KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KOCAELİ KENTİNDE SEÇİLEN KIRSAL BÖLGELERDE TOPRAK NEMİ VE TOPRAK KİRLİLİĞİNİN BELİRLENMESİ

Ali UYTUN

KOCAELİ 2012

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KOCAELİ KENTİNDE SEÇİLEN KIRSAL BÖLGELERDE TOPRAK NEMİ VE TOPRAK KİRLİLİĞİNİN BELİRLENMESİ

Ali UYTUN

Doç.Dr. Beyhan PEKEY
Danışman, Kocaeli Üniv. .....

Prof.Dr. Nilgün BALKAYA
Jüri Üyesi, İstanbul Üniv. .....

Doç.Dr. Sevil VELİ
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv. .....

Tezin Savunulduğu Tarih: 27.06.2012

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

İnsanlar var olduklarından bu yana toprak ile ilişki halindedirler. Barınmaları, beslenmeleri ve hatta toprak altında bulunan enerji kaynakları ile ısınmaları, toprak ve insan arasındaki ilişkinin ne derece önemli olduğunu göstermek için yeterlidir. Ancak aşımız, yuvamız olan toprak sanayinin gelişmesi, hızlı nüfus artışı, buna bağlı olarak çarpık kentleşme, tarım alanlarının yanlış kullanılması, yanlış sulama, erozyon ve daha sayamadığımız birçok nedenle hızla kirlenmekte ve yok olmaktadır.

Tarımcılıkta toprağın su içeriğinin bilinmesi ve ona uygun ürün ekilmesi, toprak kirliliğinin azaltılması için yapılacak çalışmalar, toprak verimini artırmakta, bunun sonucu doğrudan halka yansımaktadır. Bu çalışmanın, küçük de olsa bu amaca bir katkı sağlaması umudumdur…

Bu konudaki tez çalışmamda beni yönlendiren, bilimsel katkılarını benden esirgemeyen ve her türlü desteği sağlayan danışman hocam, Doç. Dr. Beyhan PEKEY'e

Bu tez çalışması sürecince vermiş oldukları destek ile TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü Kimya Grubu Laboratuvarları ve Sıcaklık Grubu Laboratuvarları çalışanlarına,

Her zaman yanımda olan, bana destek veren kızıma, oğluma ve sevgili eşime en içten duygularımla teşekkür ederim.

Ağustos – 2012 Ali UYTUN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
TABLOLAR DİZİNİ v
SİMGELER DİZİNİ ve KISALTMALAR vi
ÖZET viii
ABSTRACT ix
GİRİŞ 1
1. GENEL BİLGİLER 4
1.1. Toprak 4
1.1.1. Toprağın fiziksel özellikleri 5
1.1.2. Toprağın kimyasal özelliği 8
1.2. Toprak Su İlişkisi (Toprak Nemi) 10
1.3. Toprak Nemi Ölçüm Teknikleri 12
1.3.1. Direkt yöntemler 14
1.3.1.1. Gravimetrik yöntemler 14
1.3.2. Endirekt yöntemler 16
1.3.2.1 Zaman etkili yansıma (TDR) 18
1.3.2.2 Nötron metreler (NM) 18
1.3.2.3 Tansiyometreler 19
1.3.2.4 Direnç blokları (İletkenlik sensörler): 20
1.4. Toprak Kirliliği 22
1.5. Toprak Elementleri Ölçüm Teknikleri 31
1.5.1. Kimyasal ekstraksiyon (çözündürme) yöntemleri 31
1.5.2. Elementleri belirleme yöntemleri 31
1.6. KirlenmişToprakların Arıtım/Islah Teknolojileri 32
1.6.1. Oksidasyon 33
1.6.2. İyon değişimi ve çökelme 33
1.6.3. Fotoliz 34
1.6.4. Adsorsiyon 34
1.6.5. Toprak buhar eksraksiyonu 34
1.6.6. Yıkama sistemi 34
1.6.6.1. Arazi içinde yıkama 34
1.6.6.2. Arazi dışında yıkama 35
1.6.7. Elektrokinetik arıtım 35
1.6.8. Biyolojik iyileştirme (Biyoremidasyon) 36
1.6.8.1. Yerinde biyoremidasyon 36
1.6.8.2. Yerinde olmayan biyoremidasyon 36
1.6.9. Bitkiler yardımı ile (Fitoremediasyon) 37
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI 39
2.1. Kocaeli ve Gebze Bölgesi İçin Yapılan Çalışmalar 39
2.2. Türkiye'de Yapılan Diğer Çalışmalar 40
2.3. Farklı Ülkelerde Yapılan Çalışmalar 44
3. MALZEME VE YÖNTEM 48
3.1. Çalışma Alanı 48
3.1.1. Genel toprak yapısı 49
3.1.2. Sanayi yapısı 50
3.2. Örneklerin Alınması 50
3.3. Nem İçeriği Tayini 51
3.3.1. Dijital toprak nem ölçer kalibrasyonu 52
3.3.2. Dijital toprak nem ölçer ile yerinde ölçümler 53

3.3.3. Gravimetrik metotla nem içeriği tayini....53
3.4. Organik Madde Tayini....54
3.5. pH Tayini....55
3.6. Elemental Analiz....55
3.6.1. Toprak kirliliği yönetmeliği....56
3.6.2. Evsel ve kentsel arıtma çamurları ile ilgili yönetmelik....57
3.6.3. Coğrafi birikim endeksi....57
3.6.4. Zenginleşme faktörü....58
3.6.4. Kirlenme faktörü ve kirlenme derecesi....59
3.6.5. Kutu grafiği kullanımı....60
3.6.6. Faktör analizi....61
4. BULGULAR VE TARTIŞMA....63
4.1. Dijital toprak nem ölçer kalibrasyonu....63
4.2. Nem İçeriği ve Organik Madde Sonuçları....64
4.5. Elemental Analiz Sonuçları....68
4.5.1. Toprak örneklerindeki elementlerin dağılım haritaları....69
4.5.2. Toprak kirliliği yönetmeliğine göre değerlendirme sonuçları....77
4.5.3. Arıtma çamurları ile ilgili yönetmeliğe göre değerlendirme sonuçları..79
4.5.4. Coğrafi birikim endeksine göre değerlendirme....82
4.5.5. Zenginleşme faktörüne göre değerlendirme....83
4.5.6. Kirlenme faktörü ve derecesi metoduna göre değerlendirme....85
4.5.7. Kaynak paylaşımı....86
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER....90
KAYNAKLAR....92
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER....97
ÖZGEÇMİŞ....99

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Toprağın yapısı ..5
Şekil 1.2. Toprak bünye üçgeni ve sınıfları..6
Şekil 1.3. Toprak horizonları ..8
Şekil 1.4. Toprağın kimyasal yapısı..9
Şekil 1.5. Toprak parçası ..10
Şekil 1.6. Toprakta suyun hareketi..12
Şekil 1.7. TDR ölçüm cihazları..18
Şekil 1.8. Nötronmetre ölçüm cihazı ve şematik gösterimi ..19
Şekil 1.9. Direnç blokları ölçüm cihazı..20
Şekil 1.10. Farklı tip toprak nemi ölçüm cihazları ..21
Şekil 1.11. Toprak kirliliği kaynakları ..23
Şekil 1.12. Arazi içinde yıkama ..35
Şekil 1.13. Yerinde biyoremidasyon..36
Şekil 3.1. Kocaeli il haritası ..48
Şekil 3.2. Örnek noktaları haritası ..51
Şekil 3.3. Belirsizlik bileşenleri ..53
Şekil 3.4. Gravimetrik toprak nemi kütle ölçüm yöntemi düzeneği..54
Şekil 4.1. Ara değerlerin hesaplanması için bulunan fonksiyon..63
Şekil 4.2. Nem içeriğinin iki yöntem ile kıyaslaması ..65
Şekil 4.3. Nem içeriğinin derinliğe göre değişimi. ..66
Şekil 4.4 Toprak nemi ve organik madde içerikleri ..67
Şekil 4.5. Toprak nemi ve organik madde dağılım haritası..67
Şekil 4.6. Element konsantrasyonlarının dağılım haritaları..73
Şekil 4.7. Toprak elementlerinin sınır değerlere göre karşılaştırılması ..80
Şekil 4.8. Coğrafi birikim endeksinin grafiksel olarak gösterimi ..83
Şekil 4.9. Zenginleşme faktörlerinin grafiksel gösterimi..84
Şekil 4.10. Çalışma bölgesinde, her bir element için kirlenme faktörleri. ..86

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Toprak içeriği oranları ..4
Tablo 1.2. Toprak parçacıklarının adlandırılması ve bazı özellikleri..6
Tablo 1.3. Toprak parçacığı ile fiziksel özellikler arasındaki ilişkiler..7
Tablo 1.4. Toprak tabakasının derinlik olarak sınıflandırılması..7
Tablo 1.5. Toprak nemi ölçüm teknikleri..17
Tablo 1.6. Toprak nemi ölçüm cihazlarının algılama hacimleri ve etkileşimleri..21
Tablo 1.7. Kirlilik gösterge parametreleri listesi..24
Tablo 1.8. Toprak kirletici faaliyetleri ve kirlilik gösterge parametreleri listesi..25
Tablo 1.9. Topraktaki ağır metal sınır değerleri..28
Tablo 1.10. 278/86 AB toprak direktifindeki ağır metal sınır değerleri..28
Tablo 1.11. Topraktaki ağır metal sınır değerlerinin ülkelere göre karşılaştırılması 29
Tablo 1.12. Eser element analizinde yöntemlerin derişime bağlı karşılaştırmaları..32
Tablo 1.13. Organik ve metal kirleticilerin giderilmesi için sınıflandırma..37
Tablo 1.14. Toprak kirleticilerin giderilmesinde kullanılan yöntemler..38
Tablo 2.1. Yapılan diğer çalışmalarla karşılaştırma..46
Tablo 3.1. Arazi dağılımı..49
Tablo 3.2. Tarım alanlarının detayları..49
Tablo 3.3. Arazi dağılımının Türkiye ile kıyaslaması..49
Tablo 3.4. Örnek alma noktalarının koordinatları..51
Tablo 3.5 Toprak nem ölçerlerin bilgileri..52
Tablo 3.6. Coğrafi birikim endeksi sınıflandırması..58
Tablo 3.7. Zenginleşme faktörü sınıflandırması..59
Tablo 3.8. Kirlenme faktörü sınıflandırması..59
Tablo 3.9. Kirlenme derecesi sınıflandırması..60
Tablo 4.1. Toprak nem ölçer kalibrasyon sonuçları..63
Tablo 4.2. Toprak nem içerikleri ve organik madde miktarları..64
Tablo 4.3. pH ölçüm sonuçları..68
Tablo 4.4. Toprak örneklerinde bulunan element miktarları..70
Tablo 4.5. Korelasyon tablosu..76
Tablo 4.6. Toprak örneklerinde hesaplanan sapma değerleri..78
Tablo 4.7. Toprak örneklerinde hesaplanan coğrafi birikim endeksi değerleri..82
Tablo 4.8. Toprak örneklerinde hesaplanan zenginleşme faktörleri..84
Tablo 4.9. Örneklerde hesaplanan kirlenme faktörleri ve kirlenme derecesi..85
Tablo 4.10. Faktör analiz sonuçları..87

SİMGELER DİZİNİ ve KISALTMALAR

Al	:	Alüminyum
As	:	Arsenik
Atm	:	Basınç birimi, atmosfer
B_n	:	Örnek içerisinde referans olarak alınan element içeriği
B_{ref}	:	Referans ortamında referans olarak alınan element içeriği
Ca	:	Kalsiyum
$CaCO_3$	:	Kalsiyum karbonat
Cd	:	Kadmiyum
Cd	:	Kirlenme derecesi
C_f	:	Kirlenme faktörü
C_n	:	Toprak örneğinde incelenen elementin konsantrasyonu
Co	:	Kobalt
C_o	:	En az beş örnekleme alanından alınan örneklerin ortalama metal içeriği
Cr	:	Krom
C_{ref}	:	Referans ortamda incelen element içeriği
e	:	Dielektrik sabiti
EF	:	Zenginleşme faktörü
Fe	:	Demir
Hg	:	Cıva
I_{geo}	:	Coğrafi birikimi endeksi
m_1	:	Nemli toprak örneği bulunduran kabın kütlesi
m_2	:	105 ℃ de kurutulmuş toprak örneğin kapla birlikte kütlesi
m_3	:	550 ℃ de kül fırınında tutulmuş toprak örneğinin kapla birlikte kütlesi
Mg	:	Magnezyum
$MgCO_3$	:	Magnezyum karbonat
Mn	:	Mangan
Mo	:	Molibden
m_o	:	Boş kabın kapağı ile birlikte kütlesi
Na	:	Sodyum
Na_2CO_3	:	Sodyum karbonat
Ni	:	Nikel
Pb	:	Kurşun
Q	:	Hacim esasına göre nem
Sn	:	Kalay
V	:	Örnek alma kabı hacmi
WH_2O	:	Gravimetrik olarak hesaplanan toprak nemi
W_{orgmad}	:	Toplam Organik Madde
Zn	:	Çinko
ρ_b	:	Örneğin kuru hacim yoğunluğu
ρ_w	:	Suyun yoğunluğu, kg/m3

Kısaltmalar

AES	:	Atomic Emission Spectroscopy (Atomik Emisyon Spektroskopisi)
CEC	:	Cation Exchange Capacity (Katyon Değişim Kapasitesi)

DLV	:	Dilovası
EPA	:	Environmental Protection Agency (Çevre Koruma Ajansı)
ETAAS	:	Electrothermal Atomic Absorption Spectroscopy (Elektrotermal Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi)
FAAS	:	Flame Atomic Absorption Spectroscopy (Alevli Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi)
FDR	:	Frequency Domain Reflectometry (Frekans Etkili Yansıma Ölçer)
GYTE	:	Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü
HR-ICP-MS	:	High Resolution ICP-MS (Yüksek Çözünürlüklü ICP-MS)
ICP-MS	:	Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometer (Endüktif Eşleşmiş Plazma - Kütle Spektrometresi)
ISO	:	International Organization for Standardization (Uluslararsı Standardisazyon Organizasyonu)
KGP	:	Kirlilik gösterge parametreleri
NACE	:	Statistical Classification of Economic Activities in the European Community (Avrupa Topluluğunda Ekonomik Faaliyetlerin İstatistiki Sınıflaması)
NMM	:	Neutron Moisture Meter (Nötron Nem ölçer)
ÖD	:	Ölçüm değeri
PM	:	Partikül madde
RD	:	Referans değer
TDR	:	Time Domain Reflectometry (Zaman Etkili Yansıma Ölçer)
TÜBİTAK	:	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
UME	:	Ulusal Metroloji Enstitüsü

KOCAELİ KENTİNDE SEÇİLEN KIRSAL BÖLGELERDE TOPRAK NEMİ VE TOPRAK KİRLİLİĞİNİN BELİRLENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada; Türkiye'nin en önemli sanayi bölgelerinden biri olan Kocaeli kentine bağlı yedi köyden alınan toprak örneklerinin nem, organik madde, pH değerleri ve elemental analizleri yapılarak, toprak nemi ile organik madde ilişkisi ve toprak içerisindeki element miktarları belirlenmiştir.

Toprak nem ölçümleri, arazide dijital toprak nem ölçer ile, laboratuvarda ise gravimetrik yöntem ile belirlenmiştir.

Toprak örneklerinde, elemental analiz için yüksek çözünürlüklü HR-ICP-MS cihazı kullanılarak, Arsenik, Kadmiyum, Krom, Kobalt, Cıva, Molibden, Nikel, Kurşun, Kalay, Çinko, Alüminyum, Kalsiyum, Sodyum, Magnezyum, Mangan ve Demir miktarları belirlenmiştir. Sonuçlar, "Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik", "Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik" ve 278/86 AB direktifinde de verilen sınır değerler dikkate alınarak incelenmiştir.

Bunun yanı sıra son yıllarda kullanılan metotlar olan coğrafi birikim endeksi, zenginleşme faktörü, kirlenme faktörü ve kirlenme dereceleri hesaplanarak, her bir örnek noktasına göre, her bir element için çalışma alanı hakkında değerlendirmeler yapılmıştır. Çalışma bölgesini etkileyen kirlilik kaynaklarını tahmin edebilmek için elde edilen verilere faktör analizi tekniği uygulanmıştır. Faktör analizi sonucunda toplam varyansın yaklaşık %87'sini açıklayan dört faktör elde edilmiştir. Bu faktörlerin sırasıyla, fosil yakıt yanması, toprak ve iki farklı profilde endüstriyel kaynak olduğu tahmin edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Coğrafi Birikim Endeksi, Faktor Analizi, Toprak Kirliliği, Toprak Nemi, Zenginleştirme Faktörü

DETERMINATION OF SOIL MOISTURE AND SOIL CONTAMINATION IN SELECTED RURAL REGIONS IN KOCAELI

ABSTRACT

In this study, organic matter, moisture, pH values and by elemental analysis, relationship between soil moisture and organic matter soil samples were determined by taking samples from seven villages Kocaeli, one of the most important industrial areas in Turkey.

Soil moisture measurements were determined in the field by digital soil moisture meter and in the laboratory by the gravimetric method.

Elemental analysis of soil samples are made by making use of high resolution HR-ICP-MS device. Amount of Arsenic, Cadmium, Crom, Cobalt, Mercury, Molybdenum, Nickel, Lead, Tin, Zinc, Aluminum, Calcium, Sodium, Magnesium, Manganese and Iron elements in soil samples are determined.

The results were evaluated in accordance with “Regulation on the Control of Soil Contamination and the Point Sourced Contaminated Soil Sites”, “Regulation Concerning the Utilization of Municipal Sewage Sludge and Domestic Soil“ and boundary values of 278/86 EU directives.

Beside this, recently used methods such as index of geoaccumulation, enhancement factor, contamination factor and degrees of contamination were calculated according to every sample and evaluations of working area for every element were made. To predict contamination sources affecting working area factor analysis method was applied to data acquired. Four factors were acquired explaining 87 % of the variation resulted from factor analysis. These factors have been predicted to be resulted by fossil fuels burning, soil and industrial factors with two different profiles, respectively.

Keywords: Enhancement Factor, Factor Analysis, Geoaccumulation Index, Soil Contamination, Soil Moisture

GİRİŞ

Çevre; canlılara etki eden dış tesirlerin tümü olarak tanımlanabildiği gibi, hava, su, toprak, bitki örtüsü, hayvanlar ve dünya üzerinde veya dışında olan herşey bu tanımın içine girer. Çevre kirliliği ise; bu grupta herhangi birinin veya birkaçının bozulması, değişmesi anlamındadır. Bu grubu oluşturan birimler birbiri ile etkileşim halindedir. Birimlerin ekolojik dengelerinin bozulması diğer birimleri de etkilemektedir. Örneğin hava kirlendiğinde, toprak ve su, toprak kirlendiğinde su ve hava kirlenmektedir.

Çevrenin bir birine bağlı birimlerden oluştuğunu ve bu birimlerden birindeki bozulmanın bütünü nasıl etkilediğini, çölleşen topraklardan, kuruyan göl ve akarsulardan değişen iklimlerden görüyor ve yaşıyoruz. Geleceğin bize neler getireceğinin de az çok farkındayız. Bu farkındalıkla, yaşadığımız coğrafyadaki çevre birimlerinin, toprak ekosistemine etkisi ve toprağın yapısı incelenmiştir.

Toprak, yer yüzeyini ince bir tabaka halinde kaplayan, kayaların ve organik maddelerin türlü ayrışma ürünlerinin karışımından meydana gelen, içerisinde ve üzerinde geniş bir canlılar alemi barındıran, bitkilere durak yeri ve besin kaynağı olan, belirli oranlarda su ve hava içeren üç boyutlu bir varlık olarak tanımlanmaktadır [1].

Su toprağın sıvı fazını, hava ise toprağın gaz fazını oluşturmaktadır. Hava ve su, canlıların yaşaması için gerekli olan iki önemli doğal maddedir. Canlılarının beslenebilmeleri ve yaşayabilmeleri için toprağın belli miktarda su ve hava içermesi gerekir. Toprak verimliliği için hava ve su dengesinin sağlanması gerekmektedir. Toprak çok ıslak olduğu zaman hava oranı az, toprak çok kuru olduğu zaman da içinde su azdır. Her iki durum toprak ekosistemini bozacağından istenmeyen bir durumdur.

Toprağın katı fazını; içindeki elementler, organik maddeler, inorganik maddeler ve benzeri gruplar oluşturur. Organik madde; mikroorganizmalar, ölü bitkiler, bitki kökleri ile hayvanların atık ve artıklarından oluşan kısımdır. Organik maddeler, toprağın iyi ürün verebilmesi için çok gerekli ve yararlıdır. Toprağın verimliliği ile doğrudan ilişkilidir.

Toprak içerisinde bulunan elementler de toprak verimini doğrudan etkilemektedir. Toprak ekosistemi içerisinde gerekli olan elementlerin yanı sıra dışarıdan istenmeyen elementlerin toprak ekosistemine girmesi ve etkileşime girmesi kaçınılmaz olmuştur.

Topraklarda bulunan eser element konsantrasyonları oldukça düşüktür. Bakır (Cu), çinko (Zn), mangan (Mn), demir (Fe), molibden (Mo) ve bor (B) elementleri bitki büyümesi için gerekli olan elementlerdir ve mikroelementler olarak isimlendirilir. Bor hariç bu elementler aynı zamanda ağır metallerdir ve bunların yüksek konsantrasyonları bitkiler için toksiktir. Kobalt (Co), selenyum (Se) gibi diğer bazı eser elementler bitki büyümesi için gerekli değildir fakat bu elementler insan ve hayvanlar için gereklidir. Kadmiyum (Cd), kurşun (Pb), krom (Cr), nikel (Ni), cıva (Hg) ve arsenik (As) gibi diğer bazı eser elementler ise yaşayan organizmalara toksik etki ederler ve genelde kirletici olarak isimlendirilirler. Bu elementlerin belirlenen sınır değeri üzerinde bulunması, toprak ekosistemdeki dengenin bozulması ve kirlenmesi anlamına gelmektedir [2].

Toprak ekosistemi içerisindeki yaşamların dengede kalması, toprak verimini artırmaktadır. Bu ekosistemdeki ilişkiler, toprak içerisindeki nem, sıcaklık, pH, organik madde miktarı ve elementler arasındaki etkileşimlere bağlıdır. Birimlerden birinin dengesinin bozulması, ekosistem dengesini bozmakta ve o bölge toprağının verimini düşürmekte, hatta kullanılmaz bir duruma getirmektedir.

Toprağın pH değeri de toprak içerisinde yaşam ve denge ile ilişkilidir. Diğer parametreler ile de bağlantılıdır.

Yukarıda sayılan parametrelerden bir tanesinin dengesi bozulması toprak ekosisteminin bozulmasına neden olmaktadır. Bu da toprak kirliliği olarak tanımlanmaktadır. Toprak kirlenmesine yol açan sebepler, doğal ve insan yapımı olarak ele alınmakta olup, en etkilisi ise insan faaliyetleri sonucu meydana gelen kirliliklerdir. İnsan faaliyetleri sonucu meydana gelen kirlilik; evsel, tarımsal ve endüstriyel nitelikli olarak üç kategoride incelenmektedir [1].

Bu çalışmada; Türkiye'nin en önemli sanayi bölgelerinden biri olan Kocaeli kentine bağlı yedi köyde tarım amaçlı kullanılan alanlardan toprak örnekleri alınarak, nem, pH, organik madde ve elemental analizleri çalışılmıştır.

Toprak nemi ölçüm teknikleri araştırılarak, bu tekniklerden en çok kullanılan üç yöntem laboratuvar ortamında karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda yerinde ölçümler için direnç blok metodu ile çalışan dijital toprak nemi ölçer kullanılması kararlaştırılmıştır.

Çalışma alanında, yerinde alınan ölçümlerde, toprak nemi ve örnek alma yeri koordinatları ölçülmüştür. Ayrıca laboratuvarda yapılan analizlerle, örneklerde gravimetrik olarak toprak nemi, organik madde miktarları, pH değerleri belirlenmiştir. Toprak örneklerinde, elemental analizler yüksek çözünürlüklü HR-ICP-MS cihazı kullanılarak belirlenmiştir.

Böylelikle belirlenen bölgenin, o dönem için toprak nemi (sıvı faz), pH değerleri, organik madde miktarı ve element miktarları belirlenerek toprak ekosisteminin yapısı hakkında bilgiler edinilmiştir. Toprak nemi yerinde ve laboratuvar ortamında belirlenmiştir. Organik madde miktarı ise kül fırının yakma metodu ile belirlenerek, nem ile ilişkisine bakılmıştır.

Örneklerde, toprak kirliliği açısında önemli olan, Arsenik (As), Kadmiyum (Cd), Krom (Cr), Kobalt (Co), Cıva (Hg), Molibden (Mo), Nikel (Ni), Kurşun (Pb), Kalay (Sn), Çinko (Zn), Alüminyum (Al), Kalsiyum (Ca), Sodyum (Na), Magnezyum (Mg), Mangan (Mn) ve Demir (Fe) miktarları belirlenmiştir.

Belirlenen bu değerler, 8 Haziran 2010 Salı, 27605 sayılı “Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik” dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Ayrıca bu değerler, 3 Ağustos 2010 Salı, 27661 sayılı “Evsel Ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik” ve 278/86 AB direktifinde de verilen sınır değerler dikkate alınarak elementler için verilen sınır değerler dikkate alınarak incelenmiştir.

Bunun yanı sıra son yıllarda kullanılan metotlar olan coğrafi birikim endeksi, zenginleşme faktörü, kirlenme faktörü ve kirlenme dereceleri hesaplanarak, belirlenen örnek noktalarında, her bir element için, değerlendirme yapılmıştır. Sonuçların değerlendirmelerinde kullanılan, coğrafi birikim endeksi, zenginleşme faktörü, kirlenme faktörü ve kirlenme dereceleri sonuçları kutu grafikler yöntemi ile de gösterilmiştir. Sonuçlar SPSS programı kullanılarak, faktör analizi yapılarak, çalışma alanında dört adet faktör belirlenmiştir.

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Toprak

Toprak, yer yüzeyini ince bir tabaka halinde kaplayan, kayaların ve organik maddelerin türlü ayrışma ürünlerinin karışımından meydana gelen, içerisinde ve üzerinde geniş bir canlılar alemi barındıran, bitkilere durak yeri ve besin kaynağı olan, belirli oranlarda su ve hava içeren üç boyutlu bir varlık olarak tanımlanmaktadır [1].

Kısaca toprak; katı, sıvı ve gaz fazından oluşan heterojen bir sistem olarak tanımlanabilinir. Katı faz içeriğinde, organik madde, mineral madde, sıvı faz olarak toprak suyu (nemi) ve gaz faz olarak da toprak havası bulunmaktadır. Tablo 1.1'de toprak yapısı içindeki maddelerin oraları verilmiştir [1,3,4].

Tablo 1.1. Toprak içeriği (%)

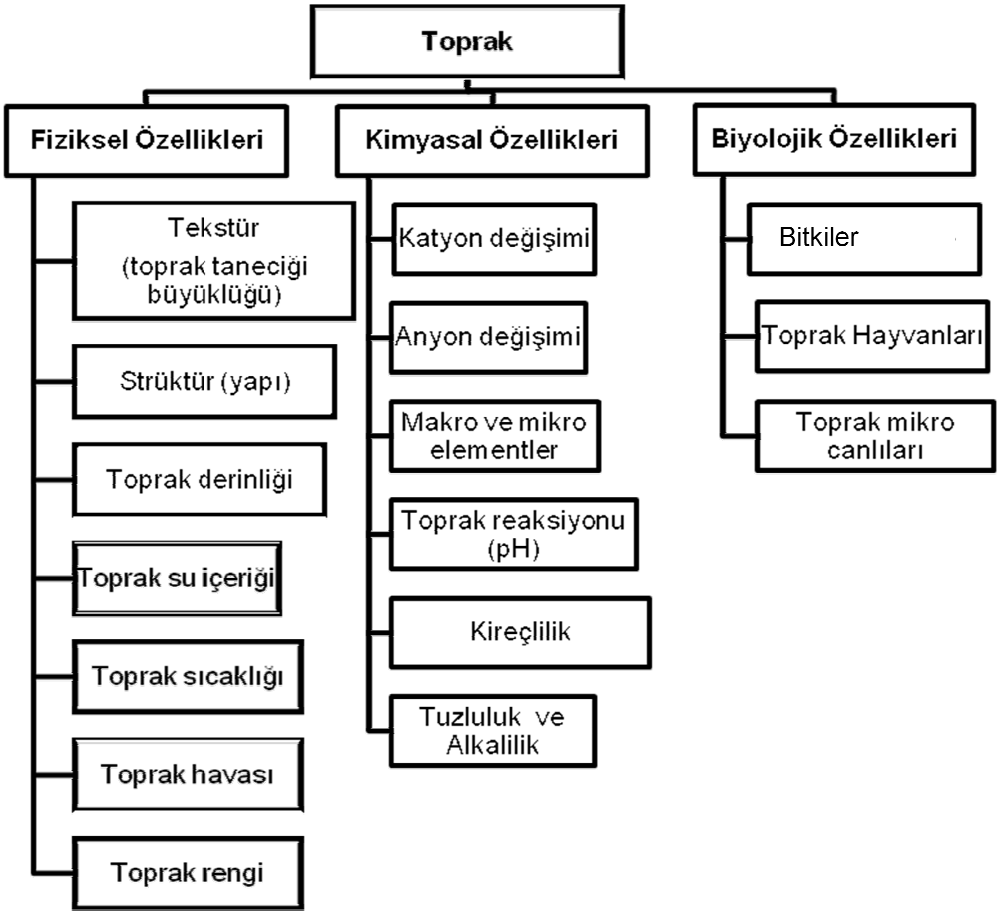
Katı		**Sıvı**	**Gaz**
Mineral Madde	Organik Madde	Su (Nem)	Hava
45	5	25	25

Mineral madde; toprakta en çok bulunan kısımdır. Kum, silt ve kil adı verilen çeşitli büyüklükteki taneciklerden meydana gelir.

Organik madde; mikroorganizmalar, ölü bitkiler, bitki kökleri ile hayvanların atık ve artıklarından oluşan kısımdır. Organik maddeler, toprağın iyi ürün verebilmesi için çok gerekli ve yararlıdır. Toprağın verimliliği ile doğrudan ilişkilidir.

Su toprağın sıvı fazını, hava ise toprağın gaz fazını oluşturmaktadır. Hava ve su, canlılarının yaşaması için gerekli olan iki önemli doğal maddedir. Canlılarının beslenebilmeleri ve yaşayabilmeleri için toprağın belli miktarda su ve hava içermesi gerekir. Toprak verimliliği için hava ve su dengesinin sağlanması gerekmektedir. Toprak çok ıslak olduğu zaman hava oranı az, toprak çok kuru olduğu zaman da içinde su azdır. Her iki durum toprak ekosistemini bozacağından istenmeyen bir durumdur.

Toprak ekosistemi içerisindeki yaşamların dengede kalması, toprağın verimini artırmaktadır. Toprak ekosistemindeki ilişkiler, toprak içerisindeki nem, sıcaklık, pH ve elementler arasındaki etkileşimlere bağlıdır. Bu etkileşimde birinin dengesinin bozulması, ekosistem dengesini bozmakta ve o bölge toprağının verimini düşürmekte, hatta kullanılmaz bir duruma getirmektedir. Bu denge toprağın fiziksel ve kimyasal yapısı ile de ilişkilidir. Toprağın yapısı Şekil 1.1'de özetlenmiştir.



Şekil 1.1. Toprağın yapısı [3,4]

1.1.1. Toprağın fiziksel özellikleri

Toprak katı, sıvı ve gaz fazından oluşan heterojen bir karışımdır. Bu üç faz, toprağın fiziksel durumunu tanımlamada bize yol gösterecektir. Toprağın fiziksel özelliği olarak bilinen toprağın hava miktarı, su geçirgenliği ve su içeriği, plastikliği, sıcaklığı toprağın tekstür (bünye) yapısı ile tanımlanmaktadır. Toprağın tekstürü toprak tanecik boyutları olarak yani bünyesi olarak adlandırılmaktadır.

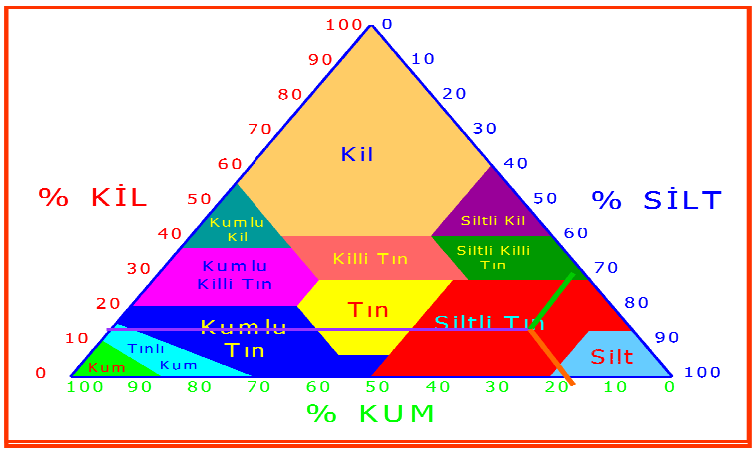
Toprağın katı fazını, boyutları iri çakıllardan, kil taneciklerine kadar değişen inorganik ve organik maddeler oluşturur. Bu maddeler boyutları bakımından çeşitli

özellikler gösterir. Bu özellikler toprak bilimi ile uğraşanlar tarafından toprak tekstürü olarak adlandırılır. Çeşitli boyutlardaki maddelerin oranına göre topraklar killi, balçıklı, milli, kumlu gibi tekstür sınıflarına ayrılmaktadır. Toprak tekstürü, geçirimlilik, gözeneklilik, havalanma, su tutma ve sıcaklık benzeri ortam özelliklerinin oluşumunu etkiler. Bu yönüyle toprak ekosistemi verimi ile doğrudan ilgilidir. Toprak tekstürü sınıflandırmalarını yapmak için Tablo 1.2 ve Şekil 1.2 kullanılmaktadır.

Tablo 1.2. Toprak parçacıklarının adlandırılması ve bazı özellikleri [3]

Tanecik adı	**Çap (mm) ***	**Çap (mm) ****	**Tanecik sayısı /g**	**Yüzey alanı (cm^2/g)**
Çok kaba kum	2,00-1,00	-	90	11
Kaba kum	1,00-0,50	2,00-0,20	720	23
Orta kum	0,50-0,25	-	5000	45
İnce kum	0,25-0,10	0,20-0,02	46000	91
Çok ince kum	0,10-0,05	-	722000	227
Mil (silt)	0,05-0,002	0,02-0,002	5776000	454
Kil	<0,002	<0,002	90260853000	8000000

* : ABD Tarım Bakanlığı sınıflandırma sistemi
**: Uluslararası Toprak İlmi Derneği sınıflandırma Sisitemi



Şekil 1.2. Toprak bünye üçgeni ve sınıfları [5]

Ayrıca toprak parçacıklarının değişkenliği ile fiziksel özellikleri arasındaki ilişki Tablo 1.3'de özetlenmiştir.

Tablo 1.3. Toprak parçacığı ile fiziksel özellikler arasındaki ilişkiler [3]

Fiziksel özellik	**Toprak parçacık büyüklüğünün fiziksel özelliğe etkisi**			
	Kaba kum	İnce kum	Silt	Kil
Su tutma kapasitesi	Çok düşük	Orta	Yüksek	Çok yüksek
Kapilerite	Çok düşük	Düşük	Fazla	Çok Fazla
Suyun hareketliliği	Çok Hızlı	Hızlı	Yavaş	Çok Yavaş
Su ve bitki besinlerini bağlama kapasitesi	Çok az	Az	Yüksek	Çok Yüksek
Plastiklik	Yok	Hafif	Yüksek	Çok Yüksek
Isınma	Sıcak	Ilık	Soğuk	Çok Soğuk
Havalanma	Çok iyi	İyi	Zayıf	Çok Zayıf

Toprak tanecikleri birbirleri ile bağlanarak agregat adı verilen yapıyı oluşturur. Agregatların toprak içindeki dizilişi strüktür (yapı) olarak bilinmektedir. Strüktür; makro-mikro strüktür olarak iki kısımda değerlendirilmektedir. Havalanma, su tutma kapasitesi, kapilarite gibi organik yaşam bakımından önemli birçok özellik strüktür ve toprak verimi ile ilişkilidir. Ayrıca toprağın fiziksel özellikleri arasında sayılan toprak derinliği ve toprak-su ilişkisi de unutulmamalıdır.

