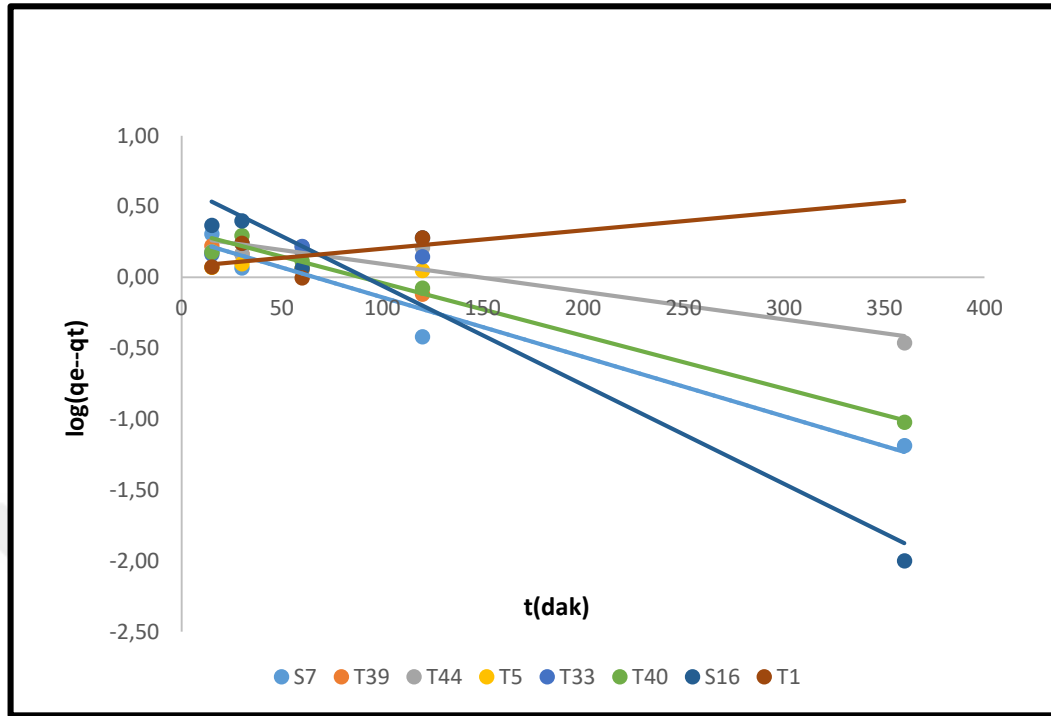
4.7.2. Cd Adsorpsiyonuna Ait Kinetik Çalışmaları

Kinetik çalışmalarına ait veriler Cd için değerlendirilmiş, 300 mg/L başlangıç konsantrasyonunda 125 rpm karıştırma hızı ve oda sıcaklığı şartlarında 0-2880 dk arasındaki farklı temas sürelerinde çalışılmıştır. Çalışmalar sonunda 8 adet toprak örneği için denge süresi 240 dk olarak belirlenmiştir. Cd adsorpsiyon çalışmalarına ait verilerin kinetik modeller ile değerlendirmesi yapılarak adsorpsiyonun zamanla ilişkili davranışı incelenmiştir. Tablo 4.11.'de Cd adsorpsiyon verilerine uygulanan kinetik modellere ait katsayılar verilmiştir.

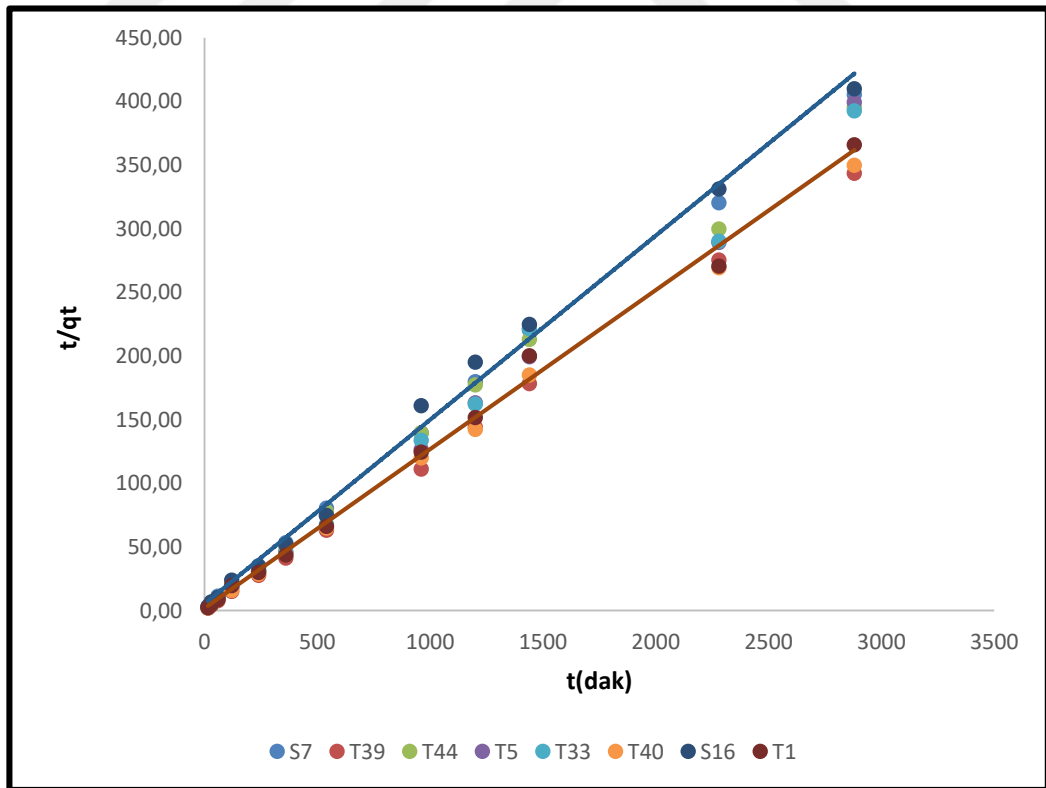
Toprak örneklerinin Cd adsorpsiyonuna ait veriler Yalancı Birinci Derece Yalancı İkinci Derece, Elovich ve Partikül İçi Difüzyon Kinetik Modellerine kinetik modellerine uygulanmıştır. Modellere ait grafikler Şekil 4.26., Şekil 4.27., Şekil 4.28. ve Şekil 4.29.'da verilmiştir.

