

**KIRKA (ESKİŞEHİR) BOR İŞLETMESİNİN TOPRAK VE SULAR
ÜZERİNDEKİ ÇEVRESEL ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**INVESTIGATION OF ENVIRONMENTAL EFFECTS OF KIRKA
(ESKİŞEHİR) BORON MINE ON SOIL AND WATER**

M. TANJU BAŞARAN

Doç. Dr. Dilek TÜRER

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü
DOKTORA TEZİ olarak hazırlanmıştır

2015

M.TANJU BAŞARAN'ın hazırladığı “**KIRKA (ESKİŞEHİR) BOR İŞLETMESİNİN TOPRAK VE SULAR ÜZERİNDEKİ ÇEVRESEL ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. C. Serdar BAYARI

Başkan

.....

Doç.Dr. Dilek TÜRER

Danışman

.....

Prof. Dr. N. Nur ÖZYURT

Üye

.....

Doç. Dr. Aykut AKGÜN

Üye

.....

Yrd. Doç. Dr. Emrah PEKKAN

Üye

.....

Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **DOKTORA TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Fatma SEVİN DÜZ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversitede veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

24 / 12 / 2015

M.TANJU BAŞARAN

ÖZET

KIRKA (ESKİŞEHİR) BOR İŞLETMESİNİN TOPRAK VE SULAR ÜZERİNDEKİ ÇEVRESEL ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

M. TANJU BAŞARAN

Doktora, Jeoloji Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Doç.Dr. Dilek TÜRER

Tez Eş Danışmanı: Prof.Dr. Candan GÖKÇEOĞLU

Aralık 2015, 99 Sayfa

Bor, endüstrideki yaygın kullanım alanı ile kıymetli bir doğal kaynaktır. Yeryüzündeki bor yataklarının önemli bir bölümü Türkiye'nin batısındaki Neojen Havzalarında bulunmaktadır. Mevcut bor işletmelerinde üretilen ürünlerden elde edilen gelir ile ülke kalkınmasına fayda sağlanmaktadır. Bor madeninin işlendiği tesislerin olası çevresel etkileri çok sayıda araştırmaya konu olmuştur. Bu çalışmada Eskişehir ili sınırları içindeki Etimaden İşletmeleri Genel Müdürlüğü tarafından işletilmekte olan Kırka Bor İşletmesi'nin çevre, toprak ve sular üzerindeki olası olumsuz etkileri araştırılmıştır. Çalışma kapsamında; 2012 yılında 30 noktada yüzeyden ve 40-50 cm derinlikten toprak ile 10 noktada da yüzey ve yeraltı su örnekleme yapılmıştır. Su örneklerinde yüksek performanslı iyon kromatografi yöntemi ile majör iyon ve ICP-MS yöntemi ile bor analizini de kapsayan ağır metal analizleri yapılmıştır. Toprak örneklerinin genel karakterizasyonu açısından XRD, pH, organik madde, katyon takas kapasitesi ve tane boyu dağılım özellikleri belirlenmiştir. Toprakta bor yükü, asit ve sıcak suda çözünme yöntemi ile ayrı ayrı belirlenmiştir. Toprak örneklerinde bor analizleri spektrofotometrik karmin ve ICP-MS yöntemleri ile ayrı ayrı yapılmış ve sonuçları tartışılmıştır.

Çalışma alanında yapılan gözlemlerle işletme çevresinde toprak ve su ortamlarında bölgenin jeolojik yapısı nedeni ile ulusal ve uluslararası organizasyonlar tarafından tanımlanmış

Çevresel limit değerlerin üzerinde bor ve arsenik derişimlerinin varlığı belirlenmiştir. Zaten jeolojik olarak bölgede var olan bor ve arseniğin limit değerleri aşan derişimleri özellikle işletmenin güney-güney doğu bölümlerindeki madencilik faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır. Çalışma alanı ve çevresinde yapılmış önceki çalışmalarda üretilen gözlemler derlenmiş ve işletmenin olası çevresel etkilerinin tarihsel gelişimi ortaya konmaya çalışılmıştır. Ancak; çözeltiye alma ve analiz tekniği gibi analitik yöntem farklılıklarından kaynaklanan uyumsuzluklar nedeniyle tarihsel verilerin sağlıklı bir biçimde değerlendirilmesi mümkün olmamıştır. Çalışma sonucunda elde edilen bilgilere istinaden işletme çevresinde gelecekte kullanılacak çevresel gözlem noktalarının önceden belirlenmesi ve her zaman aynı noktalarda gözlem yapılması, bor ve arsenik gibi işletme ile ilişkili element analizlerinde uluslararası standartlarda nerilen ICP-MS yöntemi kullanılması,toprak örneklerinde tutulmuş elementlerin çözeltiye alınmasında sıcak suda çözünebilir bor yönteminin uygulanması ve gelecekteki izleme faaliyetlerinde borun yanı sıra kanserojen etkileri kanıtlanmış arsenik içeriklerinin de izlenmesi önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kırka, bor madenciliği, çevresel etkiler