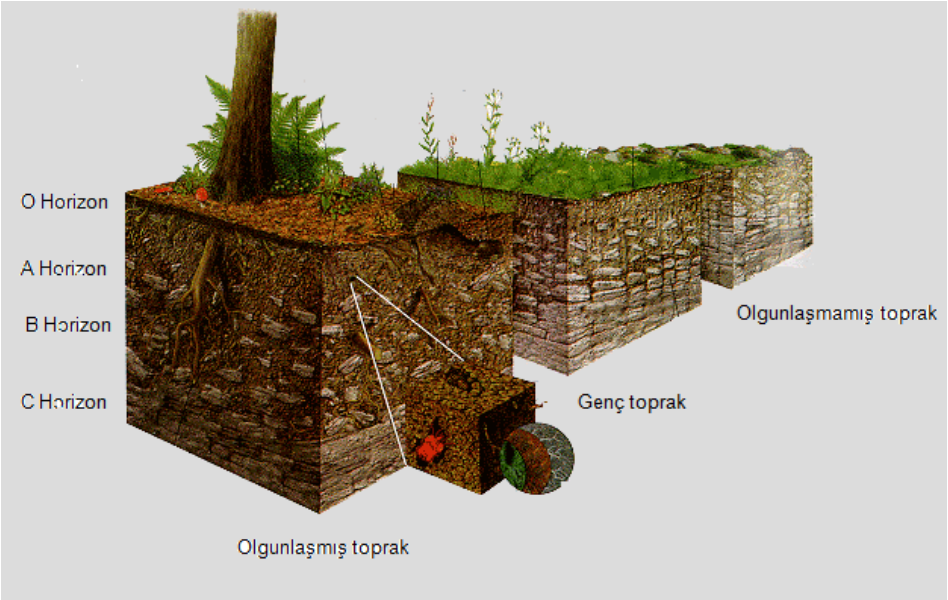
Toprak tabakasının ana kayaya kadar olan derinliğine mutlak toprak derinliği, bitki köklerinin yayıldığı ve beslendiği alana ise fizyolojik toprak derinliği adı verilmektedir. Toprak derinliği sınıflandırması Tablo 1.4'de verilmiştir.

Tablo 1.4. Toprak tabakasının derinlik olarak sınıflandırılması [1]

Derinlik sınıfı	**Derinlik seviyesi**
Çok sığ	Derinliği 15 cm' den az olan topraklar
Sığ	Derinliği 15-30 cm arasında olan topraklar
Orta derin	Derinliği 30-60 cm arasında olan topraklar
Derin	Derinliği 60-120 cm arasında olan topraklar
Çok derin	Derinliği 120 cm' den fazla olan topraklar

Toprağın yüzeyindeki organik maddece zengin en üst tabakasından başlayarak farklılaşmış tabakaları içerisine alan dikey kesitine toprak profili denir. Toprak profilinde toprağı oluşturan faktörlerin etkisiyle farklılaşmış ve yüzeye az çok paralel dizilmiş tabakalara ise toprak horizonları denir. Horizonların nitelikleri, toprak oluşum süreci ile doğru orantılı olarak belirginleşir. Horizon kalınlığı da yine zamanla artar. Toprak katmanları çok değişik şekilde, birçok bilim adamı tarafından

sınıflandırılmıştır. Şekil. 1.3'de verilen sınıflandırmada; O horizon toprağın en üst katmanında biriken organik madde ve bitki kalıntıları kısmını, A horizonu ana tabakayı, B horizonu, topraklaşmaya başlamış kayaç ve toprak karışımını ve C horizonu ise, ana kayaç tabakasını temsil ederek verilmiştir [1-4].



Şekil 1.3. Toprak horizonları

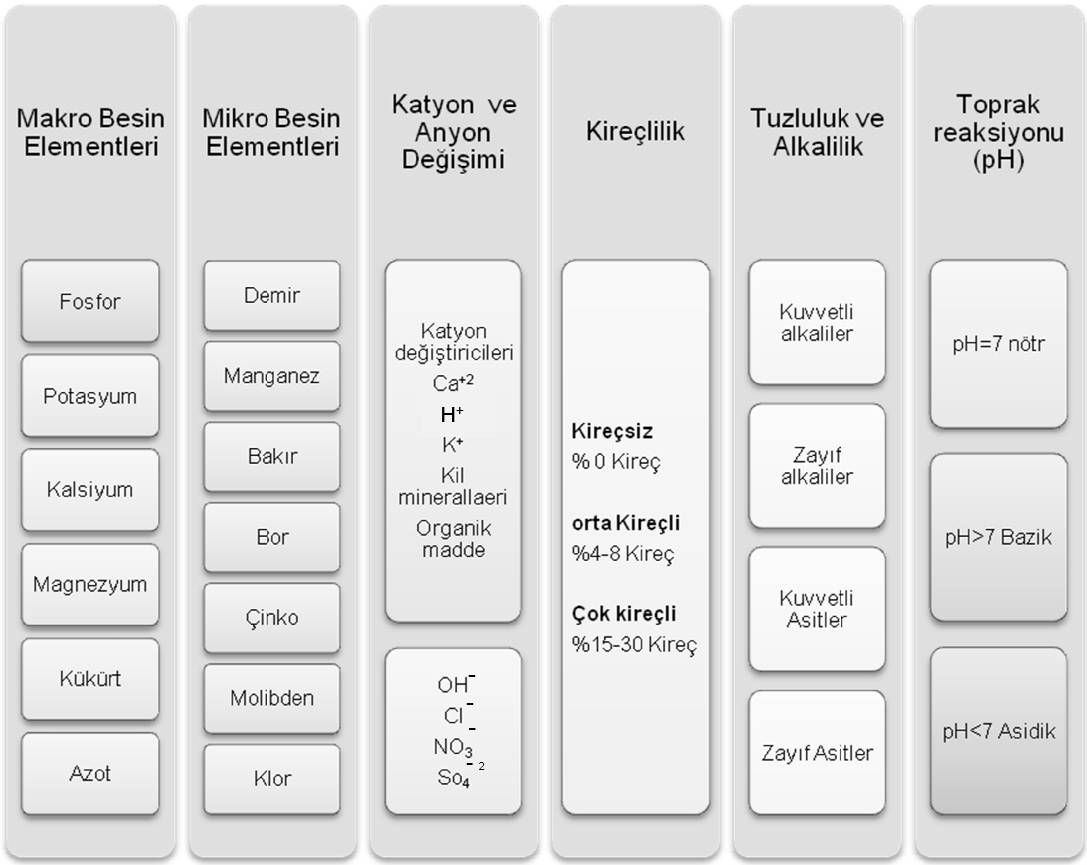
Gözeneklilik (porozite), toprak içerisinde bulunan boşluklardır. Bu boşlukların toplam hacimlerinin toprak hacmine oranı boşluk oranı adıyla belirlenir. Gözeneklik, toprağın tekstür ve strüktürüne bağlı olarak çeşitli toprak tiplerinde değişik değerler gösterir. Gözeneklilik toprak içerisinde tutulan su ve hava oranı için önemlidir.

Geçirimlilik, toprak tabakasının su tutma ve alt katmanına alması ile ilgilidir. Toplam porozite oranına ve gözenek boyutlarına bağlı olarak toprak tekstürüne bağlılık gösterir. Toprak tekstür yapısına göre su tutma kapasitesi ve geçirimlilik Tablo 1.3' de verilmiştir.

1.1.2. Toprağın kimyasal özelliği

Toprak karmaşık bir yapıya sahiptir. Toprağın katı fazı, inorganik ve organik maddelerden oluşmaktadır. Toprağın kimyasal özellikleri anakaya özellikleri, canlı organizma faaliyetleri, fiziksel yapı ve iklim etkenleriyle oluşmaktadır. Toprağın içindeki elementler, yerkabuğun oluştuğu mineral elementlerdir. Bunlar makro ve mikro besin elementleri olarak adlandırılmaktadır.

Makro besin elementleri, fosfor, potasyum, kalsiyum, magnezyum, kükürt ve azot elementleridir. Bu elementler toprakta bitki gelişimi ve toprak verimi için önemli olan elementlerdir. Bunların eksikliği ve fazlalığı toprak verimini direk olarak etkilemektedir. Mikro besin elementleri bitki gelişiminde çok az ihtiyaç duyulan, eksikliği halinde gelişme ve direnç kayıpları gibi sonuçlar doğan, demir, manganez, bakır, bor, çinko, molibden, klor, vb. elementler sayılabilir (Şekil 1.4).



Şekil 1.4. Toprağın kimyasal yapısı [3,4]

Toprağın en önemli kimyasal özelliklerinden biri katyon değiştirme yeteneğidir. Bu özellikle toprağa ulaşan katyonlar profilden yıkanmadan bitkiler tarafından yararlanılabilir bir şekilde tutulurlar. Toprakta bulunan moleküller ve iyonlar toprağın katı maddelerine bağlanabilirler. Buna toprağın sorpsiyon gücü denir. Toprağın katyonları ve anyonları adsorbe edip, bunların yerine toprak çözeltisine başka iyonlar vermesine iyon değişimi denmektedir. Katyonların birbirlerinin yerine geçmesi olayına katyon değişimi, bu işi yapan toprak komplekslerine katyon değiştiricileri veya toprak değiştiricileri denir. Toprağın en önemli değiştiricileri kil mineralleri ve organik maddedir [4].

Toprağın bütün değiştiricileri yalnız katyonları değil aynı zamanda anyonları da tutma özelliğine sahiptir. Toprak suyunu oluşturan H^+ ve OH^- iyonları arasındaki oran toprağın asit, alkali ve nötr reaksiyonları belirler. Toprak reaksiyonu pH olarak ifade edilir. Toprak suyunda H^+ iyonları fazla ise asit, OH^- iyonları fazla ise alkali özelliktedir [4].

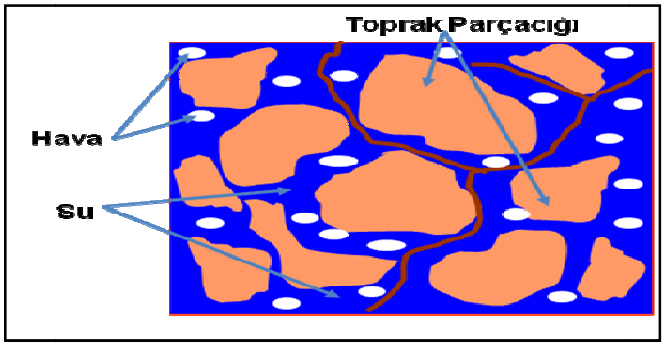
Toprak reaksiyonu ile bitkilerin topraktan besin maddelerini alabilmesi arasında ilişki vardır. Bu da toprağın dengesi ile ilgilidir. Toprağın dengesinin bozulması toprak kirliliği olarak karşımıza çıkmaktadır.

Toprakta en çok bulunan kalsiyum karbonat ($CaCO_3$), sodyum karbonat (Na_2CO_3) ve magnezyum karbonat ($MgCO_3$) olmak üzere diğer bazı karbonatlarda bulunmaktadır. Toprağın kireç içeriği normal düzeyde ise yararlı, fazla ise zararlıdır[4].

Topraktaki tuz konsantrasyonunun bitki gelişimine zarar verecek derecede bulunması haline tuzluluk, değişebilir sodyumun % 15 ten fazla olmasına alkalilik denir[4].

1.2. Toprak Su İlişkisi (Toprak Nemi)

Toprak verimi içerisindeki oranların dengesi ile ilgilidir. Hava ve su oranında, toprak verimini ve yaşamını olumlu ya da olumsuz etkileyebilmektedir. Toprak parçacıkları arasında kalan boşluklar su veya hava ile dolmaktadır. Bu denge bozulmadan korunmalıdır. Eğer boşlukların tamamı su ile dolarsa, toprak havasız kalmakta ve bozulmaktadır. Şekil 1.5'de, su ve hava bulunduran toprak parçası verilmiştir [5].



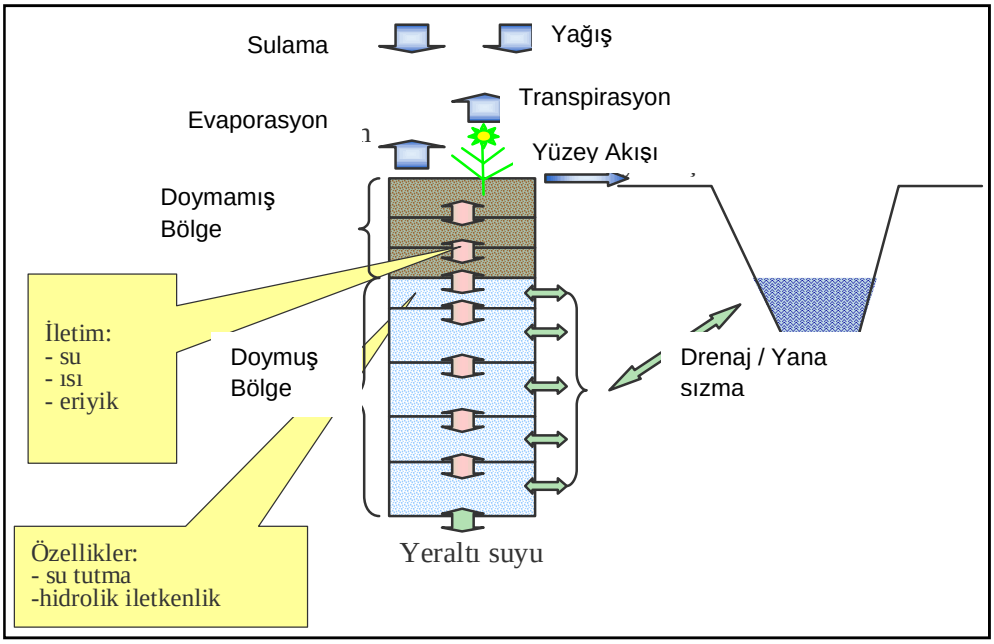
Şekil 1.5. Toprak parçası [5]

Suyun toprakta davranışı Şekil 1.6'da özetlenmiştir. Toprak taneciklerinin sahip olduğu çekim gücü ile suyun tutulması toprak verimi için önemlidir. Toprağın

yüzeyinden su buharlaştıkça aşağıdan yukarıya su hareketi başlamaktadır. Suyun düşey doğrultudaki hareketine kapiler suyun hareketi adı verilir. Bu su kapiler gerilim ile tutulur. Suyun topraktaki hareketi kapilerite özelliği olmaktadır. Kapiler zonun altında yer altı su zonu vardır. Kapiler zonda hava kabarcıklarının miktarı oldukça fazladır. Yağışla ve sulama sonucunda toprakla buluşan su toprak tarafından emilir, buna infiltrasyon denmektedir. Suyun miktarının artması sonucunda, suyun toprak profili içinde aşağıya doğru hareket etmesi perkolasyon olarak tanımlanmaktadır. Toprak doymuş hale gelirse, su yüzeysel akışa geçer (runoff). Su buharlaşmaya başlayınca toprak su kaybeder, bu da evoporasyon olarak adlandırılmaktadır [1,5].

Toprak tanecikleri arasında bulunan bütün gözeneklerin su ile doyması durumuna doymuşluk denmektedir. Uygulamada gözeneklerdeki hava tamamen boşaltılamadığından, sadece % 85-90'ı su ile doldurulabilir ve bu durum doymuşluk olarak kabul edilir [1,5].

Serbest drenaj koşullarında bitki kök bölgesindeki toprakta, yer çekimine karşı toprak tarafından tutulabilen en yüksek su miktarı "Tarla Kapasitesi" olarak tanımlanmaktadır. Bitkinin solmaya başladığı anda, toprağın içerdiği nem miktarı Devamlı Solma Noktası olarak tanımlanmaktadır. Bu anda bitkilerin topraktan suyu koparmaya güçleri yetmez ve solmaya başlarlar. Yeniden toprağa su verilse bile bitki eski haline gelemez. Solma noktasında toprak neminin gerilimi; evapotranspirasyon hızına, bitki çeşidine, toprağın bünyesine ve tuz içeriğine bağlı olarak 7 – 40 atm arasında değişmektedir. Ancak, laboratuvar koşullarında toprağın 15 atm basınç altında tutabildiği nem içeriği, Devamlı Solma Noktası olarak kabul edilmektedir. Bitkiler tarafından topraktan alınabilen su kullanılabilir su olarak literatüre geçmiştir. Bu da tarla kapasitesi ile solma noktası arasında toprakta tutulan su miktarı olarak tanımlanmaktadır. Başka bir deyişle "Elverişli Nem Kapasitesi" olarak da bilinmektedir [1-5].



Şekil 1.6. Toprakta suyun hareketi [5]

Toprağın içerisinde bulunan su, toprak tanecikleri tarafından değişik kuvvetlerle tutulur;

- ✓ Bitki kökleri tarafından alınamayacak güçte tutulan hidroskopik su,
- ✓ Bitki kökleri tarafından alınabilen kapiler su,
- ✓ Yer çekimi ile topraktan uzaklaşabilen sızan su olmak üzere üç şekilde tanımlanabilir.

1.3. Toprak Nemi Ölçüm Teknikleri

Toprak nemi, toprağın fiziksel ve kimyasal yapısına da bağlıdır. Toprakta su içeriğini belirlemek için birçok metot kullanılmaktadır. Bu ölçüm metotlarının, doğru, güvenilir ölçümler olması gerekmektedir. Bu metotlardan en sık kullanılanların detayları aşağıda verilmiştir.

Toprak ekosistemi dengesinde önemli bir yeri olan toprak nemi ölçümü birçok farklı yöntemle çalışan cihazlar kullanılarak yapılmaktadır. Ancak bu cihazların güvenilirliği tartışılır durumdadır. Toprak nemi ölçen cihazların çalışma prensipleri, nasıl kullanılması gerektiği, bakımları, ölçüm güvenilirliklerinin (izlenebilirlik zincirinin) nasıl sağlanacağı ve kalibrasyon yöntemleri kullanıcılar tarafından çok fazla

bilinmemektedir. Oysa toprak nemini doğru ve güvenilir olarak ölçmek aşağıda verilen parametreleri de kontrol etmek demektir [6-9].

- Su tüketiminin kontrol edilmesi (günümüzde ve gelecekte çok önemli olan su kaynaklarının boşa kullanılmasının önlenmesi)
- Fazla sulama nedeni ile oluşan çoraklaşmanın önlenmesi (tuzlaşma ve bu nedenle yok olan toprak alanları)
- Tarım alanlarının korunması (verimli arazilerin sağlanması)
- Sıkışma oluşarak yok olan toprak alanları (nemli toprakların trafikten veya başka yollarla sıkışarak toprak özelliğini kaybetmesi)
- Sulama sisteminin verimli olarak kullanılması,
- Yetişen ürün ve bitki kalitesinin artması,
- Toprakta yaşayan diğer canlıların (bitki, hayvan ve insan) yaşam kalitesinin artması,

Tarımın var olduğu ilk günden bu yana toprak su ilişkisi ölçülmektedir. İlk ölçümler görsele dayalı ölçümlerdi. Toprağın elle ve gözle kontrolü sonucu, kuru veya nemli olduğuna karar verilirdi. Günümüzde halen kullanılmakta olan bu yöntemlere ek olarak bitkiden yararlanarak toprağın nemi konusunda fikir edinme de eklenmiştir [6].

Teknolojinin ilerlemesi ile toprak su içeriğinin belirlenmesi farklı teknikler yardımı ile daha doğru ve güvenilir olarak ölçülmeye başlanmıştır. Böylece doğru tekniklerle, hacimsel toprak nem içeriğinin izlenmesi, tekrarlanan ölçümler alınabilmesi, hızlı ve zamana bağlı doğru güvenilir ölçümler alınması sağlanmıştır.

Kısaca, toprak su içeriğinin belirlenmesinde kullanılan yöntemler, suyun kütlesinin belirlenmesi prensibine dayanan direkt yöntemler ve toprak su içeriğine bağımlı herhangi bir toprak özelliğinin ölçülmesi prensibine dayanan endirekt yöntemler olmak üzere iki grupta ele alınmaktadırlar. Bu sınıflandırma ayrıca; yerinde ölçüm ve uzaktan algılama yöntemi ile ölçüm şeklinde de sınıflandırılmaktadır [6].

1.3.1. Direkt yöntemler

Direkt yöntemler gravimetrik yöntemler olup, bu yöntemlerde topraktaki su kurutularak buharlaştırılmaktadır. Buharlaştırılan miktar belirlenerek, toprak içindeki su içeriği belirlenmiş olmaktadır [6-9].

Bu yöntemin avantajı ;

- Ucuz bir metot olması
- Kolay hesaplanabilme

Ancak bu metodun birçok dezavantajı vardır.

- Taşıma ve örnek alma gerektirir.
- Örnek almada yaşanan sıkıntılar
- Örnek alınırken toprağa verilen zararlar
- Tekrarlanabilirlik sorunu
- Kurutma ve tartım sırasında yaşanan sıkıntılar bu yöntemin uygulanabilirliğini sınırlandırmaktadır.

1.3.1.1. Gravimetrik yöntemler

A. Toprak neminin kütle esasına göre tayini:

Yöntem, kurutma ve tartma yöntemi olarak bilinir. Bu yöntem kullanılarak, alınan örnekler tartılarak fırında (105 ± 5) ℃'de kurutul ur. Kurutma işlemi, birbirini izleyen iki tartım arasındaki farkın en az % 0,1 "değişmez kütle" ye ulaşana kadar devam edilmesi gerekmektedir. Sabit kütleye ulaşmak için toprakların çoğunu 16 saat ile 24 saat arasında kurutmak yeterlidir. Fakat bazı toprak tipleri ve çok nemli örneklerin kurutulmaları için daha uzun süre gerekli olabilmektedir [10].

Örnekler, her kurutma işleminden sonra ortamdan etkilenmemesi ve soğutulması amacıyla, içerisinde nem tutucu olan desikatörler içerisine hızlı bir şekilde alınmalıdır. Burada soğumaya bırakıldıktan sonra yine ortamdan etkilenmeyecek şekilde, 10 mg hassasiyete sahip terazi kullanılarak tartımlar yapılarak, elde edilen sonuçlar, Denklem (1.1) kullanılarak hesaplanma yöntemine dayanmaktadır.

$$W_{H_2o} = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_0} \right) x100 \quad (1.1)$$

Burada;

m_o : Boş kabın kapağı ile birlikte kütlesi, g

m_1 : Nemli toprak örneği bulunduran kabın kütlesi, g

m_2 : 105 ℃ de kurutulmuş toprak örneğin kapla birlikte kütlesi, g

B. Toprak neminin hacim esasına göre tayini

Yöntem yukarıdaki metot gibi, yine kurutma, tartma yöntemidir. Burada hacim ve yoğunluk kavramları işin içine girmektedir [11].

Hacim esasına göre nem miktarı Denklem (1.2) ile hesaplanır.

$$Q = \left(\frac{m_1 - m_2}{\delta_w \times V} \right) \quad (1.2)$$

Burada;

Q: Hacim esasına göre nem, m^3/m^3;

m_1: Nemli toprak örneği bulunduran kabın kütlesi, kg

m_2: 105 ℃ de kurutulmuş toprak örneğin kapla birlikte kütlesi, kg

δ_w: suyun yoğunluğu, (kg/m^3)

V: Örnek alma kabı hacmi, (m^3)

Örneğin kuru hacim yoğunluğu Denklem (1.3) ile hesaplanabilir.

$$\delta_b = \left(\frac{m_2}{V} \right) \quad (1.3)$$

Burada;

δ_b : Örneğin kuru hacim yoğunluğu, (kg/m^3)

Hacim esasına göre nem, ISO 11272'ye göre tayin edilen toprağın kuru hacim yoğunluğu kullanılarak Denklem (1.4) ile hesaplanır.

$$Q = \left(\frac{w \times \delta_b}{\delta_w} \right) \tag{1.4}$$

Burada;

Q: Hacim esasına göre nem, (m^3/m^3)

w: Kuru kütle esasına göre ISO 11465'e göre tayin edilen nem, (kg/kg)

δ_b : Örneğin kuru hacim yoğunluğu, (kg/m^3)

δ_w : Suyun yoğunluğu, (kg/m^3).

1.3.2. Endirekt yöntemler

Endirekt yöntemlerde, toprağın belli fiziksel ve fizikokimyasal özelliklerinin su miktarına bağlı olarak değişimleri esas alınmaktadır. Bu yöntemlerin birçoğunda nem tayini ya toprağa yerleştirilmiş kalıcı sensörler veya toprakta açılan özel yuvalar içerisine okuma anında yerleştirilen sensörler vasıtasıyla kolaylıkla yapılabilmektedir. Endirekt yöntemlerin en önemli özelliği, ekipmanın bir kez tesis edilmesinden sonra toprak yapısında herhangi bir bozulmaya sebebiyet vermeksizin, az bir zaman harcayarak aynı yerde gerçek zaman diliminde ve kolay erişilebilir bir biçimde, sık ve sürekli ölçümlere olanak sağlamalarıdır. Ayrıca, toprağın su içeriği sensörün okunmasıyla birlikte belirlenmiş olmaktadır. Endirekt yöntemler arasında en yaygın olanları aşağıda verilmiştir [6].

- Nötron Metreler
- Termal sensörler
- TDR (Time Domain Reflectometry - Zaman Etkili Yansıma Ölçer)
- Campbell FDR (Frequency Domain Reflectometry – Frekans Etkili Yansıma Ölçer)
- Kapasitif sensörler

- İletkenlik sensörleri (örneğin, taneli matriks sensörleri ve alçı bloklar)

- Tansiyometre

Bu yöntemler Tablo 1.5'de özetlenmiş ve aşağıda yaygın olarak kullanılan toprak nem ölçerler açıklanarak, avantaj ve dezavantajları verilmiştir.

Tablo 1.5. Toprak nemi ölçüm teknikleri [6]

Metot	**Ölçüm Tekniği**	**Açıklama**
Nötron toprak nem ölçer (Neutron Moisture Meter NMM)	Bir hızlı nötron kaynağı etrafındaki yavaş nötronların sayımı	Bir radyoaktif kaynak, diğer atomlarla, özellikle hidrojenle, çarpıştığında enerji kaybeden hızlı nötronlar (5 MeV) yayar. Ölçüm tekniği, yavaş nötronların konsantrasyonudur. Topraktaki yegâne hızlı değişen hidrojen kaynağı, su olduğu için θ_v yavaş nötronların sayısı ile kalibre edilebilir.
Termal Sensörler	Toprak Isı iletkenliği veya ısı kapasitesi	Bir ısıl darbe oluşturulur. Ani bir ısı verilir ve zaman içerisinde etrafındaki toprağın sıcaklığındaki artış ve düşüş ölçülür. Toprak kötü bir ısıl iletici, su ise iyi bir ısıl ileticidir. Dolayısıyla ısı miktarı veya ısı aktarımı hızı θ_v ile yakından ilişkilidir.
Zaman Etkili Yansıma Ölçer (Time Domin Reflectrometer - TDR)	Bir elektromanyetik darbenin geçiş süresi	Hızlı yükselme süreli bir elektro manyetik darbe toprağa sokulmuş veya gömülmüş bir dalga kılavuzuna verilir. Darbenin dalga kılavuzunun metal çubukları boyunca geçişi için gereken süre toprağın toplam elektriksel geçirgenliği tarafından belirlenir. θ_v, toplam elektriksel geçirgenliği (BEC) etkileyen önemli bir faktördür. Gerçek TDR darbenin en yüksek frekansa sahip kısmının geçiş süresini bulmak için bir dalga şeklinin yakalanmasını ve analizini içerir.
Frekans Etkili Yansıma Ölçer (Frequency Domain Reflectometry) Campbell FDR	Hızlı yükseliş zamanlı elektromanyetik dalga için tekrarlama süresi	TDR açıklamalarına bakınız; aynısıdır. Sadece dalga şekli analizi yerine yansıyan darbenin belirlenmiş bir voltaja ulaşmasına dayanması nedeni ile yöntemin BEC sıcaklıktan daha fazla etkilenmesine neden olur.
Kapasitif Sensörler (Capacitive Sensors)	Salınan devrenin frekansı	Salınan akım, bir devreye verilir, bu devrenin bir parçasını oluşturan bir kapasitördür. Toprak, kapasitörün elektronları arasındaki elektro manyetik alandan etkilenen dielektrik ortamın parçası olacak şekilde yerleştirilir. θ_v toprağın elektriksel geçirgenliğini etkiler, bu da kapasitansı etkileyerek, salınım frekansının kaymasına neden olur.
İletkenlik Sensörleri (Conduductivity sensor) (örneğin, taneli matriks sensörleri ve alçı bloklar)	Toprakla temas halindeki gözenekli bir ortamın elektriksel üretimi	Toprakla temas halindeki gözenekli bir malzemenin içindeki iki elektrot arasına bir dalgalı akım voltajı uygulanır. Akım miktarı iletkenliğin ve elektronlar arasındaki gözenekli malzemedeki su miktarının bir ölçütüdür. Bunlar kullanılarak θ_v değil de toprak su gerilimi (emme) tahmini yapılır.
Tansiyometre (Tensiometers)	Yerçekimsel toprak su potansiyelinin bileşenleri	Toprak gözeneklerindeki suyu tutan kapiler kuvvetler toprak suyu üzerinden, suyla doldurulmuş bir tüpe bağlı gözenekli kaptaki bir suya bağlanır. Buda tüp içinde negatif bir basınç oluşmasına neden olur. Bu basınç bir basınç ölçer ile ölçülebilir. Bunlar kullanılarak θ_v değil de toprak su gerilimi (emme) tahmini yapılır.

1.3.2.1 Zaman etkili yansıma (TDR)

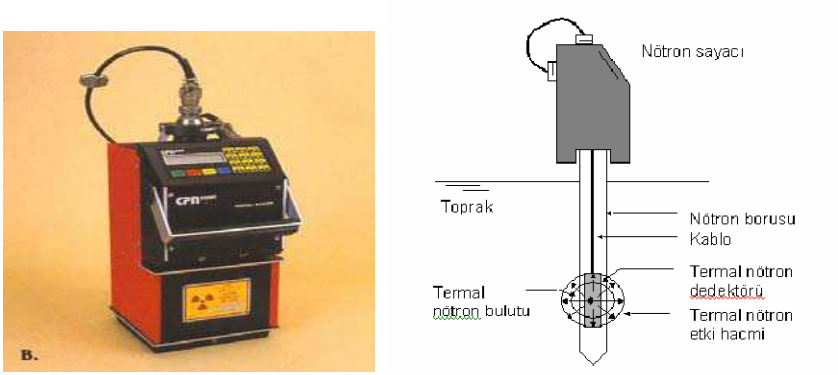
Toprak nemini, toprağın elektriksel iletkenliğinin bir ölçüsü olarak belirleme prensibine dayanmaktadır. Toprağa batırılan belli uzunluktaki problar arasındaki elektriksel iyonların iletim hızı ve dalga şekillerinin, toprağın bileşenleri ve topraktaki su miktarına bağlılığının belirlenmesidir. Toprağa batırılan iki prob arasındaki elektromanyetik yansımanın ölçülmesi olarak da tanımlanmaktadır. Bu yöntem, su içeriğine bağlı olarak toprak dielektrik sabiti 'e' nin değişmesi temeline dayanmaktadır. Şekil 1.7'de bu yöntemle çalışan toprak nem ölçüm cihazları verilmiştir. Çok değişik yapıda, uzunlukta ve bir çok değişik dizaynda karşımıza çıkmaktadır. Bu yöntemin avantajı, toprağın hacimsel su içeriğinin doğrudan ölçülebilir olması olarak ele alınmaktadır. Ancak cihazın dezavantajı ise; pahalı olması ve yüksek tuz ve organik madde içeren, özellikle ince bünyeli topraklarda yeterli doğrulukta sonuç verememesi olarak karşımıza çıkmaktadır [6].



Şekil 1.7. TDR Ölçüm cihazları[6]

1.3.2.2 Nötron metreler (NM)

Yöntem, hızlı nötron saçan bir kaynaktan (nötron probe) çıkan nötronların, toprak suyu tarafından yavaşlatılması ve yavaşlatılmış nötron sayısının özel sayaçlarla ölçülmesi şeklindedir. Bu amaçla, toprak nemi ölçülecek yerlere altı açık ve içi boş metal borular yerleştirilir. Genellikle amerikyum-berilyum karışımı olan radyoaktif madde nemin ölçüleceği derinliğe kadar sarkıtılır. Yavaşlayan nötron sayısı özel sayaçla ölçülür. Daha önceden hazırlanmış kalibrasyon eğrisinde yavaşlatılmış nötron sayısına karşılık gelen toprak nemi miktarı doğrudan elde edilir. Şekil 1.8'de bu yöntemle çalışan toprak nem ölçüm cihazları verilmiştir. Kullanılan radyoaktif maddelerin çevresel açıdan kontrolünün zorluğu ve riski bu cihazların kullanımını kısıtlamaktadır. Ayrıca bu cihazların kullanılması için özel eğitimler ve dikkat gerekliliği, pahallı olması kulanım dezavantajı olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu yöntemin avantajı ise; nötron yöntemi ile oldukça sağlıklı toprak nemi ölçmeleri yapılabilmesidir [6].



Şekil 1.8. Nötronmetre ölçüm cihazı ve şematik gösterimi[6]

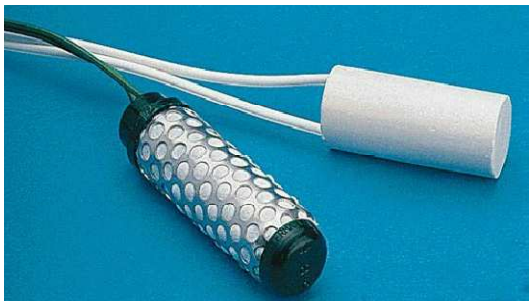
1.3.2.3 Tansiyometreler

Tansiyometrelerle toprak nemi, negatif basınç ölçme prensibine dayanmaktadır. Toprak nemi gerilimini ölçme prensibi dikkate alınmaktadır. Eğer topraktaki negatif basınç, toprak su içeriği arasında, toprak su karakteristik eğrisi diye tanımlanan ilişki biliniyorsa, tansiyometre okumalarından toprak su içeriği de belirlenebilir [6,12].

Tansiyometreler içi su dolu bir gövde, seramik uç ve vakum göstergesinden oluşmaktadır. Bir tansiyometrenin araziye yerleştirilmesi için toprak neminin ölçüleceği derinliğe kadar çukur açılmakta ve gövde o çukura yerleştirilmektedir. Seramik ucun açılan deliğe tam olarak girmiş olması önemlidir. Seramik uçla toprak arasında iyi bir temasın sağlanması için gövde etrafı toprakla doldurularak, sıkıştırılmalıdır. Toprakta bulunan nem miktarına göre, seramik uçtan toprağa doğru ya da topraktan seramik uç aracılığıyla tansiyometre gövdesine doğru su akışı olur ve bir hidrolik denge kurulur. Bu koşulda göstergeden bir değer okunur. Okunan bu değer daha önce hazırlanmış kalibrasyon eğrisinde işaretlenerek topraktaki nem miktarı kuru ağırlık yüzdesi cinsinden elde edilir. Bu yöntemin avantajları, pratik ve kolay okuma yapabilme, toprak su akışını etkileyen temel parametreleri ölçebilmesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Dezavantajları ise; kurulumdan önce bir düzenlemeye gereksinim duyulması, bakım gerektirmesi, seramik ucun değdiği noktayı iyi belirleyememe, toprak yapısına bağımlı olması, kullanılacağı toprak yapısına göre eğrisinin oluşturulması ve belli nem değerleri altında okuma yapamamaları (0,85 atm) olarak karşımıza çıkmaktadır.

1.3.2.4 Direnç blokları (İletkenlik sensörler):

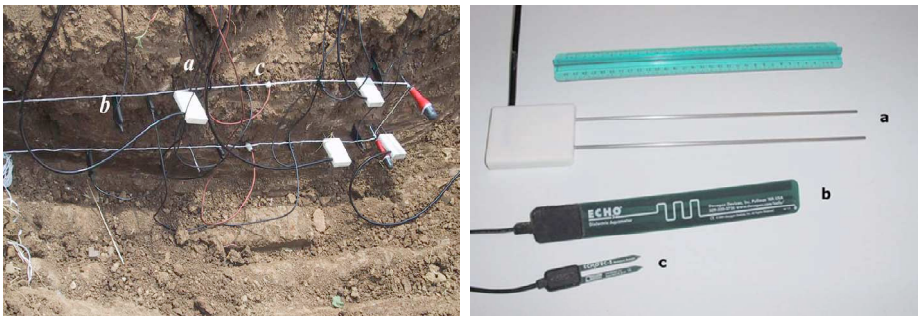
Şekil 1.9'da verilen direnç blokları, alçı veya gözenekli plastik bloklar içine yerleştirilmiş metal ileticiler arasındaki elektrik direncinin ölçülmesi ve bu direncin toprak nemi ile ilişkilendirilmesi prensibine dayanmaktadır. Ölçülecek toprak neminin daldırma derinliğine yerleştirilerek göstergesinde basınç veya direnç okuması yapılmaktadır. Daha sonra kalibrasyonu sırasında bulunan fonksiyon kullanılarak toprak nemine geçiş yapılmaktadır. Toprak nem içeriği ile blok dirençleri arasında, su miktarı arttıkça direncin düşmesi, bir ilişki mevcuttur. Bu yöntemin avantajları; ucuz olması, kolay ve pratik okuma olarak değerlendirilirken, dezavantajları; kurulumu esnasındaki zorluklar, kaba bünyeli topraklarda hassas ölçüm alamaması, toprağa gömerken boşluk kalma riski, kullanım süresi kısalığı ve toprağın yapısına göre seçim yapma gerekliliği olarak karşımıza çıkmaktadır [6].