Tüm kinetik modeller incelenip, denge q_e (mg/g) değerleri ile denemeler sonrası kinetik modellerden hesaplanan q_e değerleri karşılaştırıldığında hem yüksek R^2 değerleri hemde denge q_e ile hesaplanan q_e değerlerinin yakınlığı açısından Yalancı

İkinci Derece Kinetik Modelinin tüm toprak numuneleri için uygun olduğu görülmüştür.



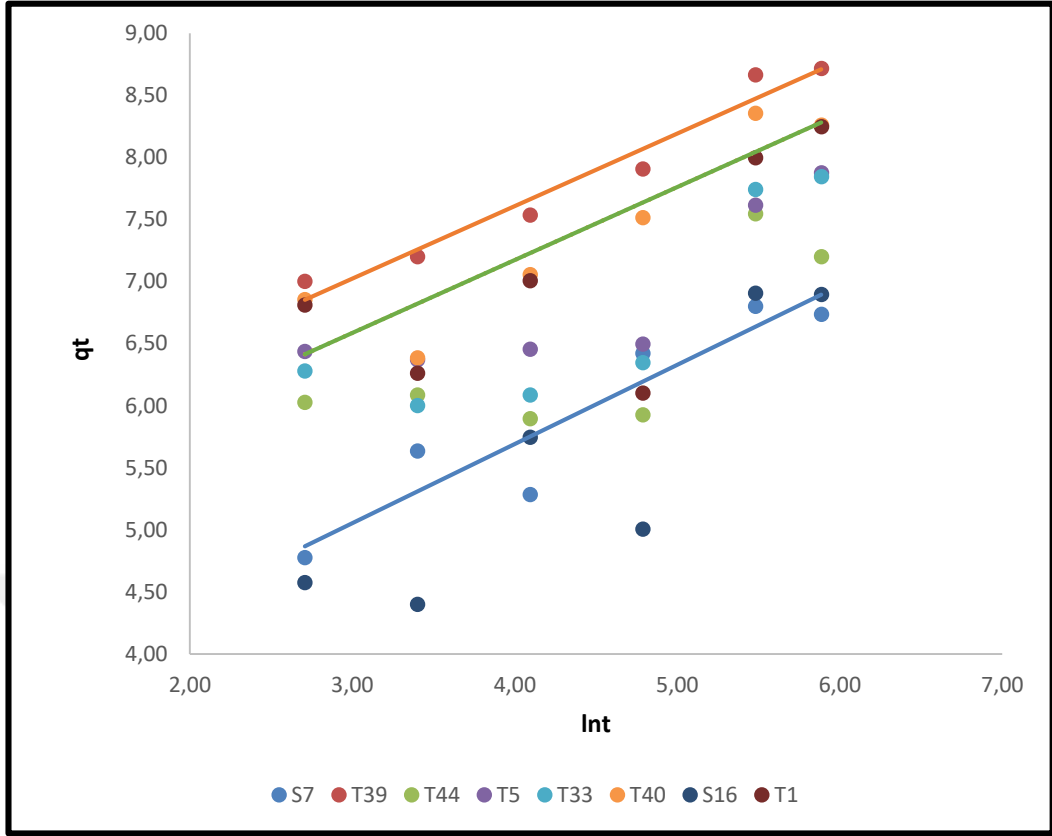
Şekil 4.26. Cd Adsorpsiyonuna Ait Yalancı I. Derece Kinetik Modeli



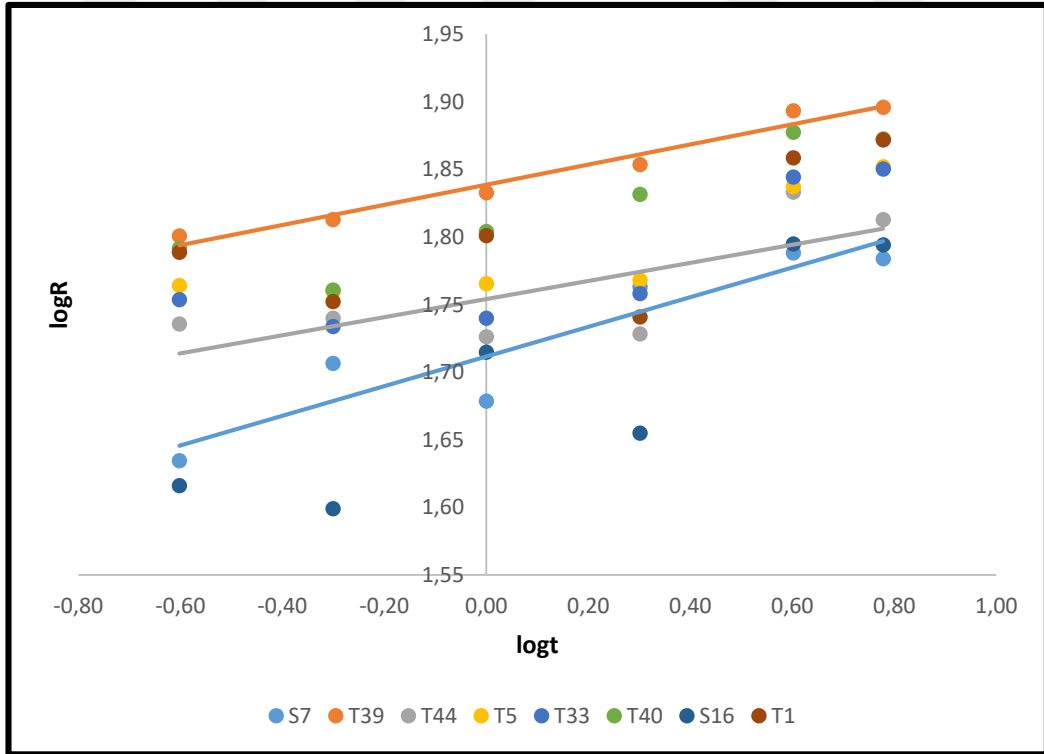
Şekil 4.27. Cd Adsorpsiyonuna Ait Yalancı II. Derece Kinetik Modeli