ABSTRACT

ENVIRONMENTAL EFFECTS OF KIRKA (ESKİŞEHİR) BORON MINE ON SOIL AND WATER

M. TANJU BAŞARAN

Doctor of Philosophy, Geological Engineering Department

Supervisor: Doç. Dr. Dilek TÜRER

Co-Supervisor: Prof. Dr. Candan GÖKÇEOĞLU

December 2015, 99 page

Boron is a precious natural resources widely used in the industry. A significant portion of the boron deposits on earth belong to the Neogene Basin at the west of Turkey. Proceeds benefit to the country's development with the income obtained from the existing boron business. The potential environmental impacts of boron processing plants have been the subject of numerous studies. In this study, potential negative effects on soil and water of the Kirka boron processing facilities of the Eti Mine Works General Directorate located at the Eskişehir Province was investigated. The scope of work; In 2012, soil sampling from surface and at a depth of 40-50 cm at 30 location and water sampling at 10 location on surface and groundwater were carried out. Major ions analysis with the high performance ion chromatography method and boron including heavy metal analysis with the ICP-MS method were performed with the water samples. XRD, pH, organic matter, cation exchange capacity and particle size distribution characteristics of soil samples were determined in terms of the overall characterization. Boron load in the soil is determined with the acid and the hot water dissolution method separately. Boron analysis of soil samples were conducted with spectrophotometric carmine and ICP-MS method and the results were discussed separately. Because of the geological structure of the region; the presence of above the limit values of boron and arsenic concentrations defined by national and international environmental

organizations were identified in soil and water environment around the boron operation facilities with the observations made in the study area. Already existing in the region geologically boron and arsenic concentrations exceeding the limit values are mainly due to the mining activities in southern and south eastern parts of the boron operation area. Study field observations made in previous studies conducted in and around the boron operation facilities were compiled and tried to present the historical development of the potential environmental impacts. However; it was not possible to evaluate in a sound way of historical data due to mismatch arising from differences in analytical methods such as receiving the solution and analysis techniques. Based on information obtained from current study; around the boron mining facilities the predetermination of environmental observation points that will be used in the future and making observations always from the same points, use of the method recommended by ICP-MS in the international standard in boron mining facilities related elemental analysis such as boron and arsenic, use of hot water soluble boron method of taking the solution of the retained elements and monitoring of proven carcinogenic arsenic content as well as boron content in future monitoring activities are recommended.

Keywords: Kırka, boron mining, environmental impacts

TEŞEKKÜR

Yazar, tez çalışmasının gerçekleştirilmesindeki katkılarından dolayı aşağıda adı geçen kişi ve kuruluşlara içtenlikle teşekkür eder.

Tez danışmanı Doç. Dr. Dilek TÜRER (HÜ), Prof. Dr. Candan GÖKÇEOĞLU ve Prof. Dr. N. Nur ÖZYURT (HÜ) çalışmanın tüm aşamalarında bilgi, birikim ve tecrübeleri ile yol gösterici olmuşlardır.

Prof.Dr. C. Serdar BAYARI (HÜ), Doç.Dr. Aykut AKGÜN (KTÜ) ve Yrd.Doç.Dr. Emrah PEKKAN (Anadolu Ü.) tez metninin son halini almasında katkıda bulunmuşlardır.

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen arazi ve laboratuvar çalışmaları için destek Etimaden İşletmeleri Genel Müdürlüğü ve Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği ile sağlanmıştır.

Başta dönemin Etimaden İşletmeleri Genel Müdürü Dr. Orhan YILMAZ olmak üzere gerek Genel Müdürlük, gerekse Kırka İşletme Müdürlüğü personeli çalışmaya destek vermişlerdir. Prof.Dr. N. Nur ÖZYURT (HÜ), Kimya Müh. Füsun MUSLU (HÜ) ve Kimyager Esin ORHAN (HÜ) majör iyon ve iz element analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Kimya Teknikeri Tacettin AKBUNAR Etimaden İşletmeleri Teknoloji Geliştirme Dairesi laboratuvarlarında topraktaki bor analizlerini gerçekleştirmiştir.