Şekil 1.9. Direnç blokları ölçüm cihazı [6]

Toprak nemi ölçüm metotları, teknoloji ilerledikçe gelişmekte ve daha doğru ve güvenilir ölçümler yapılabilmektedir. Böylece toprak ve su ekosistemlerinin doğru olarak kullanılması sağlanmış olmaktadır. Toprak ekosisteminde verimin artması, canlıların yaşamının iyileşmesi anlamına gelmektedir. O yüzdendir ki bu teknolojilerin bilinmesi ve gelişen teknolojilerin yurdumuza aktarılması önemlidir.

Şekil 1.10'de farklı tip toprak nemi ölçme cihazları ile yapılan bir ölçüm gösterilmektedir [6,13].



Şekil 1.10. Farklı tip toprak nemi ölçüm cihazları

Kullanılan bu sensörlerin toprak içinde algılama alanları da önemlidir. Her bir toprak nem ölçerin etkili olduğu bir kapasite mevcuttur. Toprak içerisindeki toprak nemi ölçümlerinde ölçüm yapılacak alanın belirlenmesi ve bu alanda ölçüm yapabilen ve bu alanda algılama yeteneği olan toprak nem ölçerlerin seçilmesi, ölçüm sonuçlarının güvenilirliği için önemlidir. Tablo 1.6'da toprak nemi ölçüm cihazlarının algılama hacimleri ve etkileşim bilgileri verilmiştir. Toprak nem ölçer seçimi sırasında bu tablodan yararlanabilir.

Tablo 1.6. Toprak nemi ölçüm cihazlarının algılama hacimleri ve etkileşimleri [6]

Teknoloji	**Algılanan hacim**	**Etkileşimler**
NMM	3 × 104 cm^3 (nemli toprak) 28 × 104 cm^3 (kuru toprak)	Cl, B, Fe, C
TDR	Prob çubuklarının uzunluğu boyunca ve çubuklar düzleminin ~10 mm üstündeki ve altındaki ve çubuklar düzleminin yanındaki toprak hacmi. (Örneğin 3 çubuklu ve çubuklar arası mesafe 3 cm olan 20 cm' lik bir prob için yaklaşık 320 cm^3'tür.	Tuz, toprağın elektriksel, iletkenliği, sıcaklık ve mağnetik minareler (nadir görülen)
Kapasitif ve FDR	Çok değişkendir. Genellikle okumanın %90'nı sensörlerin algılayıcı yüzeyinin 20 mm içinden gelir. Fakat bazen algılanan hacim sensörlerin yüksekliğinden küçüktür. Genelikle ~ 200-400 cm^3.	Tuz, toprağın elektriksel iletkenliği (kil tipi, içeriği ve su içeriği dâhil) ve sıcaklık
Isı yayımı	Çok değişkendir, sensörün etrafındaki 20 mm bölge olup, küçüktür.	Metalik toprak bileşenleri
İletkenlik sensörleri (gypsun blokları)	Toprak iletkenlik tarafından belirlenen bir toprak hacmiyle dengelenir. Genellikle ıslak toprakta 500 cm^3'tür. Fakat kuru toprakta çok daha küçüktür.	Sıcaklık, sensörde kullanılan $CaSO_4$ haricindeki tuzlar.

1.4. Toprak Kirliliği

Toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik dengesinin bozulması yukarıda açıklandığı gibi; toprak verimini düşürmekte ve toprağın bozulması sonucu doğmaktadır.

Toprak kirliliği için birçok tanım yapılmaktadır. 2010 yılında çıkan yönetmelikte, öngörülen birinci aşama değerlendirme veya ikinci aşama değerlendirme sonucunda, mevcut toprak kullanımı veya gelecekteki muhtemel toprak kullanımı dikkate alındığında, bünyesinde insan ve çevre sağlığı bakımından önemli ölçüde risk oluşturan, insan faaliyetlerinden kaynaklanan tehlikeli kirletici maddelerin bulunduğu teyit edilen ve temizlenmesi gerektiğine karar verilen toprak kirlenmiş toprak olarak tanımlanmıştır. Yine aynı yönetmelikte, kirlilik gösterge parametreleri (KGP); şüpheli sahada kirliliğin mevcudiyetine yönelik muhtemel belirsizlikleri gidermek ve birinci aşama değerlendirme sürecinde alınacak kararın güvenilirliğini artırmak amacıyla toprak ve gerekli durumlarda su ve gaz örneklerinde ölçülen parametreleri olarak tanımlanmıştır. Kirlilik kaynağı ise; kirleticilerin bulunduğu, yayılmaya başladığı veya toprak veya yeraltı suyunda en yüksek hedef kirletici konsantrasyonlarının belirlendiği nokta ya da alan olarak belirtilmiştir [14].

Bu yönetmelikle noktasal kaynaklı toprak kirliliği; tehlikeli atıkların toplanması, taşınması, geçici ve ara depolanması, geri kazanımı, yeniden kullanılması ve bertarafı sırasında meydana gelebilecek kazalar sonucunda veya tehlikeli atıkların mevzuata aykırı şekilde yukarıdaki faaliyetlere konu olması sonucunda ya da sanayi tesislerindeki çeşitli tehlikeli kimyasal maddelerin depolanmaları ve nakledilmeleri sırasında meydana gelebilecek kazalar veya afetler sonucunda oluşan döküntü veya sızıntı ve benzeri gibi noktasal kaynaklardan dolayı oluşan toprak kirliliği olarak tanımlanmıştır [14].

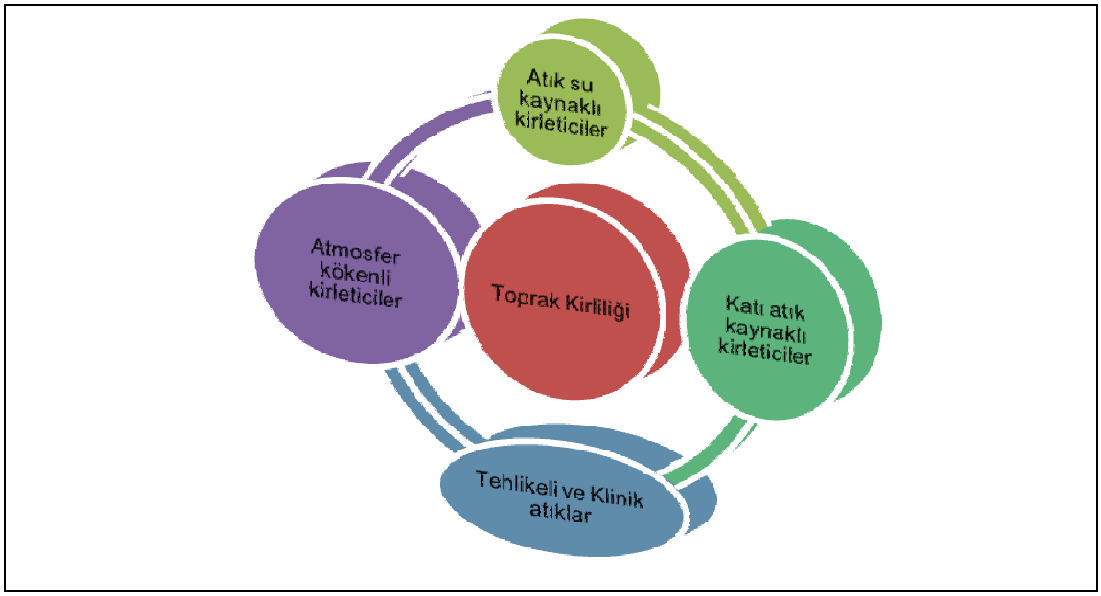
Ayrıca şüpheli sahada herhangi bir noktasal kaynak veya insan etkinlikleri nedeniyle kirlenmiş olduğu düşünülen veya varsayılan alandan alınan toprak veya yüzey-yeraltı suyu örneklerinde, şüpheli sahaya ait ilgili kirlilik gösterge parametreleri veya hedef kirletici referans değeri ile kıyaslanmak amacıyla, ölçülen kirlilik gösterge parametresi veya hedef kirletici konsantrasyonu ölçüm değeri (ÖD) olarak belirtilmiştir. Referans değeri (RD) ise; şüpheli saha yakın çevresinde bulunan, herhangi bir noktasal kaynak veya insan faaliyeti nedeniyle kirlenmemiş olduğu düşünülen veya varsayılan alandan alınan toprak, yüzey suyu, yeraltı suyu örneklerinde, birinci aşama değerlendirmede şüpheli sahaya ait ilgili kirlilik gösterge

parametreleri (KGP) veya ikinci aşama değerlendirmede hedef kirletici konsantrasyonu ölçüm değerleri ile kıyaslanmak amacıyla, ölçülen kirlilik gösterge parametresi veya hedef kirletici konsantrasyonu ölçüm değerini göstermektedir. Diğer ilgili tanımlar ve geniş açıklamalar, 8 Haziran 2010 salı ve 27605 sayılı ”Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik”’te bulunmaktadır [14].

Toprağın, özellikle insan etkinlikleri sonucu oluşan çeşitli bileşikler tarafından bulaştırılmasını takiben, toprakta yaşayan canlılar ile yetişen ve yetiştirilen bitkilere veya bu bitkilerle beslenen canlılara toksik etkide bulunacak ve zarar verecek düzeyde anormal fonksiyonda bulunmasını, toprağa eklenen kimyasal materyalin toprağın özümleme kapasitesinin üzerine çıkması, toprağın verim kapasitesinin düşmesi toprak kirliliği olarak tanımlanmaktadır [14].

Toprak kirliliği kısaca; toprak içindeki dengenin bozulmasıdır. Toprak kirlenmesinin başlıca sebepleri; kazalar, bilerek atılan veya dökülen tehlikeli madde ve atıklar, atmosferden yağış ve rüzgâr yolu ile toprağa gelen kirleticiler olarak sıralanabilir.

Toprak kirlenmesine yol açan prosesler doğal ve insan yapımı olarak da ikiye ayrılabilirler. Kirletici kaynakların en önemlisi insan faaliyetleri sonucu meydana gelen kirliliktir. İnsan faaliyetleri sonucu meydana gelen kirlilik de evsel, tarımsal ve endüstriyel nitelikli olarak üç kategoriye ayrılabilir. Şekil 1.11 de toprak kirliliği kaynakları özetlenerek gösterilmiştir.



Şekil. 1.11. Toprak kirliliği kaynakları

Toprağın içindeki elementler, yerkabuğunun oluştuğu mineral elementlerdir. Bunlar makro ve mikro besin elementleri olarak adlandırılmaktadır ve toprak ekosisteminin verimi için gereklidir. Ancak bu elementlerin dengesi bozulduğunda sınır değerlerini aştıklarında veya hiç bulunmadıklarında toprak kalitesi düşer ve ekosistemde bir bozulma medya gelir.

Yukarıda sayılan herhangi bir sebeple bu elementlerin topraktaki değerleri artıp azalabilir. Bu elementler ve toprak içinde kirlilik parametresi olarak tanımlanan kısımlar Tablo 1.7'de (8 Haziran 2010 Salı, 27605 sayılı "Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik Ek-2: Kirlilik Gösterge Parametreleri Listesi, Potansiyel Toprak Kirletici Faaliyetler ve Faaliyete Özel Kirlilik Gösterge Parametreleri) verilmiştir. Bu parametrelerin hangi endüstri faaliyetinden kaynaklandığı bilgisi Tablo 1.8'de verilmiştir.

Tablo 1.7. Kirlilik gösterge parametreleri listesi [14]

Parametre	**Sembol**	**Parametre**	**Sembol**
Benzen, Toluen, Etilbenzen, Ksilen	BTEX	Selenyum	Se
Asbest	Asbest	Arsenik	As
pH	pH	Antimon	Sb
Toplam Organik Halojen	TOX*	Molibden	Mo
Toplam Petrol Hidrokarbonları	TPH	Titanyum	Ti
Yağ-Gres	Yağ-Gres	Kalay	Sn
Toplam Uçucu Organik Bileşikler	TVOCs**	Baryum	Ba
Kadmiyum	Cd	Berilyum	Be
Cıva	Hg	Bor	B
Çinko	Zn	Uranyum	U
Bakır	Cu	Vanadyum	V
Nikel	Ni	Kobalt	Co
Krom	Cr	Talyum	Tl
Kurşun	Pb	Gümüş	Ag

* Su örneklerinde TOX yerine AOX (adsorblanabilen organik halojenler) ölçümü yapılacaktır.
** Sadece gaz örneklerinde, gaz Örneklerinde ölçümün söz konusu olması halinde saha tipi cihazlarla ölçülerek belirlenecektir..

Tablo 1.8. Toprak kirletici faaliyetleri ve kirlilik gösterge parametreleri listesi [14]

NACE Kodu	Endüstriyel Faaliyet	Faaliyete Özel Kirlilik Gösterge Parametreleri
11	Hampetrol ve doğalgaz çıkarımı; saha arama ve tetkiği hariç, petrol ve gaz çıkarımı ile ilgili hizmet faaliyetleri	TOX, TPH, BTEX, TVOCs*, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, V, Zn
13	Metal cevherler madenciliği	TOX, TPH, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, V, Zn
14.12	Kireçtaşı, alçıtaşı ve tebeşir ocakçılığı	TOX, TPH
14.22	Kil ve kaolin madenciliği	TOX, TPH
15	Gıda ürünleri ve içecek imalatı	TOX, TPH, Hg, Cd
15.1	Et ve et ürünleri imalatı	TOX, TPH, As, Cd, Cr
15.4	Bitkisel ve hayvansal sıvı ve katı yağların imalatı	TOX, TPH, Cu, Yağ-Gres
15.7	Hazır hayvan yemleri imalatı	TOX, TPH, As, Cd, Cr
15.98	Maden suyu ve alkolsüz içecek üretimi	TOX, TPH, Cr, Cu, Pb, Zn
16	Tütün ürünleri imalatı	TPH, As, Ba, Cd, Hg, Pb, Sb, Zn
17.3	Dokumanın aprelenmesi	TOX, TPH, Cd, Cr, Cu, Hg, Sn, Ti, Zn
18.1	Deri giyim eşyası imalatı	TPH, Cd, Cr
18.2	Diğer giyim eşyası ve aksesuarların imalatı	TOX, TPH, As, B, Cr, Cu, Sb, Zn
19.1	Derinin tabakalanması ve işlenmesi	TOX, TPH, Cd, Cr, Pb, Yağ-Gres
19.3	Ayakkabı, terlik vb. imalatı	TPH, Cd, Cr
20.1	Ağacın hızarlanması, planyalanması ve emprenye edilmesi	TOX, TPH, As, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb, Zn
21.1	Kağıt hamuru, kağıt ve mukavva imalatı	TOX, TPH, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Zn
21.24	Duvar kağıdı imalatı	TOX
22.2	Basım ve basımla ilgili hizmet faaliyetleri	TOX, TPH, Ba, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Se, Zn
23	Kok kömürü, rafine edilmiş petrol ürünleri ve nükleer yakıt imalatı	TOX, TPH, As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, V, Zn
24.1	Ana kimyasal maddelerin imalatı	TOX, TPH, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Se, V, Zn
24.2	Pestisit (haşarat ilacı) ve diğer zirai-kimyasal ürünlerin imalatı	TOX, TPH, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Zn
24.3	Boya, vernik benzeri kaplayıcı maddeler ile matbaa mürekkebi ve macun imalatı	TOX, TPH, Ba, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Ti, Zn

Tablo 1.8. Toprak kirletici faaliyetleri ve kirlilik gösterge parametreleri listesi [14] (Devam)

NACE Kodu	Endüstriyel Faaliyet	Faaliyete Özel Kirlilik Gösterge Parametreleri
24.4	Eczacılık ürünlerinin, tıbbi kimyasalların ve botanik ürünlerinin imalatı	TOX, TPH, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, V, Zn
24.5	Sabun ve deterjan, temizlik ve cilalama maddeleri; parfüm; kozmetik ve tuvalet malzemeleri imalatı	TOX, TPH, As, Ba, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn
24.6	Diğer kimyasal ürünlerin imalatı	TOX, TPH, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, V, Zn
25.1	Kauçuk ürünleri imalatı	TOX, TPH, As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn
25.2	Plastik ürünlerin imalatı	TOX, TPH, Cd, Hg, Pb, Zn
26	Metalik olmayan diğer mineral ürünlerin imalatı	TOX, TPH, B, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn
26.1	Cam ve cam ürünleri imalatı	TOX, TPH, Ag, As, B, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Se, Ti, Tl, Zn, pH
26.21	Seramik ev ve süs eşyası imalatı	TOX, TPH, As, B, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, Ti, Tl, Zn
26.3	Seramik kiremit ve kaldırım taşı imalatı	Cr
26.4	Fırınlanmış kilden kiremit, briket, tuğla ve inşaat malzemeleri imalatı	TOX, TPH, B, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn
26.51	Çimento imalatı	TOX, TPH, As, Be, Cd, Cr, Co, Cu, , Hg, Ni, Pb, Sb, V, Zn
26.62	İnşaat amaçlı alçı ürünleri imalatı	TOX, TPH, B, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn
26.65	Lifli çimento imalatı	Asbest
26.7	Süsleme ve yapı taşının kesilmesi, şekil verilmesi ve kullanılabilir hale getirilmesi	TOX, TPH, As, B, Be, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Zn, V
26.8	Metalik olmayan diğer mineral ürünlerin imalatı	TPH
27	Ana metal sanayi	TOX, TPH, Ag, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, U, V, Zn
28	Makine ve teçhizatı hariç; fabrikasyon metal ürünleri imalatı	TOX, TPH, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn
29	Başka yerde sınıflandırılmamış makine ve teçhizat imalatı	TOX, TPH, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn
30	Büro makineleri ve bilgisayar imalatı	TPH
31	Başka yerde sınıflandırılmamış elektrikli makine ve cihazların imalatı	TOX, TPH, Ag, Be, Cd, Cu, Hg, Ni, Pb, Se, Zn
32	Radyo, televizyon, haberleşme teçhizatı ve cihazları imalatı	TPH
33	Tıbbi aletler; hassas ve optik aletler ile saat imalatı	TPH
34	Motorlu kara taşıtı, römork ve yarı römork imalatı	TPH, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn
35	Diğer ulaşım araçlarının imalatı	TOX, TPH, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sn, Zn

Tablo 1.8. Toprak kirletici faaliyetleri ve kirlilik gösterge parametreleri listesi [14] (Devam)

NACE Kodu	Endüstriyel Faaliyet	Faaliyete Özel Kirlilik Gösterge Parametreleri
33	Tıbbi aletler; hassas ve optik aletler ile saat imalatı	TPH
34	Motorlu kara taşıtı, römork ve yarı römork imalatı	TPH, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn
35	Diğer ulaşım araçlarının imalatı	TOX, TPH, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sn, Zn
36.1	Mobilya imalatı	TOX, TPH, As, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn
37	Geri dönüşüm	Ag, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn
40	Elektrik, gaz, buhar ve sıcak su üretimi ve dağıtımı	TPH, BTEX, TVOCs*
40.1	Elektrik üretimi, iletimi ve dağıtımı	TOX, TPH, As, B, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Pb, Sb, Se, Zn
50.2	Motorlu taşıtların bakım ve onarımı	TOX, TPH, BTEX, TVOCs*, Ba, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn,
50.5	Motorlu taşıt yakıtının perakende satışı	TOX, TPH, BTEX, TVOCs*, Ba, Cu, Cd, Pb, Ni, Zn
51.51	Katı, sıvı ve gaz yakıtlar ile ilgili ürünlerin toptan ticareti	TOX, TPH, BTEX, TVOCs*, As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, V, Zn
51.52	Maden ve maden cevheri toptan ticareti	Cd, Cu, Cr, Hg, Pb, Zn
51.55	Kimyasal maddelerin toptan ticareti	TOX, TPH
51.57	Atık ve hurda toptan ticareti	TPH
55.1	Oteller ve moteller	TOX
60	Kara taşımacılığı ve boru hattı taşımacılığı	TPH, BTEX, TVOCs*
62	Havayolu taşımacılığı (Havaalanları)	TOX, TPH, As, Cd, Hg, Pb
74.81	Fotoğrafçılıkla ilgili faaliyetler	TOX, TPH, Ag, As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Zn
75.22	Savunma faaliyetleri	TOX, TPH, As, B, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn
85.1	İnsan sağlığı ile ilgili hizmetler	TOX, TPH, Ag, As, Ba, Bi, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Pb, Pt, Sb, Se, Sn, Zn
85.2	Veterinerlik hizmetleri	TOX, TPH, Ag, As, Ba, Bi, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Pb, Pt, Sb, Se, Sn, Zn
90	Kanalizasyon ve atıkların toplanması, hıfzısıhha ve benzeri faaliyetler	TOX, TPH, Ag, As, B, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Zn
93.01	Tekstil ve kürk ürünlerinin yıkanması ve kuru temizleme	TOX, TPH, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb, Zn

* Sadece gaz örneklerinde, gaz Örneklerinde ölçümün söz konusu olması halinde saha tipi cihazlarla ölçülerek belirlenecektir.

3 Ağustos 2010 Salı, 27661 sayılı Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik Ek 1'e göre topraktaki ağır metal sınır değerleri Tablo 1.9'da verilmiştir.

Tablo 1.9. Topraktaki ağır metal sınır değerleri (mg/kg) [15]

Ağır Metal (Toplam)	**Fırın Kuru Toprak 6≤pH<7**	**Fırın Kuru Toprak pH≥7**
Pb	70	100
Cd	1	1,5
Cr	60	100
Cu	50	100
Ni	50	70
Zn	150	200
Hg	0,5	1

Ayrıca 278/86 AB direktifinde de verilen sınır değerler Tablo 1.10'da ve EPA 747.R.98.003 raporunda verilen bazı ülkelerin belirledikleri sınır değerleri de Tablo 1.11'de verilmiştir.

Tablo 1.10. 278/86 AB toprak direktifinde ağır metal sınır değerleri [16]

Ağır Metal	**İzin verilen maksimum konsantrasyon (mg/kg)**	**Arıtma çamuru için izin verilen maksimum konsantrasyon (mg/kg)**	**Maksimum yıllık yükleme ($kgha^{-1}yıl^{-1}$)**
Cd	1-3	20-40	0,15
Cu	50-140	1000-1750	12
Ni	30-175	300-400	3
Pb	50-300	750-1200	15
Zn	150-300	2500-4000	30
Hg	1-1,5	16-25	0,1
Cr	100-150	-	-

Tablo 1.11. Topraktaki ağır metal sınır değerlerinin ülkelere göre karşılaştırılması (mg/kg) [17]

	86/78/EEC	Austurya	Belçika			Almanya			Danimarka	İspanya		Fransa	Finlandiya
	6<pH<7		Flanders	Wallonia	Arıtma çamuru direktivi	Toprak koruma yasası				pH<7	pH>7		
						sand	Loam (pH<6)	clay (pH<6)					
Cd	1-3	1-2	1,2	2	1,5	0,4	1 (0,4)	1,5 (1)	0,5	1	3	2	0,5
Cr	-	100	78	100	100	30	60	100	30	100	150	150	200
Cu	50-40	60-100	109	50	60	20	40	60	40	50	210	100	100
Hg	1-1,5	1-2	5,3	1	1	0,1	0,5	1	0,5	1	1,5	1	0,2
Ni	30-75	50-70	55	50	50	15	50	70	15	30	112	50	60
Pb	50-300	100	120	100	100	40	70	100	40	50	300	100	60
Zn	150-300	150-300	330	200	200	60	150 (60)	200 (150)	100	150	450	300	150
Diğerleri													
As		20	27										
Co		50											
Mo		10											

Tablo 1.11. Topraktaki Ağır Metal Sınır Değerleri, ülkeler arası karşılaştırma (mg/kg) [17] (devamı)

	Almanya	İtalya	İrlanda	Lüksenburg	Hollanda	Portekiz			İsviçre	İngiltere			
						pH<5,5	5,5<pH<7	pH>7		5<pH<5,5	5,5<pH<6	6<pH<7	pH>7
Cd	1-3	1,5	1	1-3	0,5	1	3	4	0,4		3		
Cr	-	1µM Cr (VI)	-	100-200	30	50	200	300	60		400		
Cu	50-140	100	50	50-140	40	50	100	200	40	80	100	135	200
Hg	1-1,5	1	1	1-1,5	0,5	1	1,5	2	0,3		1		
Ni	30-75	75	30	30-75	15	30	75	110	30	50	60	75	110
Pb	50-300	100	50	50-300	40	50	300	450	40		300		
Zn	150-300	300	150	150-300	100	150	300	450	100-150	200	250	300	450
Diğerleri													
As											50		
F											500		
Mo											4		
Se											500		

1.5. Toprak Elementleri Ölçüm Teknikleri

Toprak elementlerini belirlemek için öncelikle örneklerin ekstre (çözündürme) edilmesi gerekmektedir. Daha sonra ekstre edilmiş örneklerin içerisindeki miktarların istenilen çözünürlükte belirlenmesi gerekmektedir.

1.5.1. Kimyasal ekstraksiyon (çözündürme) yöntemleri

Kimyasal ekstraksiyon, reaktif içeren ekstraktlayıcı (asit/baz, yüzey aktif madde, şelatlayıcı reaktif, tuz ve redoks reaktif) ile topraktan metalleri sulu çözeltiye transfer edilmesi ile daha çözünebilir şekle (çözünebilir metal tuzlarına dönüştürerek) dönüştürerek çözünürlüğü arttırmak için kullanılır. En çok kullanılan ekstraksiyon çözeltileri: [2,18]

- ✓ Asitler,
- ✓ Tuz veya yüksek konsantrasyonda klorür çözeltileri,
- ✓ Şelatlayıcı reaktifler
- ✓ Yüzey aktif maddeler
- ✓ İndirgeyici veya oksitleyici (redoks) reaktiflerdir.

Topraklardan ağır metal ekstrakte etmek (çözündürmek) için son yıllarda bazı ekstraksiyon prosedürleri geliştirilmiş ve modifiye edilmiştir. Bu anlamda iki grup test göz önüne alınmalıdır. Birincisi tek bir toprak örneği ve tek bir ekstraksiyon çözeltisi ile diğeri ise ardışık ekstraksiyon prosedürleridir. Ardışık ekstraksiyonda birkaç ekstraksiyon çözeltisi ard arda aynı örneğe uygulanır [18]. Bu çalışmada özel bir çözündürme prosedürü kullanılmıştır. Bu prosedürün detayı malzeme ve yöntem başlığı altında verilmiştir.

1.5.2. Elementleri belirleme yöntemleri

Eser elementlerin analizinde uygulanan metotlar çok çeşitlidir. Bunlar genel olarak:

- ✓ Spektroskopik metotlar
- ✓ Elektrokimyasal metotlar
- ✓ Termokimyasal metotlar

✓ Kromotografik metotlar ve diğer metotlar

Spektroskopik metotlarda;

✓ ICP-MS

✓ Atomik Emisyon Spektroskopisi (AES)

✓ Alevli Atomik Absorpsiyon (FAAS)

✓ Elektrotermal Atomik Absorpsiyon (ETAAS)

Atomik emisyon spektroskopisi ilk geliştirildiğinde alev, elektrik arkı ve kıvılcım atomlaştırmasına ve uyarmasına dayanmaktaydı ve günümüzde halen bu yöntemler metalik elementlerin analizinde önemli uygulamalara sahiptir. Bununla beraber günümüzde atomik emisyon spektrometride plazma kaynakları, en önemli ve en yaygın kullanılan kaynaklardır. Tablo 1.12 de yöntem ve derişime bağlı tayin edilen element sayısına göre karşılaştırma gösterimi verilmiştir [2,18,19].

Tablo 1.12. Eser element analizinde yöntemlerin derişime göre karşılaştırmaları [2,18]

	Aşağıdaki derişimlerde tayin edilen elementlerin sayısı				
Yöntem	**<1 ppb**	**1-10 ppb**	**11-100 ppb**	**10-500 ppb**	**>500 ppb**
ICP	9	32	14	6	0
AES	4	12	19	6	19
AFS	4	14	16	4	6
FASS	1	14	25	3	14

Bu çalışmada, toprak örneklerinde elemental analizler, yüksek çözünürlüklü ICP-MS (Thermo Finnigan Element2 High Resolution ICP-MS) cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemle ilgili detaylı bilgi malzeme ve yöntem başlığı altında verilmiştir.

1.6. KirlenmişToprakların Arıtım/Islah Teknolojileri

Toprak kirliliğine müdahale edebilmek için, toprağın yapısını ve kirleticinin yapısını iyi analiz etmek gereklidir. Kirletici türü ve miktarına göre ve toprağın kimyasal yapısına göre bir arıtma tekniği seçilir. Kirlenen toprak, yani organik ve ağır metallerle kirlenen toprağın arıtımına geçmeden önce, kirletici türü, miktarı ve etkisinin düzeyi belirlenmelidir. Daha sonra arıtım teknolojisi belirlemeye geçilir. Toprak kirliliği arıtım teknolojileri; arazi içinde (in situ) ve arazi dışında (ex situ)

olmak üzere iki yöntemle gerçekleştirilmektedir. Ancak bu sınıflandırma aşağıdaki şekilde de yapılmaktadır: [20,22]

a. Fiziksel arıtım

b. Kimyasal arıtım

c. Biyolojik arıtım

d. Katılaştırma/kararlı hale getirme

1.6.1. Oksidasyon

Oksidasyon, organik kimyasallar tarafından kirlenmiş topraklar için hayli etkili bir teknolojidir. En çok kullanılan kimyasallar; hidrojen peroksit, ozon, potasyum permanganat, hidrojen peroksit oksidasyon için kullanılırsa aşağıdaki denklemlerle gerçekleşir. [20-22]

$$3H_2O_2 + C_2HCl_3 \longrightarrow 2CO_2 + 2H_2O + 3HCl \quad (1.5)$$

Ozon için reaksiyon aşağıdaki gibi gerçekleşir;

$$O_3 + H_2O + C_2HCl_3 \longrightarrow 2CO_2 + 3HCl \quad (1.6)$$

Potasyum permanganat kullanılırsa;

$$2KMnO_4 + C_2HCl_3 \longrightarrow 2CO_2 + 2MnO_2 + 2KCl + HCl \quad (1.7)$$

1.6.2. İyon değişimi ve çökelme

Yüksek katyon değişim kapasitesiyle birlikte toprak komponentleri bu şekilde pozitif olarak yüklenmiş organik kimyasalları ve maddeleri bağlama yeteneğinde olup kimyasal olarak onları hareketsiz duruma getirirler ve böylece toprak çevresi üzerinde oluşturdukları riski azaltır. Toprak düzenleyicilere ek olarak örneğin sentetik reçineler, zeolit yada kil mineralleri toprağın CEC (katyon değişim kapasitesi) karakteristiklerini arttırmada yardımcı olabilir ve böylece toprak ortamındaki negatif fonksiyonel gruplar üzerinde pozitif olarak yüklenmiş kirleticilerin tutunmasını attırabilirler [20-22].

1.6.3. Fotoliz

Fotolitik degradasyon teknolojisi, ultraviole ışınları ile organik kirleticilerin parçalanmasına bağlıdır. Yüzeysel toprak kirleticilerinin parçalanması için yeterli olan bu durum, yapay UV ışınları kullanılarak yada toprağın güneş ışığına maruz bırakılmasıyla gerçekleştirilebilir. Bu yöntem, yerinde yada özel hazırlanmış zeminlerde uygulanabilir. Bununla birlikte derin olarak kirlenmiş topraklar, bu yöntemin özel tanklarda uygulandığı yerlerde özel vasıta ve ekipmanlarla kazınmış ve taşınmış olmalıdır. Fotolitik degradasyon ve biyoıslahın bu kombinasyonuna, fotolitik uygulamadan sonra toprağa mikroorganizmalar ve besinler ekleyerek başarılı olunur [20-22].

1.6.4. Adsorsiyon

Bu teknoloji çoğu organik bileşiklerin aktif hale gelmiş karbon yüzeyinde adsorpsiyon olma eğilimine bağlıdır. Adsorpsiyon eğilimi, organik maddelerin moleküler ağırlığı ile artar. Uçucu organik bileşikler için granüler aktif karbon üzerinde adsorpsiyon teknolojisinin en uygun teknoloji olduğunu anlıyoruz. Aktif karbon üzerinde adsorpsiyon teknolojisi özel tanklarda yada hazırlanmış zeminlerde gerçekleştirilen bir yöntemdir. Prensip olarak bu yöntem toksik gazlar ve solventleri işleme tabi tutmak için kullanılır. Bununla birlikte ilave kimyasallar ile aktif karbonun doyurulması bazı inorganik kirleticilerin (hidrojen sülfit, bakır ya da radon gibi) kontrolünde yardımcı olabilir [20-22].

1.6.5. Toprak buhar eksraksiyonu

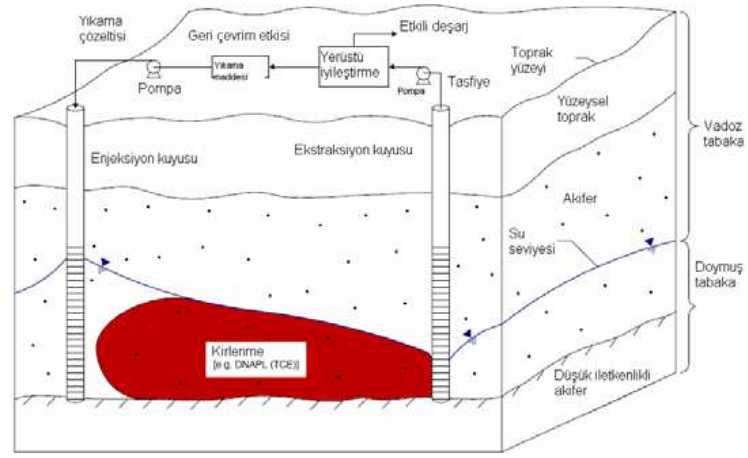
Uçucu organik bileşiklerin kolayca buharlaştırılması ve yok edilmesi için nispeten basit bir yöntemdir. Bu teknolojinin teknik yönleri, toprak çözeltisi ve toprak havası arasındaki bölmeyle toprak çözeltisinden çıkan organik buharın ayrılmasını sağlamak için doymamış toprak alanına temiz hava verilmesini kapsar. Toprak havasına katılan buhar daha sonra vakum eksraksiyon yoluyla ortadan kaldırılır [20-22].

1.6.6. Yıkama sistemi

1.6.6.1. Arazi içinde yıkama

Arazi içi basınçla yıkamanın amacı, yıkama solüsyonlarının zemin içerisine pompalanmasıyla toprak üzerinde ve gözeneklerde bulunan kirleticinin

taşınabilirliliğini artırmak ve tekrar ileri bir noktadan ekstraksiyon kuyusundan arazi dışına arıtılmak üzere almaktır. İşlem, sulu bir solüsyonun genellikle dikey kuyular aracılığı ile kirli bölgeye enjeksiyonunu kapsar. Bu durum, vadoz bölge, doygun bölge veya her ikisi içinde de olabilir. Kullanılan sıvılar, asidik sıvılar; HCl, H_2SO_4, HNO_3, H_3PO_4 ve bazik sıvılar; sodyum hidroksit'dir [20,21,22]. (Şekil 1.13)



Şekil. 1.13. Arazi içinde yıkama

1.6.6.2. Arazi dışında yıkama

Eğer toprak arazi içinde yıkanmıyor kazılıp, yıkama yerine götürülüyorsa arazi dışında yıkama yöntemi kullanılmaktadır. Arazi durumu elverişli değilse bu durum daha çok kullanılan bir durumdur. Diğer sisteme göre daha hızlı ama daha pahallı bir sistemdir.

1.6.7. Elektrokinetik arıtım

Elektrokinetik arıtım teknolojileri esasında basit bir pil düzeneği şeklinde çalışmaktadır. Buna göre kirlenmiş bölgeye elektrot serileri (kurşun, bakır, çinko,grafit, titanyum, vb.) bağlanmakta ve bu elektrotlara belirli miktarlarda doğru akım verilmektedir. Verilen elektrik akımı nedeniyle zemin içerisindeki elektriksel yüke sahip kirleticiler, elektroozmoz, iyonik taşınım ve diffüzyon yoluyla ters yüklü elektrota doğru bir hareket oluşmaktadır. Ters yüklü elektrota gelen kirletici, türüne ve tercihine bağlı olarak elektrot üzerinde biriktirilir veya pompa düzeneği ile yüzeye taşınarak burada işleme tabi tutulur [20,21,22].