Tablo 4.11. Cd Adsorpsiyonuna Uygulanan Kinetik Modellerine Ait Katsayılar

Toprak No	Yalancı Birinci Derece				Yalancı İkinci Derece			Elovich			Partikül İçi Difüzyon		
	q _e (denge)	k ₁ (1/dak)	q _e (hesap) (mg/g)	R ²	k ₂ (mg/g.dak)	q _e (mg/g)	R ²	α (mg/gdk)	β (g/mg)	R ²	k _{id} (1/s)	α	R ²
S7	6,80	0,0096	1,625	0,9468	0,039	7,077	0,9985	0,7293	0,7293	0,8748	51,2625	0,0975	0,8510
T39	8,67	0,0073	1,8276	0,9951	-0,6046	8,319	0,9996	1,7114	1,7114	0,9606	68,9604	0,0745	0,9691
T44	7,55	0,0046	1,9538	0,8877	0,0375	7,342	0,9969	-	-	0,5634	-	-	0,5604
T5	7,62	0,0020	1,3222	0,9828	0,8137	7,4294	0,9972	2,1276	2,1276	0,7132	60,6038	0,0665	0,7162
T33	7,74	0,00011	1,6572	0,9711	0,1030	7,4128	0,9938	-	-	0,6896	-	-	0,6886
T40	8,36	0,0085	2,1507	0,9847	0,1036	8,2850	0,9987	1,7015	1,7015	0,8305	65,0429	0,0806	0,7572
S16	6,91	0,0161	1,1854	0,9296	0,0273	6,9108	0,9952	1,2482	1,2482	0,7687	44,3812	0,1426	0,7203
T1	8,00	-	-	0,2005	0,0676	8,000	0,9957	-	-	0,2175	-	-	0,4220



Şekil 4.28. Cd Adsorpsiyonuna Ait Elovich Kinetik Modeli



Şekil 4.29. Cd Adsorpsiyonuna Ait Partikül İçi Difüzyon Kinetik Modeli

4.8. Zn ve Cd Adsorplama Kapasitesinin Toprakların Diğer Özellikleri ile İstatistiksel İlişkisi

Toprak örneklerinin Zn ve Cd adsorplama kapasitelerinin (qe) örneklerin diğer özellikleriyle istatistiki ilişkisi Tablo 4.12. ve Tablo 4.13.'de değerlendirilmiştir. Tablo 4.12.'de Zn'nin adsorplama kapasitesi (qe) ile toprakların diğer özellikleri arasındaki ilişki verilmiştir. Tablo 4.12.'den görüldüğü üzere adsorplama kapasitesi (qe) değerinin pH ile istatistik olarak bir ters bağlantı olduğu ortaya çıkmıştır. Bu bağlantıdan pH değeri düştüğünde adsorplama kapasitesinin yükseleceği anlamı çıkmaktadır. Toprakların diğer özellikleriyle adsorplama kapasitesi (qe) arasında istatistiksel bir ilişki görülmemiştir.

Tablo 4.12. Zn Adsorplama Kapasitesi (qe) İle Diğer Özellikler Arasındaki İlişkiye Ait Spearman Katsayıları.

	Organik Madde %	KDK	Nem %	CaCO ₃ %	% kum	% kil	% silt	qe (mg/g)
pH	-0.152	0.446	-0.173	0.770	0.477	-0.578	-0.250	-0.765
	0.718	0.267	0.681	0.025	0.231	0.132	0.549	0.026
Organik Madde %		0.465	-0.483	0.325	-0.078	0.209	-0.148	-0.299
		0.244	0.225	0.432	0.852	0.618	0.725	0.471
KDK			-0.603	0.540	0.146	-0.169	-0.089	-0.623
			0.112	0.166	0.729	0.688	0.833	0.098
Nem %				-0.483	0.040	-0.090	0.047	0.370
				0.225	0.924	0.831	0.910	0.366
CaCO ₃ %					0.392	-0.389	-0.350	-0.686
					0.335	0.340	0.395	0.059
% Kum						-0.973	-0.922	0.011
						0.000	0.001	0.978
% Kil							0.809	0.084
							0.015	0.842
% Silt								-0.169
								0.687

Correlation
P-Value 0,05

Cd'nin adsorplama kapasitesi ile toprakların diğer özellikleri arasındaki ilişki Tablo 4.13.'de verilmiştir. Tablo 4.13. incelendiğinde toprak örneklerinin Cd

adsorplama kapasiteleriyle toprakların diğer özellikleri arasında istatistik olarak bir bağlantı olmadığı görülmüştür.

Tablo 4.13. Cd Adsorplama Kapasitesi (qe) İle Diğer Özellikler Arasındaki İlişkiye Ait Spearman Katsayıları

	Organik Madde %	KDK	Nem %	CaCO3 %	% kum	% kil	% silt	qe (mg/g)
pH	-0.152 0.718	0.446 0.267	-0.173 0.681	0.770 0.025	0.477 0.231	-0.578 0.132	-0.250 0.549	-0.140 0.739
Organik Madde %		0.465 0.244	-0.483 0.225	0.325 0.432	-0.078 0.852	0.209 0.618	-0.148 0.725	-0.249 0.552
KDK			-0.603 0.112	0.540 0.166	0.146 0.729	-0.169 0.688	-0.089 0.833	0.292 0.482
Nem %				-0.483 0.225	0.040 0.924	-0.090 0.831	0.047 0.910	-0.305 0.461
CaCO3 %					0.392 0.335	-0.389 0.340	-0.350 0.395	-0.202 0.631
% Kum						-0.973 0.000	-0.922 0.001	-0.064 0.879
% Kil							0.809 0.015	-0.043 0.918
% Silt								0.237 0.570
Correlation P-Value 0,05								

5. SONUÇ

Ülkemizde çevre sorunları; endüstrinin artması ile beraber cereyan etmiş ve günümüze kadar problemler artarak karşımıza çıkmıştır. Bu süreçte ekolojik yaşamı doğrudan tehdit eden toprak kirliliği de önceki yıllara nazaran artış göstermiş ve canlı yaşamını olumsuz etkilemiştir.

Toprak kirliliğinin önemli parametrelerinden biri olan, ağır metal kirliliği ise günümüzde küresel bir boyut kazanmıştır. Plansız kentleşme ve sanayileşme sonucu yitirilen tarım arazileri, birçok nedenden kaynaklanan ağır metal girişleri ile de kirliliğe maruz kalarak, besin zinciri aracılığıyla ekosistem sağlığını tehdit etmektedir.