Dönemin Kırka İşletme Müdürü Ömer ÇATAL, İşletme Müdür Yrd. Ersan AYTEN ve Harita Müh. Hasan ÇOLAK arazi ve ofis çalışmalarında yardımcı olmuşlardır.

MTA Genel Müdürü Yusuf Ziya COŞAR ve BOREN Başkanı Doç. Dr. Abdülkerim YÖRÜKOĞLU çalışmaya destek vermişlerdir.

SAYIŞTAY Başkanı Doç. Dr. Recai AKYEL'in bilimsel çalışmaları destekleyen tavrı her türlü takdirin üstündedir.

Son olarak sonsuz destek, sevgi ve sabırla her an yanımda olan eşim Yıldız BAŞARAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ÇİZELGELER.....	viii
ŞEKİLLER.....	ix
EKLER.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1 GİRİŞ.....	1
1.1 Bor işletmesinin genel özellikleri.....	2
1.2 İşletme ve çevresinde tarihsel çevresel etki gözlem politikası.....	5
1.3 Borun çevre ve insan sağlığı üzerine etkileri.....	5
1.4 Önceki Çalışmalar.....	6
2 ÇALIŞMA ALANI.....	9
2.1 Çalışma alanının jeolojisi.....	9
2.1.1 Yapısal jeoloji.....	16
2.2 Çalışma Alanının Hidrojeolojik Özellikleri.....	16
3 YÖNTEM VE SONUÇLAR.....	19
3.1 Örneklemeye çalışmaları.....	19
3.1.1 Toprak örnekleme.....	19
3.1.2 Yüzey ve yeraltı su örnekleme ve yerinde gözlemler.....	20
3.2 Toprak Analizleri ve Sonuçları.....	22
3.2.3 Toprak pH'ı analizleri.....	22
3.2.4 Toprak Organik Madde İçeriği.....	24
3.2.5 Tane Boyu Dağılımı.....	25
3.2.6 Katyon Takas Kapasitesi (KTK).....	27
3.2.7 Toprak Mineral İçeriği (XRD analizi).....	30
3.2.8 Toprakta Bor Analizi.....	31
3.3 Su örneklerinde yapılan analizler ve sonuçları.....	38
3.3.9 Major İyon Kimyası, Silis ve Bor derişimleri.....	38
3.3.10 İz element Kimyası.....	44
4 ÇEVRESEL ETKİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	48
4.1 Güncel gözlemlerin çevresel etkilerinin değerlendirilmesi.....	48
4.2 Tarihsel verilerin değerlendirilmesi.....	56
4.2.1 Toprak örneklerindeki tarihsel gözlemler.....	57
4.2.2 Su örneklerindeki tarihsel gözlemler.....	60
4.3 Çevresel etki gözlem ve ölçüm yaklaşımlarının tartışılması.....	65
4.3.3 Toprak ve suda gözlenen borun kökeni belirlenmesi.....	65
4.3.4 Gözlem noktaları ve gözlem sıklığı.....	66
4.3.5 Analiz yapılacak kimyasal/fiziksel parametreler ve analitik yöntem seçimi.....	66
4.3.6 Çevresel etki gözlemlerinin duyurulması ve bölge halkının bilgilendirilmesi.....	67
5 SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	68
KAYNAKLAR.....	72
EKLER.....	74
ÖZGEÇMİŞ.....	98