1.6.8. Biyolojik iyileştirme (Biyoremidasyon)

Son zamanlarda doğrudan toprak üzerinde yapılan biyolojik iyileştirme en kabul edilebilir ve en çok tercih edilen arıtma tekniğidir. Bu yöntemle; organik maddeleri çözen çeşitli bakteri, mantar, mayalar ve mikroorganizmalardan yararlanarak,zararlı maddelerin iyi huylu maddelere dönüşümünü sağlamak,yada parçalanmasını sağlayarak toprağı temizler. Bu yöntem; yerinde (in-situ) biyoremidasyon ve başka yerde (ex-situ) biyoremidasyon şeklinde yapılabilmektedir. [20-22].

1.6.8.1. Yerinde biyoremidasyon

Avantajları; doymuş topraklarda kullanılabilir olması, düşük maliyet, mikroorganizmanın hareket ederek, kirleticiye ulaşması ve temizlemesi olarak görülmektedir. Dezavantajları ise; daha uzun zaman alması, mikroorganizmada mevsimsel azalmadan etkilenmesi, mikroorganizmalar için uygun şartların gerekliliği(oksijen ve hava enjekte etme) (bioventing) dir. (Şekil 1.14) [20-22].



Şekil 1.14. Yerinde Bioremediasyon

Biyolojik iyeleştirmenin yapılabilmesi için toprağın nem miktarı, pH'ı ve mikroorganizma miktarı gelişimi için gerekli şartların sağlanması gerekmektedir. O yüzden havalandırma ve oksijen enjekte etmek gerekebilir.

1.6.8.2. Yerinde olmayan biyoremidasyon

Yerinde olmayan (ex-situ) bioremediasyon metodu, yerinde yapılan metoda göre daha hızlıdır. Ama ekonomik açıdan daha pahallıdır. Yerinde olmayan (ex-situ) bioremediasyon metodu, özel tankta yada yığınlar şeklinde iki farklı metodla yapılmaktadır. [20-22].

1.6.9. Bitkiler yardımı ile (Fitoremediasyon)

Fitoremediasyon çevredeki kirleticilerin alınmasında yada onların zararsız hale getirilmesinde yeşil bitkilerin kullanımı olarak tanımlanır. Toksik ağır metaller ve organik kirleticilerin her ikisi de fitoremediasyonla giderilmektedir. Organik ve metal kirleticilerin giderilmesi için sınıflandırma Tablo 1.13'de verilmiştir [23].

Tablo 1.13. Organik ve metal kirleticilerin giderilmesi için sınıflandırma [23]

Metal	**Organik**
Fitoektraksiyon	Fitodegredasyon
Rizofiltrasyon	Rizodegredasyon
Fitostabilizasyon	Fitovolatilizasyon

Fitoekstraksiyon, topraklardaki metal kirleticilerin bitki kökleriyle alınmasıyla gerçekleşen yönteme verilen isimdir. Fitostabilizasyon bitkileri, yüksek metal seviyelerini tolere edebilen ve metalleri sorpsiyon, çöktürme, kompleksleşme veya metal valanslarının indirgenmesiyle toprakta immobilize edilebilen bitkilerdir. Rizofiltrasyon yönteminde metaller için bir filtre görevi yapan iyi gelişmiş bir kök sistemi kullanılır. Fitodegradasyonda, kullanılan bitkiler organik kirleticilerin yapısını bozma ve ayrıştırma yeteneğine sahiptirler. Riziodegredasyonda, bitkiler, organik kirleticileri etkisiz hale getirmek için toprak mikroorganizmaları ile birlikte çalışırlar. Kök sistemi vasıtasıyla kirlilik materyallerinin biyodegradasyonunu gerçekleştirirler.

Fito-Uçuculuk (Phytovolatilizasyon), organik kirleticileri içeren suyun büyük bir miktarını alan ağaçlarda meydana gelir. Kirleticiler terleme yoluyla bitki sisteminden ayrılması ve buharlaşması yöntemidir.

Toprak kirleticilerin giderilmesinde kullanılan yöntemler Tablo 1.14'de verilmiştir.

Tablo 1.14. Toprak kirleticilerin giderilmesinde kullanılan yöntemler [23]

Mekanizma	Kirleticiler	Bitkiler
Fitoekstraksiyon (Kirliklerin bitki kökleri tarafından alınması ve bitki içerisinde taşınmasıdır)	Metaller, Metalloidler, Radionükleidler	Hindistan hardalı, Pennycress, Ayssum, Ayçiceği, Hibrit kavaklar
Rizofiltrasyon (Metallerin kök ucundan alınması yada tutulmasıdır.)	Metaller, Radionükleidler	Ayçiceği, Hindistan hardalı, Su sümbülü
Fitostabilizasyon (Kirleticilerin, kökler tarafından alınarak, kökler yüzeyine yapışarak veya bitkinin kök bölgesinde tutulmasıdır.)	As, Cd, Cr, Cu, Hs, Pb, Zn	Hindistan hardalı, Hibrit kavaklar, Çimler
Rizodegredasyon (Organik kirleticilerin kök bölgesinde mikroorganizmalar tarafından biyolojik olarak arıtılması)	Organik Bileşikler	Kırmızı Dut, Çimler, Hibrit kavaklar, Sukamışı, Çeltik
Fitodegredasyon (Bitki dokuları içerisinde kirleticilerin metabolizmaya uğramasıdır)	Organik Bileşikler, Klorinat	Alg, Stonewort, Hibrit kavaklar, Siyah söğüt, Servi
Fitovolatilizasyon (Kirleticilerin kökler tarafından alındıktan sonra yapraklar aracılığı ile buharlaşmasıdır.	Klorinat, çözücüler, bazı inorganikler (Se,Hg, As)	Kavaklar, Yonca, Siyah Locust, Hindistan Hardalı

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Kocaeli ve Gebze Bölgesi İçin Yapılan Çalışmalar

“Türkiye’de, İzmit Körfez Bölgesinin Yüzey Topraklarında Ağır Metal Konsantrasyonları”, çalışması ile, İzmit körfezi çevresinde kırsal bölgeler ve çoğunlukla sanayi sitelerinde toplanan toprak örnekleri ile çalışılmıştır. Bu çalışmada, toprak örneklerinde, metal içerikleri alevli atomik absorbsiyon spektrometre (FAAS) kullanılarak; kobalt, krom, bakır, demir, manganez, nikel, kurşun ve çinko konsantrasyonları tespit edilmiştir. Sanayi sitelerinde alınan toprakların kırsal kesimden alınan topraklara göre daha kirlenmiş olduğu saptanmıştır. Kadmiyum hiçbir toprak örneğinde bulunmamıştır. Bulunan sonuçların dünya ortalaması karşılaştırması sonucu Co, Cu, Mn, Pb, Zn konsantrasyon değerleri yüksek bulunmuştur. Bulunan bu değerler sırası ile her bir element için ortama değerleri; 22, 33, 842, 37 ve 72 mg/kg olarak bulunduğu belirtilmiştir [24].

Gebze bölgesinde, 5-10 cm toprak yüzeylerinde alınan toprak örneklerinde ağır metal kirliliği çalışılmıştır. Sonuçlar, coğrafi birikim endeksi (I_{geo}), zenginleşme faktörü (EF) ve kirlenme faktörü ile değerlendirilmiştir. Bu bölgenin sanayi bölgesi olmasından dolayı toprakta ağır metallerin etkileri incelenmiştir. Gebze sanayi bölgesi olduğu için uzun yıllar kontamine olmuştur. Bundan dolayı topraklarda coğrafi birikimi, zenginleşme faktörü, kirlenme faktörü, derecesi ve entegre kirlilik indeksi Cd, Pb, Zn, Mn, Cu, As, ve Cr elementleri için çok yüksek, tespit edilmiştir. Buna ek olarak topraklarda Hg konsantrasyonuna da rastlanmıştır. Bu kirlenmenin sebebi olarak da sanayi tesisleri, ağır trafik, sıvı atıklarla bulaşma olarak görülmüştür. Gebze bölgesinin çevre yönetmeliğine uygun olarak tekrar değerlendirilmesi ve toprak kirliliği için fitodegradasyon tekniklerinin kullanılabileceği önerilmiştir [25].

“İzmit (Kocaeli) Civarında Endüstrileşmenin Toprak Ağır Metal Derişimine Etkisi” başlıklı çalışmada, İzmit civarı üst topraklarında ağır metallerden kaynaklanan toprak kirliliği araştırılmıştır. Bu çalışmada,16 istasyondan alınan örneklerde çevre açısından önemli Cu, Pb, Zn, Ni, Co, As, Cd, Cr, Hg, Se elementlerinin konsantrasyonları ölçülmüştür

Ayrıca karşılaştırma amacıyla kirlenmemiş uzak alanlardan 3 adet örnek alınmıştır. Ölçümler Cu, Zn, Ni ve Co elementlerinin konsantrasyon değerlerinin, yer yer, Türkiye Toprak Kirliliği Kontrol Yönetmeliği sınır değerlerinin üstüne çıktığını göstermektedir. Diğer element derişimleri bu limit değerlerin altında bulunmuştur [26].

Başka bir çalışmada ise, GYTE Muallimköy Yerleşkesinde 2008 yılının Nisan, Mayıs ve Haziran aylarında ve 2009 yılının Haziran ayında 1'er hafta olmak üzere toplam partikül madde (PM) ölçümleri yaparak, toplanan PM kadmiyum (Cd), Nikel (Ni), Kursun (Pb), Bakır (Cu), Demir (Fe) metalleri açısından incelemiştir. Ayrıca Muallimköy ve Dilovası sınırları içerisinde 10 farklı noktadan alınan toprak örneklerinde Cu, Cd, Ni, Pb ve Fe analizleri gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonuçları, GYTE üst/alt (mg/kg) olarak bölge sonuçları, Fe; 23/129, Pb; 259/305, Ni; 82/625, Cu; 57/906, Cd; 7/26 olarak verilmiştir. Aynı zamanda Dilovası (DLV) üst/alt (mg/kg) olarak bölge sonuçları, Fe; 98/692, Pb; 121/419, Ni; 168/255, Cu; 186/291, Cd; 322/127 olarak verilmiştir [27].

"Bulanık mantık sistemine dayalı toprak verimlilik analizleri", çalışması ile toprak verimliği hesaplanmasında yeni bir yöntem sunmuştur. Kocaeli bölgesinde alınan toprak örneklerinden yola çıkarak, pH, tuzluluk, karbonat ve organik madde değerleri belirlenerek, bulanık mantık sistemine girdi teşkil edilmiştir. Bölgenin bu şekilde toprak verimliği hesaplanmaya çalışılmıştır. Çalışma bölgesinin organik madde seviyeleri 22 ile 28 g/kg olarak belirlenmiş olup, 30 g/kg olan organik madde seviyesi altında çıkmıştır. Verimlilik değerleri yüzde % 16.9 ile % 18.1 arasında değiştiği belirtilmişti. Ayrıca kireç içeriği 33 ile 88 g/kg arasında bir aralık içinde ve tuz değerleri için ortalama toplamları 0,58 ve 0,77 g/kg arasında değiştiği verilmiştir [28].

2.2. Türkiye'de Yapılan Diğer Çalışmalar

"Bursa ilinde bazı toprak ve su kaynaklarında ağır metal kirlilikleri" çalışmasında, Türkiye'nin dördüncü en yoğun nüfuslu ili olan Bursa ilinin, tarım ve sanayi üretimi için ülke ekonomisine önemli olduğunu belirtmişlerdir. Son iki yılda, bölgeye önemli göç yaşandığını, bunun beraberinde büyük ölçüde toprak bozulması riskinin arttırdığını söylemişlerdir. Bursa ilinde endüstriyel gelişim sonucunda oluşan atıklar Nilüfer nehri ve Ayvalı kanalına atılmakta olduğu ve bu kanalların tarım arazilerini etkileyeceği belirtilmiştir. Nehir ve kanal kollarında alınan örneklerde Ca, Mg ve ağır metaller, bazı yerlerde sınır değerlerin altında ve bazı yerlerde üzerinde çıkmışlardır.

Bu suların doğrudan tarım alanı sulanmasında kullanılması ciddi kirlenmelerin oluştuğunu göstermiştir. Tarım topraklarında, Fe, Mn, Zn, Cu, Cd, Co, Cr, Ni, Pb elementleri belirlenmiş ve kirlilik düzeylerinde çıktığı beyan edilmiştir. Uzun vadede, kirli sular ile toprak sulama yapıldığında, toprak, bitki ve insan sağlığının zarara uğrayacağı belirtilmiştir [29].

"Türkiye, Eskişehir'de Yol Kenarı Topraklarında Ağır Metal Kirliliği Düzeylerinin Değerlendirmesi" çalışmasında ise, Eskişehir ilinde yol kenarlarında alınan toprak örneklerinde Cd, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb ve Zn ağır metalerini belirlemişlerdir. Bu elementlerin coğrafik kirlenme faktörü, kirlilik faktörü, entegre kirlik endeksine göre hesaplanmıştır ve şu sıralama ile bulunmuşlardır: Pb>Zn>Cu>Fe>Mn>Ni>Cr>Cd, ancak civanın herhangi bir örnekte tespit edilemediği belirtilmiştir [30].

"Türkiye, Niğde-Kayseri Yolu boyunca Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması", çalışması ile, çalışma alanı olarak Niğde ve Kayseri şehirlerini birbirine bağlayan D765 yolu boyunca yol kenarındaki toprakları seçilmiştir. Bölgeden alınan örneklerin ağır metal analizleri yapılmış ve önemli derecede kirlenmenin ortaya çıktığı belirtilmiştir. Bulunan ortalama ölçüm ve standart sapma sonuçları; As: 27,90 (7,64), Cd: 3,99 (0,35), Co: 35,80 (2,19), Cr: 158,33 (46,27), Cu: 48,37 (24,73), Fe: 31516,83 (6545,26), Mn: 771,83 (121,41), Mo: 28,52 (5,51), Ni: 118,11 (27,90), Pb: 107,48 (37,90), Sn: 6,34 (1,35), Ti: 3369,87 (1172,44) Zn: 135,64 (32.42) mg/kg olarak verilmiştir. Bu çalışmada, ağır metaller arasında, As, Cd, Co, Cr, Mo, Ni ve Pb toksik metaller de çalışılmıştır. Toprakta ağır metal birikimlerinin, trafik yoğunluğu ile ilişkili olduğu tespit edilmiştir [31].

Yukarıdaki çalışmanın benzeri olan bir başka çalışmada "Türkiye, Niğde-Adana Yolu Boyunca Ağır Metal Kirliliği", çalışması ile, çalışma alanı olarak Niğde ve Adana şehirlerini birbirine bağlayan D805, TEM E90 yolları üzerindeki toprakların ağır metal kirliliklerine bakılmıştır. Bölgeden alınan örneklerin ağır metal analizleri yapılmış ve önemli derecede kirlenmenin ortaya çıktığı belirtilmiştir. Bulunan sonuçlar ortalama ve standart sapma olarak; Fe, Cu, Pb, Zn, Cd, Ni, Cr, Co, Mn, Ti, Sn, Mo ve As elementleri için sırasıyla; 16980-62790 (37907,76), 17,8-98,6 (43,62), 20-217 (71,65), 56,5-405,9 (165,55), 3,6-5,1 (4,33), 75,5-596,2 (175,76), 169-1167 (554,9), 24-79 (39,47), 316- 1289 (764,97), 1830-5048 (3088,23), 6,8-15 (8,56), 22-26 (23,89), 2,8-63,4 (13,86) mg/kg olarak bulunmuştur [32].

Konya'da yeşil alanlardaki toprak kirliliğin belirlemesi amacıyla yapılan çalışmada ise; şehir merkezinde 8 farklı alandan alınan toprak örnekleri alınmıştır. Bu çalışma 2003 ve 2004 yıllarında yapılarak, bir yıl içindeki değişime bakılmıştır. Örnek alınan bölgeler, yoğun trafik alanları ve fabrika bahçeleri olarak belirlenmiştir. Örneklerin analizleri sonucunda, Cu, Zn, Co, Cr, V, Cd ve Ni element değerleri belirlenmiştir. Bu değerlerin 2004 yılında 2003 yılına göre daha yüksek çıktığı belirtilmiştir. Bu çalışmada, yoğun trafik olan bölgelerde elde edilen örneklerde ve fabrika bahçe alanlarında, bazı ağır metal içeriği sınırı düzeylerini geçmiş olduğu ve insanlar için bir risk oluşturduğu beyan edilmiştir [33].

"Bahçelerin Yüzey Topraklarında Ağır metaller: Türkiye, İstanbul'da Bir Çalışma" adlı çalışmada, İstanbul'un yeşil kentsel mekânları ve bahçelerinin yüzey topraklarının ağır metal açısından (Cu, Ni, Zn ve Pb) incelemesi gerçekleştirmiştir. Ayrıca bu ağır metallerin aralarındaki etkileşimlerini incelemiş ve zenginleşme faktörlerini hesaplamıştır. Bakır ve Pb için zenginleşme faktörü (EF) değerleri Gülhane Parkı'nda, Cu için 30,125, Pb için 125,77 olarak belirlenmiştir. Çinko ve Ni için ise EF değerleri Fethi Paşa Koruluğu'nda Zn için 39,61, Pb için 69,78 olarak belirlenmiştir [34].

"Türkiye, Edirne'de Yol Kenarında Toprak Kirliliği", çalışması ile Temmuz 2006 ile Nisan 2007 tarihleri arasında, Edirne kentsel alanın, yol kenarındaki toprak örneklerinde, Pb, Cu, Ni, ve Zn içeriğini belirlenmiştir. Toprak örnekleri yol kenarında 1, 5 ve 10 metre mesafelerde ve her mesafeden 0-10 ve 10-30 cm yüzeylerdeki derinliklerde alınmıştır. Bulunan sonuçlar ortalama değerleri ve standart sapma olarak; Pb; 0,885 (12,38), Cu; 6,64 (25,81), Ni; 53,31 (272,1) ve Zn; 161,5 (485,6) mg / kg bulunmuştur. Bu değerler standart değerler ve diğer şehirlerin ortalama değerleri ile karşılaştırılmıştır [35].

"Ankara'da Toprak Kirliliği ve Kaynakları" başlıklı çalışmada, 120 noktadan alınan toprak örneklerinde eser element düzeyleri atomik absorpsiyon spektrometre ile belirlenmiştir. Yüzey toprak kirlilik derecesi istatistiksel veri analizi gibi yöntemler kullanılarak araştırılmıştır. Elementlerin birikimini sayısal değerler halinde ifade etmek için zenginleşme faktörü kullanılmıştır. Bu çalışma sonunda, Ankara toprağında özellikle insan faaliyetlerinden kaynaklı elementlerin kirlilik düzeyine ulaşıldığı belirtilmiştir [36].

Samsun-Tekkeköy'de sanayiden kaynaklanan toprak kirliliğini belirlemek için yapılan çalışmada, 24 toprak örneği alınarak XRF metodu ile, As, Ba, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Dy, Eu, Fe, Ga, Hf, Hg, K, La, Lu, Mn, Na, Ni, Pb, Rb, Sb, Sc, Se, Sm, Sr, Ta, Tb, Th, Ti, U, V, Yb ve Zn eser elementleri ile belirlenmiştir. Eser element analizi sonucunda bölgede As, Cr, Cu, Ni ve Zn konsantrasyonlarının kritik değerler üzerinde olduğu görülmüştür. Her bir element için zenginleşme faktörü (ZF) hesaplanmış, özellikle sanayi tesisleri yakınında Cu, Pb ve Zn'nin, bölge genelinde ise As, Sb ve Se'nin zenginleştiği görülmüştür [37].

Başka bir çalışmada da, sanayinin yoğun olarak yerleştiği ve tarımsal üretim için kullanılan verimli topraklara sahip Çorlu ve civarında toprak kirlenmesinin boyutlarını belirlemek amacıyla yapmıştır. Örnek istasyonları topraklarda ağır metal konsantrasyonunu karakterize edebilecek şekilde, 14 ayrı istasyon olarak tespit edilmiştir. Çalışma bölgesine ait toprağın karakteristiği çıkarılmıştır. Alınan örneklerin Cd içeriği 0 ile 2,44 mg/kg, Pb içeriği 12,15 mg/kg ile 181,5 mg/kg, Cr içeriği 10,13 mg/kg ile 150,1 mg/kg arasında değişen değerlerde saptanmıştır. Toprak örneklerinde genel olarak risk yaratacak kadar Cd, Pb ve Cr kirliliği oluştuğu beyan edilmiştir [38].

"TDR Cihazının Kalibrasyonunun Yapılması ve Sulama Otomasyonuna Uygun Hale Getirilmesi" çalışmasında, bitkilerde yanlış sulamaya bağlı olarak ortaya çıkan sorunları ve optimal seviyede sulamanın avantajları belirtilerek, tarımsal sulamada, sulama otomasyonunun gerçekleştirilmesi için gerekli kalibrasyonlar ve TDR cihazının kullanımı araştırılmıştır. Sonuç olarak, toprak su içeriğinin ölçülmesinde kullanılan TDR nem sensörlerinin kullanımının hem kolay hem de diğer sistemlere kıyasla daha ucuz olduğu sonucuna ulaşılmıştır. İncelenen bu sistemin farklı toprak cinsleri için de uygulanabilir olduğu görülmüştür [7].

"Toprak Su İçeriğinin ve Yarayışlı Su Düzeylerin TDR ile Ölçülmesi ve Aletin Çeşitli Toprak Bünye Sınıflarında Kalibrasyonu" çalışmasında, TDR aletinin, farklı toprak tekstürlerinde kalibrasyon çalışması yapılmıştır. Çukurova bölgesinde yaygın olan toprak tekstür sınıflarına ait alanlardan alınan örnekler, TDR aleti ve paralelinde alınan gravimetrik örneklerle kalibrasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Kalibrasyon sonuçlarının grafiksel değerlendirilmesi sonucu, gravimetrik olarak belirlenen toprak su içerikleri ile TDR aletinin ölçümleri uyumlu çıkmıştır. Toprak su içeriğinin doygunluk düzeylerine yaklaşması durumunda, TDR cihazında sapmalar

oluşmuştur. Ayrıca toprakta % kil ve organik madde içeriğindeki artış TDR'nin ölçümlerindeki hatayı artırmıştır [9].

"Toprak Neminin Aktif Mikrodalga İle Uzaktan Algılanması: Kurukavak Havzası Uygulaması" çalışmasında ise, hidrolojik bir modele girdi olarak kullanılabilecek, dağılımlı havza toprak nemi haritaları belirlenmiştir. Bu amaçla, dokuz arazi çalışması gerçekleştirilmiş ve noktasal yüzey toprak nemi değerleri Time Domain Reflector cihazı ile toplanmıştır. Bu doğrultuda, öncelikle bir geri yansıma modeli olan Dubois Modeli, toprak yüzey pürüzlülüğü ile radar geri yansıma değerleri arasında bir ilişki oluşturmak amacı ile tersine kullanılmış ve çalışma havzasının toprak pürüzlülüğü haritaları elde edilmiştir. Daha sonra radar geri yansıma değerleri ile en baskın üç yüzey parametresi; yüzey geri yansıma açısı, toprak nemi ve toprak pürüzlülüğü, arasında bir ilişki elde edilmiş ve yüzey toprak neminin hesaplanması yöntemlerinde kullanılmıştır [39].

2.3. Farklı Ülkelerde Yapılan Çalışmalar

Bulgaristan, Boatain bölgesinde yapılan ağır metal kirliliği çalışmasında, bölge toprağı ve monitör olarak belirlenen bitki türleri (Festuca nigrescens Lam., Agrostis capilaris L., Fagus sylvatica L. vb.) kullanılarak, Mn, Ni, Cd, Co, Zn, Cu ve Pb elementlerinin konsantrasyonları, indüktif eşleşmiş plazma atomik emisyon spektrometresi (ICP-AES) ile belirlenmiştir. Boatin bölgesi toprağında, Cu konsantrasyon değerinin standart değerin üzerinde çıktığı belirtilmiştir. Ayrıca monitör bitkilerinde Cu, Pb, Zn konsantrasyonları, kirlenmemiş toprakla oranla, bu topraklarda daha yüksek çıkmıştır. Bu ağır metaller, Cu, Pb, Zn, Boatin bölgesinin başlıca kirleticileri olarak beyan edilmiştir [40].

Başka bir çalışmada, toprak nem ölçümleri ve cihazların karşılaştırılması çalışmasında, kapasitif sensör ile zaman etkili yansıma ölçer karşılaştırılmıştır. Toprak nem ölçümlerini güvenilir, sağlam ve otomatik cihazlarla gerçekleştirmek, çevre ve tarım uygulamalarında son derece önemli ve yararlı sonuçları doğurmaktadır. Bu yüzden toprak su içeriği ölçümlerinde otomatik ölçüm yapan cihazlar geliştirilmiştir. Bu tekniklerin her biri laboratuvarda ayrı ayrı gravimetrik yöntemle karşılaştırılmış olsa da, arazide doğrudan birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada; Ongen firması tarafından kapasitans ölçümlerine göre çalışan ECH_2O sondalar ile EC-5 sensörleri ve CS616 zaman etkili yansıma ölçer karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma farklı toprak ve toprak nem içeriğinde, geniş bir

yelpazede olan iki alanda gerçekleştirilmiştir. Bulunan sonuçlar tüm test ölçüm cihazları için kalibrasyon değerleri kullanıldıktan sonra kabul edilebilir güvenli sonuçlar vermiştir. Kapasitif sensörler, değişen hataların karekökü (RMSE) anlamına gelen, % 2,5 ve 3,6 arasında değişen değerle, derinlikte bağımsız, aynı kalibrasyon denklemi ile kullanılabilinir. Zaman etkili yansıma ölçer ise derinliğe bağlı olarak değişmesine rağmen değişen hataların karekökü (RMSE) daha düşük %1,6 olarak belirlenmiştir [41].

“Toprağın ve Kar Nem Ölçümleri İçin, Yeni Dielektrik Sensörler Ve Algılama Teknikleri” adlı çalışmada; tarım ve mühendislik gibi alanlarda malzemelerin nem ölçümlerini belirlemenin önemine değinilmiştir. Bu konuda elektromanyetik teknikler, daha doğrusu dielektrik yöntemler son yıllarda geniş yer tutmuştur. Frekans veya zaman etkili yansıma kuru malzemeler göre, suyun yüksek dielektrik geçirgenliğinden yararlanma metodunun kullanılmasıdır. Bu çalışmada, toprak veya kar su içeriğinin belirlenmesi için dört adet yeni dielektrik sensör ile çalışılmıştır. Her bir sensörün çalışma ilkeleri ve her bir sensör için donanımlar ve çalışma modları açıklanmıştır. Ölçüm sonuçları, bu sensörlerin bu alanda kulanım avantajlarını ve bu konuda güvenilir ölçüm konusunda umut verici olduğunu göstermiştir. [42]

Sırbistan [43] , Fransa [44] , Polonya [45], İran [46] ve İtalya [47] ’da yapılan çalışmalarla ve yukarıda özetlenen Türkiye ve farklı ülkelerde yapılan çalışmalar sonucunda o bölgelere ait toprak element içerikleri ile, bu çalışma sonucunda bulunan element içerikleri Tablo 2.1’de karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmada bulunan sonuçlara bakıldığında, özelikle Gebze de yapılan diğer çalışmaların [25, 27] sonuçlarına göre daha düşük değerler elde edilmiştir. Bunun nedeni örnek noktalarının tarım alanlarından seçilmiş olmasıdır. Bununla birlikte tarım alanlarında da bir birikimin olduğu ve bazı noktalarda sınır değerleri aştığı tespit edilmiştir.

Diğer bölgelerde yapılan çalışmalarla karşılaştırıldığında ise; bulunan değerler yine daha düşük çıkmıştır. Bunun seçilen alanın tarım alanı olarak belirlenmesi ile ilişkili olduğu aşikârdır. Tablo 2.1 kullanılarak her bir bölge için tek tek inceleme yapılabilinir.

Tablo 2.1. Yapılan diğer çalışmalarla karşılaştırma (mg/kg)

	İzmit[24]	Gebze [25]	Gebze[27]	Eskişehir [30]	Kayseri [31]	Adana [32]	Konya [33]	İstanbul [34]	Edirne [35]	Samsun [37]
As	*	1,5-65,6		*	11,4-45,1	5,0-63,4	*	*	*	20,696-54,259
Ba	*			*	*	*	*	*	*	217,5-731,3
Cd	<nd	0,05-176	1-840	0,60-3,39	1,6-6,5	4,2-5,2	0,0385-0,1862	nd	*	0,19-0,266
Co	9-40			*	9,2-58,9	22,0-87,0	0,000-1,0904	*	*	12,477-26,218
Cr	24-195	10,0-1161		7,54-120,93	71,9-255,8	169-1024	4,9483-27,5066	*	*	58,59-176,52
Cu	10-62	7,87-725	12-1740	9,22-120,93	12,4-100,8	18,4-131,9	3,3680-10,687	7,12-53,76	6,64-47,29	30,62-163,6
Hg	*	$9\cdot10^{-3}$-$2721\cdot10^{-3}$		*	*	*	*	*	*	*
Mo	*	*		*	13,0-29,0	22,0-26,0	*	*	*	*
Ni	4-120	*	20-936	9,62-297,52	72,1-136,5	25,9-194,8	5,3144-16,4160	11,65-40,53	53,31-272,1	28,85-74.01
Pb	13-82	17,07-8469	18-1544	7,92-101,12	35,2-98,7	34,0-217,0	0,5655-3,3937	9,382-89,12	0,885-12,38	27,87-72,19
Sn	*	*		*	3,3-6,2	6,8-9,2	*	*	*	*
Zn	32-116	29,50->10000		34,10-136,68	88,4-125,8	78,5-405,9	23,5299-75,1751	37,18-98,16	161,5-485,6	111,14-1856,4
Al	*	*		*		*	*	12,88-4249,6	*	*
Ca	*	*		*		*	*	15,36-2620,8	*	*
Na	*	*		*		*	*	21,92-1874,4	*	4099,1-12976,5
Mg	*	*		*		*	*	0,4-117,2	*	*
Mn	$0,3\cdot10^{3}$-$2,3\cdot10^{3}$	196->10000		245,64-561,38	521-789	364-4087	*	*	*	361.7-1519.3
Fe	$10\cdot10^{3}$-$51\cdot10^{3}$		14-2260	$8,7\cdot10^{3}$-$34\cdot10^{3}$	$21,4\cdot10^{3}$-$28,5\cdot10^{3}$	$17\cdot10^{3}$-$54\cdot10^{3}$	*	913,6-5409,6	*	*

*Yapılan çalışmalarda ölçülmeyen değerlerdir.

Tablo 2.1. Yapılan diğer çalışmalarla karşılaştırma (Devam)

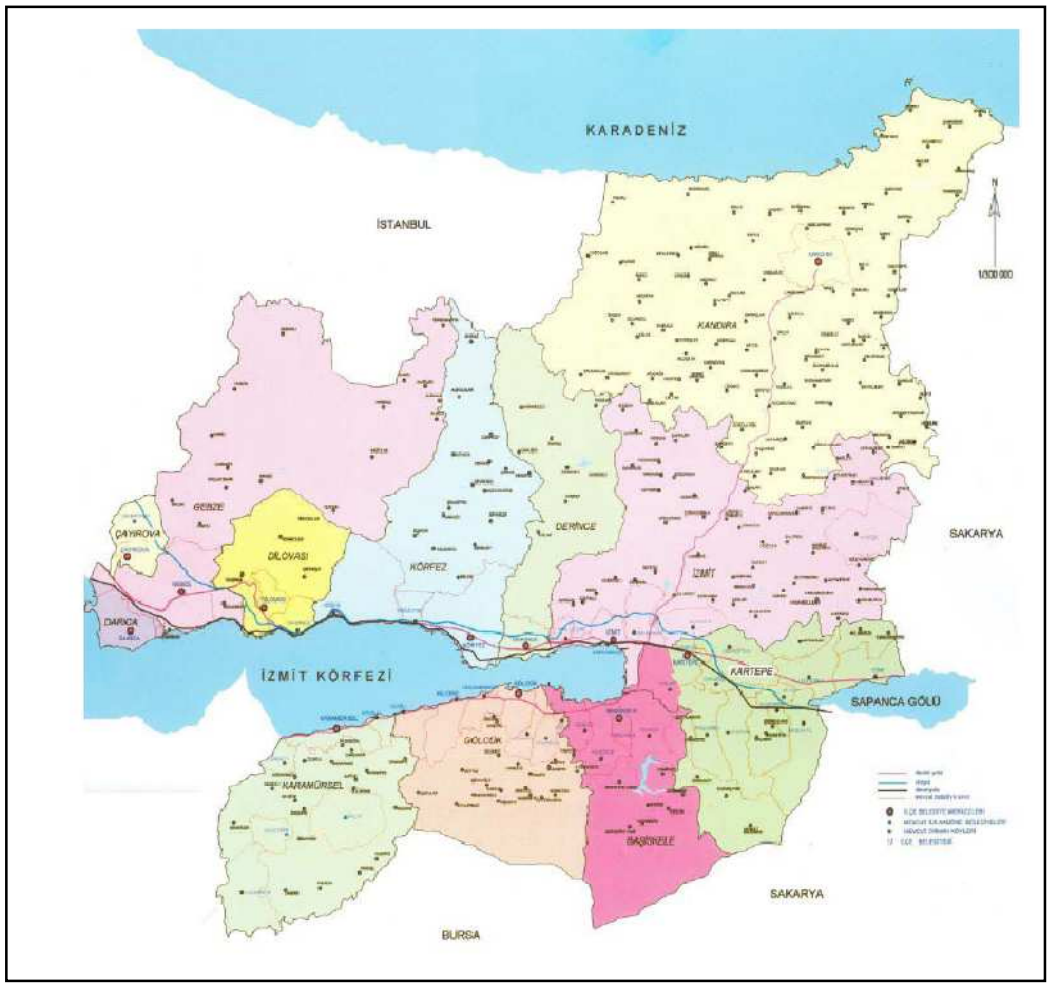
	Çorlu [38]	Bulgaristan [40]	Sırbistan [43]	Fransa[44]	Polanya [45]	İran [46]	İtalya [47]	Referans değer [48]	Bu çalışma
As	*	*	15-260	*	4,98-17,40	10,0-14,0	*	1,8	6,00-33,90
Ba	*	*	*	*	*	*	*	*	63,50-342,40
Cd	iz-2,44	0,6-1,1	< 2-6	0,09-0,63	0,20-2,07	*	0,1-1,5	0,2	0,20-1,00
Co	*	4,2-5,2	*	0,09-22,8	*	12,6-20,6	*	25	3,90-29,80
Cr	10,13 - 150,1	*	*	3,01-144,87	13,63-81,84	*	13,5-56,9	100	16,00-103,40
Cu	*	35,8-59,9	220-2540	0,052-37,85	4,15-45,36	20,6-38,2	2,2-22,8	55	13,00-37,50
Hg	*	*	<0,1-0,3	*	0,02-0,46	*	*	0,08	0,20-1,50
Mo	*	*	*	*	*	3,4-5,5	*	1,5	0,10-1,90
Ni		8,7-10,6	12,0-53,0	0,03-72,64	2,33-15,91	108,0-214,0	5,0-43,2	75	10,70-60,40
Pb	12,15-181,5	31,8-39,3	40-230	1,34-134,45	17,83-212,85	11,2-20,4	2,9-58,9	12,5	13,80-86,50
Sn	*	*	*	*	*	*	*	2	0,70-5,60
Zn		47,2-68,5	*	1,56-134,57	22,80-177,10	33,2-65,8	23,0-118,0	70	44,40-237,20
Al	*	*	*	*	*	$21,5\cdot10^3$-$54\cdot10^3$	*	*	$17,5\cdot10^3$-$61,4\cdot10^3$
Ca	*	*	*	*	*	*	*	*	$4,9\cdot10^3$-$190\cdot10^3$
Na	*	*	*	*	*	*	*	*	$0,2\cdot10^3$-$7,1\cdot10^3$
Mg	*	*	*	*		*	*	*	$1,6\cdot10^3$-$21\cdot10^3$
Mn	*	320-410	460-1300	*		*	0,1-1,0	950	$0,3\cdot10^3$-$4,6\cdot10^3$
Fe	*	*	*	*		$18,6\cdot10^3$-$21,5\cdot10^3$	4,6-33,8	56,3	$8,9\cdot10^3$-$44,4\cdot10^3$

*Yapılan çalışmalarda ölçülmeyen değerlerdir.

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. Çalışma Alanı

Kocaeli İli, Marmara Bölgesi'nin doğusunda, 40°31' – 42°42' paralelleriyle 29°22' – 31 °22' meridyenleri arasında bulunur. Kuzeyinde Ka radeniz ve İstanbul (Şile ilçesi), doğusunda Sakarya İli, güneyinde Bursa İli ve batısında İstanbul ile Yalova illeri bulunur. Kocaeli, İzmit, Gebze, Gölcük, Kandıra, Karamürsel, Körfez, Darıca, Dilovası, Çayırova, Kartepe, Başiskele ve Derince olmak üzere 12 ilçeden olmuştur (Şekil 3.1) [49].