Tez çalışmasında araştırma sahası olarak, aynı alan içinde hem sanayi hem de verimli tarım arazilerini barındıran Tekkeköy bölgesi seçilmiştir. Çalışmanın ilk bölümünde alandan alınan yaklaşık 63 adet toprak örneği laboratuvar şartlarına taşınarak öncelikle temel kimyasal ve fiziksel özellikleri tayin edilmiştir.

0-20 cm. derinlikten alınan toprak örneklerinde pH, KDK, % organik madde, toprak tekstürü, % nem, % CaCO_3 değerleri analiz edilmiştir. Toprak örneklerinin % organik madde içeriklerinin alan üzerinde geniş bir şekilde 1,6–1,9 ve 2-2,6 değer aralığında yer aldığı görülmektedir. % organik madde içeriğinin ise 0 ile 5 arasında dağılım göstermekte olduğu izlenmiştir. Çalışma sahasının KDK değerleri 0-80 değer aralığında değişim göstermektedir. Toprakların % organik madde sınıflandırılmasına göre araştırma sahasının büyük çoğunluğunun orta sınıfa ait olduğu saptanmıştır. Toprak örneklerine ait KDK değerlerinin 29,00–43,00 me/100g arasında yoğunluk gösterdiği örnekleme sahasında, Düşük KDK değerlerine sahip toprak örneklerinin çoğunlukla sahil bandında ve kuzey batı bandındaki topraklarda olduğu gözlenmiştir. En yüksek KDK değerine S4 no'lu örnekte rastlanırken (80,43 meq/100g), en düşük KDK değerine S13 no'lu toprakta tayin edilmiştir. Genelde KDK değerinin yüksek çıktığı örnekler verimli tarım arazilerinden alınan toprak örnekleridir. Toprakların pH değerleri incelendiğinde en düşük pH değerine T2 numaralı toprakta ($\text{pH} = 4,57$) rastlanmış olup, en yüksek pH değeri ise 7,93 ile T23 no'lu toprak örneğinde tayin edilmiştir. Toprak örneklerinin genel durumu içinde kuvvetli asit, orta derecede asit, hafif asit, hafif alkali ve nötr topraklar mevcuttur. Toprak örneklerinde en düşük nem içeriği S6 no'lu toprakta tayin edilmiş olup (%0,43), en yüksek % nem değerine T17 no'lu (%10,3) toprakta rastlanmıştır. Toprak örneklerinin tekstür yapıları da tayin

edilmiş olup bölge üzerinden alınan örneklerde 7 farklı toprak yapısı ortaya çıkmıştır. Genel olarak bakıldığında kumlu tın, killi tın ve kil içeriğinin fazla miktarda toprak örneğinde analiz edildiği görülmüştür. Toprakların tayin edilen bazı temel fiziksel ve kimyasal özellikleri literatürde yer alan çalışmalarla karşılaştırıldığında benzer sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

Çalışmalar sırasında toprakların temel bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri ile ağır metal içerikleri coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak haritalanmış ve çalışma kapsamında sunulmuştur.

Toprak örneklerinin ağır metal içerikleri Zn açısından değerlendirildiğinde en düşük Zn değerine 37,5 mg/kg'lık değer ile S6 no'lu toprakta en yüksek değere ise S9 no'lu toprakta 195,26 mg/kg olarak tayin edilmiştir. Örnekleme sahasına ait toprak örnekleri Cd açısından değerlendirildiğinde ölçüm sonuçları genellikle cihazın ölçüm aralığının altında tespit edilmiştir. Bununla birlikte ölçüm alınan toprak örnekleri içerisinde T24 no'lu örnekte Cd değeri 0,23 mg/kg olarak ölçülürken, en yüksek Cd değerleri T29 ve T18 no'lu topraklarda 5,10 mg/kg tayin edilmiştir. Genelde yüksek Zn içeriklerine sanayi bölgesi topraklarında rastlanırken Cd içeriğine tarım arazilerinden alınan toprak örneklerinde rastlanmıştır. Geçmişten günümüze bölge üzerinde yapılan çalışmalar incelendiğinde çinko ve kadmiyum miktarlarında artış olduğu görülmektedir. Çinko miktarlarındaki artışın bölgede bulunan sanayi yoğunluğunun neden olabileceği düşünülmektedir. Noktasal kaynak olarak sanayi tesislerinin çinko birikimine etkilerinin yanı sıra bölgenin kümülatif etkisinin de çinko miktarlarındaki artışın nedenlerinden biri olduğu düşünülmektedir. Bölgede kadmiyum içeriğine çoğunlukla tarım arazilerinde rastlanmıştır. Tarım arazilerindeki kadmiyum miktarlarında oluşan değişime tarım ve buna bağlı olarak gübreleme faaliyetlerinin neden olduğu düşünülmektedir.

Ağır metal içerikleri ve temel bazı kimyasal ve fiziksel içerikleri tayin edilen toprak örneklerinden farklı özelliklere sahip 8 adet toprak örneği seçilmiş ve bu toprak örnekleri üzerinde adsorpsiyon çalışmaları yürütülmüştür. Adsorpsiyon çalışmaları sonucunda toprak örneklerinin Zn ve Cd adsorpsiyonları Langmuir, Freundlich ve Temkin izotermi açısından değerlendirilmiş Langmuir ve Freundlich açısından yüksek uyumluluk gösterirken Temkin izotermi açısından uyum görülmemiştir.

Ayrıca toprak örneklerinin Zn ve Cd içeriklerinin toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleriyle ilişkisini incelemek için Sperman Sıralama Korelasyon testi

(Spermans Rank Correlation) uygulanmıştır. Buna göre Zn içeriği ile KDK arasında pozitif yönde ilişki olduğu görülürken diğer parametrelerle istatistiksel anlamlı herhangi bir ilişki olmadığı görülmektedir. Cd için ise analiz sonuçlarına göre diğer parametreler ile arasında istatistik olarak bir ilişki bulunmadığı görülmektedir.