ÇİZELGELER

Çizelge 1. Kırka Bor İşletmesi çevresindeki gözlem kuyularında 26.08.2013 tarihli yeraltısuyu seviye gözlemleri (21)	17
Çizelge 2. Toprak örnekleme noktaları (*pasa örneği olduğundan tanımlama yapılmamıştır.)	20
Çizelge 3. 23 Ağustos 2012 tarihli yüzey ve yeraltısuyu örnekleme noktaları	22
Çizelge 4. toprak örneklerinde ölçülmüş pH, organik madde ve hesaplanmış KTK değerleri. (* kil boyu malzeme ve organik maddeye bağlı olarak hesaplanan teorik KTK değerleridir.)	23
Çizelge 5. Toprak örneklerinde tane boyu dağılımı	26
Çizelge 6. Toprak örneklerinden NH ₄ asetat yöntemi ile çözeltiye geçen element derişimleri (blank düzeltmesi yapılmış derişimler ppb olarak verilmiştir.).....	28
Çizelge 7. Toprak örneklerinden NH ₄ asetat yöntemi ile çözeltiye geçen element derişimleri ve KTK (blank düzeltmesi yapılmış derişimler meq/l olarak verilmiştir.).....	29
Çizelge 8. Toprak örneklerinde XRD sonuçları	30
Çizelge 9. Toprakta borun bulunuşu ve çözeltiye alma yaklaşımları [28]	31
Çizelge 10. Kırka bor işletmesi Kasım 2012 toprak örneklerinde bor analiz sonuçları (*: analiz yapılmamıştır.)	34
Çizelge 11. Major iyon, SiO ₂ ve B analiz sonuçları (derişimler mg/l).....	42
Çizelge 12. Sulama Sularının Sınıflandırılmasında Esas Alınan Sulama Suyu Kalite Parametreleri [39].....	44
Çizelge 13. Bitkilerin Bor Mineraline Karşı Dayanıklılıklarına Göre Sulama Sularının Sınıflandırılması [39].....	44
Çizelge 14. İz element analiz sonuçları (ppb)	47
Çizelge 15. 1999, 2000, 2001 ve 2012 yıllarında yapılan toprak bor yükü verilerinin özeti	57
Çizelge 16. Kırka Bor İşletmesi çevresindeki gözlem kuyularında 26.08.2013 tarihli yeraltısuyu seviye gözlemleri ve kimyasal analiz sonuçları.....	65
Çizelge 17. Kırka Bor İşletmesi çevresindeki toprak örneklerinde bor derişimleri (mg/kg)	68
Çizelge 18. Kırka Bor İşletmesi çevresindeki toprak örneklerinde arsenik derişimleri (mg/kg)	69

ŞEKİLLER

Şekil 1. Kırka bor işletmesinin genel görünümü.....	3
Şekil 2. Kırka bor işletmesinin tarihsel üretim verileri	4
Şekil 3. Kırka bor işletmesinin tarihsel atık verileri.....	5
Şekil 4 Çalışma alanı yerbulduru haritası.....	9
Şekil 5. Çalışma alanı için genelleştirilmiş jeoloji haritası (20).....	11
Şekil 6. Kırka Neojen havzasının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (20'den değiştirilerek alınmıştır.)	12
Şekil 7. Kırka gölssel baseninde borat minerallerinin çökelimi (17).....	14
Şekil 8. 2013 yılında yeraltısuyu gözlem kuyularının konumları ve ölçülmüş su kotları ...	18
Şekil 9. Toprak örnekleme noktaları	19
Şekil 10. Ağustos 2012 yüzey ve yeraltısuyu örnekleme noktaları.....	21
Şekil 11. Toprak pH ölçümü için örnek hazırlama ve ölçüm.	23
Şekil 12. Toprak örneklerinde organik madde analizi.....	24
Şekil 13. Toprak pH ve organik madde analiz sonuçları.....	25
Şekil 14. Toprak örneklerinin organik madde ve kil boyu malzeme yüzdelerinin ilişkisi..	25
Şekil 15. KTK ile organik madde ve kil boyu malzeme yüzdesi arasındaki ilişki.....	29
Şekil 16. SSÇB analiz aşamaları	33
Şekil 17. Asitte çözülmüş ve SSÇ bor (A) ve arsenik (B) derişimlerinin karşılaştırılması.....	35
Şekil 18. Yüzey ve derinlik örneklerinde asitte çözülmüş (A) ve SSÇ (B) bor derişimlerinin karşılaştırılması.....	36
Şekil 19. Asitte çözülmüş bor değerleri ile toprağın organik madde, pH, kil ve katyon takas kapasiteleri arasındaki ilişki	37
Şekil 20. Sıcak suda çözülmüş bor değerleri ile toprağın organik madde, pH, kil ve katyon takas kapasiteleri arasındaki ilişki	37
Şekil 21. Çalışma alanındaki yüzey ve yeraltısuyu örneklerinin major iyon kimyası, yarı logaritmik diyagram	39
Şekil 22. Çalışma alanındaki yüzey ve yeraltısuyu örneklerinin major iyon kimyası, piper diyagram	40
Şekil 23. Çalışma alanındaki yüzey ve yeraltısuyu örneklerinde bor ve sodyum derişimleri.....	41
Şekil 24 Çalışma alanındaki yüzey ve yeraltısuyu örneklerinin iz element derişimleri.....	45