Şekil. 3.1. Kocaeli il haritası [49]

Türkiye'nin en önemli sanayi bölgelerinden biri olan Kocaeli'nde arazi kullanımı 350.527 hektar olup arazi dağılımı ile ilgili bilgiler Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Arazi dağılımı [49]

Arazi dağılımı	**Yüzölçümü (ha)**
Tarım alanı	146,854
Çayır ve mera	11,628
Orman ve fundalık	150,105
Tarım dışı arazi	41,940
Toplam	350,527

Arazi dağılımına bakıldığında, yaklaşık % 40'ı tarım alanı olarak kullanılmaktadır. Tarım alanlarının sınıflandırılması Tablo 3.2'de detaylandırılmıştır.

Tablo 3.2. Tarım alanlarının detayları [49]

Arazi dağılımı	**Yüzölçümü (ha)**
Sulanabilir Arazi	19,768
Sulanan Arazi	12,081
Kuru Tarım Alanı	115,005
Toplam	146,854

Sanayi ili olarak bilinen Kocaeli'nin hiç de küçümsenmeyecek oranda tarım alanlarına sahip olduğu görülmektedir. Bu oran Türkiye geneli içinde de önemli yer tutmaktadır. (Tablo 3.3)

Tablo 3.3. Arazi dağılımının Türkiye ile kıyaslaması [49]

Yerleşim Birimi	**Tarım Alanı (ha)**	**Ormanlık ve Fundalık (ha)**	**Çayır-Mera (ha)**	**Diğer Araziler(ha)**	**Toplam Yüzölçümü (ha)**
Kocaeli	156759	138170	13537	42061	350527
Kocaeli/Türkiye (%)	5,8	6,6	0,6	8,6	4,4

Sanayi bölgesinin, bu tarım alanlarını nasıl etkilediği her zaman merak konusu olmuştur. Bu çalışmanın sonuçlarından biri de bu konuya açıklık getirmek olacaktır.

3.1.1. Genel toprak yapısı

Bu çalışma öncesi bölgenin genel olarak toprak yapısına bakmak gerekmektedir. Bunun için yapılan önceki çalışmalarda; bölgenin toprak bünye sınıflandırılmasında, doygunluk yüzdesine göre tarım topraklarının % 24,12'si tın, % 65,73'ü killi-tın, % 9,79'u kil ve % 0,36'sı kum bünyeye sahip olduğu belirlenmiştir. Bölgenin tarım

topraklarının pH değerlerine göre sınıflandırılmaları ise %14,15'i asit (pH 6,5'den düşük), %52,66'sı nötr (pH 6,6-7,5 arasında), %33,19'u ise alkali (pH 7,5'den büyük) reaksiyona sahip topraklar olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca tuzluluk sınıflandırmasında, işlenen toprakların %99,58'i tuzsuz, %0,39'u hafif tuzlu ve %0,006'sının çok tuzlu olduğu belirlenmiştir. Toprakların kireç içeriği, % 42,30 az kireçli, % 8,66 fazla kireçli ve %2,93 çok fazla kireçli olarak verilmiştir. Organik madde açısından bakıldığında, organik madde içeriği toprakların %3,64'ünde çok az, %21,25'inde az, %33,19'da orta, %26,69'da iyi ve % 15,22 'de ise yeter düzeydedir [49].

3.1.2. Sanayi yapısı

İzmit Körfezi doğal bir limandır. İstanbul gibi büyük bir ticaret merkezine yakın bir konumda olup transit karayolu taşımacılığına imkan vermektedir. Devlet limanı ve özel iskele ile deniz yolu taşımacılığında önemli bir yere sahiptir. Bu nedenlerle 3505 km^2'lik yüzölçümü ile Türkiye'nin en küçük dört ili arasında olmasına rağmen Türk sanayi üretimi içinde üretim payı ile en büyük dört il içerisinde yer almaktadır. [46]

Kocaeli ili sanayi tesislerinin ilçelere göre dağılımı; yoğun olarak % 55 ile Gebze, % 33 İzmit, % 10 Körfez ve % 2 diğerleridir. Bu nedenle, bu çalışmada örnekleme bölgesi olarak daha çok Dilovası ve Gebze'ye yakın olan köylerdeki tarım alanları seçilmiştir.

3.2. Örneklerin Alınması

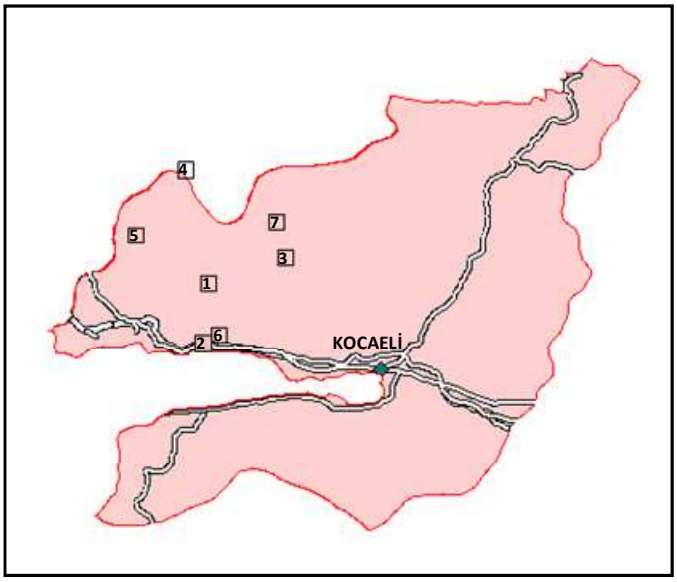
Çalışma alanı olarak, Kocaeli ilinde sanayi kuruluşlarının yoğun olarak bulunduğu alan seçilmiştir. Bu alan içerisinde belirlenen yedi köyden toprak örnekleri alınarak, toprak nemi, organik madde ve element içerikleri belirlenmiştir. Her bir örnekleme noktasında, derinliğe bağlı etkileri gözlemleyebilmek için 5 ve 15 cm'den örnekler alınmıştır.

Örnek alma işlemi, TS ISO 10381-6 "Toprak Kalitesi - Numune Alma -Bölüm 6 - Toprakların Aerobik Mikrobiyal Faaliyetlerinin Laboratuvar Şartlarında Değerlendirilmesi için Numune Alma, Taşıma ve Muhafaza Kılavuzu" standardı dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir [50]. Örnek alma noktalarının koordinatlarının belirlenmesi için GPS cihazı kullanılmıştır. Tablo 3.4'de örnek alınan noktaların koordinatları verilmiş ve Şekil 3.2'de bu koordinatların yerleri Kocaeli haritası üzerinde gösterilmiştir.

Tablo 3.4. Örnek alma noktalarının koordinatları

	İstasyon 1	İstasyon 2	İstasyon 3	İstasyon 4	İstasyon 5	İstasyon 6	İstasyon 7
K	40,8657	40,7825	40,9082	41,0171	40,9232	40,7977	40,9547
G	29,6135	29,6125	29,7478	29,5595	29,4784	29,6397	29,7273

K : Kuzey
G: Güney



Şekil 3.2. Örnek noktaları haritası

3.3. Nem İçeriği Tayini

Örnek alma noktalarında, yerinde toprak nem ölçümlerini gerçekleştirmek için, üç farklı toprak nem ölçerin laboratuvarda deneme ölçümleri yapılmıştır. Bu cihazların seçiminde şu anda en çok kullanılanlar tercih edilmiştir. Cihazlar, tansiyometre, irometre ve dijital toprak nemi ölçerler olarak belirlenmiştir. Bunların laboratuvarda yapılması gereken ölçümler için kalibrasyon düzeneği hazırlanmıştır. Laboratuvara iki büyük saksı içerisinde toprak örnekleri getirilmiştir. Bu toprak örnekleri su ile doyurulmuştur. Tansiyometre, irometre ve dijital toprak nemi ölçerler kullanılarak toprak örneklerinin nem ölçümleri yapılmıştır. Aynı derinlikte alınan toprak örnekleri nem içerikleri, gravimetrik yöntemle de belirlenmiş ve bu iki yöntem kıyaslanmıştır. Laboratuvarda deneme ölçümleri yapılan üç farklı toprak nem ölçerlerin bilgileri Tablo 3.5'de verilmiştir.

Tablo 3.5. Toprak nem ölçerlerin bilgileri

Toprak nemi ölçerler	Üreticisi	Modeli	Ölçüm aralığı
Dijital toprak nem ölçer	Extech Instruments	M0750	% 0 ile % 50
İrometre	Irrometer company	Wraermark	0-200 cBar
Tansiyometre	Irrometer company	--	0 – 100 kPa

Arazide kulanım pratikliği açısından dijital toprak nem ölçer kullanılmasına karar verilmiştir. Ayrıca laboratuvarda gravimetrik yöntem kullanılarak da örneklerin nem içerikleri belirlenmiştir. Aşağıda bu iki yöntemin detayları ve sonuçlar başlığında da her iki yöntemin ölçüm sonuçları verilmiştir.

3.3.1. Dijital toprak nem ölçer kalibrasyonu

Dijital toprak nemi ölçerin kalibrasyonu için laboratuvarda kalibrasyon düzeneği hazırlanmıştır. Laboratuvara iki büyük saksı içerisinde toprak örnekleri getirilmiştir. Bu toprak örnekleri su ile doyurulmuştur. Dijital toprak nemi ölçer, saksı içerisine daldırılarak toprak nemi stabil oluncaya kadar beklenmiştir. Toprak nemi ölçüm değerleri ölçüm formuna kaydedilmiştir. Aynı zamanda toprak nem ölçerin okuma yaptığı seviyeden (daldırıldığı kısımlardan) örnekler alınarak, toprak örneklerinin nem tayini, TS ISO 11465 “Kütle Esasına Göre Kuru Madde ve Su Muhtevasının Tayini - Gravimetrik Metot” standardına göre yapılmıştır. Gravimetrik yöntemle bulunan toprak nemi değerleri de ölçüm formuna kaydedilmiştir. Bu ölçümler farklı toprak nem değerlerinde gerçekleştirilmiştir.

Böylelikle gravimetrik yöntem ile bulunan değerlerler ile dijital toprak nem ölçerin okuduğu değerler karşılaştırılarak, karşılaştırmalı kalibrasyon yöntemi ile dijital toprak nem ölçerin kalibrasyonu gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda her iki ölçüm için, Şekil 3.3’de verilen belirsizlik bileşenleri kullanılarak, laboratuvarda alınan ölçümlerde gravimetrik yöntem ile dijital toprak nem ölçerin belirsizlik değerleri de tayin edilmiştir.



Şekil 3.3. Belirsizlik bileşenleri

3.3.2. Dijital toprak nem ölçer ile yerinde ölçümler

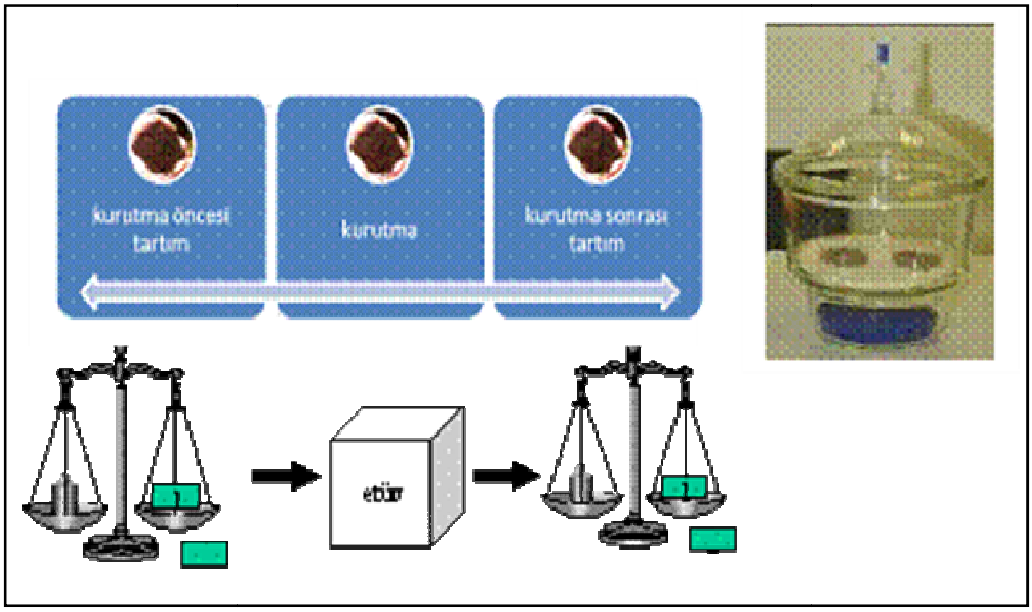
Örnek alınan alanlarda yerinde (arazide), 5 cm ve 15 cm derinlikte dijital toprak nemi ölçer ile toprak nemi ölçümleri alınmıştır. Dijital toprak nem ölçerin kalibrasyonu sonucunda bulunan fonksiyon kullanılarak, cihazın okuduğu değerler toprak nem değerine dönüştürülmüştür. Bu sonuçlar, sonuçlar başlığı altında, daha sonra aynı derinliklerde alınan örneklerin laboratuvarda gravimetrik yöntemle belirlenen nem içeriği ile birlikte verilerek, karşılaştırılmıştır.

3.3.3. Gravimetrik metotla nem içeriği tayini

Gravimetrik yöntem kullanılarak toprak örneklerinin nem tayini, TS ISO 11465 “Kütle Esasına Göre Kuru Madde ve Su Muhtevasının Tayini - Gravimetrik Metot” standardına göre yapılmıştır. Gravimetrik yöntem, kurutma ve tartma yöntemi olarak bilinir. Bu yöntemde, alınan örnekler tartılarak fırında (105 ± 5) ℃’de kurutulmu ştur. Kurutma işlemi, birbirini izleyen iki tartım arasındaki fark en az % 0,1, “değişmez kütle” ye ulaşana kadar devam edilmiştir. Sabit kütleye ulaşmak için toprakların çoğunu 16 saat ile 24 saat arasında kurutmak yeterlidir. Fakat bazı toprak tipleri ve çok nemli örneklerin kurutulmaları için daha uzun süre gerekli olabilmektedir. Bu çalışmada örnekler yaklaşık 24 saat kurutma işlemine tabi tutulmuşlardır [10].

Örnekler, her kurutma işleminden sonra ortamdan etkilenmemesi ve soğutulması amacıyla, içerisinde nem tutucu olan desikatörler içerisine hızlı bir şekilde alınmıştır.

Burada soğumaya bırakıldıktan sonra yine ortamdan etkilenmeyecek şekilde, 10 mg hassasiyete sahip terazi kullanılarak tartımlar yapılmıştır (Şekil 3.4). Toprak nem içeriği Denklem (1.1) kullanılarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.4. Gravimetrik toprak nemi kütle ölçüm yöntemi düzeneği

Her örnek noktası için hesaplanan toprak nem içeriği (dijital toprak nem ölçer ile yerinde ve gravimetrik yöntem ile laboratuvarda) ile organik madde arasında korelasyon olup olmadığı, toprak nemi ve organik madde ile toprak içerisinde bulunan elementler arasında korelasyon olup olmadığı korelasyon tablosuyla değerlendirilmiştir.

3.4. Organik Madde Tayini

Toprak neminde kullanılan aynı örnekler daha sonra kül fırınında 550 ℃ de yakılarak, organik madde tayini için kullanılmıştır. Örnekler, kül fırınında yakılma işleminden sonra ortamdan etkilenmemesi ve soğutulması amacıyla, içerisinde nem tutucu olan desikatörler içerisine hızlı bir şekilde alınmıştır. Burada soğumaya bırakıldıktan sonra yine ortamdan etkilenmeyecek şekilde, 10 mg hassasiyete sahip terazi kullanılarak tartımlar yapılmıştır. Toplam Organik Madde Denklem (3.1) kullanılarak hesaplanmıştır [37,51].

$$W_{orgmad} = \left(\frac{m_2 - m_3}{m_1 - m_0} \right) x100 \qquad (3.1)$$

Burada;

m_o : Boş kabın kapağı ile birlikte kütlesi, (g)

m_2 : 105 ℃ de kurutulmuş toprak örneğinin kapla birlikte kütlesi, (g)

m_3 : 550 ℃ de kül fırınında tutulmuş toprak örneğinin kapla birlikte kütlesi, (g)

m_1 : Nemli toprak örneği bulunduran kabın kütlesi, (g)

3.5. pH Tayini

Alınan toprak örneklerinin pH değerlerinin tespiti, TS 8332 ISO 1039 "Toprak Kalitesi-pH Tayini" standardı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Toprak örnekleri 40 ℃'de etüvde kurutularak, 2 mm göz açıklı elekten geçirilmiştir. Her bir örnekten yaklaşık 5 mL'lik toprak örneği, örnek şişelerine alınmıştır [52].

Toprak süspansiyonun oluşturulması için standartta tanımlı olan kalsiyum klorür çözeltisi oluşturulmuştur. Örnek şişelerine konulan 5 mm'lik toprak örnekleri üzerine oluşturulan kalsiyum klorür çözeltisinden 25 mL eklenmiştir. Süspansiyonlar yaklaşık 2 saat mekanik çalkalayıcı ile karıştırılmıştır. TS 8332 ISO 1039 "Toprak Kalitesi-pH Tayini" standardında belirtilen yollar takip edilerek, her bir örneğin pH değeri belirlenmiştir [52].

3.6. Elemental Analiz

Toprak örneklerinde elemental analizler yüksek çözünürlüklü ICP-MS (Thermo Finnigan Element2 High Resolution ICP-MS) cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

HR-ICP-MS ile üç farklı çözünürlükte çalışma yapmak mümkündür. Böylece ICP-MS'ten farklı olarak daha fazla sayıda izotopla çalışma imkânı olmaktadır. ICP-MS'te quadrupole yapı varken; HR-ICP-MS'te magnet sector field yapı bulunmaktadır ve bu yapı cihazın üç farklı çözünürlükte çalışmasını sağlar. Bunlar Düşük Çözünürlük (Low Resolution), Orta Çözünürlük (Medium Resolution), Yüksek Çözünürlük (High Resolution) olarak isimlendirilir. Dolayısıyla diğer ICP-MS'lere göre hem daha yüksek duyarlılık sağlanır hem de quadrupole yapının bile engelleyemediği bazı girişimlerin önüne geçilmiş olur. [19]

Toprak örneklerinde elemental analiz yapılırken cihazda iki farklı çözünürlük kullanılmıştır. Böylelikle, farklı çözünürlüğe sahip elementlerin daha hassas ve güvenilir olarak ölçümleri belirlenebilmiştir.

Toprak örneklerinin ölçümü için mikrodalga çözünürleştirme işlemi uygulanmıştır. Çözünürleşme işlemi için CEM MARS5 model mikrodalga sistemi kullanılmıştır. Yaklaşık 0,3 g (± 0,0001) PTFE kaplara tartılan örnekler, 9 mL HNO_3 (% 65, m/m), 3,85 mL HCl (% 30 m/m) ve 0.65 mL HF (% 38-40, m/m) kullanılarak çözünürleştirilmiştir. Çözünürleştirme işleminde sistemin sıcaklığı öncelikle 10 dakikada 130 ℃'ye daha sonra 10 dakikada 190 ℃'ye çıkarılmış ve ardından 45 dakika bu sıcaklıkta sabit tutulmuştur. Çözünen örnekler 50 mL'lik PFA balon jojelere transfer edilmiştir ve deiyonize suyla hacme tamamlanmıştır.

Analizler sırasında doğruluk ve metodun geri kazanımının belirlenmesinde sertifikalı referans malzeme olarak NIST SRM 1648a Urban Particulate Matter kullanılmıştır. Ayrıca analizler esnasında iç standart olarak "Indiyum" kullanılmıştır.

3.6.1. Toprak kirliliği yönetmeliği

Analizler sonucu bulunan miktarlar, 8 Haziran 2010 Salı, 27605 sayılı "Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik" dikkate alınarak değerlendirilmiştir.

Yönetmelikte, referans değer (RD), şüpheli saha yakın çevresinde bulunan, herhangi bir noktasal kaynak veya insan faaliyeti nedeniyle kirlenmemiş olduğu düşünülen veya varsayılan alandan alınan toprak, yüzey suyu, yeraltı suyu örneklerinde, birinci aşama değerlendirmede şüpheli sahaya ait ilgili kirlilik gösterge parametreleri (KGP) veya ikinci aşama değerlendirmede hedef kirletici konsantrasyonu ölçüm değerleri ile kıyaslanmak amacıyla, ölçülen kirlilik gösterge parametresi veya hedef kirletici konsantrasyonu ölçüm değeri olarak tanımlanmaktadır.

Referans örnek ise, ilgili kirlilik parametresi veya kirlilik gösterge parametresine ait referans değerin belirlenmesi için kirlilikten etkilenmemiş bölgelerden alınan örnek olarak ele alınmaktadır.

Bu çalışmada alınan örnek noktaları daha çok tarım amaçlı kullanılan alanlar ve onlara yakın bölgelerden alındığı ve kirlilikten etkilenmemiş bölgeler olarak

düşünüldüğünde, referans değer, her bir element için analiz sonucunda bulunan değerlerin ortalaması olarak kabul edilerek hesaplamalar yapılmıştır.

Her örnek noktası için, yönetmeliğin ekinde verilen (Ek 9) kirlilik gösterge parametreleri ölçüm değerlerinin referans değerlerle karşılaştırması kısmı dikkate alınarak referans değerden sapma değerleri Denklem (3.2) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Sapma = \left(\frac{MaksimumÖlçümDeğeri(ÖD_{maks})}{\text{Re } fernasÖlçümDeğeri(RD)} \right) \tag{3.2}$$

3.6.2. Evsel ve kentsel arıtma çamurları ile ilgili yönetmelik

Örneklerin analizleri sonucunda bulunan değerler, 3 Ağustos 2010 Salı, 27661 sayılı "Evsel Ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik" de verilen "Ek 1- Topraktaki ağır metal sınır değerleri" tablosunda verilen değerlere ve 278/86 AB direktifinde de verilen sınır değerlere göre değerlendirilmiştir.

Bunun yanı sıra son yıllarda kullanılan metotlar olan coğrafi birikim endeksi, zenginleşme faktörü, kirlenme faktörü ve kirlenme dereceleri hesaplanarak, her bir örnek noktası için değerlendirme yapılmıştır.

3.6.3. Coğrafi birikim endeksi

Coğrafi birikim endeksi, incelenen alanın, mevcut zaman içerisinde kirlendiği düşünülen organik ve inorganik maddeler ile kirlenme öncesi düzeylerine sahip konsantrasyonları karşılaştırarak kirlenme seviyelerinin belirlenmesi metodu olarak tanımlanmaktadır. Coğrafik kimyasal konsantrasyonları çok küçük antropojenik etkiler içerir, bu dalgalanmaları hesaba katmak için bu değerler 1,5 çarpanı ile çarpılmaktadır. Coğrafi birikim endeksi 1960'ların sonlarında birçok Avrupa ülkesinde metal birikimi hesaplamalarında kullanılmıştır. Başlangıçta Müller'in sedimentler için kullandığı bu yöntemi, Loska ve arkadaşları toprak kirliliği ölçümleri için başarıyla uygulamışlarıdır [45,25,48].

$$I_{geo} = \log \frac{C_n}{1{,}5XB_n} \tag{3.3}$$

Burada;

C_n : Toprak örneğinde incelenen elementin konsantrasyonu,

B_n: Referans değer (İncelenen elementin yer kabuğunda bulunan konsantrasyonu), olarak ele alınmaktadır.

Müller coğrafi birikim endeksini yedi sınıfa bölerek değerlendirmiştir (Tablo 3.6).

Tablo 3.6. Coğrafi birikim endeksi sınıflandırması [45]

Derecesi	Değer	Toprak kalitesi
0	$I_{geo} \leq 0$	Temiz
1	$0 < I_{geo} < 1$	Temizden orta derce kirlenmeye yönelmiş
2	$1 < I_{geo} < 2$	Orta derece kirlenmiş
3	$2 < I_{geo} < 3$	Orta derece kirlenmeden yüksek derece kirlenmeye yönlenmiş
4	$3 < I_{geo} < 4$	Yüksek derece kirlenmiş
5	$4 < I_{geo} < 5$	Yüksek derece kirlenmede aşırı kirlenmeye yönlenmiş
6	$5 < I_{geo}$	Aşırı kirlenmiş

Bu çalışmada, Denklem (3.3) kullanılarak her bir element için çalışılan bölgedeki coğrafi birikim endeksleri belirlenmiştir. B_n referans değerler Müller ve Hakkanson'un yapmış olduğu çalışmalardan alınmış olup, Tablo 2.1'de verilmiştir. Sonuçlar, Tablo 3.6'ya göre değerlendirilmiştir.

3.6.4. Zenginleşme faktörü

Her ne kadar kirleticilerin mekânsal dağılımı toprak kompozisyonundaki değişimleri hakkında fikir verse de, toprak yapısındaki değişimin sebebini açıklamamaktadır. Evrensel formülü nedeniyle zenginleşme faktörü, bazı eksiklikleri olmasına rağmen, nispeten basit ve kolay olarak zenginleşme derecesini belirlemek ve farklı çevresel kirlenme değerlendirmesi yapmak için kullanılan bir araçtır [45, 25, 48].

Bu çalışmada zenginleşme faktörünün hesaplanmasında, topraktaki elementlerin ortalama konsantrasyonlarının verildiği Müller ve Hakkanson'un yapmış olduğu çalışmalardan ortalama toprak verileri incelenerek, hesaplanmıştır. Bu referans değerler Tablo 2.1'de verilmiştir. Hesaplamalarda referans element olarak Fe kullanılmıştır. En yaygın olarak kullanılan referans elementler Al, Sc, Mn, Fe'dir.

$$EF = \frac{C_n / C_{ref}}{B_n / B_{ref}} \qquad (3.4)$$

C_n: Örnek içerisinde incelenen element içeriği,

C_{ref}: Referans ortamda incelen element içeriği,

B_n: Örnek içerisinde referans olarak alınan element içeriği,

B_{ref}: Referans ortamında referans olarak alınan element içeriği, olarak ele alınmaktadır.

Eğer zenginleşme faktörü 1 ve 1 e yakın çıkıyorsa, o elementin bulunması gerektiği kadar bulunduğu anlamına gelir. Bu değer 1'den büyük ise, bu element bir etkileşim içerisindedir. Zenginleşme faktörü beş kirlenme sınıfı bazında Tablo 3.7'de verilmiştir.

Tablo 3.7. Zenginleşme faktörü sınıflandırması [45,48]

Değer	**Toprak kalitesi**
EF<2	Minimum zenginleşme
EF=2-5 arasında ise	Orta zenginleşme
EF=5-20 arasında ise	Önemli zenginleşme
EF=20-40 arasında ise	Çok yüksek zenginleşme
EF>40 ise	Aşırı yüksek zenginleşme

3.6.4. Kirlenme faktörü ve kirlenme derecesi

Toprak kirliliği tespitinde, kirlenme faktörü ve kirlenme derecesi de kullanılır. Bu çalışmada, kirlenme faktörü Denklem (3.5)'e göre hesaplanmıştır [45,25,48].

$$C_f = \frac{C_0}{C_n} \tag{3.5}$$

C_o : en az beş örnekleme alanından alınan örneklerin ortalama metal içeriği,

C_n : yerkabuğu elementlerinin konsantrasyonudur. Bu değerler Tablo 2.1'de referans değerler olarak verilmiştir. Tablo 3.8'de verilen Hakkanson kirlenme faktörü dört kategoriye ayırmıştır:

Tablo 3.8. Kirlenme faktörü sınıflandırması [45, 48]

Değer	**Toprak kalitesi**
C_f <1	Düşük kirlenme faktörü
1≤C_f <3	Orta kirlenme faktörü
3≤C_f <6	Önemli derecede kirlenme faktörü
6≤C_f	Çok yüksek kirlenme faktörü

Kirlenme faktörü sadece bir element için kirlenme ortaya koymaktadır. Tüm elementlerin kirlenme faktörleri toplamı incelenen ortamın kirlenme derecesi Denklem (3.6) 'da hesaplamıştır.

$$C_d = \sum_{i=1}^{n} C_{f^i} \tag{3.6}$$

C_d: Kirlenme derecesi,

C_f: Kirlenme faktörü,

n: İncelenen element sayısı

Kirlilik derecesi dört gruba ayrılmıştır.

Tablo 3.9. Kirlenme derecesi sınıflandırması [45, 48]

Değer	**Toprak kalitesi**
C_d <n	Düşük derecede kirlenme
n≤C_d <2n	Orta derecede kirlenme
2n≤C_d <4n	Önemli derecede kirlenme
4n≤C_d	Çok yüksek derecede kirlenme

Bu çalışmada; 12 element için bu hesaplama yapılmıştır ve sonuçlar Tablo 3.8 ve Tablo 3.9'a göre değerlendirilmiştir.

3.6.5. Kutu grafiği kullanımı

İstatistik biliminde kutu grafiği (Box plot) bir betimsel istatistik ve istatistiksel grafik aleti olup niceliksel verileri görsel şekilde özetlemek için Amerikan istatistikçi John Tükey tarafından kutu-ve-bıyıklar grafiği adı altında bir açıklayıcı veri analizi aracı olarak ilk defa geliştirilmiştir. Kutu grafiği, ilgili değişken bakımından veri için hazırlanan beş sayılı özetleme tablosu gösterimini grafiksel olarak özetlemeye dayalıdır. Özellikle merkezsel konum, yayılma, çarpıklık ve basıklık yönünden verileri özetlemek ve aykırı değerleri tanımlamak için kullanılır [53, 54].

Analiz sonucu bulunan örnek için, medyan (ortanca), en küçük ölçüm değeri, birinci dörttebirlik, üçüncü dörttebirlik ve en büyük ölçüm değeri bulunur. Bunun en kolay yaklaşımı ölçüm sonuçlarının en küçük değerden en büyük değere kadar sıralanarak özet bir tablonun çıkarılmasıdır.

Ortanca; veri grubundaki gözlem değerleri küçükten büyüğe doğru sıralandığında ortadaki sayı veri grubunun ortancasıdır. Eğer gözlem sayısı tek ise, ortanca ortadaki gözlem değerine eşittir. Eğer gözlem sayısı çift ise, ortanca ortadaki iki gözlem değerin ortalamasıdır. Bazı durumlarda aritmetik ortalamadan daha güvenilir sonuçlar verir.

Dörtte birlik; betimsel istatistik içinde, bir dörtte birlik sıralanmış bir veri setini dört eşit parçaya bölen ve böylece her bir bölünen parçanın anakütle veya örnekleme verilerinin 1/4ini kapsadığı, üç tane özetleme değeridir. Çeyreklik olarak da isimlendirilmektedir.

Birinci dörttebirlik, verinin en aşağı değerde olan % 25'ini kapsar, İkinci dörttebirlik sıralanmış veriyi tam ortadan ikiye böler, üçüncü dörttebirlik verinin en aşağı değerde olan % 75ini kapsar ve en üstten % 25'inden ayırır. Üçüncü dörttebirlik ile birinci dörttebirlik arasındaki fark bir yayılım ölçüsü olarak kullanılıp, çeyrekler açıklığı veya dörttebirlikler açıklığı' diye anılır.

Bu çalışmada, sonuçların değerlendirmelerinde kullanılan, coğrafi birikim endeksi, zenginleşme faktörü, kirlenme faktörü ve kirlenme dereceleri sonuçları kutu grafikler yöntemi ile de gösterilmiştir.

3.6.6. Faktör analizi

Faktör analizi, çevresel çalışmalarda kirlilik kaynaklarını tespit etmek ve her bir kaynağın toplam kirlilik seviyesi üzerindeki etkisini belirlemek için yaygın olarak kullanılan çok değişkenli istatistiksel metottur. Faktör analizinin amacı, doğrudan gözlenen değişkenlere dayanarak, doğrudan gözlenmeyen faktörleri belirlemektir.

Faktör analizi uygulanmadan önce, değişkenlerin korelasyon matrisi incelenmelidir. Faktörlerin, bütün değişkenlerin varyansına (bir dağılımın kendi ortalamasından sapmasının karesinin beklenen değeri, standart sapmanın karesi) dayandığı varsayıldığından, herhangi bir değişkenin diğer değişkenler ile mutlak değer olarak 0,4'ten daha az korelasyonu olması durumunda, söz konusu değişkenin analiz edilmesi uygun olmayabilir. Faktör analizi, büyük bir değişkenler seti olduğunda, bunların daha uygun ve birkaç faktör altında özetlenmek istendiğinde uygulanabilir [53, 54].

Faktör analizinin metotlarından biri temel bileşenler metodudur. Faktör analizi uygulamalarında daha çok bu metot kullanılır. Temel Bileşenler (Principal

Components) metodu, bütün değişkenlerdeki maksimum varyansı açıklayacak faktörü hesaplar. Kalan maksimum miktardaki varyansı açıklamak için, ikinci faktör hesaplanır. Ancak, birinci faktörün ikinci faktör ile korelasyona girmemesi için sınırlama vardır. İki faktörün birbirleri arasında korelasyon olmaması durumunun bir diğer şekildeki ifadesi ise, bunların ortogonal olmasıdır. Söz konusu süreç, degişkenlerdeki bütün varyansın açıklanmasına kadar devam eder. Normal olarak bu noktaya faktör sayısı değişken sayısına eşit olunca ulaşılır. Ancak, basitlik için uğraşırken, böyle bir sonuç faydalı değildir. Değişken sayısı kadar faktör olması hiçbirşeyi basitleştirmez. Araştırmacıların çoğunluğu, özdeğer istatistiğini kullanarak analizlerinde kaç faktör kullanacaklarına karar verirler [53, 54].

Bu çalışmada, elde edilen sonuçlara, SPSS 10.0 programı yardımı ile faktör analiz tekniği uygulanmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

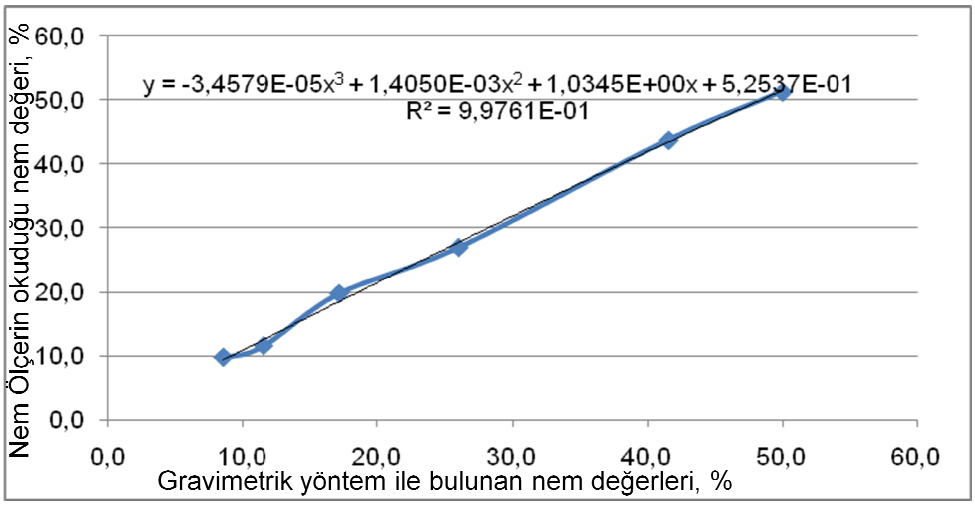
4.1. Dijital toprak nem ölçer kalibrasyonu

Toprak nem ölçerlerin laboratuvar ortamında farklı nemlerde olan toprak örneklerinin, TS ISO 11465 “Kütle Esasına Göre Kuru Madde ve Su Muhtevasının Tayini - Gravimetrik Metot” standardına göre ve aynı zamanda toprak nem ölçerin okuduğu değer kullanılarak, karşılaştırmalı kalibrasyonu yapılmış ve ölçüm sonuçları Tablo 4.1’de verilmiştir. Her bir ölçüm noktası için dijital nem ölçerin düzeltme ve belirsizlik değerleri de hesaplanarak yine Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. Toprak nem ölçer kalibrasyon sonuçları

Nem içeriği %		Düzeltme Değeri	Belirsizlik Değeri (k=2)
Gravimetrik yöntem ile	Dijital Nem ölçer ile		
9,7	8,5	1,2	2,0
11,5	11,5	0,0	2,0
19,8	17,2	2,6	2,0
27,0	26,0	1,0	2,0
43,8	41,5	2,2	2,0
51,3	50,0	1,3	2,0

Tabloda verilen değerler dışında ara değerlerin hesaplanması için aşağıda verilen grafik oluşturularak 3. Dereceden polinom denklem oluşturulmuştur.