Çalışmanın ikinci bölümünde ağır metal içerikleri ve temel bazı kimyasal ve fiziksel içerikleri tayin edilen toprak örneklerinden farklı özelliklere sahip 8 adet toprak örneği seçilmiş ve bu toprak örnekleri üzerinde Zn ve Cd adsorplama kapasitelerinin tespit çalışmaları yürütülmüştür. Deneysel çalışmalar sonucunda, Zn ve Cd adsorpsiyon denemelerinden alınan veriler Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm modelleri kullanılarak değerlendirilmiş, Langmuir izoterm modeli ile yüksek uyumluluk göstermiştir. Bu da bölge topraklarının tek tabaka üzerinde homojen bir davranış gösterdiğini ifade etmektedir. Zn ve Cd ağır metalleri ile toprak numuneleri arasındaki temas süresine bağlı olarak elde edilen veriler kinetik modelleri ile değerlendirilmiş ve tüm toprak numuneleri ve her iki metal için de Yalancı ikinci derece kinetik modeli ile uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır.

Verimli tarım sahalarına yakın olan ve oldukça fazla miktarda sanayi tesislerinin bulunduğu bu bölgeden alınan örneklerde toprakların ağır metal adsorplama kapasitelerinin belirlenmesi; yıllar süren birikimi ortaya koyması, kirlenmenin boyutunun belirlenmesi, gelecekte ağır metal açısından risklerin değerlendirilebilmesi ve bütünsel bir havza yönetimi açısından faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

- Aktı, F. ve Ünal, İ. (2014). Farklı Yapıdaki Adsorban Kömürlere Organik Yüzey Aktif Maddelerin Tutunmasının İncelenmesi. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 29, No 1, 191-199.
- Al-Hassoon, S.N.H. Al-Hayani, A.S. J. Z. Al-Obaidi M. A.J. (2019). Copper Adsorption In Two Different Soil Texture. Iraqi Journal of Agricultural Sciences –1029:50(2):638-645
- Ashraf, M. S. Ranjha, A. M. Yaseen, M. Ahmad, N. Hannan, A. (2008). Zinc Adsorption Behavior Of Different Textured Calcareous Soils Using Freundlich And Langmuir Models. Pak. J. Agri. Sci., Vol. 45(1).
- Aydoğdu, M. Tarini, M. Akçar, H. t. Aydemir, A. (2009). Harran Ovasında Coğrafi Bilgi Sistemleri Ve Uzaktan Algılama İle Tarım Arazilerinde Amaç Dışı Kullanımın Tespiti. TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi. İzmir, Türkiye
- Bayraklı, F. (1987). Toprak Ve Bitki Analizleri. OMÜ yayınları No.17. Samsun.
- Bayraklı, F. (1996). Toprak Bilgisi, Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, 32 s, Konya, Türkiye
- Banar, M. Özkan, A. Gündoğdu, g. (2010). Eskişehir Kent Merkezindeki Topraklarda Ağır Metal Ve Uçucu Organik Bileşik Kirliliğinin Belirlenmesi. Ulusal Katı Atık Yönetimi Kongresi . Mersin, Türkiye.
- Basıbüyük, M. Forster, C. F. (2003). An Examination Of Adsorbition Characteristics Of A Basic Dye (Maxilon Red Bl-N) And Live Activated Sludge System. Process Biochemistry, 38, 1311-1316.
- Bakırcıoğlu, D. (2009). Toprakta Makro Ve Mikro Element Tayini. Fen Bilimleri Enstitüsü. Doktora Tezi. Edirne.
- Barton, B. ve Peat, J. (2014). Medical statistics: A guide to SPSS, data analysis and critical appraisal. (2. Baskı). Wiley.
- Bouyoukos, G. J. (1951). A recalibration of hidrometer method for making mechanical analysis of soil. Agronomy journal, 143(9), 434-437.
- Boysan, F. (2008). Poliüre-Poliamin Reçinesi Kullanılarak Atık Sulardaki Ağır Metal Kirliliğinin Adsorpsiyonla Gideriminin İncelenmesi. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 109 s.
- Chao, S. Jiang, L. Zhang, W. (2014). “A Review On Heavy Metal Contamination İn The Soil Worldwide: Situation, Impact And Remediation Techniques”, Environmental Skeptics And Critics, S. 3(2),24-38.
- Cemek, B. Güler, M. Arslan, H. (2006). Bafra Ovası Sağ Sahil Sulama Alanındaki Tuzluluk Dağılımının Coğrafi Bilgi Sistemleri (Cbs)Kullanılarak Belirlenmesi. Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Derg. (1), 63-72.
- Çağlarırnak, N. Hepçimen, Z. A. (2010). Ağır Metal Toprak Kirliliğinin Gıda Zinciri ve İnsan Sağlığına Etkisi. Akademik Gıda 8 (2) (2010) 31-35.
- Çırakoğlu, S. (2008). Zn+2'nin Valeks Tanin Reçinesiyle Adsorpsiyonu Ve Geri Kazanılması. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 121 s.
- Çubukçu, A. Tüysüz, N. (2005). KBİ İzabe, Tügsaş ve Organize Sanayi Bölge Tesislerinin (Samsun, Tekkeköy) Çevresel Etkileri. Jeoloji Mühendisliği Dergisi 29 (1) 2005
- Dengiz, O. Sarıoğlu, E. F. (2011). Samsun İlinin Potansiyel Tarım Alanlarının Genel Dağılımları Ve Toprak Etüd Ve Haritalama Çalışmalarının Önemi. Anadolu Tarım Bilim. Derg., 2011,26(3):241-250
- Demirci, A. Kocaman, S. (2007). “Türkiye’de Coğrafya Mezunlarının CBS İle İlgili Alanlarda Değerlendirilmesi” S. 75, 76, Marmara Coğrafya Dergisi Sayı: 16, Temmuz, İstanbul, Türkiye.
- Dong, D. Zhao. X, Hua, X. Liu, J. Gao, M.(2009). Investigation of the potential mobility of Pb, Cd and Cr(VI) from moderately contaminated farmland soil to groundwater in