Şekil 25 Çalışma alanındaki yüzey ve yeraltısuyu örneklerinde bor mineralinde belirlenen iz elementlerin derişimleri.....	45
Şekil 26. 2012 yılı toprak (yüzey) örneklerinde asitte çözünmüş bor derişimlerinin alansal dağılımı.....	49
Şekil 27. 2012 yılı toprak (40-50 cm) örneklerinde asitte çözünmüş bor derişimlerinin alansal dağılımı.....	50
Şekil 28. 2012 yılı toprak (yüzey) örneklerinde SSÇ çözünmüş bor derişimlerinin alansal dağılımı.....	51
Şekil 29. 2012 yılı toprak (40-50cm) örneklerinde SSÇ çözünmüş bor derişimlerinin alansal dağılımı.....	52
Şekil 30. 2012 yılı toprak (yüzey) örneklerinde SSÇ çözünmüş arsenik derişimlerinin alansal dağılımı.....	53
Şekil 31. 2012 yılı toprak (40-50cm) örneklerinde SSÇ çözünmüş arsenik derişimlerinin alansal dağılımı.....	54
Şekil 32. 2012 yılı su örneklerinde bor derişimlerinin alansal değışimi.	55
Şekil 33. 2012 yılı su örneklerinde arsenik derişimlerinin alansal değışimi.	56
Şekil 34. 1999, 2000, 2001 ve 2012 yıllarında yapılan toprak bor yükü verilerinin yöntem ve örnekleme derinliğine göre karşılaştırılması	58
Şekil 35. 2000 yılı yüzey toprak örneklerindeki bor derişimlerinin alansal değışimi.....	59
Şekil 36. 2000 yılı derinlik (40-50cm) toprak örneklerindeki bor derişimlerinin alansal değışimi	60
Şekil 37. 2006-2011 dönemi su gözlem noktaları	61
Şekil 38. Gözlem kuyularında 2006-2011 döneminde yapılan gözlemler (Eİ: Elektrisel iletkenlik).....	63

EKLER

EK 1 Toprak örnekleri tane boyu dağılım eğrileri.....	75
EK-2 Tüm Kayaç XRD	80
EK-3 Gözlem kuyularında 2006-2011 döneminde yapılan Eİ ve bor gözlemleri.....	94

SİMGELER VE KISALTMALAR

MTA: Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü

EPA: ABD Çevre Koruma Ajansı

TSE: Türk Standartları Enstitüsü

B: Bor

DSİ: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü

ÖEİ: Özgül elektriksel iletkenlik

XRD: X ışınları difraktometresi

KTk: Katyon takas kapasitesi

SSÇB: Sıcak suda çözünabilir bor

ICP-MS: İndüktif eşleştirilmiş plazma kütle spektrometresi

ICP-OES: İndüktif eşleştirilmiş optik emisyon spektrometresi

HCl: Hidroklorik asit

ETİ: Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü

HU: Hacettepe Üniversitesi

WHO: Dünya Sağlık Örgütü

1 GİRİŞ

Bor, endüstride (cam-seramik sanayi, temizleme-beyazlatma sanayi, sağlık, çimento, metalurji, enerji vb.) geniş kullanım alanı bulan değerli bir yeraltı zenginliğidir [1]. Türkiye bor yatakları açısından dünyada ilk sırada yer almaktadır. Türkiye ile birlikte ABD Kaliforniya eyaleti, Rusya ve Güney Amerika’da zengin bor yatakları bulunmaktadır [2]. Türkiye’de bor yatakları yoğun olarak Eskişehir, Kütahya ve Balıkesir illerinin bulunduğu bölgededir. Bor yatakları günümüzde; bor madenlerinin aranması ve işletilmesi görevini 2840 sayılı Kanun gereği tekel olarak yürütmekte olan Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü’nce işletilmektedir. Her işletmede farklı bor mineralleri üretilmekte ve çeşitli bor ürünleri elde edilmektedir [3]. Türkiye için önemli bir ihracat kaynağı (2012 yılı bor satış değeri yaklaşık 822 milyon ABD doları ve elde edilen kar 434 milyon ABD doları) olan bor üretiminin sürdürülebilir işletimi için ürün çeşitliliği, kalitesi ve verimin yanısıra, olası çevresel etkilerin izlenmesi için gözlem politikaları geliştirilmiş ve uygulanıyor olması beklenmektedir.