Şekil 4.1. Ara değerlerin hesaplanması için bulunan fonksiyon

4.2. Nem İçeriği ve Organik Madde Sonuçları

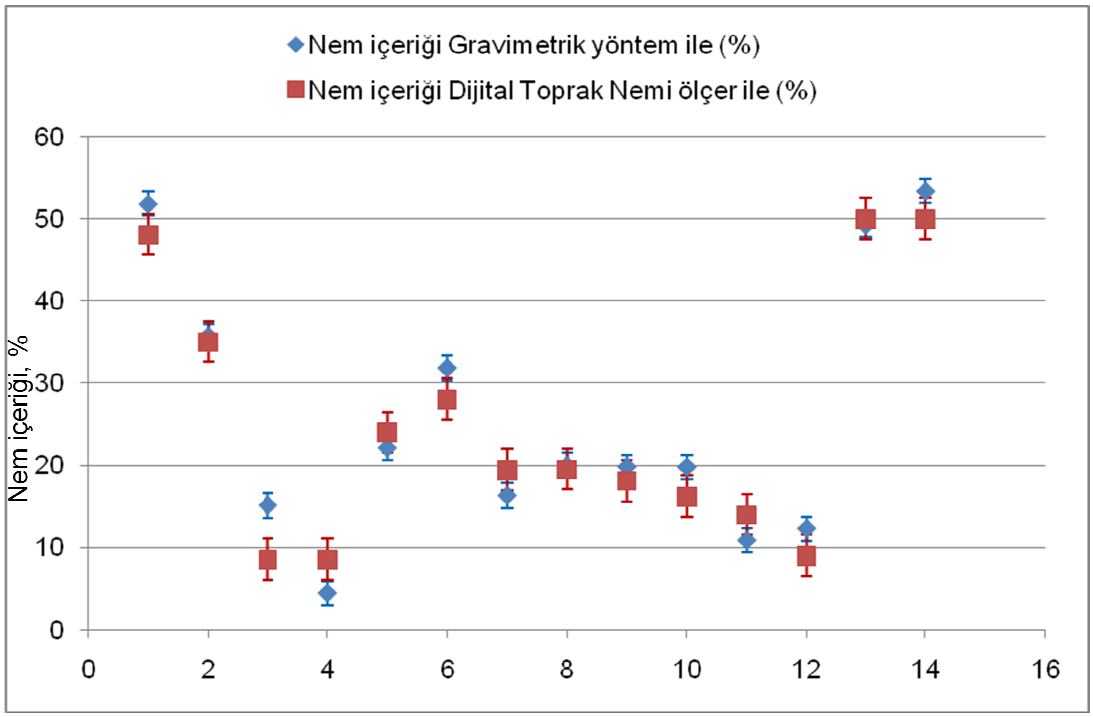
Denklem (1.1) kullanılarak, hesaplanan, gravimetrik olarak toprak nemi ve dijital toprak nemi ölçer ile arazide yapılan ölçümlerin sonuçları ve Denklem (3.1) kullanılarak, hesaplanan organik madde miktarları Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2. Toprak nem içerikleri ve organik madde miktarları, %

Örnek Noktaları	Nem içeriği Gravimetrik yöntem ile	Dijital Toprak Nemi ölçer ile	Organik Madde
İstasyon1, 5 cm	51,8±1,5*	48,1±2,0*	12,13±0,5*
İstasyon1, 15 cm	35,7±1,5	35,0±2,0	7,96±0,5
İstasyon2, 5 cm	15,1±1,5	8,5±2,0	4,77±0,5
İstasyon2, 15 cm	4,4±1,5	8,5±2,0	0,68±0,5
İstasyon3, 5 cm	22,1±1,5	24,0±2,0	6,34±0,5
İstasyon3, 15 cm	31,8±1,5	28,0±2,0	7,39±0,5
İstasyon4, 5 cm	16,3±1,5	19,4±2,0	3,75±0,5
İstasyon4, 15 cm	20,0±1,5	19,5±2,0	4,80±0,5
İstasyon5, 5 cm	19,8±1,5	18,1±2,0	4,92±0,5
İstasyon5, 15 cm	19,8±1,5	16,2±2,0	4,47±0,5
İstasyon6, 5 cm	10,8±1,5	14,0±2,0	2,50±0,5
İstasyon6, 15 cm	12,3±1,5	9,0±2,0	7,24±0,5
İstasyon7, 5cm	49,2±1,5	50,0±2,0	7,01±0,5
İstasyon7, 15cm	53,4±1,5	50,0±2,0	3,93±0,5

*(± ile verilen değerler belirsizlik değerleridir.)

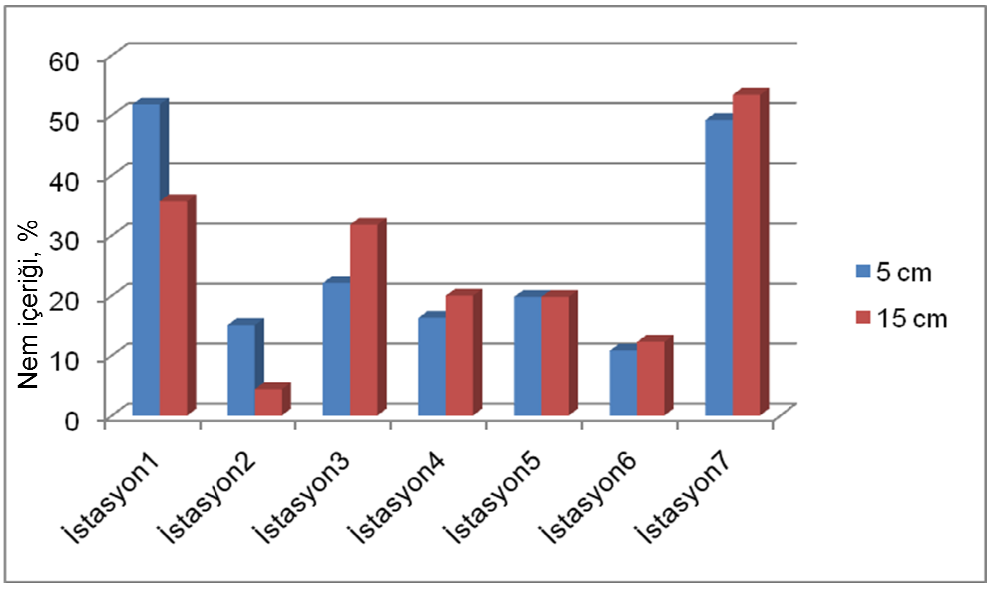
Arazide yerinde yapılan ölçümler ile örneklerin laboratuvarda yapılan gravimetrik ölçüm sonuçları karşılaştırıldığında, aralarında bir uyum gözlenmesine rağmen, farklar görülmüştür. Gravimetrik yöntem referans ölçümler olarak kabul edildiğinde, aradaki farklar, dijital toprak nem ölçerin düzeltme değerleri olarak kabul edilir. Düzeltme değerleri ile yapılan ölçümlerin belirsizlik değerleri Tablo 4.1'de verilmiştir. Arazide yapılan ölçümlerin düzeltilmiş değerlerini hesaplayabilmek için Denklem (4.1) belirlenmiş ve ara değerler hesaplanmıştır.



Şekil 4.2. Nem içeriğinin iki yöntem ile kıyaslaması

Ayrıca genelde 15 cm'den alınan örnekler ve ölçümler, 5 cm'e göre daha nemli çıkmıştır. Şekil 4.3'de toprak nem içeriklerinin derinliğe bağlı değişim grafiği verilmiştir. Bazı noktalarda değerler birbirine çok yakın çıkmıştır.

Ancak toprak örneklerinin derinliğe göre korelasyonuna bakıldığında, derinlik ile nem arasındaki korelasyon katsayısı 0,85 olarak bulunmuştur.



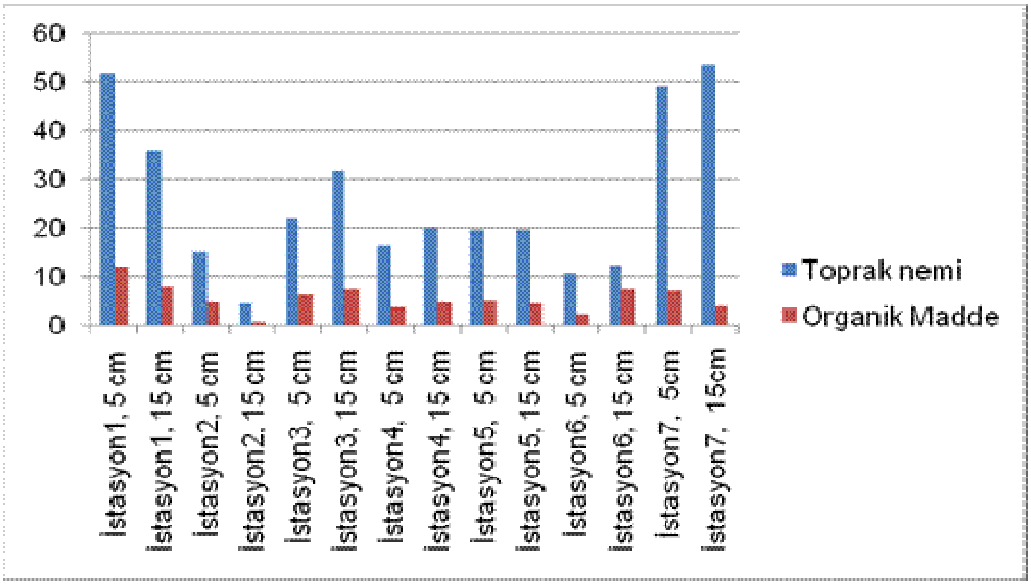
Şekil 4.3. Nem içeriğinin derinliğe göre değişimi

Tabloda verilen sonuçlara bakıldığında, istasyon7 haricinde, diğer örnek noktalarında nem ile organik madde arasında bir ilişkinin olduğu gözlenmiştir. Bu iki parametre arasındaki ilişki yaklaşık 4-6 arasında bir değer olan çarpan ile ifade edilebileceği sonucuna varılmıştır.

Genelde 15 cm'den alınan örnekler 5 cm'e göre daha nemli çıkmıştır. Nemli kısımlarda organik maddelerin yaşama ortamları daha uygun olduğundan, nem içeriği fazla olan toprakta organik madde miktarları da yüksek bulunmuştur. Şekil 4.5'de verilen toprak nemi ve organik madde dağılım haritalarında da toprak neminin yüksek olduğu bölgelerde, organik madde miktarlarının yüksek olduğu görülmektedir.

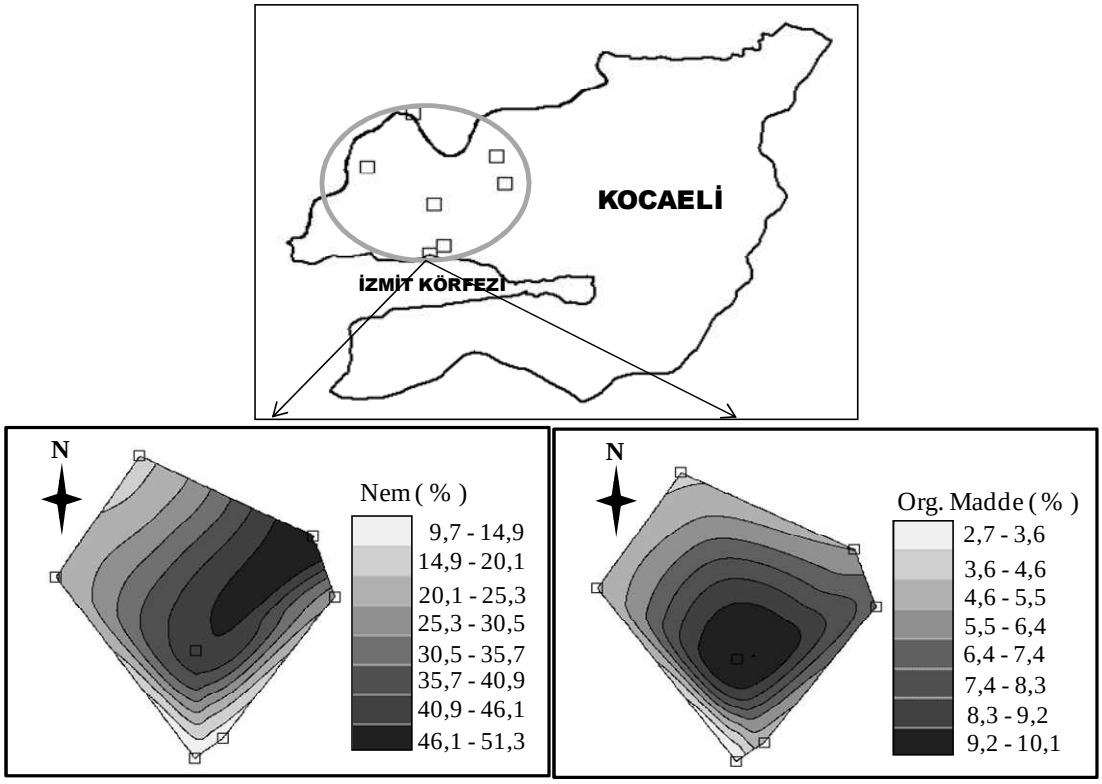
Ayrıca toprak nem içeriği ile organik madde değerleri arasındaki korelasyon katsayısı ise 0,63 olarak hesaplanmıştır. (Tablo 4.5).

Analiz sonuçları toprak nemi ile organik madde arasında % 99 güven aralığında yüksek bir ilişki olduğunu göstermiştir. Örnekleme noktalarına göre toprak nemi ve organik madde değerlerinin grafiksel olarak gösterimi Şekil 4.4'de verilmiştir.



Şekil 4.4. Toprak nemi ve organik madde içerikleri

Çalışma bölgesi içerisindeki toprak nemi ve organik madde miktarlarının dağılımı Şekil 4.5'de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Toprak nemi ve organik madde dağılım haritası

4.3. pH Ölçüm Sonuçları

Bölüm 3.5'de verilen detaylar ve TS 8332 ISO 1039 "Toprak Kalitesi-pH Tayini" standardında belirtilen yollar takip edilerek, her bir örneğin pH değeri belirlenmiştir. Örneklerin pH ölçüm sonuçları Tablo 4.3'de verilmiştir.

Tablo 4.3. pH ölçüm sonuçları

Örnek noktaları	pH	Örnek noktaları	pH
İstasyon1, 5 cm	7,2	İstasyon1, 15 cm	7,3
İstasyon2, 5 cm	7,6	İstasyon 2, 15 cm	7,8
İstasyon3, 5 cm	7,6	İstasyon3, 15 cm	7,7
İstasyon4, 5 cm	6,0	İstasyon4, 15 cm	7,2
İstasyon5, 5 cm	5,3	İstasyon5, 15 cm	5,2
İstasyon6, 5 cm	7,7	İstasyon6, 15 cm	7,7
İstasyon7, 5cm	6,3	İstasyon7, 15cm	6,5

Sonuçlar incelendiğinde sadece istasyon5 ve istasyon7 topraklarının asidik özellik taşıdığı görülmektedir. İstasyon4 ise 5 cm ölçümü ile 15 cm ölçümü farklılık göstermiştir. Burada yüzeyde olan bir etkinin sonuçları değiştirdiği düşünülmüştür ve değerlendirme 15 cm'den alınan örnekler dikkate alınarak yapılmıştır.

İstasyon1, istasyon4 toprakları nötr özelliğe daha yakın görülürken, İstasyon 2, istasyon3, istasyon6 alkali toprağa daha yakın olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar değerlendirildiğinde, toprak yapısı % 43 bazik, %28,5 nötr ve % 28,5 asidik olarak bulunmaktadır. Oysa bu bölgenin genel toprak yapısında verilen değerler farklıdır. Çalışma alanın tarım alanı olarak seçilmesi ve aslında bazik olarak değerlendirilen toprakların sınır değerde bazik olması bu farklılığı açıklayabilir.

4.5. Elemental Analiz Sonuçları

Toprak örnekleri Bölüm 3.6'da açıklandığı gibi çözünürleştirme işlemi uygulanarak, HR-ICP-MS cihazı ile As, Cd, Cr, Co, Hg, Mo, Ni, Pb, Sn, Zn, Al, Ca, Na, Mg, Mn ve Fe miktarları belirlenmiştir. Analiz sonuçları Tablo 4.4' de verilmiştir.

Bulunan sonuçlar, 8 Haziran 2010 Salı, 27605 sayılı "Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik", "Evsel Ve Kentsel Arıtma

Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik" de verilen sınır değerlere göre analiz edilmiştir.

Ayrıca sonuçlar; coğrafi birikim endeksi, zenginleşme faktörü, kirlenme faktörü ve kirlenme derecesi metotlarına göre değerlendirilmiştir.

Aynı zamanda çalışma bölgesinde ölçülen her bir element için, dağılım haritaları oluşturulmuş olup Şekil 4.6'da verilmiştir. Bulunan bütün sonuçların birbirleri ile ilişkisini belirleyebilmek için korelasyon tablosu oluşturulmuştur (Tablo 4.6). Korelasyon SPSS 10.0 programı (Pearson Correlation Sig. (2-tailed) ve N=14) ve Excel ile oluşturulmuştur. Korelasyon 0.05 düzeyinde anlamlandırılmış ve sonuçlar alt başlıklar şeklinde detaylandırılarak verilmiştir.

4.5.1. Toprak örneklerindeki elementlerin dağılım haritaları

Çalışma bölgesinden alınan toprak örneklerinden ölçülen her bir element için, MapInfo 8.5 Software programı kullanılarak oluşturulan dağılım haritaları Şekil 4.6'da verilmiştir. Örneklerin alındığı yerlerin koordinatları, MapInfo programında, sayısal harita üzerine oturtulmuş ve her örneğe ait element konsantrasyonları z-eksen değerleri olarak tanıtılmıştır. Noktalar arasında "Triangulation with smoothing (yuvarlayarak üçgenleme)" yöntemi uygulanarak dağılım haritaları oluşturulmuştur. Bu yöntemle oluşturulan dağılım haritası gerçek verideki her noktanın gerçek değerinden üçgenleme ile oluşturulur. Bu şekilde, veri eksikliğinin olduğu bölgelerdeki ani değişimler veya zıtlıklar ortadan kaldırılabilmektedir. Her bir grid hücrelerden oluştuğu için, hücre büyüklükleri değiştirilerek çözünürlüğü daha yüksek enterpolasyon sonuçları elde etmek mümkün olmaktadır.

Şekil 4.6 incelendiğinde Fe, Mn ve Ni dışındaki yerkabuğu elementlerinden Al, Ca, Mg ve Na'un benzer dağılım gösterdikleri görülmektedir. Hem doğal olarak bulunabilen hem de antropojenik kaynaklardan ortama yayılabilen Cr ve Ni'in de dağılımları benzerdir. Diğer antropojenik elementlerin dağılımları incelendiğinde bazı örnekleme noktalarında benzer özellikler göstermekle birlikte birbirlerinden farklıdır. Bu durum çalışma bölgesinin birçok farklı özellikte antropojenik kaynağın etkisi altında olduğuna işaret etmektedir.

Tablo 4.4. Toprak örneklerinde bulunan element miktarları (± belirsizlik değerleri, mg/kg)

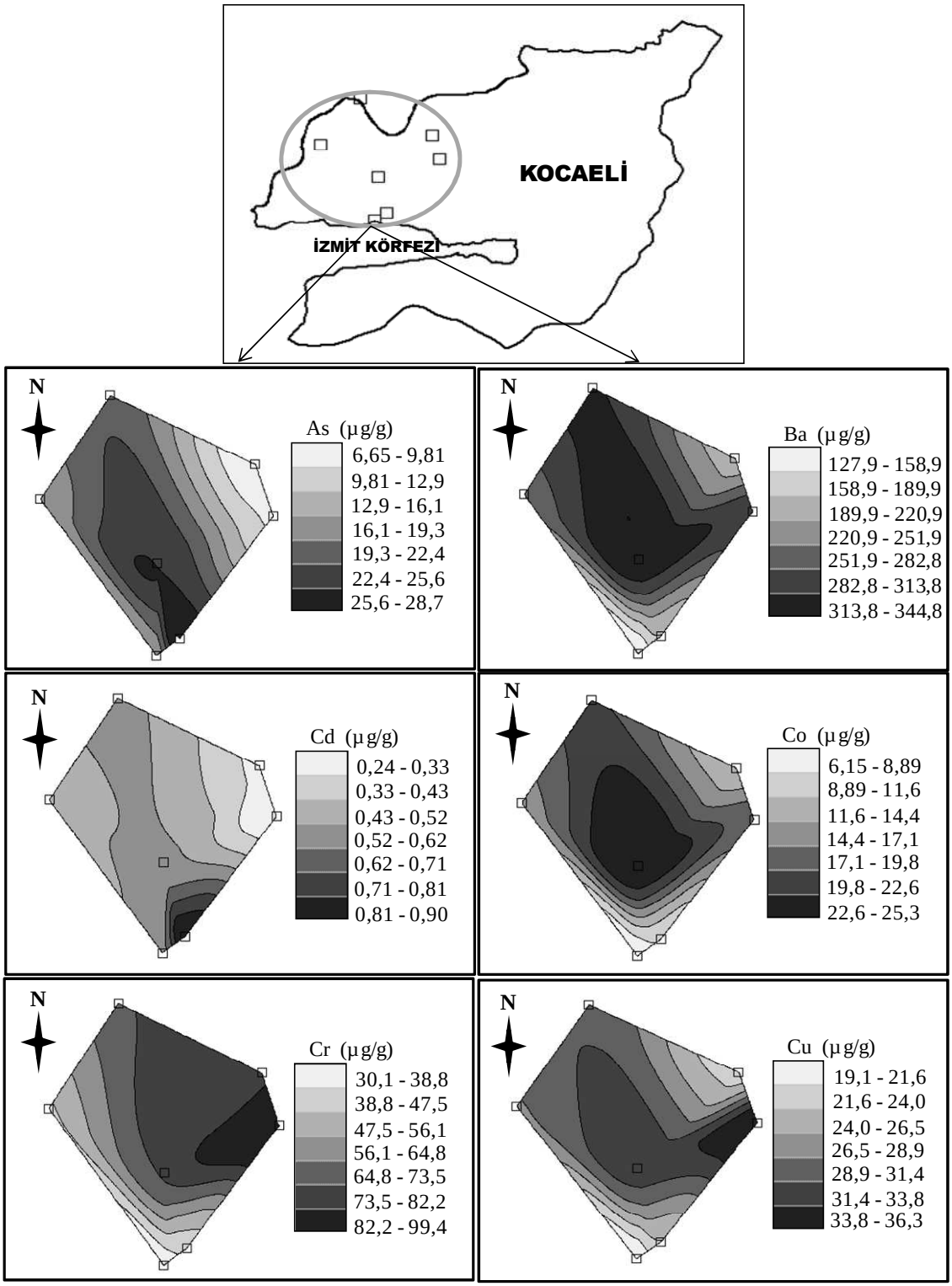
Örnek Noktaları	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu
İstasyon1, 5 cm	33,90 ± 1,10	329,40 ± 18,60	0,50* ± 0,02	29,80 ± 0,70*	80,70 ± 2,60*	28,80 ± 1,00*
İstasyon1, 15 cm	17,10 ± 0,60	342,40 ± 19,40	0,60 ± 0,02	19,90 ± 0,50	69,20 ± 2,20	35,80 ± 1,20
İstasyon2, 5 cm	23,70 ± 0,80	192,50 ± 10,90	0,80 ± 0,03	8,40 ± 0,20	44,20 ± 1,40	25,20 ± 0,80
İstasyon2, 15 cm	10,70 ± 0,40	63,50 ± 3,60	0,40 ± 0,01	3,90 ± 0,10	16,00 ± 0,50	13,00 ± 0,40
İstasyon3, 5 cm	10,00 ± 0,30	291,40 ± 16,50	0,30 ± 0,01	18,50 ± 0,50	95,30 ± 3,00	37,50 ± 1,30
İstasyon3, 15 cm	7,70 ± 0,30	303,70 ± 17,20	0,20 ± 0,01	17,00 ± 0,40	103,40 ± 3,30	35,10 ± 1,20
İstasyon4, 5 cm	12,20 ± 0,40	313,20 ± 17,70	0,60 ± 0,02	15,00 ± 0,40	53,10 ± 1,70	34,70 ± 1,20
İstasyon4, 15 cm	30,20 ± 1,00	319,90 ± 18,10	0,50 ± 0,02	24,90 ± 0,60	89,30 ± 2,80	27,10 ± 0,90
İstasyon5, 5 cm	16,40 ± 0,50	274,00 ± 15,50	0,50 ± 0,02	16,60 ± 0,40	49,20 ± 1,60	30,10 ± 1,00
İstasyon5, 15 cm	16,40 ± 0,50	240,10 ± 13,60	0,40 ± 0,01	14,00 ± 0,30	41,80 ± 1,30	26,80 ± 0,90
İstasyon6, 5 cm	31,50 ± 1,10	192,00 ± 10,90	1,00 ± 0,04	8,80 ± 0,20	35,70 ± 1,10	21,30 ± 0,70
İstasyon6, 15 cm	26,00 ± 0,90	184,40 ± 10,40	0,80 ± 0,03	9,10 ± 0,20	46,70 ± 1,50	26,40 ± 0,90
İstasyon7, 5cm	7,30 ± 0,20	208,10 ± 11,80	0,40 ± 0,02	15,20 ± 0,40	73,70 ± 2,30	20,70 ± 0,70
İstasyon7, 15cm	6,00 ± 0,20	193,30 ± 10,90	0,20 ± 0,01	8,60 ± 0,20	85,70 ± 2,70	24,60 ± 0,80
Ortalama değer	**17,80 ± 0,60**	**246,30 ± 13,90**	**0,50 ± 0,02**	**15,00 ± 0,40**	**63,10 ± 2,00**	**27,60 ± 0,90**

Tablo 4.4. Toprak örneklerinde bulunan element miktarları (± belirsizlik değerleri, mg/kg) (Devam)

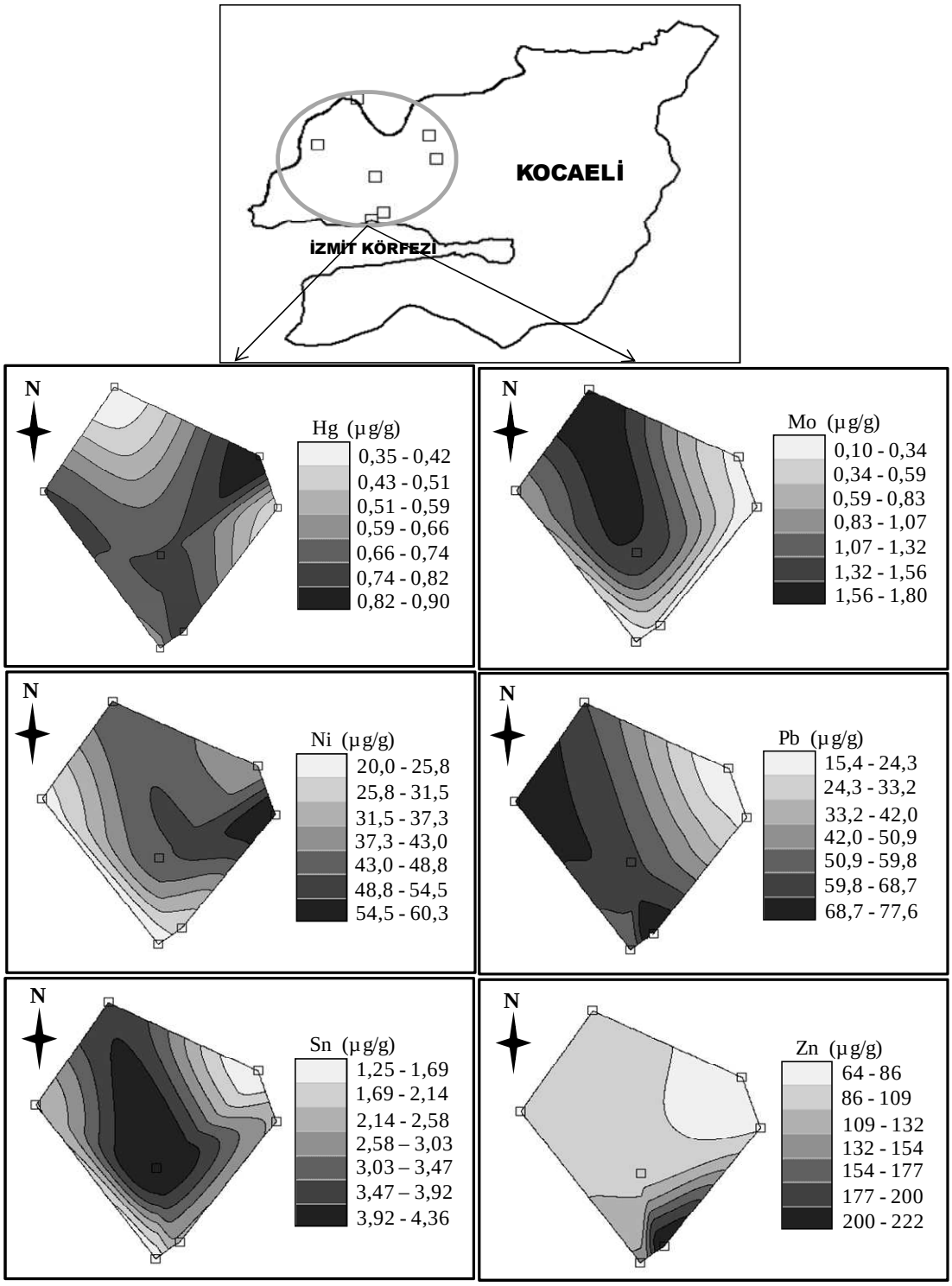
Örnek Noktaları	Hg	Mo	Ni	Pb	Sn	Zn
İstasyon1, 5 cm	0,60 ± 0,02	1,90 ± 0,07	46,50 ± 2,40	80,40 ± 1,60	3,00 ± 0,10	95,80 ± 2,70
İstasyon1, 15 cm	0,90 ± 0,03	1,10 ± 0,04	47,10 ± 2,40	43,70 ± 0,90	5,60 ± 0,18	105,70 ± 3,00
İstasyon2, 5 cm	1,10 ± 0,04	0,20 ± 0,01	29,40 ± 1,50	81,40 ± 1,60	2,10 ± 0,07	230,20 ± 6,40
İstasyon2, 15 cm	0,20 ± 0,01	0,10 ± 0,01	10,70 ± 0,50	28,90 ± 0,60	0,70 ± 0,02	44,40 ± 1,20
İstasyon3, 5 cm	0,20 ± 0,01	0,10 ± 0,01	60,10 ± 3,10	21,00 ± 0,40	2,70 ± 0,08	85,00 ± 2,40
İstasyon3, 15 cm	0,70 ± 0,02	0,10 ± 0,01	60,40 ± 3,10	21,50 ± 0,40	2,20 ± 0,07	81,80 ± 2,30
İstasyon4, 5 cm	0,50 ± 0,02	1,90 ± 0,07	44,40 ± 2,30	53,90 ± 1,10	4,70 ± 0,15	121,60 ± 3,40
İstasyon4, 15 cm	0,20 ± 0,01	1,70 ± 0,06	49,50 ± 2,50	66,40 ± 1,30	2,90 ± 0,09	92,90 ± 2,60
İstasyon5, 5 cm	1,10 ± 0,04	1,00 ± 0,04	25,40 ± 1,30	80,10 ± 1,60	2,20 ± 0,07	96,20 ± 2,70
İstasyon5, 15 cm	0,40 ± 0,01	0,80 ± 0,03	20,30 ± 1,00	74,40 ± 1,50	2,00 ± 0,06	85,40 ± 2,40
İstasyon6, 5 cm	0,30 ± 0,01	0,30 ± 0,01	25,60 ± 1,30	86,50 ± 1,70	3,00 ± 0,09	207,00 ± 5,80
İstasyon6, 15 cm	1,30 ± 0,04	0,20 ± 0,01	29,60 ± 1,50	68,60 ± 1,40	1,90 ± 0,06	237,20 ± 6,60
İstasyon7, 5cm	0,30 ± 0,01	0,10 ± 0,01	40,00 ± 2,00	17,00 ± 0,30	1,30 ± 0,04	58,10 ± 1,60
İstasyon7, 15cm	1,50 ± 0,05	0,40 ± 0,01	40,20 ± 2,10	13,80 ± 0,30	1,20 ± 0,04	68,80 ± 1,90
Ortama değer	**0,70 ± 0,02**	**0,70 ± 0,03**	**37,80 ± 1,90**	**52,70 ± 1,10**	**2,50 ± 0,08**	**115,00 ± 3,20**

Tablo 4.4. Toprak örneklerinde bulunan element miktarları (± belirsizlik değerleri, g/kg) (Devam)

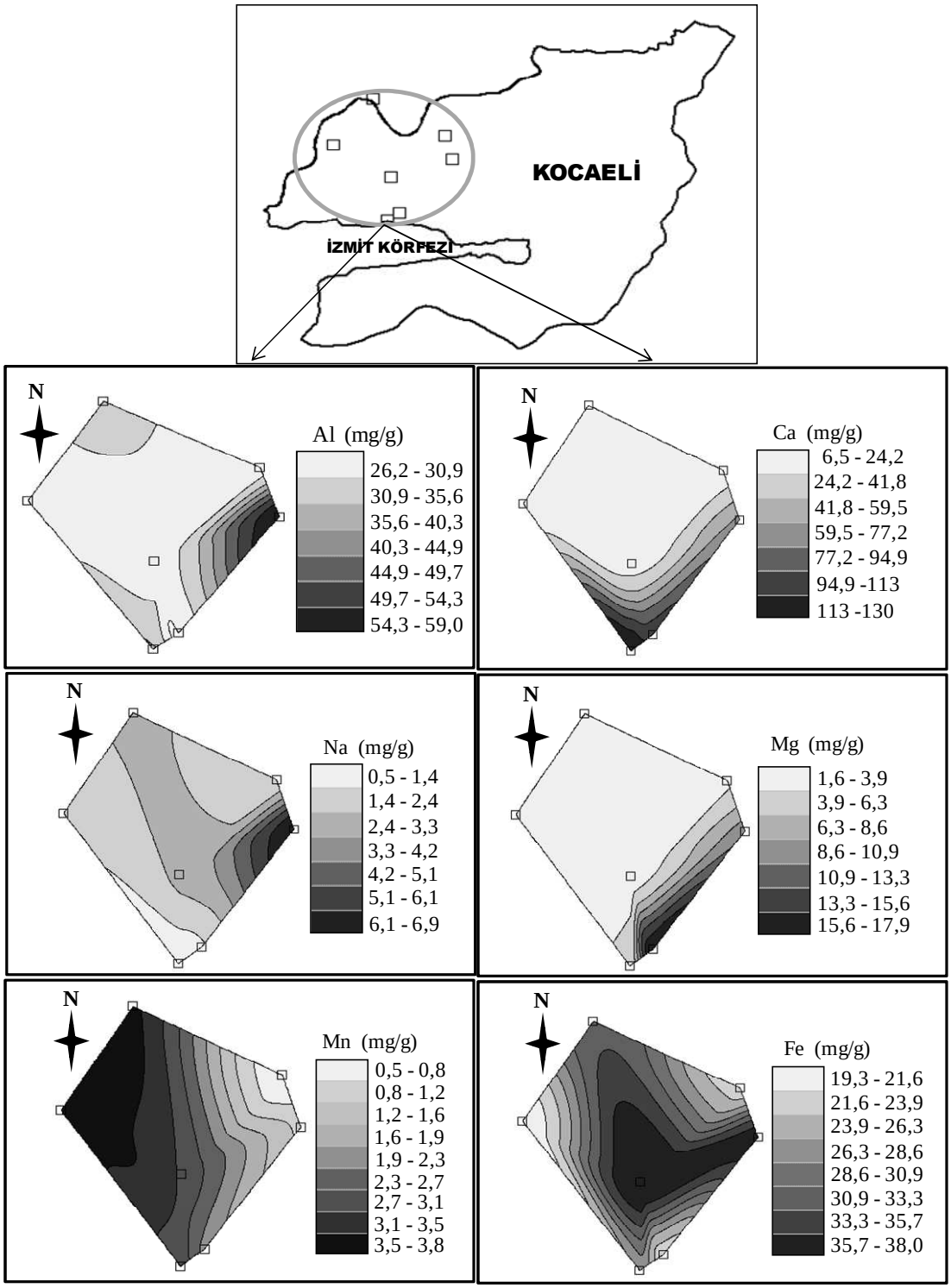
Örnek Noktaları	Al	Ca	Na	Mg	Mn	Fe
İstasyon1, 5 cm	24,28 ± 0,52	4,88 ± 0,20	2,30 ± 0,09	2,08 ± 0,04	3,12 ± 0,07	42,96 ± 1,58
İstasyon1, 15 cm	32,35 ± 0,69	18,87 ± 0,77	2,67 ± 0,11	3,59 ± 0,08	2,92 ± 0,06	32,20 ± 1,18
İstasyon2, 5 cm	53,64 ± 1,14	70,67 ± 2,88	0,78 ± 0,03	4,32 ± 0,09	4,59 ± 0,10	44,41 ± 1,63
İstasyon2, 15 cm	17,54 ± 0,37	189,91 ± 7,73	0,24 ± 0,01	5,98 ± 0,13	1,16 ± 0,02	8,95 ± 0,33
İstasyon3, 5 cm	56,69 ± 1,21	60,20 ± 2,45	6,83 ± 0,28	10,26 ± 0,22	1,17 ± 0,02	36,01 ± 1,32
İstasyon3, 15 cm	61,39 ± 1,31	61,10 ± 2,49	7,13 ± 0,29	10,26 ± 0,22	1,06 ± 0,02	37,00 ± 1,36
İstasyon4, 5 cm	42,52 ± 0,91	21,71 ± 0,88	2,62 ± 0,11	3,64 ± 0,08	4,15 ± 0,09	24,78 ± 0,91
İstasyon4, 15 cm	21,76 ± 0,46	5,13 ± 0,21	2,31 ± 0,09	2,06 ± 0,04	3,00 ± 0,06	39,84 ± 1,46
İstasyon5, 5 cm	28,20 ± 0,60	7,59 ± 0,31	1,81 ± 0,07	1,56 ± 0,03	4,15 ± 0,09	20,14 ± 0,74
İstasyon5, 15 cm	28,24 ± 0,60	5,33 ± 0,22	1,34 ± 0,05	1,74 ± 0,04	3,45 ± 0,07	18,39 ± 0,67
İstasyon6, 5 cm	29,48 ± 0,63	122,48 ± 4,99	0,98 ± 0,04	21,05 ± 0,45	2,43 ± 0,05	20,58 ± 0,76
İstasyon6, 15 cm	22,93 ± 0,49	90,25 ± 3,67	1,52 ± 0,06	14,85 ± 0,32	2,05 ± 0,04	24,25 ± 0,89
İstasyon7, 5cm	19,84 ± 0,42	9,51 ± 0,39	2,08 ± 0,08	3,29 ± 0,07	0,69 ± 0,01	21,44 ± 0,79
İstasyon7, 15cm	37,68 ± 0,80	11,66 ± 0,47	1,57 ± 0,06	4,15 ± 0,09	0,27 ± 0,01	23,45 ± 0,86
Ortama değer	34,04 ± 0,73	48,52 ± 1,97	2,44 ± 0,10	6,35 ± 0,14	2,44 ± 0,05	28,17 ± 1,03



Şekil 4.6. Element konsantrasyonlarının dağılım haritaları



Şekil 4.6. Element konsantrasyonlarının dağılım haritaları (Devam)



Şekil 4.6. Element konsantrasyonlarının dağılım haritaları (Devam)

Tablo 4.5. Korelasyon tablosu

Elementler	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Sn	Zn	Al	Ca	Na	Mg	Mn	Fe	Toprak Nemi	Organik Madde
As	1,00																			
Ba	0,16	1,00																		
Cd	**0,71**	-0,14	1,00																	
Co	0,33	**0,86**	-0,21	1,00																
Cr	-0,19	**0,66**	**-0,57**	**0,64**	1,00															
Cu	-0,10	**0,86**	-0,19	**0,56**	**0,60**	1,00														
Hg	-0,05	-0,05	0,07	-0,24	0,03	0,13	1,00													
Mo	0,42	**0,66**	0,08	**0,69**	0,14	0,34	-0,11	1,00												
Ni	-0,14	**0,76**	-0,39	**0,65**	**0,93**	**0,75**	-0,07	0,21	1,00											
Pb	0,84	0,12	**0,73**	0,14	-0,46	-0,05	0,07	0,42	-0,40	1,00										
Sn	0,25	**0,73**	0,32	0,48	0,16	**0,67**	-0,07	**0,61**	0,43	0,23	1,00									
Zn	**0,59**	-0,13	**0,86**	-0,30	-0,35	-0,01	0,36	-0,13	-0,21	**0,62**	0,16	1,00								
Al	-0,34	0,30	-0,21	-0,02	0,44	**0,62**	0,16	-0,25	**0,55**	-0,25	0,18	0,13	1,00							
Ca	0,02	**-0,73**	0,30	-0,67	**-0,56**	**-0,53**	-0,20	**-0,56**	-0,47	-0,06	-0,33	0,26	-0,04	1,00						
Na	-0,36	**0,56**	**-0,51**	0,42	**0,76**	**0,73**	-0,18	-0,11	**0,83**	-0,47	0,21	-0,28	**0,69**	-0,18	1,00					
Mg	0,22	-0,30	0,47	-0,40	-0,15	-0,10	-0,06	**-0,51**	-0,04	0,07	-0,05	**0,56**	0,15	**0,62**	0,14	1,00				
Mn	**0,52**	0,34	**0,54**	0,22	-0,36	0,24	0,08	**0,58**	-0,22	**0,82**	0,48	0,43	0,01	-0,26	-0,32	-0,30	1,00			
Fe	0,38	**0,63**	0,02	**0,62**	**0,63**	**0,54**	0,09	0,29	**0,69**	0,16	0,35	0,23	**0,50**	-0,38	0,44	-0,13	0,26	1,00		
Toprak Nemi	-0,21	0,36	-0,49	0,47	**0,66**	0,18	0,25	0,16	0,49	-0,40	0,01	-0,44	0,00	**-0,63**	0,20	-0,38	-0,37	0,29	1,00	
Organik Madde	0,26	**0,62**	-0,12	**0,74**	**0,58**	**0,50**	0,17	0,29	**0,58**	0,05	0,29	-0,01	0,07	**-0,52**	0,39	-0,17	0,03	**0,62**	**0,63**	1,00

4.5.2. Toprak kirliliği yönetmeliğine göre değerlendirme sonuçları

Analizler sonucu bulunan miktarlar, 8 Haziran 2010 Salı, 27605 sayılı "Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik" dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Denklem (3.2) kullanılarak her bir örnek noktasında bulunan elementler için sapma değerleri hesaplanmıştır. Referans değer olarak, örnekler için bulunan her bir element değerlerinin ortalaması olarak alınmıştır. Bulunan sapma değerleri Tablo 4.6'de verilmiştir.