- Northeast, China. Journal of Hazardous Materials Volume 162, Issues 2–3, Pages 1261-1268
- Demiralay, İ. (1993). Toprak Fiziksel Analizleri. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 143, Erzurum, 131 s.
- Dinç, A. O. (2008). Development of Soil Information System for the Turkish Republic of Northern Cyprus. Tekirdag Ziraat Fakültesi Dergisi. 5(1); 53-60.
- Doğan, M. H. Yılmaz, S. D. Kılıç, M. O. (2013). Orta Kelkit Havzası'nın Bazı Toprak Özelliklerinin Ters Mesafe Ağırlık Yöntemi (IDW) ile Haritalanması ve Yorumlanması. Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi 6 (2013) 46-54.
- EPA, (2007). Microwave Assisted Acid Digestion Of sediments, Sludges, Soils, And Oils. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-12/documents/3051a.pdf>
- Finke, P. R. Hartwich, R. Dudal, J. Ibanez, M. Jamagne, D. King, L. Montanarella and N. Yassoglou, 2003. Manuel of Procedures. Georeferenced Soil Database for Europe. European Commission Joint Resarch Centre. Italy. p 163.
- Gobran, G. R. Clegg, S. Courchesne, F. (1999). The Rhizosphere And Trace Element Acquisition In Soils. Fate And Transport Of Heavy Metals In The Vadose Zone. Boca Raton, FL: Lewis Publ, 50-225.
- Göksu, Ö. ve Güngör, B.(2005).Toprak Kirliliğinin Önemi ve Kontrol Teknikleri, 6. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi Poster Sunumlar, Samsun,Türkiye.
- Göksu, Ö. (2007). Ege, Akdeniz Ve Orta Karadeniz Bölgelerinden Alınan Toprak Örneklerinde Bakır Ve Kurşun Adsorpsiyonunun Ve Gideriminin Karşılaştırılması İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, Türkiye.
- Güngör, Ö. B. E. Çoluk, Ö. Orkun, O. M.(2009). Determination of heavy metals in soil samples taken from samsun and sinop using high pressure digestion vessel. 5th blacksea basin conference on analytical chemistry. Ordu, Türkiye.
- Gündoğdu, V. Akgün, G. Elele, M. Piyancı, O. (2007). Gediz Nehri Alt Havzasında 2001-2006 Yıllarına Ait Kalite Gözlemlerindeki Değişimin Cbs Tabanlı İrdelenmesi. Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye.
- Güzel, E. (2006). Ağır Metallerin Kil Mineralleri Tarafından Tutulması Ve Bitkilerce Alımı. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, Türkiye. 55 s.
- He, Z. L. Zhou, G.X., Xie, Z.M. (1998). Chemical Equilibrium Of Beneficial And Pollution Elements In Soil, Beijing: Chinese Environ Sci Pres.
- Humphrey, A. G. Milis, N. F. (1973). Adsorption biochemical engineering, 2nd ed. Academic press, Tokyo, 434.
- Hızalan, E. ve Ünal, H. (1966). Topraklarda Önemli Kimyasal Analizler, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, 278, Ankara, Türkiye.
- Hseu, Z. (2004). Evaluating Heavy Metal Contents In Nine Compost Using Four Digestion Methods. Bioresource Technology. 53-59.
- İlker, A., Terzi, Ö. ve Şener, E. (2019). Yağışın alansal dağılımının haritalandırılmasında enterpolasyon yöntemlerinin karşılaştırılması: Akdeniz bölgesi örneği. Teknik Dergi. 30(3). 9213-9219.
- Jalayeri, H. Salarirad, M. M. Ziani, M.(2016) Kinetics And Isotherm Modelling Of Zn(II) Ions Adsorption Onto Mine Soils physicochem. Probl. Miner. Process. 52(2), , 767–779.
- Kacar, B. (2009). Toprak Analizleri. Nobel Yayın Dağıtım Genişletilmiş 2. Baskı. Ankara.
- Kara, E. E. Açıkgöz, İ. Gültekin, P. Külahlı, H. (1998). Samsun Azot Sanayi (TÜGSAŞ) ve Karadeniz Bakır işletmeleri (KBi) Emisyonlarının Çevre Topraklarına Olan Etkileri. Tarım Bilimleri Dergisi 1998, 4 (2), 1-7
- Karaca, A., Turgay, O.C. (2012). Toprak Kirliliği. Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi. 1(1), 13 - 19.
- Karaboyacı, M. (2010). Modifiye edilmiş lignoselülozikler ile ağır metal adsorpsiyonu. Doktora Tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, Türkiye
- Karasuloğlu, G. (2007). Organik Kirlleticilerin Yüzey Aktif Maddelerin Varlığında Elektrokinetik Yöntemlerle Toprakta Giderilmesinin Araştırılması. Yüksek Lisans