Tüm maden işletmelerinde olduğu gibi; bor yataklarının bulunduğu ve bor işleme tesislerinin kurulduğu bölgelerde olası çevresel etkiler, çevre halkını ve doğal yaşamı doğrudan ilgilendirdiği için sosyolojik olarak tartışma ve araştırma konusu olmuştur. Öngörülen çevresel etkiler, yeraltındaki doğal yatağından çıkartılarak konsantre şekilde depolanan mineralin ve üretim tesisinde işlenen madenin atık ürünlerinin işletme çevresindeki toprak ve sularda bulunurluğunun artması ile ortaya çıkmaktadır. İşletme çevresindeki toprakta biriken maden artıklarının yetiştirilen bitkilere ve dolayısıyla insan ve hayvanların besin zincirine katılma riski mevcuttur. Yüzey ve yeraltısularında doğal bolluğunun üzerine çıkan, işletilen maden ile ilişkili elementer derişimler sulama suyu ile toprak ve üretilen bitkiye taşınırken, içme-kullanma suyu ile insanlara, sucul canlılara ve çeşitli gıda ürünleri için yetiştirilen hayvanların farklı dokularında birikebilmektedir. Bu olası etkilerin belirlenmesi için tüm ortamların (su, toprak, bitkiler ve diğer canlılar) ilgili tehdit unsuru için araştırılması gereklidir. Çevre ortamlarda artışı gözlenen bor yükünün “çevresel risk” olarak adlandırılabilmesi besin zinciri içindeki karmaşık reaksiyonlar nedeni ile oldukça güçtür. Bu nedenle dünya genelinde yapılmış gözlemler ile elde edilen çevresel “limit değerlerin” aşılp aşılmadığının kontrolü günümüzdeki en yaygın yaklaşımdır. Çalışma kapsamında; endüstride geniş kullanım alanı olan bor minerallerinin üretildiği ve ürünlerinin işlendiği tesislerin çevreye olan etkilerinin belirlenmesi ve çevresel etki değerlendirme yaklaşımlarının tartışılması amaçlanmaktadır. Bu amaçla Eskişehir ilindeki Eti Maden

İşletmeleri Genel M¼d¼rl¼ę¼ Kırka Bor İşletme M¼d¼rl¼ę¼ Tesisleri'nin çevreye (toprak ve y¼zey-yeraltı sularına) olan etkileri incelenmiştir. Yapılan evresel g¼zlemler tarihsel kayıtlar ile karşılaştırılarak toprak ve suda bor y¼k¼n¼n belirlenmesindeki farklı analitik y¼ntemlerin sonuçları tartışılmıştır.

1.1 Bor işletmesinin genel ¼zellikleri

Eskişehir ilinin 70 km g¼neyindeki Kırka beldesinin 4.5 km batısında kurulmuş olan Eti Maden İşletmeleri Genel M¼d¼rl¼ę¼ Kırka Bor İşletmesi'nde d¼nyanın en b¼y¼k rezervlerinden biri olan Kırka-Sarıkaya Boraks yatağı işletilmektedir. Boraks yatağı 1950-1960 yılları arasında vatandaşlarımızın arama ruhsatı alarak yaptıkları aramalar sonucunda bulunmuştur. 1962 yılında t¼m ruhsatlar T¼rkiye'deki boraks yataklarına sahip olan, İngiliz Boraks Consolidated Ltd.şti.'nin eline geçmiştir. Kırka Boraks yataklarını ele geçiren T¼rk Borax adı altındaki İngiliz şirketinin saha devir işlemlerindeki yasal eksikliklerden dolayı ruhsatları iptal edilmiş imtiyazları d¼řen Boraks yataklarından ¼ tanesinden işletme imtiyazı 1968 itibaren çeşitli tarihlerde Etibank'a geçmiştir.

1968 yılında M.T.A. tarafından yapılan arama sondajlarından, Kırka Sodyum Tuzu cevherinin Kaliforniya'da bulunan Tinkal –Razorit –Kernit cevherinin benzeri olduğu belirlenmiştir. Bu zengin yatakları işletmek ¼zere gerekli proje çalışmalarına 1969 yılında ve tesislerin kurulmasına da 1970 yılında başlanmıştır. 1970 yılında şantiye teşkilatı ile başlayan kuruluş, 1972 yılında konsantrat¼r¼n temelini atılması ile tesis stat¼s¼ne kavuşmuş ve daha sonra konsantrat¼r¼n devreye alınması ile de 1975 yılında işletme stat¼s¼nde faaliyet g¼stermeye başlamıştır. Montajına 1978 yılında başlanılan Bor T¼revleri Tesisi 18.08.1984 de işletmeye alınmıştır. Kırka Bor İşletmesinde satışa sunulan ¼r¼nler Tinkal ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), Etibor-48 (Boraks Pentahidrat- $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), Etibor-68 (Susuz Boraks- $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) olarak adlandırılmıştır. Kırka Bor İşletmesi'nin 2000 ve 2012 yıllarındaki genel g¼r¼n¼m¼ şekil 1'de verilmiştir.