Eğer sapma değeri ≤ 1 ise, takip gerektirmeyen saha, eğer sapma değeri >1 ise, ikinci aşama değerlendirme sürecine tabi takip gerektiren saha, eğer sapma değeri >25 ise, bakanlıkça belirlenen süreç uyarınca temizlenmesi gereken kirlenmiş saha olarak tanımlanmaktadır. Tablo 4.6'de 1 'den büyük çıkan değerler koyu olarak yazılmıştır. Yukarıda yapılan açıklamaya bakıldığında bu bölgeler yönetmelikte, ikinci aşama değerlendirme sürecine tabi takip gerektiren saha olarak tanımlanmaktadır.

Sapma değerlerinin yaklaşık % 48 si 1 ve 1 den büyük çıkmıştır. Bu sonuçta bize bu örnek noktaları için, ikinci aşama değerlendirme sürecine tabi takip gerektiren saha anlamına gelmektedir. Ölçümlerin tekrar edilmesi ve bu noktaların tekrar değerlendirilmesi gerekmektedir.

Çalışma bölgesinde örnek alınan noktalar tek tek incelendiğinde ise, istasyon1, istasyon3 ve istasyon4 bölgeleri için bulunan sonuçlara bakıldığında sapma değerlerinin % 60 dan daha fazlası 1'den büyük çıkmıştır. Öncelikle bu üç bölgenin ölçümlerinin tekrar edilmesi gerektiği sonucunu çıkarmıştır. İstasyon6'dan alınan toprak örneklerinin sonuçlarının değerlendirilmesi sonucu ise, sapma değeri 1 den büyük çıkan elementlerin oranı yaklaşık % 50 olarak bulunmuştur. Diğer örnek alınan bölgelerde sapma değerleri 1'den büyük olma oranı % 50'den düşük çıkmıştır.

Elementler açısından tek tek incelendiğinde ise sapma değerleri 1 den büyük çıkan ve oran olarak % 50'den büyük olan elementler; Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Mn olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.6. Toprak örneklerinde hesaplanan sapma değerleri

Örnek Noktaları	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Sn	Zn	Al	Ca	Na	Mg	Mn	Fe
İstasyon1, 5 cm	**1,9**	**1,3**	**1,0**	**2,0**	**1,3**	**1,0**	0,9	**2,7**	**1,2**	**1,5**	**1,2**	0,8	0,7	0,1	0,9	0,3	**1,3**	**1,5**
İstasyon1, 15 cm	**1,0**	**1,4**	**1,1**	**1,3**	**1,1**	**1,3**	**1,3**	**1,5**	**1,2**	0,8	**2,2**	0,9	**1,0**	0,4	**1,1**	0,6	**1,2**	**1,1**
İstasyon2, 5 cm	**1,3**	0,8	**1,5**	0,6	0,7	0,9	**1,7**	0,3	0,8	**1,5**	0,8	**2,0**	**1,6**	**1,5**	0,3	0,7	**1,9**	**1,6**
İstasyon2, 15 cm	0,6	0,3	0,7	0,3	0,3	0,5	0,4	0,1	0,3	0,5	0,3	0,4	0,5	**3,9**	0,1	0,9	0,5	0,3
İstasyon3, 5 cm	0,6	**1,2**	0,5	**1,2**	**1,5**	**1,4**	0,4	0,2	**1,6**	0,4	**1,1**	0,7	**1,7**	**1,2**	**2,8**	**1,6**	0,5	**1,3**
İstasyon3, 15 cm	0,4	**1,2**	0,5	**1,1**	**1,6**	**1,3**	**1,0**	0,1	**1,6**	0,4	0,9	0,7	**1,8**	**1,3**	**2,9**	**1,6**	0,4	**1,3**
İstasyon4, 5 cm	0,7	**1,3**	**1,2**	**1,0**	0,8	**1,3**	0,8	**2,7**	**1,2**	**1,0**	**1,8**	**1,1**	**1,2**	0,4	**1,1**	0,6	**1,7**	0,9
İstasyon4, 15 cm	**1,7**	**1,3**	**1,0**	**1,7**	**1,4**	**1,0**	0,2	**2,4**	**1,3**	**1,3**	**1,1**	0,8	0,6	0,1	0,9	0,3	**1,2**	**1,4**
İstasyon5, 5 cm	0,9	**1,1**	**1,0**	**1,1**	0,8	**1,1**	**1,7**	**1,4**	0,7	**1,5**	0,9	0,8	0,8	0,2	0,7	0,2	**1,7**	0,7
İstasyon5, 15 cm	0,9	**1,0**	0,8	0,9	0,7	**1,0**	0,6	**1,1**	0,5	**1,4**	0,8	0,7	0,8	0,1	0,5	0,3	**1,4**	0,7
İstasyon6, 5 cm	**1,8**	0,8	**2,0**	0,6	0,6	0,8	0,4	0,4	0,7	**1,6**	**1,2**	**1,8**	0,9	**2,5**	0,4	**3,3**	**1,0**	0,7
İstasyon6, 15 cm	**1,5**	0,7	**1,6**	0,6	0,7	**1,0**	**2,0**	0,4	0,8	**1,3**	0,7	**2,1**	0,7	**1,9**	0,6	**2,3**	0,8	0,9
İstasyon7, 5cm	0,4	0,8	0,9	**1,0**	**1,2**	0,8	0,5	0,2	**1,1**	0,3	0,5	0,5	0,6	0,2	0,9	0,5	0,3	0,8
İstasyon7, 15cm	0,3	0,8	0,4	0,6	**1,4**	0,9	**2,3**	0,5	**1,1**	0,3	0,5	0,6	**1,1**	0,2	0,6	0,7	0,1	0,8

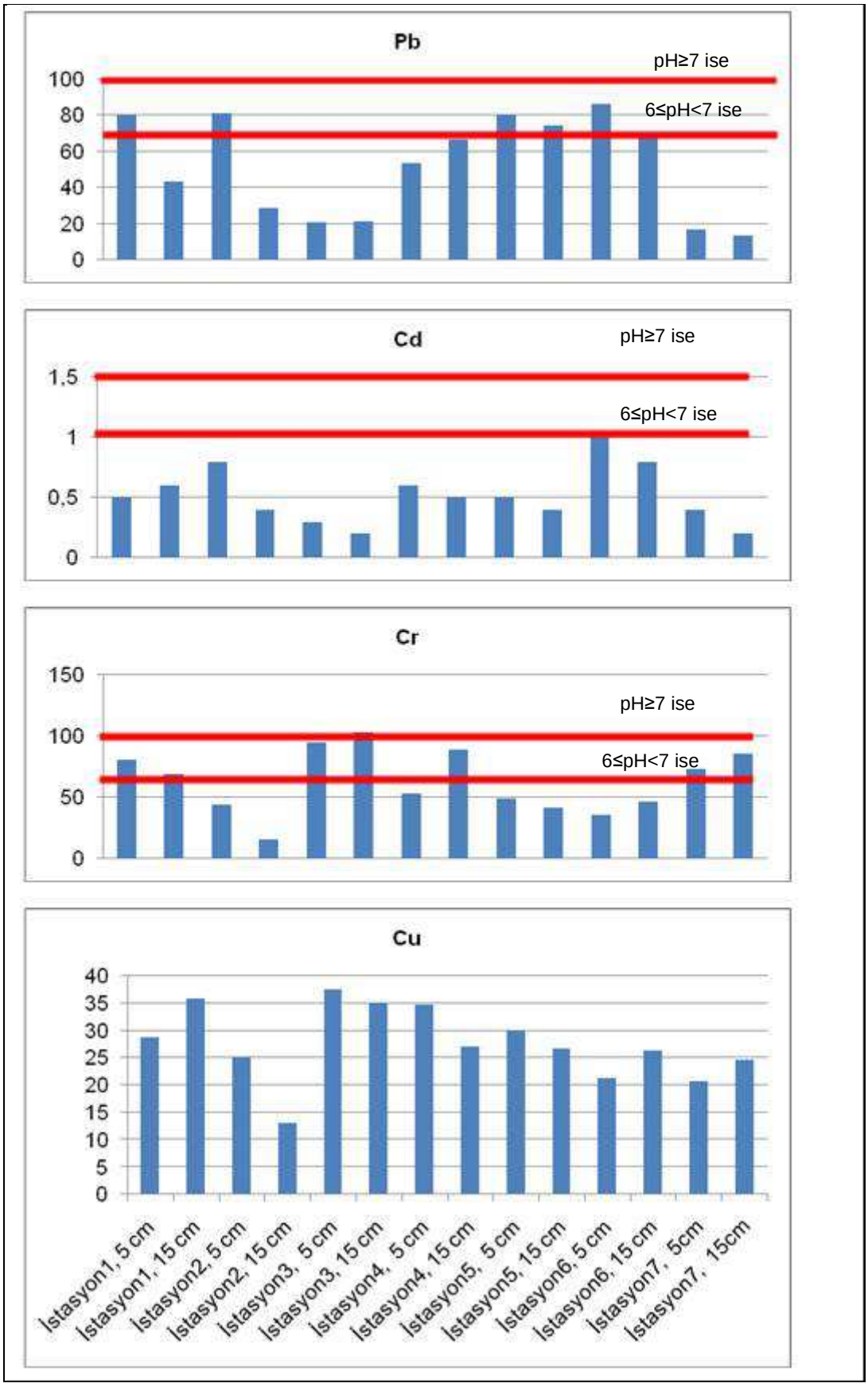
4.5.3. Arıtma çamurları ile ilgili yönetmeliğe göre değerlendirme sonuçları

Örneklerin analizleri sonucunda bulunan değerler, 3 Ağustos 2010 Salı, 27661 sayılı "Evsel Ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik" de verilen "Ek 1- Topraktaki ağır metal sınır değerleri" tablosunda verilen değerlere göre de değerlendirilmiş ve her bir element için çizilen grafiklerle Şekil 5.7'de verilmiştir. Yönetmelikte verilen sınır değerlere (Tablo 1.9) bakıldığında toprak örnekleri için pH değerine göre sınır değerlerinin belirlendiği görülmektedir. Bundan dolayı grafiklerde her iki pH değeri için belirlenen sınır değerleri çizilerek gösterim yapılmıştır.

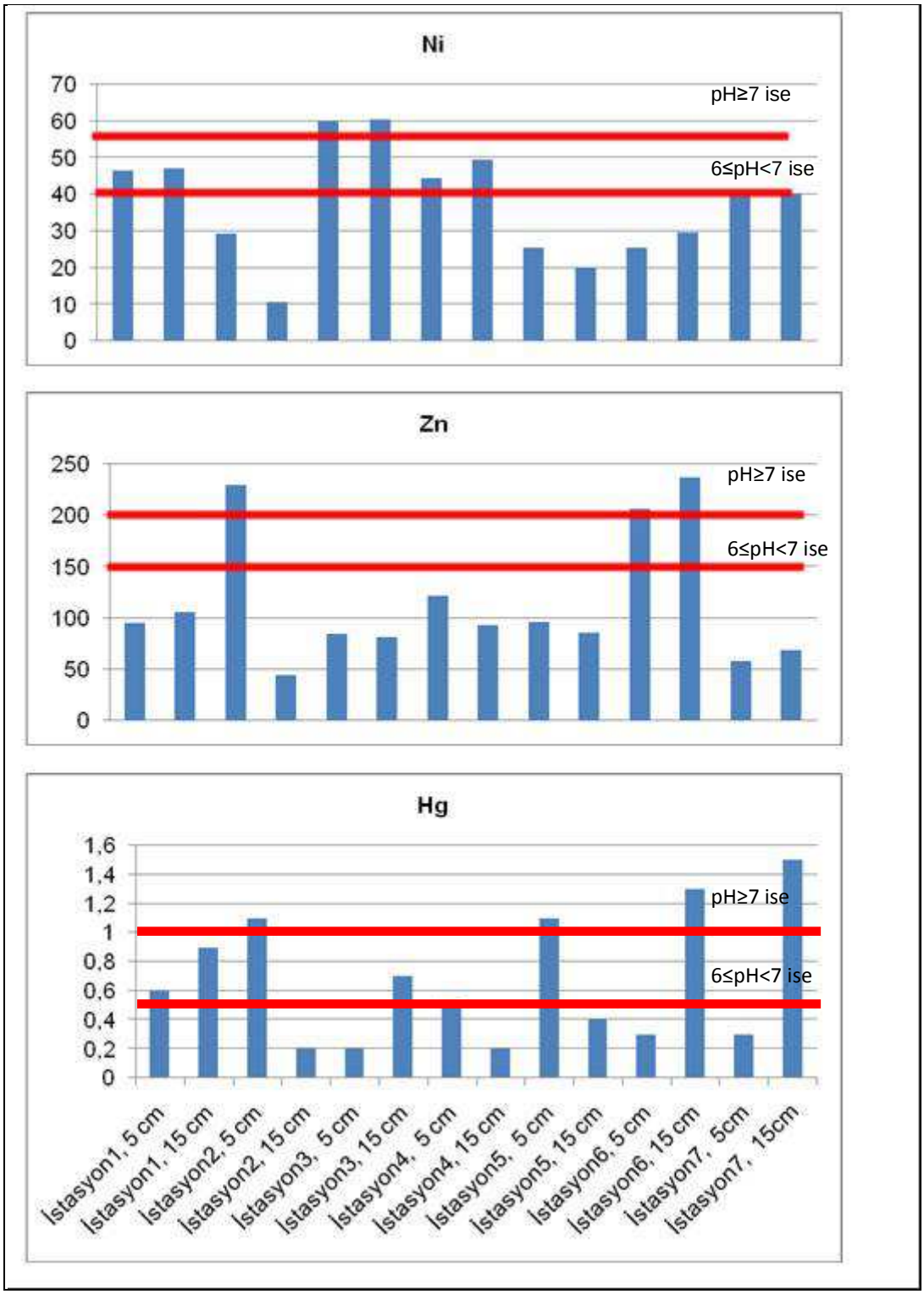
Bu yönetmelikte sadece, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Hg elementleri sınır değerleri verildiğinde bu başlık altında bu elementler değerlendirmeye alınmıştır.

Şekil 4.7'de görüleceği gibi bazı noktalarda sınır değerler aşılmıştır. Ancak daha önce belirlenen pH değerlerine bakıldığına bu değerlerin yönetmelik içinde kaldığı görülmüştür. Sadece, Ni, Hg ve Zn elementleri için birkaç noktada sınır değerini az da olsa geçtiği görülmüştür.

Yönetmelikte pH'a bağlı sınır değerlerinin verildiği Şekil 4.7'de iki sınır değer çizilmiştir. Bakır elementi her iki pH değeri için de sınır değerin altında kaldığı için sınır değer çizilmemiştir.



Şekil 4.7. Toprak elementlerin sınır değerlere göre karşılaştırılması



Şekil 4.7. Toprak elementlerin sınır değerlere göre karşılaştırılması

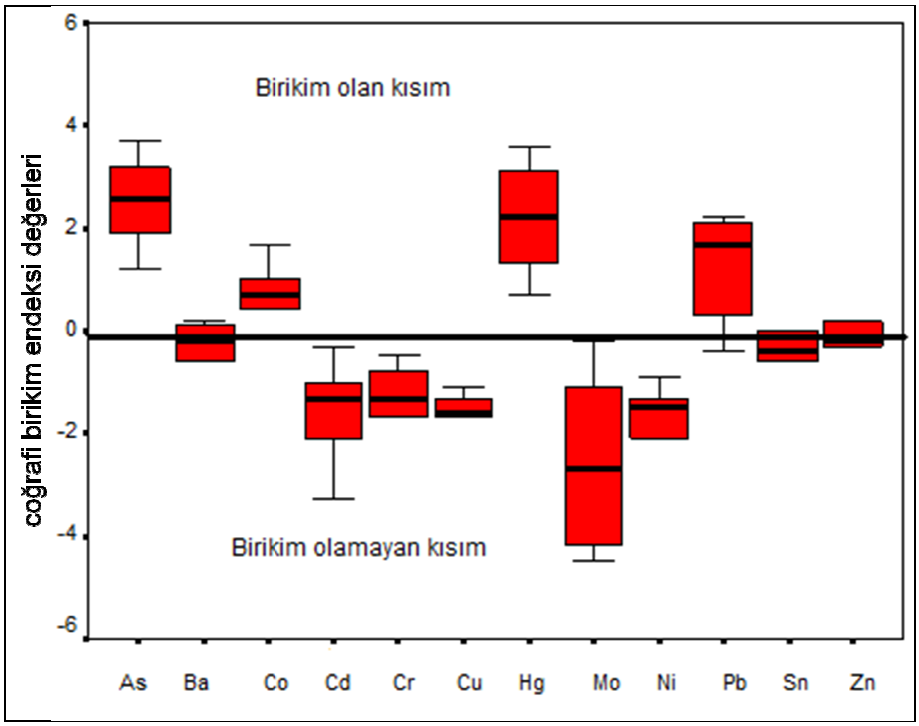
4.5.4. Coğrafi birikim endeksine göre değerlendirme

Çalışma bölgesi için coğrafi birikimi endeksi her bir element için Denklem (4.3) kullanılarak hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 4.7'de verilmiştir. Tablo 3.6'da görüleceği gibi, $I_{ogeo}>0$ ise, kirlenme (birikim) başlamış anlamına gelmektedir. Tabloda bu değerler koyu renkle gösterilmiştir.

Tablo 4.7. Toprak örneklerinde hesaplanan coğrafi birikim endeksi değerleri

Örnek Noktaları	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Sn	Zn
İstasyon1, 5 cm	**3,7**	**0,1**	**0,7**	-0,3	-0,9	-1,5	**2,3**	-0,2	-1,3	**2,1**	0,0	-0,1
İstasyon1, 15 cm	**2,7**	**0,2**	**1,0**	-0,9	-1,1	-1,2	**2,9**	-1,0	-1,3	**1,2**	**0,9**	0,0
İstasyon2, 5 cm	**3,1**	-0,6	**1,4**	-2,2	-1,8	-1,7	**3,2**	-3,5	-1,9	**2,1**	-0,5	**1,1**
İstasyon2, 15 cm	**2,0**	-2,2	**0,4**	-3,3	-3,2	-2,7	**0,7**	-4,5	-3,4	**0,6**	-2,1	-1,2
İstasyon3, 5 cm	**1,9**	0,0	0,0	-1,0	-0,7	-1,1	**0,7**	-4,5	-0,9	**0,2**	-0,2	-0,3
İstasyon3, 15 cm	**1,5**	0,0	-0,6	-1,1	-0,5	-1,2	**2,5**	-4,5	-0,9	**0,2**	-0,4	-0,4
İstasyon4, 5 cm	**2,2**	**0,1**	**1,0**	-1,3	-1,5	-1,2	**2,1**	-0,2	-1,3	**1,5**	**0,6**	**0,2**
İstasyon4, 15 cm	**3,5**	**0,1**	**0,7**	-0,6	-0,7	-1,6	**0,7**	-0,4	-1,2	**1,8**	0,0	-0,2
İstasyon5, 5 cm	**2,6**	-0,1	**0,7**	-1,2	-1,6	-1,5	**3,2**	-1,2	-2,1	**2,1**	-0,4	-0,1
İstasyon5, 15 cm	**2,6**	-0,3	**0,4**	-1,4	-1,8	-1,6	**1,7**	-1,5	-2,5	**2,0**	-0,6	-0,3
İstasyon6, 5 cm	**3,5**	-0,6	**1,7**	-2,1	-2,1	-2,0	**1,3**	-2,9	-2,1	**2,2**	0,0	**1,0**
İstasyon6, 15 cm	**3,3**	-0,7	**1,4**	-2,0	-1,7	-1,6	**3,4**	-3,5	-1,9	**1,9**	-0,7	**1,2**
İstasyon7, 5cm	**1,4**	-0,5	**0,4**	-1,3	-1,0	-2,0	**1,3**	-4,5	-1,5	-0,1	-1,2	-0,9
İstasyon7, 15cm	**1,2**	-0,6	-0,6	-2,1	-0,8	-1,7	**3,6**	-2,5	-1,5	-0,4	-1,3	-0,6
Ortalama değer	**2,7**	-0,3	**0,7**	-1,3	-1,2	-1,6	**2,5**	-1,7	-1,6	**1,5**	-0,3	**0,1**

Tablo 4.7'de verilen sonuçlar değerlendirildiğinde çalışma alanın % 36 sında brikim oluşmaya başlandığı görülmektedir. Ayrıca bu birikim özellikle dört element için dikkat çekicidir. Arsenik, Cd, Hg ve Pb elementleri çalışma alanının genelinde gözükmektedir. Baryum, Zn ve Sn da birikimin sınırında olduğu Şekil 4.8'de görülmektedir.



Şekil 4.8. Coğrafi birikim endeksinin grafiksel olarak gösterimi

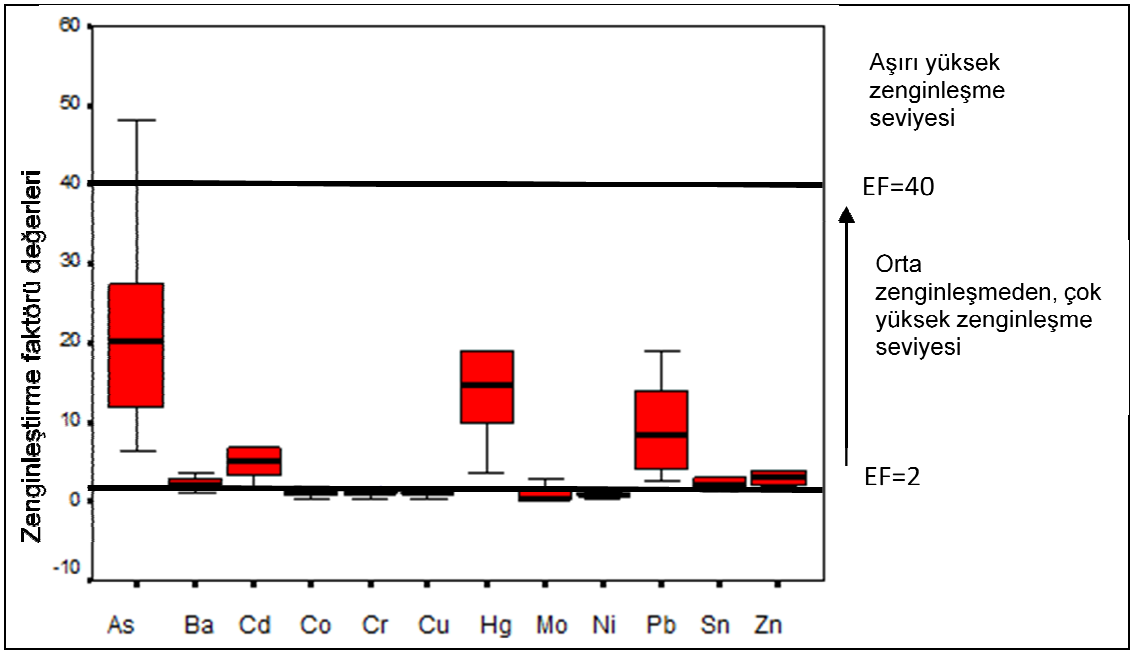
4.5.5. Zenginleşme faktörüne göre değerlendirme

Çalışma bölgesi için zenginleşme faktörü her bir element için Denklem (4.4) kullanılarak hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 4.8'de verilmiştir. Zenginleşme faktörü (EF) değerlendirmesi, EF<2 ise minimum zenginleşme, EF=2-5 arasında ise, orta zenginleşme, EF=5-20 arasında ise, önemli zenginleşme, EF=20-40 arasında ise, çok yüksek zenginleşme ve EF>40 ise, aşırı yüksek zenginleşme olarak sınıflandırılmıştır. Tablo 4.8'de sonuç değerleri 2'den büyük olanlar koyu olarak gösterilmiştir. Yani orta ve yüksek zenginleşme başlayan noktalar belirlenmiştir. Ayrıca her bir element için kutu grafiği çizilerek, Şekil 4.9 de gösterilmiştir.

Tablo 4.8. Toprak örneklerinde hesaplanan zenginleşme faktörleri

Örnek Noktaları	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni	Pb	Sn	Zn
İstasyon1, 5 cm	**24,7**	**2,2**	**3,3**	1,6	1,1	0,7	**9,8**	1,7	0,8	**8,4**	**2,0**	1,8
İstasyon1, 15 cm	**16,6**	**3,0**	**5,2**	1,4	1,2	1,1	**19,7**	1,3	1,1	**6,1**	**4,9**	**2,6**
İstasyon2, 5 cm	**16,7**	1,2	**5,1**	0,4	0,6	0,6	**17,4**	0,2	0,5	**8,3**	1,3	**4,2**
İstasyon2, 15 cm	**37,4**	**2,0**	**12,6**	1,0	1,0	1,5	**15,7**	0,4	0,9	**14,5**	**2,2**	**4,0**
İstasyon3, 5 cm	**8,7**	**2,3**	**2,3**	1,2	1,5	1,1	**3,9**	0,1	1,3	**2,6**	**2,1**	1,9
İstasyon3, 15 cm	**6,5**	**2,3**	1,5	1,0	1,6	1,0	**13,3**	0,1	1,2	**2,6**	1,7	1,8
İstasyon4, 5 cm	**15,4**	**3,6**	**6,8**	1,4	1,2	1,4	**14,2**	**2,9**	1,3	**9,8**	**5,3**	**3,9**
İstasyon4, 15 cm	**23,7**	**2,3**	**3,5**	1,4	1,3	0,7	**3,5**	1,6	0,9	**7,5**	**2,0**	1,9
İstasyon5, 5 cm	**25,5**	**3,8**	**7,0**	1,9	1,4	1,5	**38,4**	1,9	0,9	**17,9**	**3,1**	**3,8**
İstasyon5, 15 cm	**27,9**	**3,7**	**6,1**	1,7	1,3	1,5	**15,3**	1,6	0,8	**18,2**	3,1	**3,7**
İstasyon6, 5 cm	**47,9**	**2,6**	**13,7**	1,0	1,0	1,1	**10,3**	0,5	0,9	**18,9**	**4,1**	**8,1**
İstasyon6, 15 cm	**33,5**	**2,1**	**9,3**	0,8	1,1	1,1	**37,7**	0,3	0,9	**12,7**	**2,2**	**7,9**
İstasyon7, 5cm	**10,6**	**2,7**	**5,3**	1,6	1,9	1,0	**9,8**	0,2	1,4	**3,6**	1,7	**2,2**
İstasyon7, 15cm	**8,0**	**2,3**	**2,4**	0,8	**2,1**	1,1	**45,0**	0,6	1,3	**2,7**	1,4	**2,4**
Ortalama değer	**24,2**	**3,0**	**6,1**	1,5	1,5	1,2	**21,4**	1,1	1,2	**10,3**	**3,1**	**4,0**

Sonuçlara bakıldığında, elementlerin birçoğu orta zenginleşme üzerinde çıkmasına rağmen, yine aynı dört element için önemli zenginleşme seviyesi, hatta çok yüksek zenginleşme seviyesi çıkması dikkat çekicidir.



Şekil 4.9. Zenginleşme faktörlerinin grafiksel gösterimi

4.5.6. Kirlenme faktörü ve derecesi metoduna göre değerlendirme

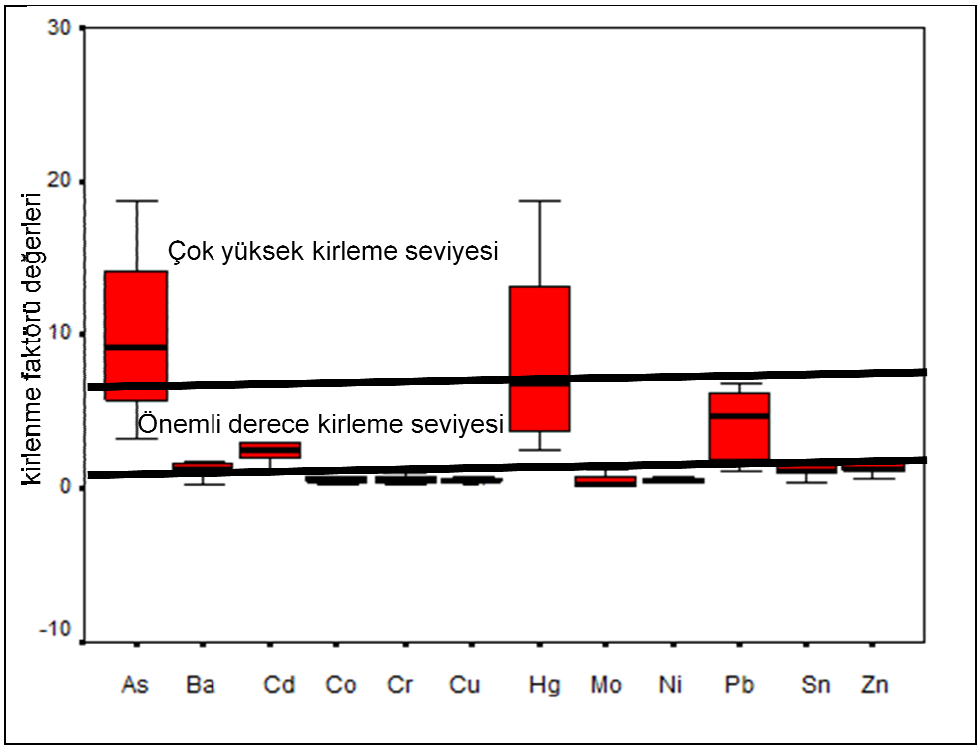
Çalışma bölgesi için kirlenme faktörü ve kirlenme dereceleri, her bir element için Denklem (4.5) ve (4.6) kullanılarak hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 5.9'de verilmiştir. Kirlenme faktörü (C_f) sınıflandırması Tablo 3.7'ye ve kirlenme derecesi (C_d) Tablo 4.8'e göre yapılmıştır. Tablo 3.7'de görüleceği gibi $C_f \geq 1$ ise orta kirlenme seviyesinden başlamakta, $C_f \leq 6$ ise, çok yüksek kirlenme seviyesine kadar ulaşmaktadır. Tablo 4.9'da 1 ve 1'den daha büyük değerler koyu renkle gösterilmiştir. Böylelikle orta kirlenme seviyesinden, çok yüksek kirlenme seviyesi gösterilmiştir.

Aynı zamanda kirlenme derecesi (C_d) olarak bakıldığında ise, Tablo 3.8'de görüleceği gibi sınıflandırma, değerlendirme yapılacak element sayısına bağlıdır. Değerlendirme yapılan element sayısı 12 olduğu için $C_d \geq 12$ orta derece kirlenme seviyesinden, $C_d \leq 48$ çok yüksek kirlenme seviyesi olarak belirlenmektedir. Tablo 4.9'da 12 ve 12'den büyük değerler koyu olarak gösterilmiştir.

Sonuçlar analiz edildiğinde, çalışma alanı için, özellikle As, Hg elementlerinin çok yüksek kirlenme seviyesine gelmiş olduğu, Pb'nun çok yüksek kirlenme seviyesi sınırına ulaştığı, Ba, Cd, Sn ve Zn elementlerinin ise orta kirlenme seviyelerinde bulunduğu Şekil 4.10'da görülmektedir.