- Tezi. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik Ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 96 S.
- Kartal, E. M. (2003). Bafra Ve Çarşamba Ovaları Tarım Alanlarında Kadmiyum Düzeylerinin Belirlenmesi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enst. Yüksek Lisans Tezi. Samsun, Türkiye.
- Kantarcı, M. D. (2000). Toprak İlmi. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayını, 51-220 s. İstanbul, Türkiye.
- Kars, N. ve Ekberli, İ. (2019). Çarşamba Ovası'nda İşlenen Tarım Alanlarının Bazı Fiziksel Ve Kimyasal Toprak Özelliklerinin İncelenmesi. Anadolu Tarım Bilim. Derg./Anadolu J Agr Sci, 34.
- Kars, N. ve Ekberli, İ. (2019) Çarşamba Ovasının Buğday Bitkisi Altındaki Topraklarının Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin İncelenmesi Toprak Su Dergisi, 2019, 8 (1): (18-28).
- Kaya, B ve Uygur, V. (2019). Kireçli Anamateryal Üzerinde Oluşan Topraklarda Çinko Adsorpsiyonu ve Toprak Özellikleri İlişkileri. Ziraat Fakültesi Dergisi 14 (2):156-165. ISSN 1304-9984, e-ISSN 2687-3419.
- Keleş, R. (2015).100 Soruda Çevre, Çevre Sorunları ve Çevre Politikası, Yakın Kitabevi. İzmir, Türkiye.
- Kertmen, M. (2006). Fabrika Atıklarının Neden Olduğu Boyar Madde Kirliliklerinin Biyolojik Adsorbent Kullanılarak Sulu Ortamdan Adsorpsiyon Tekniği İle Uzaklaştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Keskinler, B. Çakıcı, A. Yıldız, E. (1994). Çevre Mühendisliği Temel İşlemler Ve Prosesler Ders Notları. Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Ders Notları Sayı No, 35, Erzurum, Türkiye. 148-175.
- Kılıç, M. (2004). Kurşun (II) Ve Civa (II) İyonlarının Biyokütle Üzerine Adsorpsiyonunun İncelenmesi, Doktora Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta,Türkiye, 156s.
- King, D. A. Burrill, J. Daroussin, C. Le Bas, R. Tavernier and E. Van Ranst, 1995. The EU Soil Geographic Database. In: Agriculture; European land information systems for agroenvironmental monitoring. European Commission Joint Resarch Centre. Italy. pp:43-60.
- Kumar, K. V. and Porkodi, K. (2006). Relation Between Some Two - And Three Parameter Isotherm Models For The Sorption Of Methylene Blue Onto Lemonpeel. Journal Of Hazardous Materials, 138, 633-635.
- Kızılkaya, R. ve Korkmaz, A. (1998). Çevresel Toprak Sorunları Ve Gübrelerin Çevre Kirliliğine Katkısı. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 13(1), 147-164.
- MEB. (2015). Toprakta Fiziksel Analizler. Laboratuvar Hizmetleri (s. 5) Erişim: http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller/Toprakta%20Fiziksel%20Analizler.pdf
- Menteşe, S. (2017). Çevresel Sürdürülebilirlik Açısından Toprak, Su Ve Hava Kirliliği: Teorik Bir İnceleme Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi The Journal Of International Social Research Cilt: 10 Sayı: 53 Volume: 10 Issue: 53
- Mishra, K. R. Mohammed, N. Roychoudhury, N. (2016) Soil Pollution: Causes, Effects And Control. Van Sangyong Vol.3 No1.
- Namlı, A. Okur, N. Kızılkaya, R. Turgay, C. O. Göçmez, S. Kalınbacak, K. Kayıkçıoğlu, H. H. Özden, N. Balcıoğlu, A. I. (2020). Toprak Kirliliğinin Nedenleri, Etkileri Ve Giderilme Yöntemleri. Türkiye Ziraat Mühendisliği IX. Teknik Kongresi. Ankara, Türkiye.
- Nas, B. ve Berktaş, A. (2001). Coğrafi Bilgi Sistemleri (Cbs) Kullanılarak Konya Kenti Yeraltı Suyu Sertlik Haritasının Oluşturulması. Coğrafi Bilgi Sistemleri Bilişim Günleri. İstanbul.Türkiye.
- Nas, B. ve Berktaş, A. (2002). Çevre Problemlerinin Çözümünde Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanımı. 2. Coğrafi Bilgi Sistemleri Bilişim Günleri. İstanbul, Türkiye.

- Orbak, İ. (2009). Aktif Karbon İle Çevre Kirleticisi Bazı Unsurların Giderilmesi, Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 227 s.
- Orkun, O. M. Çoluk, Ö. Güngör, Ö. B. E. Bayraklı, F. (2010). Determination Of Cd, Cu, Pb, Zn In Soil Samples Taken From The Middle Black Sea Region. International Soil Science Congress. Samsun, Türkiye.
- Önal, Y. (2006). Kinetics of adsorption of dyes from aqueous solution using activated carbon prepared from waste apricot. Journal of hazardous materials. Volume 137, p: 1719-1728.
- Önder S., 2012, Atıksular İle Sulanan Zirai Alanlardaki Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 3-4-11-17-24-25.
- Özay, C. Mammadov, R. (2013). Ağır Metaller ve Süs Bitkilerinin Fitoremediasyonda Kullanılabilirliği, BAÜ Fen Bil. Enst. Dergisi Cilt 15(1) 67-76.
- Özbek, Z. Toröz, İ. Alp, K. Avşar, E. (2011). İstanbul'da Topraklardaki Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması. Ulusal Katı Atık Yönetimi Kongresi. KKTC.
- Özdemir, N. ve Canpolat, Y. M. (1997) Toprak Strüktürünün Oluşum Süreçleri Ve Yönetimi. Atatürk Ü.Zir.Fak.Der. 28 (3), 413-419.
- Özyazıcı, M. A. Dengiz, O. , Aydoğan, M. Bayraklı, B. Kesim, E. Urla, Ö. Yıldız, H. Ünal, E. (2016). Orta Ve Doğu Karadeniz Bölgesi Tarım Topraklarının Temel Verimlilik Düzeyleri Ve Alansal Dağılımları Anadolu Tarım Bilim. Derg./Anadolu J Agr Sci, 31.
- Özyazıcı, G. Özyazıcı, M.A. Özdemir, O. Sürücü, A. (2010). Some Physical And Chemical Properties Of Tea Grown Soils In Rize And Artvin Provinces. Anadolu Journal Of Agricultural Sciences, 25(2): 94-99
- Pituch, K. A. & Stevens, J. P. (2016). Applied multivariate statistics for the social sciences. (6. Baskı). Routledge.
- Sağlam, M.T. (1978). Toprak Kimyası Tatbikat Notları. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü, Erzurum.
- Sandroni, V. and Smith M, M, C. (2002). Microwave Digestion Of Sludge, Soil And Sediment Samples For Metal Analysis By Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry. Analytica Chimica Acta. 335-344.
- Sangiumsak, N. And Punrattanasin, P. (2014), Adsorption Behavior of Heavy Metals on Various Soils Pol. J. Environ. Stud. Vol. 23, No. 3 853-865.
- Sawyer, C. N. and McCarty, P. I. (1978). Chemistry for environmental engineering 3rd ed. mcgraw hill inc., singapore, 519.
- Schicker, H. and Haddar, C. (1999). Response of Anti-oxidative Enzymes to Nickel and Cadmium Stress in Hyperaccumulator Plants of Genus Alyssum. Physiol. Plant, 105: 39-44
- Shariff, M. Rashid, A. (2006). Section 6.5 Geographical Information Systems, Pp. 414-424 Of Chapter 6 Management And Decision Support Systems, In Cıgr Handbook Of Agricultural Engineering Volume VI Information Technology.
- Şahmetlioğlu, N. (2004). Asit Özelikteki Topraklarda Kireçlenmenin Topraktaki Ağır Metal (Cd, Cr, Ni, Pb, Cu) Konsantrasyonuna Ve Yulaf Bitkisinin Verimine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 86 S.
- Seven, T. Can, B. Darende, N. B. Ocak, S. (2018). Hava ve Toprakta Ağır Metal Kirliliği Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi, Sayı 1(2): 91-103 (Derleme Makale)
- Şeker, C. Ve Işıldar, A. A. (2000). Tarla Trafiğinin Toprak Profilineki Gözenekliliğe ve Sıkışmaya Etkisi Turk J Agric For 24 71-77.
- Şen, A., Elektrik Alan Şiddetlerinin Ölçümü ve Coğrafi Bilgi Sistemi Ortamında Yapay Sinir Ağları İle Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
- Tchobanoglous, G. and Burton F. L. (1991). Wastewater Engineering Treatment- Disposal - Reuse. Third Edition, Mcgraw-Hill Inc. New York, Usa.