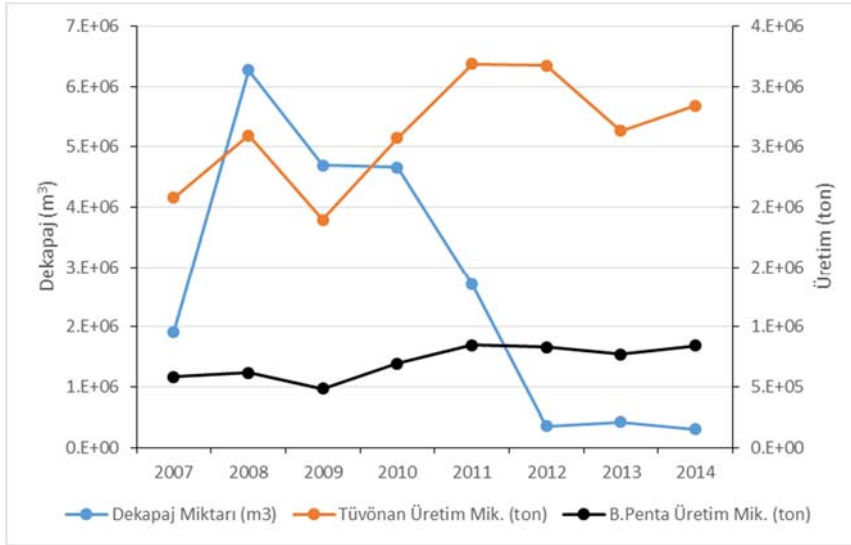
Şekil 1. Kırka bor işletmesinin genel görünümü.

Kırka Bor İşletme Müdürlüğü'nde 2007 yılından itibaren hem tüvönan tinkal üretimi hem de boraks pentahidrat üretiminde artış gözlenmektedir (Şekil 2). Tüvönan tinkalden, boraks pentahidrat üretimine ağırlık verilerek atıkların vasıfları değişmiştir. Bor Türevleri tesisinden çıkan katı atık miktarı dekapaj artışına paralel olarak 2008 yılına kadar sürekli artmıştır (Şekil 3). 2008 yılından itibaren konsantratör tesisinden çıkan şlam (sıvı) atık içindeki katı miktarında azalma gerçekleşmiştir. Maden işleme tesislerin stoklanabilir atık üretmesi sürdürülebilir işletmecilik açısından oldukça önemlidir. Katı atık üretilmesi atıkların stoklanmasını kolaylaştıracak aynı zamanda daha az hacim kaplayacaktır. İşletmenin halen kullanmakta olduğu katı atık stoklama sahasının bugünkü üretim miktarlarına göre yaklaşık 10-11 yıllık ömrünün kaldığı görülmekle birlikte, yeni yapılan yatırımlar dikkate alındığında kullanım süresinin düşeceği açıktır. Bu nedenle yeni atık stoklama sahalarının hazırlanması gerekmektedir.

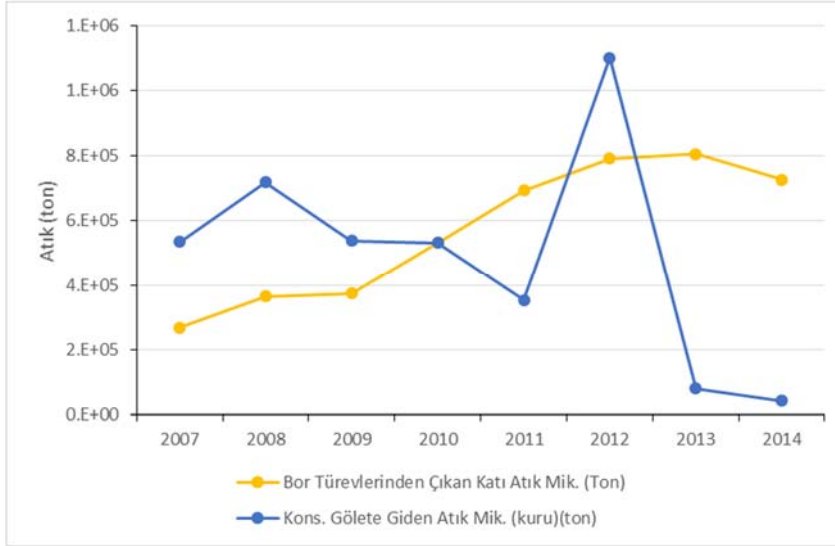
İşletmenin şlam atıklarının toplandığı 2, 3, 4, 5 ve 6 nolu atık havuzları tamamen doludur. 1 nolu atık havuzu ise işletmenin kapalı devre kullandığı proses suyu ile doludur. Yeni hacim kazanılması için 1 nolu havuz seddesi ile 2, 3 ve 6 nolu havuz seddeleri yükseltilmektedir. Kazanılacak yaklaşık 4.950.000 m³ hacim işletmenin kısa vadede şlam atık stoklama