Tablo 4.9. Örneklerde hesaplanan kirlenme faktörleri ve kirlenme derecesi

	C_f												C_{deg}
Örnek Noktaları	**As**	**Ba**	**Cd**	**Co**	**Cr**	**Cu**	**Hg**	**Mo**	**Ni**	**Pb**	**Sn**	**Zn**	**$\sum C_{fi}$**
İstasyon1, 5 cm	**18,8**	**1,6**	**2,5**	**1,2**	0,8	0,5	**7,5**	**1,3**	0,6	**6,4**	**1,5**	**1,4**	**44,2**
İstasyon1, 15 cm	**9,5**	**1,7**	**3,0**	0,8	0,7	0,7	**11,3**	0,7	0,6	**3,5**	**2,8**	**1,5**	**36,8**
İstasyon2, 5 cm	**13,2**	**1,0**	**4,0**	0,3	0,4	0,5	**13,8**	0,1	0,4	**6,5**	**1,1**	**3,3**	**44,5**
İstasyon2, 15 cm	**5,9**	0,3	**2,0**	0,2	0,2	0,2	**2,5**	0,1	0,1	**2,3**	0,4	0,6	**14,8**
İstasyon3, 5 cm	**5,6**	**1,5**	**1,5**	0,7	**1,0**	0,7	**2,5**	0,1	0,8	**1,7**	**1,4**	**1,2**	**18,5**
İstasyon3, 15 cm	**4,3**	**1,5**	**1,0**	0,7	1,0	0,6	8,8	0,1	0,8	**1,7**	**1,1**	**1,2**	**22,8**
İstasyon4, 5 cm	**6,8**	**1,6**	**3,0**	0,6	0,5	0,6	**6,3**	**1,3**	0,6	**4,3**	**2,4**	**1,7**	**29,6**
İstasyon4, 15 cm	**16,8**	**1,6**	**2,5**	**1,0**	0,9	0,5	**2,5**	**1,1**	0,7	**5,3**	**1,5**	**1,3**	**35,6**
İstasyon5, 5 cm	**9,1**	**1,4**	**2,5**	0,7	0,5	0,5	**13,8**	0,7	0,3	**6,4**	**1,1**	**1,4**	**38,3**
İstasyon5, 15 cm	**9,1**	**1,2**	**2,0**	0,6	0,4	0,5	5,0	0,5	0,3	**6,0**	**1,0**	**1,2**	**27,8**
İstasyon6, 5 cm	**17,5**	**1,0**	**5,0**	0,4	0,4	0,4	**3,8**	0,2	0,3	**6,9**	**1,5**	**3,0**	**40,2**
İstasyon6, 15 cm	**14,4**	0,9	**4,0**	0,4	0,5	0,5	**16,3**	0,1	0,4	**5,5**	**1,0**	**3,4**	**47,3**
İstasyon7, 5cm	**4,1**	**1,0**	**2,0**	0,6	0,7	0,4	**3,8**	0,1	0,5	**1,4**	0,7	0,8	**16,0**
İstasyon7, 15cm	**3,3**	**1,0**	**1,0**	0,3	0,9	0,4	**18,8**	0,3	0,5	**1,1**	0,6	1,0	**29,2**
Ortalama değer	**9,9**	**1,2**	**2,5**	0,6	0,6	0,5	**8,8**	0,5	0,5	**4,2**	**1,3**	**1,6**	**32,2**



Şekil 4.10. Kirlenme faktörlerinin grafiksel gösterimi

4.5.7. Kaynak paylaşımı

Toprak örneklerinde tespit edilen elementlerin konsantrasyonları ve bu konsantrasyonlara göre hesaplanan zenginleşmeleri, coğrafi birikim endeksleri ve kirlenme faktörlerine göre yapılan değerlendirmeler çalışma bölgesi için kirlenme düzeyleri hakkında bilgi sağlamaktadır. Ancak tespit edilen kirlilik düzeylerine hangi kaynakların katkıda bulunduğunu belirlemek kirliliğe karşı alınacak önlemlerin geliştirilmesi açısından önemlidir. Çalışılan bir bölgede toprak örneklerindeki element konsantrasyonlarına olası kaynak katkılarının paylaşımında en çok kullanılan istatistiksel yöntemlerden biri faktör analizidir.

Bu çalışmada toprak örneklerindeki elementlerin gözlenen düzeylerine katkıda bulunan kaynaklar, SPSS 10.0 istatistik programı yardımı ile oluşturulan faktör analizi modeli kullanılarak kalitatif olarak tahmin edilmiştir. Bu modelde öncelikle her faktörü her değişkenle ilişkilendiren bir faktör matrisi elde edilmektedir. Faktör yükü olarak adlandırılan matristeki sayılar değişkenin (elementin) varyansının ne kadarının verilen faktörle (kaynakla) açıklanabileceğini ifade etmektedir. Hangi değişkenin faktörde yüksek faktör yükü (>0.30) gösterdiğine bakılarak yorum yapılmaktadır. Faktör sayılarının seçiminde ise faktörlerin toplam varyansın en az

%70'ini açıklaması beklenmektedir. Tüm faktörlerle açıklanabilen % varyans ne kadar yüksekse faktör analizi uygulaması o kadar başarılıdır [55].

Toprak örnekleri için 13 değişkenle faktör analizi çalıştırılmış ve özdeğerleri (eigenvalue) 1'den büyük olan 4 faktör seçilmiştir. Herbir faktör farklı kaynak türlerini işaret ettiğinden, toplam 4 kaynak türü örneklerin kompozisyonlarında belirleyici olmuşlardır. Faktör analizi sonuçları Tablo 4.10'de verilmiştir. Seçilen 4 faktörle toplam varyansın %86,6 gibi büyük bir kısmı açıklanabilmiştir. Her elementin faktörlerle açıklanmış varyansının fraksiyonu olan komünalite değerleri tüm değişkenler için 0,75'in üzerinde ve oldukça yüksek değerlerde bulunmuştur.

Tablo 4.10. Faktör analiz sonuçları

Elementler	Faktör 1	Faktör 2	Faktör 3	Faktör 4	Ekstraksiyon (özütleme)
As	0,93				0,94
Ba		0,49	0,81		0,92
Cd	0,89				0,89
Cr		0,74			0,90
Cu			0,91		0,93
Hg				0,96	0,94
Ni		0,60	0,66		0,89
Pb	0,91				0,84
Sn			0,86		0,81
Zn	0,79			0,44	0,85
Fe		0,70			0,75
Nem		0,78			0,79
Organik Madde		0,84			0,80
Özdeğer	5,15	3,65	1,41	1,05	
Varyans (%)	39,6	28,1	10,8	8,1	
Kümülatif (%)	39,6	67,70	78,5	86,6	

Kırsal alanlardaki topraklarda bulunan ağır metallerin başlıca antropojenik kaynağı tarım aktiviteleridir. Toprağın verimini artırmak için kullanılan ve doğrudan toprağa karıştırılan gübreler ve tarımsal ürünlerin korunması için kullanılan pestisitler As, Pb, Cd, Zn gibi metallerin önemli bir kaynağı olabilir. Tarımsal aktivitelerin yanında diğer insan aktiviteleri de topraktaki metallerin zenginleşmesine neden olabilmektedir. Özellikle trafik, endüstriyel aktiviteler ve ısınma amacıyla kullanılan yakıtların yakılması sonucunda ortama yayılan metaller topraklardaki metallerin zenginleşmesine oldukça önemli katkılar sağlamaktadır.

Toprak örneklerinde toplam varyansın % 39,6'sını açıklayan 1. Faktörde, As 0,93; Cd 0,89; Pb 0,91 ve Zn 0,79 gibi yüksek faktör yükleri göstermektedir. Tarım

topraklarında verimi artırmak amacıyla kullanılan fosforlu gübreler, topraktaki As, Cd ve Pb' nun en önemli kaynaklarından biridir [56]. Aynı şekilde Zn, verimi artırmak için gübrelere ilave edilmektedir. Topraklara Cd'un % 54-58'nin fosforlu gübrelerden, % 39-47'sinin atmosferden, % 2-5'inin kanalizasyon atıklarının kullanımından kaynaklandığı bildirilmiştir [57]. Pestisitler de As ve Pb içermektedir ve bilinçsizce aşırı miktarda kullanılan pestisitler nedeniyle bu metallerin toprakta birikimi söz konusu olmaktadır. Bu çalışmada analiz edilen toprak örneklerinin tarım aktivitelerinin yapıldığı kırsal alanlardan alınması, öncelikli kaynağın gübre ve pestisit kullanımı olduğuna işaret etmektedir. Ancak bu elementler aynı zamanda kömür ve petrol gibi fosil yakıtlarından yanması sonucu da ortam havasına önemli miktarda salınmakta ve atmosferik çökelme mekanizmaları ile toprakta birikim gösterebilmektedir. [58, 59]. Bu nedenle Faktör 1 "Tarımsal Aktiviteler ve Fosil Yakıt Yanması" olarak tahmin edilmiş ve bu şekilde adlandırılmıştır.

Faktör 2, temiz toprak elementleri ile nem ve organik maddenin yüksek yüklerle bulunduğu bir faktördür. Toplam varyansın %28'i bu faktörle açıklanmaktadır. Bu faktörde 0,74 faktör yükü ile bulunan Cr ve 0,60 faktör yükü ile bulunan Ni hem toprağın yapısından hem de antropojenik kaynaklardan gelebilecek elementlerdir. Ancak Cr ve Ni'in aynı faktörde birlikte bulunması bu elementlerin topraktaki benzer fiziko-kimyasal davranışı nedeniyle olabilmektedir. Krom ve Ni arasındaki korelasyon katsayısının 0,93 gibi yüksek bir değerde olması (Tablo 4.8) ve çalışma bölgesinde mekansal olarak benzer dağılım göstermeleri de (Şekil 4.7) bunu desteklemektedir. Bazı kayaç türlerinin Cr ve Ni içeriklerinin fazla miktarda olduğu bilinmektedir [60]. Bu elementler için hesaplanan coğrafi birikim endeksi değerlerinin sıfırdan küçük olması (Tablo 4.10) ve zenginleşme faktörlerinin 2'nin altında olması da (Tablo 4.11) Cr ve Ni'in bölgenin toprak yapısından kaynaklanabileceğini göstermektedir. Toprak elementi Fe ile birlikte Cr, Ni, nem ve organik maddenin de bu faktör altında yüksek yüklerle bulunması nedeniyle Faktör 2 "Temiz Toprak" olarak ifade edilmiştir.

Faktör 3, Ba, Cu, Ni ve Sn'ın yüksek yüklerle bulunduğu bir faktördür. Toplam varyansın yaklaşık % 11'i üçüncü faktörle açıklanmaktadır. Faktör altında yüksek yüklerle bir arada bulunan elementler arasında yüksek bir korelasyon bulunmaktadır ve çalışma bölgesinde bu elementlerin olası kaynakları dikkate alındığında başlıca boya, demir-çelik, deterjan üretimi, tekstil gibi sanayiler dikkat çekmektedir. Ba ve Sn için zenginleşme ve kirlilik faktörleri dikkate alındığında bazı örnekleme noktalarında orta dereceli zenginleşmenin ve orta seviyede kirlenmenin olduğu

gözlenmektedir. Bu iki elemente ilave olarak Cu ve Ni'in de bu faktörde yer alması endüstriyel kaynaklara işaret etmektedir. Yukarıda adı geçen tüm endüstriyel faaliyetlerin çalışma bölgesine yakın mesafelerde bulunması nedeniyle bu faktör "Endüstri" faktörü olarak adlandırılmıştır.

Toplam varyansın % 8'ini açıklayan 4. Faktör, Hg ve Zn elementlerinden oluşmaktadır. Cıvanın faktör yükü 0,96 gibi oldukça yüksek iken Zn'nun faktör yükü 0,44 gibi orta seviyede çıkmıştır. Cıva ve Zn arasındaki korelasyon incelendiğinde (Tablo 4.6) bu iki element arasında pozitif ancak düşük bir korelasyonun olduğu görülmektedir. Zenginleşme faktörlerine göre değerlendirildiklerinde Zn orta bir zenginleşme gösterirken, Hg önemli ve çok yüksek bir zenginleşmeye sahiptir (Tablo 4.9). Kirlenme faktörüne göre de yine Zn için orta kirlenme seviyeleri ve Hg için çok yüksek kirlenme seviyeleri gözlenmektedir (Tablo 4.10). Bu değerlendirmelere göre Faktör 4'ün antropojenik kaynaklı olduğu söylenebilir. Cıva ve Zn için konsantrasyon dağılımları incelendiğinde, Hg konsantrasyon dağılımları ile Faktör 4'e ait faktör skorlarının dağılım haritasının çok benzer olduğu dikkat çekmektedir. Dolayısıyla bu faktör ağırlıklı olarak Hg'ya göre değerlendirilebilir. Cıvanın başlıca kaynakları doğal jeokimyasal prosesler ve antropojeniktir [61]. En önemli antropojenik kaynakları kömür yakan güç santralleri, seramik ve çimento üretim tesisleri ve floresan lamba üretimidir [62]. Cıva, Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik Ek-2: Kirlilik Gösterge Parametreleri Listesi, Potansiyel Toprak Kirletici Faaliyetler ve Faaliyete Özel Kirlilik Gösterge Parametreleri arasında yer alan ağır metaller arasındadır ve Hg'nın kaynakları arasında başlıca kok kömürü, rafine edilmiş petrol ürünleri, gıda ürünleri ve içecek imalatı, deterjan ve sabun üretimi, plastik ürünlerin üretimi, çimento üretimi ve geri dönüşüm tesisleri ifade edilmektedir. Çalışma bölgesine yakın bir mesafede bu faaliyetlerin birçoğu yapılmaktadır. Bu nedenle Faktör 4 "Endüstri" kaynağı olarak adlandırılmıştır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; Türkiye'nin en önemli sanayi bölgelerinden biri olan Kocaeli kentine bağlı yedi köyden alınan toprak örneklerinin nem, organik madde, pH ve elemental analizleri yapılmıştır. Her örnek noktası için belirlenen pH değerleri 5,2 ile 7,8 arasında bulunmuştur. Toprak nemi ile organik madde miktarları belirlenmiştir. Bunlar arasında pozitif bir ilişkinin olduğu görülmüştür. Her bir element için birbirleri ile, toprak nem ve organik madde ilişkilerini belirlemek için, SPSS programı kullanılarak korelasyon oluşturulmuştur. Toprak nem içeriği ile organik madde değerleri arasındaki korelasyon katsayısı 0,63 olarak bulunmuştur. Her element için korelasyon katsayıları belirlenmiştir. Arsenik ile Cd, Zn, Mn arasında, Ba ile Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Sn, Na, Fe arasında, Cd ile Pb, Zn, Mn arasında, Co ile Cr, Cu, Mo, Ni, Fe arasında, Cr ile Cu, Ni, Na, Fe arasında, Cu ile Ni, Pb, Al, Na, Fe arasında, Mo ile Pb, Mn arasında, Ni ile Zn, Na, Fe arasında, Pb ile Zn, Mn arasında, Zn ile Mg arasında, Al ile Fe arasında, Na ile Mg arasında, Fe ile organik madde arasında güçlü korelasyon katsayıları belirlenmiştir.

Toprak örnekleri içerisinde bulunan element miktarlarının, 8 Haziran 2010 Salı, 27605 sayılı Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmeliğe göre referans değerden sapma değerleri hesaplanmıştır. Referans değer olarak her bir elementin alınan örneklerden bulunan değerlerin ortalaması alınarak belirlenmiştir. Sapma değerlerinin yaklaşık % 48'si 1 ve 1 den büyük çıkmıştır. Bu sonuç da bize bu örnek noktaları için, ikinci aşama değerlendirme sürecine tabi takip gerektiren saha anlamına gelmektedir. Ölçümlerin tekrar edilmesi ve bu noktaların tekrar değerlendirilmesi gerekmektedir. Çalışma bölgesinde örnek alınan noktalar tek tek incelendiğinde ise, istasyon1, istasyon3 ve istasyon4 bölgeleri için bulunan sonuçlara bakıldığında sapma değerlerinin % 60 dan daha fazlası 1'den büyük çıkmıştır. Öncelikle bu üç bölgenin ölçümlerinin tekrar edilmesi gerektiği sonucunu çıkarmıştır. İstasyon6'dan alınan toprak örneklerinin sonuçlarının değerlendirilmesi sonucu ise, sapma değeri 1 ve 1den büyük çıkma oranı %50 civarında çıkmıştır. Elementler açısından tek tek incelendiğinde ise sapma değerleri 1 den büyük çıkan ve oran olarak % 50'den büyük olan elementler; Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Mn olarak belirlenmiştir.

Ayrıca sonuçlar, 3 Ağustos 2010 Salı, 27661 sayılı, Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelikte verilen sınır değerlere göre karşılaştırılmış bazı noktalarda sınır değerlerin aşıldığı görülmüştür ancak daha önce belirlenen pH değerlerine bakıldığına bu değerlerin yönetmelik içinde kaldığı görülmüştür.

Bunun yanı sıra son yıllarda kullanılan metotlar olan coğrafi birikim endeksi, zenginleşme faktörü, kirlenme faktörü ve kirlenme dereceleri yöntemleri kullanılarak her bir örnek noktası için değerlendirme yapılmıştır. Bu sonuçlara bakıldığında da özellikle dört element ilgi çekicidir. Dört yöntemde bulunan sonuçlar As, Cd, Hg ve Pb önemli derece kirlenme oluşturmaya başladığı görülmüştür. Diğer elementler ise orta kirlenme seviyelerinde çıkmıştır.

Bu çalışmada toprak örneklerindeki elementlerin gözlenen düzeylerine katkıda bulunan kaynaklar, SPSS 10.0 istatistik programı yardımı ile oluşturulan faktör analizi modeli kullanılarak kalitatif olarak tahmin edilmiştir. Bu modelde öncelikle her faktörü her değişkenle ilişkilendiren bir faktör matrisi elde edilmektedir. Toprak örnekleri için 13 değişkenle faktör analizi çalıştırılmış ve özdeğerleri 1'den büyük olan 4 faktör seçilmiştir. Herbir faktör farklı kaynak türlerini işaret ettiğinden, toplam 4 kaynak türü örneklerin kompozisyonlarında belirleyici olmuşlardır. Seçilen 4 faktörle toplam varyansın %86,6 gibi büyük bir kısmı açıklanabilmiştir. Her elementin faktörlerle açıklanmış varyansının fraksiyonu olan komünalite değerleri tüm değişkenler için 0,75'in üzerinde ve oldukça yüksek değerlerde bulunmuştur. Faktör 1, tarımsal aktiviteler ve fosil yakıt yanmasından kaynaklı, faktör 2, temiz toprak elementleri, faktör 3 ve faktör 4, endüstri kaynaklı kirleticiler olarak belirlenmiştir.

Bu çalışmada sanayi şehri olan Kocaeli ilinin tarım alanlarının sanayiden etkilendiği, eğer önlem alınmazsa etkinin olumsuzluklar doğuracağını göstermektedir. Bu bölgelerde bitkisel yollarla toprak temizleme metodu kullanılması önerilir.

KAYNAKLAR

[1] Ayberk H. S., "Toprak Ekosistemlerinde Degredasyon ve Rehabilitasyon Toprak Ekosistemlerinde Degredasyon ve Rehabilitasyon" ders notları.

[2] Bakırcıoğlu D., Toprakta Makro Ve Mikro Element Tayini, Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, 2009, 256239.

[3] Karaçal İ., *Toprak Verimliliği*, 1. Baskı, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 2008.

[4] Aydın M., Kılıç Ş., *Toprak Bilimi*, 1. Baskı, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 2010.

[5] www.tarimreformu.gov.tr/library/belge/b_Toprak_Bitki_Su.pps, (Ziyaret Tarihi: 15 Mayıs 2011).

[6] Training course series 30, Field estimation of soil water content, A Practical Guide to Methods, Instrumentation and Sensor Technology, IAEA, Vienna, 2-8, 2008.

[7] Küp F., TDR Cihazının Kalibrasyonunun Yapılması Ve Sulama otomasyonuna Uygun Hale Getirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa, 2009, 237403.

[8] http://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/publications/CIMO-Guide /CIMO %20Guide %207th%20Edition, %202008/Part%20I/Chapter%2011.pdf, (Ziyaret Tarihi: 15 Şubat 2011).

[9] Tülin Y., Toprak su içeriğinin ve yarayışlı su düzeylerinin TDR (time domain reflectometry) ile ölçülmesi ve aletin çeşitli toprak bünye sınıflarında kalibrasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2005, 197998.

[10] Toprak Kalitesi - Kütle Esasına Göre Kuru Madde Ve Su Muhtevasının Tayini - Gravimetrik Metot, *TS ISO 11465*, Kasım 1997.

[11] Toprak Kalitesi - Toprak Rutubetinin Hacim Esasına Göre Tayini - Gravimetrik Metot, *TS ISO 11461*, Nisan 1997.

[12] Toprak Kalitesi - Gözenek Suyu Basıncının Tayini -Tansiyometre metodu, *TS ISO 11276*, Nisan 1997.

[13] Chow L., Xing Z., Rees H.,W. Meng, F., Monteith J., and Stevens L., Field Performance of Nine Soil Water Content Sensors on a Sandy Loam Soil in New Brunswick, Maritime Region, Canada, *Sensors,* 2009*,* **9,** 9398-9413.

[14] Toprak Kirliliğinin Kontrolü Ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik, *27605 sayılı,* 8 Haziran 2010.

[15] Evsel ve Kentsel Arıtma Çamurlarının Toprakta Kullanılmasına Dair Yönetmelik, *27661 sayılı,* 3 Ağustos 2010.

[16] Council Directive of 12 June 1986, On the protection of the environment, and in particuluar of the soil, when swage sludge is used agriculture, *(86/278 EEC), Official Journal of the European Comminities*, No L 181,6.

[17] Heavy Metals And Organic Compounds From Wastes Used As Organic Fertilisers, Ref.Nr.: TEND/AML/2001/07/20***,*** *Final Report*, July 2004.

[18] Delft W. V., Vos G., Comparison Of Diegestion Procedures Fort He Determination Of Mercury in Soils By Cold-Vapour Atomic Absorption Spectrometry, *Analytıca Chimica Act****,*** 1998, **209*,*** 147-156

[19] Uysal E., Gebze ve Civarındaki Yüzey Sularının Kalitesinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, GYTE, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2010, 271579.

[20] Türkoğlu B., Toprak Kirlenmesi Ve Kirlenmiş Toprakların Islahı, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2006, 183667.

[21] Ten Kh., Kirienko O. A., and Imranova E. L., Effect of Photosynthetic Bacteria and Compost on Degradation of Petroleum Products in Soil, *Institute of Aquatic and Ecological Problems, Far East Division, Russian Academy of Sciences*, Khabarovsk, Russia.

[22] Atay S., Özkaraova Güngör B. E. ve Böke Özkoç H., Toprak Kirliligi Kontrolünde Yıkama Teknolojilerinin Yeri ve Uygulanabilirligi, *VII. Ulusal Çevre Mühendisligi Kongresi*, İzmir, 24-27 Ekim 2007.

[23] Vanlı Ö., Yazgan M., Ağır metallerle kirlenmiş toprakların temizlenmesinde fitoremediasyon tekniği, [online], http://www.tarimsal.com/ fitoremediasyon / fitoremediasyon .htm, (Ziyaret Tarihi: 15 Şubat 2011).

[24] Yilmaz F., Yilmaz Z., Ergin M., Erkol Y., Müftüoğlu E., Karakalle B., Heavy Metal Concentrations in Surface Soils of Izmit Gulf Region, Turkey, *Journal Of Trace And Mıcroprobe Techniques,* 2003, **21** (3), 523-531.

[25] Abanuz G.,Heavy Metal Contamination Of Surface Soil Around Gebze İndustrial Area, Turkey, *Microchemical Journal****,*** 2011, **99*,*** 82–92.

[26] Özkul C., İzmit (Kocaeli) Civarında Endüstrileşmenin Toprak Ağır Metal Derişimine Etkisi, *Uygulamalı Yerbilimleri,* **2**, Ekim-Kasım 2008.

[27] Özkan G., Endüstriyel Bölge Komşuluğunda Kıyısal Kırsal Alandaki Hava Kalitesi; Muallimköy'de Partikül Maddede Ve Topraktaki Ağır Metal Kirliliği, Yüksek Lisans Tezi, GYTE, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2009, 245299.

[28] Duru N., Dökmen F., Canbay M., Kurtuluş C., Soil productivity analysis based on a fuzzy logic system, *J Sci Food Agric****,*** 2010, **90**, 2220-2227.

[29] Aydinalp C., FitzPatrick E., A., Cresser M. S., Heavy Metal Pollution in Some Soil and Water Resources of Bursa Province, Turkey, *Communications in Soil Science and Plant Analysis,* 2005, **36*,*** 1691–1716.

[30] Malkoç S., Yazıcı B., Koparal S. A., Assessment Of The Levels Of Heavy Metal Pollution In Roadside Soils Of Eskişehir, Turkey, *Environmental Toxicology and Chemistry,* 2010*,* **29** (12)*,* 2720–2725.

[31] Yalçın M. G., Battaloğlu R., Investigation of Heavy Metals Pollution along the Nigde-Kayseri Road, *Asian Journal of Chemistry,* 2007, 19 (3), 2257-2264.

[32] Yalçın M. G., Battaloğlu R., İlhan S., Tümüklü A., Topuz D., Heavy Metals Contamination along the Nigde-Adana Highway, Turkey, *Asian Journal of Chemistry,*2007, **19** (2), 1506-1518.

[33] Önder S., Dursun S., Gezgin S., Demirbaş A., Determination of Heavy Metal Pollution in Grass and Soil of City Centre Green Areas (Konya, Turkey), *Polish J. of Environ. Stud*., 2007*,* **16** (1)*,* 145-154.

[34] Özbaş E. E., Heavy metals in surface soils of groves: A study from Istanbul, *Scientific Research and Essays,* 2011, **6** (7), 1667-1672.

[35] Aktaş K. Y., Kocabaş A., Heavy metal content of roadside soil in Edırne, Turkey, *Analytical Letters*, 2010, **43**, 1869–1878.

[36] Yay O.D., Tuncel G., Ankara'da Toprak kirliliği ve kaynakları, *Dördüncü Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi*, İçel, 7-10 Kasım 2001.

[37] Apaydın A., Sanayiden kaynaklanan toprak kirliliğinin araştırılması: Samsun-Tekkeköy bölgesi, Yüksek lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2005, 197128.

[38] Dağdeviren Ş., Çorlu ve civarındaki topraklarda ağır metal konsantrasyonunun belirlenmesi ve sonuçlarının yapay sinir ağları ile değerlendirilmesi, Yüksek lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, 2007, 216570.

[39] Yılmaz M., Active microwave remote sensing of soil moisture: a case study ın kurukavak basin, Doktora Tezi, ODTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2008, 238583.

[40] Angelov G. B., Heavy metal pollution in the Boatin reserve (Bulgaria), *Turk J Bot,* 2008, **32,** 155-160.

[41] Francesca V., Osvaldo F., Stefono P., Paola R. P., Soil moisture measurements: comparison of ınstrumentation performances, *Journal Of Irrigation And Drainage Engineering Asce,* 2010, 81-88.

[42] Stacheder M., Koeniger F., Schuhmann R., New dielectric sensors and sensing techniques for soil and snow moisture measurements, *Sensors,* 2009*,* **9,** 2951-2967.

[43] Nıkolıć D., Mıloševıć N., Živkovıć Z., Mıhajlovıć I., Kovačevıć R., Petrovıć N., Multi-criteria analysis of soil pollution by heavy metals in the vicinity of the copper smelting plant in bor (Serbia), *J. Serb. Chem. Soc.,*2011, **76** (4), 625–641.

[44] Hernandeza L., Probsta A., Probsta J. L., Ulrichb E., Heavy metal distribution in some French forest soils: evidence for atmospheric contamination.

[45] Loskaa K., Wiechulab D., Korusa İ., Metal contamination of farming soils affected by industry, *Environment International,* 2004, **30***,* 159–165.

[46] Shakeri A., Moore F., Modabberi S., Heavy metal contamination and distribution in the Shiraz industrial complex zone soil, South Shiraz, Iran, *World Applied Sciences Journal,* 2009*,* **6** (3), 413-425.

[47] Bini C., Sartori G., Wahsha M., Fontana S., Background levels of trace elements and soil geochemistry at regional level in NE Italy, *Journal of Geochemical Exploration,* 2011*,* **109***,* 125-133.

[48] Hakkanson L., An ecological risk ındex for aquatic pollution control. a sedimentological approach, *Water Research,* 1979, **14**, 975 – 1001.

[49] Kocaeli İl Çevre Durum Raporu, Kocaeli Valiliği İl Çevre Ve Orman Müdürlüğü, 2009.

[50] Toprak Kalitesi - Örnek Alma -Bölüm 6 - Toprakların Aerobik Mikrobiyal Faaliyetlerinin Laboratuvar Şartlarında Değerlendirilmesi İçin Örnek Alma, Taşıma ve Muhafaza Kılavuzu, *TS ISO 10381-6,* 1997.

[51] Heiri O., Lotter A. F., Lemcke G.; Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results, *Journal of Paleolimnology**,*** 2001, **25,** 101–110.

[52] Toprak Kalitesi-pH Tayini, *TS 8332 ISO 10390*, 1995.

[53] Baykul Y., *İstatistik Metotlar ve Uygulamalar*, Anı Yayıncılık, Ankara,1999.

[54] Binici B., Yağmur suyunda pah ve pestisit tayini ve alıcı ortam modellemesi, Yüksek lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2005, 233135.

[55] Pekey H., Dil Deresi'nin İzmit körfezi yüzey sediment kalitesine olan etkilerinin alıcı ortam modellemesi ile belirlenmesi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2003, 135978.

[56] Köleli N. Kantarcı Ç., Fosfat kayası, fosforik asit ve fosforlu gübrelerdeki toksik ağır metal (Cd, Pb, Ni, As) konsantrasyonu, *Ekoloji Dergisi,* 2005**, 55**, 1-5.

[57] Alloway B.J., Heavy metals in soils, *Senior lecturer in environmental science,* Queen Mary and Westfield College, University of London, Halsted Pres John Wiley & Sons, Inc., New York.

[58] Keegan T.J., Farago M.E., Thornton I., Hong B., Colvile R.N., Pesch B., Jakubis P., Nieuwenhuijsen W., Dispersion of As and selected heavy metals around a coal-burning power station in central Slovakia, *Science of the Total Environment***,** 2006**, 358**, 61-71.

[59] Wang S.L., Mulligan C.N., Occurrence of arsenic contamination in Canada: Sources, behavior and distribution, *Science of the Total Environment***,** 2006, **366,** 701-721.

[60] Facchinelli A., Sacchi E., Mallen L., Multivariate statistical and GIS –based approach to identify heavy metal sources in soils, *Environmental Pollution***,** 2001, **114**, 313-324.

[61] USEPA, Mercury Study Report to Congress,1997, EPA-452/R-97-005, http://www.epa.gov/mercury/report.htm, (Ziyaret Tarihi: 05 Mayıs 2012).

[62] Zhang L., Wong M.H., “Environmental mercury contamination in China: sources and impacts, *Environment International,* 2007, **33,** 108–121.

KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

[1] **Uytun A.**, Pekey B., Uysal E., Cankur O., Kartal Doğan A., Kocaeli Kentinde Seçilen Kırsal Bölgelerde Toprak Kirliliğinin Araştırılması, *9. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi* , Samsun, 05-08 Ekim 2011.

[2] Kartal Dogan A., Bonnier G., **Uytun A.**, Kocas I., Durgut Y., Toward Carbon Dioxide Vapour Pressure Thermometer, *International Journal of Thermophysics*, 2011, **32** (11), 2230-2238.

[3] Peruzzi A., Bosma R., Kerkhof O., Rosenkranz P., Del Campo Maldonado M.D., Strnad R., Nielsen J., Anagnostou M., Zvizdic D., Grudnewicz E., Nedea M., Neagu D.M., Steur P., Filipe E., Lobo I., Antonsen I., Renaot E., Heinonen M., Weckstrom T., Bojkovski J., Turzo-Andras E., Nemeth S., White M., Tegeler E., Dobre M., Duris S., Kartal Dogan A., **Uytun A.**, Augevicius V., Pauzha A., Pokhodun A., Simic S., EURAMET T.K7 Key Comparison of Water Triple Point Cells, *International Journal of Thermophysics*, 2011, **32** (11-12), 2516-2532, DOI: 10.1007/s10765-011-1048-1.

[4] Kartal Dogan A., Bonnier G., **Uytun A.**, Kocas I., Durgut Y., Towards Carbon Dioxide Vapour Pressure Thermometer, *The 11th International Syposium on Temperature and Termal Measurement in Industry and Science TEMPMEKO & ISHM*, Portoroz, Slovenya, May 31-June 4 2010

[5] **Uytun A**., Oğuz Aytekin S., Kartal Doğan A., Mahmoud E. E., Ahmed M.G., Ali K., Bilateral Comparison Of The Dew Point Meter In The Dew/Frost Range From -60 ℃ To 60 ℃ DP/FP Between TUBITAK UME And NIS, *The 11th International Syposium on Temperature and Termal Measurement in Industry and Science TEMPMEKO& ISHM*, Portoroz, Slovenya, May 31-June 4 2010

[6] Heinonen M., Anagnostou M., Bell S., Stevens M., Benyon R., Bergerud R. A., Bojkovski J., Bosma R., Nielsen J., Böse N., Cromwell P., Kartal Dogan A., Aytekin S., **Uytun A.**, Fernicola V., Flakiewicz K., Bertrand B., Hudoklin D., Jacobson P., Kentved A., Lóio I., Mamontov G., Masarykova A., Mitter H., Mnguni R., Otych J., Steiner A., Zsófia N. S., Zvizdic D., Investigation Of The Equivalence Of National Dew-Point Temperature Realizations In The Range -50 ℃ To +20 ℃, *The 11th International Syposium on Temperature and Termal Measurement in Industry and Science TEMPMEKO & ISHM*, Portoroz, Slovenya, May 31-June 4, 2010.

[7] Kartal D. A., **Uytun A.**, Kalemci M., Özdemir K., Interlaboratory comparison of Digital Thermometer between the temperature range from -40 ℃ to 420 ℃, *IMEKO World Congress Fundamentals and Applied Metrology*, Lisbon Portugal, September 6-11, 2009.

[8] **Uytun A.**, Kartal D. A, Construction of UME Made Humidity Fixed Points(The use of salt solutions as comparison medium), *International Metrology Conference CAFMET*, Tunisia, April 21-25, 2008.

[9] **Uytun A.**, Kartal D. A, Recent Developments in Tubitak Ume-Made Triple Point of Water Cells, *International Metrology Conference CAFMET* , Tunisia, April 21-25, 2008.

[10] Heinonen M., Aytekin S., **Uytun A.**, Bilateral Comparison Of The Humidity Standards Between Ume And Mikes, *Tempmeko*, Kanada, 2007.

[11] Uğur S., Özcan K., **Uytun A.,** Sün Banyosu, *VI. Ulusal Ölçüm Bilim Kongresi,* Eskişehir, 17-18 Kasım, 2005.

[12] Uğur S., **Uytun A.**, Nem Ölçümleri, *VI. Ulusal Ölçüm Bilim Kongresi*, Eskişehir, 17-18 Kasım, 2005.

[13] Renaot E., Bonnier G., **Uytun A**., Ugur S., Comparison of Realizations of the Triple-Point of Water (Euromet Project No 549), *Tempmeko*, Dubrovnik Croatia, June 22-25, 2004.

[14] Uğur S., **Uytun A.**, Fernicola V. C., Banfo M., Measurements of Humidity Standards at UME (Turkey) and at IMGC-CNR (Italy). A Bilateral Comparison, *Tempmeko*, Dubrovnik Croatia, June 22-25, 2004.

[15] **Uytun A.**, Kartal D. A. and Ugur S., Construction And Characterization Of The Ume Made Water Triple Point Cells, *XVII IMEKO World Congress*, Dubrovnik, Croatia, June 22-28, 2003.

[16] Uğur S., **Uytun A.**, Characterization Of The UME Two-Pressure Humidity Generator, I*SHM Papers from the 4th International Syposiumon Humidity and Moisture*, Taiwan, 2002.

[17] Kartal D. A, **Uytun A.**, Abacıoğlu U., Sıvı-Cam Termometreler, *III. Ulusal Ölçüm Bilim Kongresi,* Eskişehir, 7-8 Ekim 1999.

ÖZGEÇMİŞ

1972 Kahramanmaraş Pazarcık'da doğdu. İlk orta ve lise öğrenimi Gaziantep'te tamamladı. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünden 1997 yılında mezun oldu.

1998 yılında TÜBİTAK UME Sıcaklık Grubu Laboratuvarında çalışmaya başladı. Halen bu laboratuarda çalışmalarına devam etmektedir. Çalışma konuları, sıcaklık ölçümleri ve nem ölçümleri ana konuları içerisinde yer alan: Sıcaklık Sabit noktaları, Suyun Üçlü Noktası, Standart Platin Direnç termometresi, Direnç termometreleri, Isılçift, Cam termometreleri vb., ayrıca çiy noktası ölçerler, bağıl nem ölçerler ve diğer nem ölçen cihazlardır.

Bunların yanı sıra sıcaklık ve nem ölçümleri konusunda ulusal ve uluslararası karşılaştırmalar hazırlamış ve katılmıştır. 2009 yılından bu yana TURKAK sıcaklık ve nem ölçümleri konusunda teknik denetçi olarak görev almaktadır.