- Thornton, I. (1981). "Geochemical aspects of the distribution and forms of heavy metals in soils" In: Lepp NW, editor. Effect of heavy metal pollution on plants: Metals in the environment, vol. II. . London New Jersey: Applied Sci Publ, 1-34.
- Turoğlu, H. (2000). Coğrafi Bilgi Sisteminin Temel Esasları, Acar Yay. İstanbul, Türkiye.
- Türkoğlu, B. (2006). Toprak Kirlenmesi Ve Kirlenmiş Toprakların Islahı. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi. Adana, Türkiye.
- Uluşınar, E. (2007). Kurşunun Toprakta Adsorpsiyon Mekanizmasının Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, Türkiye. 64 S.
- Umeh, C. T. Nkuda, K. J. Akpomei G. K. (2021). Kinetics and isotherm modeling of Pb(II) and Cd(II) sequestration from polluted water onto tropical ultisol obtained from Enugu Nigeria Applied Water Science. 11:65.
- Uysal, İ. Kılıç, F. A. (2022). Normal Dağılım İkilemi. AJESI, 2022; 12(1): 220-248.
- Ülgen, N. ve Yurtsever, N. (1995). Türkiye Gübre ve Gübreleme Rehberi (4. Baskı). T.C. Başbakanlık Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, Genel Yayın No: 209, Teknik Yayınlar No: T.66, s.230, Ankara, Türkiye.
- Ünverdi, B. A. ve Şişman, A. (2021). Elektrik Dağıtım Sistemlerinde Kesintilerden Etkilenen Kullanıcıların CBS Entegrasyonu İle Raporlanmasına Yönelik Bir Uygulama Geliştirilmesi. Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi- 2021; 3(2); 53-59.
- Webber, J. (1981), "Trace Metals In Agriculture" In: Lepp Nw, Editor. Effect Of Heavy Metal Pollution On Plants: Metals In The Environment, Vol. II. London New Jersey: Applied Sci Publ, 84-159.
- Yadava, K. P. Tyagi, B. S. Singh, V. N. (1991). Effect Of Temperature On The Removal Of The Lead (Ii) By Adsorbition On China Clay And Wollastonite. Journal Of Chemical Technology Biotechnol, 41, 47-60.
- Yahaya, M. I. Ezech, G. C. Musa, Y. F and Mohammad, S. Y. (2010). Analysis Of Heavy Metals Concentration In Road Sides Soil In Yauri, Nigeria African Journal Of Pure And Applied Chemistry Vol. 4(3), Pp. 022-030.
- Yiğit, İ. Ataol, M. Dinç A. (2011). Coğrafya bölümlerindeki cbs eğitimi ve CBS'nin gerekliliği Marmara Coğrafya Dergisi sayı: 24, Temmuz - 2011, s. 312-331 İstanbulking
- Yomralıoğlu, T. (2002). Coğrafi Bilgi Sistemleri Temel Kavramlar ve Uygulamalar. İber Ofset, 2. Baskı, Trabzon.

ÖZ GEÇMİŞ

Özcan ÇOLUK, İnönü Lisesi'ni bitirdikten sonra Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği bölümünden 2002 tarihinde mezun oldu. 2007 yılında OMÜ LEE Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans programını bitirdi. 2007 yılında Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı doktora programına başladı. Mezuniyetinden bu yana kamu dairesinde Çevre Mühendisi olarak görev yapmaktadır. Orta derecede İngilizce bilmektedir.

İletişim Bilgileri

ORCID ID : <https://orcid.org/0000-0001-5067-6576>

Yayınlar:

1. Orkun, O. M. **Çoluk, Ö.** Güngör, Ö. B. E. Bayraklı, F. (2010). Determination Of Cd, Cu, Pb, Zn İn Soil Samples Taken From The Middle Black Sea Region. International Soil Science Congress. Samsun, Türkiye.
2. Kuleyin, A. **Çoluk, Ö.** (2014) Investigation Of Cadmium Adsorption İn Soil Samples Taken From Agricultural And Industrial Areas 2nd International Conference On Environmental Science And Technology Antalya, Turkey
3. **Çoluk, Ö.** Kuleyin, A. Sisman, A. (2018). Assesment Of Some Physical And Chemical Characteristics Of Soil İn Samsun Tekkekoy Region With GIS. 4.International Conference On Enviromental Science And Technology. Kiev.
4. Elver, O. **Çoluk, Ö.** Kuleyin, A.(2020). Samsun İli Tekkeköy Bölgesinden Alınan Toprak Örneklerinde Çinko İyonu Adsorpsiyon Davranışlarının İncelenmesi. 3rd International Eurasian Conference Biological And Chemical Sciences. Ankara.
5. Kuleyin, A. **Çoluk, Ö.** (2012). Tarım Ve Sanayi Bölgelerinden Alınan Toprak Örneklerinde Kadmiyum İyonu Adsorpsiyonunun İncelenmesi. Türkiyede Çevre Kirlenmesi Öncelikleri Sempozyumu. Gebze.
6. **Çoluk, Ö.** Kuleyin, A. Sisman, A. (2015). Toprak Örneklerinin Bazı Fiziksel Ve Kimyasal Özelliklerinin CBS İle Değerlendirilmesi.11. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi. Bursa
7. Orkun, O. M. **Çoluk, Ö.** Güngör, Ö. B. E. (2009). Determination Of Heavy Metals İn Soil Samples Taken From Samsun Anda Sinop Using High Pressure Digeston Vessels.5th Black Sea Basin Conference On Analytical Chemistry. Ordu.
8. **Çoluk, Ö.** Bayraklı, F. (2008). Karadeniz Bölgesinden Alınan Değişik Özellikteki Bazı Topraklarda Fosfor Adsorpsiyonu. Çevre Sorunları Sempozyumu. Kocaeli.