ihtiyacını karşılamakla birlikte uzun vadede yeni atık havuzlarına ihtiyaç vardır. İşletmenin çevre sularının toplandığı su toplama göletinde de doluluk oranı yüksektir. Ancak; işletmenin üretim politikasındaki değişiklikler sonucunda konsantratörde üretim durdurulduğu için 2012 yılından sonra konsantratör göletine giden sıvı atık miktarı önemli oranda azalmıştır (Şekil 3).

Kırka bor işletmesindeki en dikkat çeken olası çevresel kirletici yapı ve uygulamalar atık havuzları, su toplama göleti ve katı atık stoklama sahasıdır. Atık havuzları sızdırmazlık sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Ancak; bir ara havuz doluluğunun kontrolü için “püskürtme yöntemi ile buharlaştırma” yöntemi kısa süreli uygulanmıştır. Uygulanan bu yöntemin işletmenin yakın çevresindeki topraklar üzerindeki etkisi yapılan tez çalışması kapsamında incelenmiştir. Dekapaj alanının üst kotlarından süzülerek dekapaj alanı önünde toplanan borca zengin su, kurutma kanalı ile drene edilmektedir. Gölet tabanından ve kurutma kanalından bor yüklü su sulama amaçlı Çatören Barajına ulaşmaktadır. Açık (örtü altında olmayan) katı atık depolama sahası yağış ile yıkanmaktadır. Katı atık içinden sızan sular gölette toplandığından göletin bor yükünü artırma olasılığı yüksektir.



Şekil 2. Kırka bor işletmesinin tarihsel üretim verileri



Şekil 3. Kırka bor işletmesinin tarihsel atık verileri

1.2 İşletme ve çevresinde tarihsel çevresel etki gözlem politikası

Kırka bor işletmesinin çevresindeki toprak ve su ortamlarına olan olası çevresel etkilerinin gözlenmesi için işletme tarafından geliştirilen gözlem ağında örnekleme ve analiz yapılmaktadır. Su ve toprak örneklerinde analizler Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü laboratuvarlarında yapıldığı gibi çevresel gözlemler zaman zaman da hizmet satın alınarak bağımsız olarak yürütülmektedir.

Yapılan gözlem sonuçları düzenli olarak raporlanıyor olsalar bile erişime açık değildir. İşletmenin neden olabileceği çevresel tehdit doğrudan o bölgede yaşayan halkı ve sulama suyu sınırlarını zorlayan su kaynaklarını kullanan çiftçileri ilgilendirmektedir. Dolayısıyla işletmenin çevre halkı ile güven odaklı bir ilişki kurabilmesi için yapılan gözlemlerin paylaşılması gereklidir.

1.3 Borun çevre ve insan sağlığı üzerine etkileri

Bor, su ve toprak ortamında doğal olarak bulunan bir element olarak tanımlanmaktadır. Topraktaki bor bitkilere geçtiğinden meyveler, baklagiller, sebzeler, kabuklu yemişler ve tahıllarda doğal olarak bulunmaktadır. Sulama suyunda limit değerleri aşan borun bitki gelişimi üzerindeki etkileri bilinmektedir. Ancak; içme-kullanma suyu olarak borun insan sağlığı üzerindeki etkileri tartışmalıdır. EPA bor için limit değer tanımlama gereği görmediği halde borun insan sağlığı üzerindeki etkilerini inceleyen ayrıntılı bir rapor yayınlamıştır [4]. ABD’de günlük diyet ile alınan ortalama bor derişimi, 4-8 yaş arasındaki çocuklarda 0.85 mg B/gün ile vejeteryan erkek yetişkinlerde 1.47 mg B/gün arasında değişmektedir. İnsan ve hayvanlarda bor, sindirim sisteminde emilerek canlı dokulara geçmektedir. Canlı

vücuduna giren bor bileşikleri borik asit olarak öncelikle yumuşak dokulara yerleşmektedir. Borun kemiğe yerleşimi sınırlı sayıda çalışmada gözlenmiştir.

Bebeklerde doz aşımı sonucunda ishal, kusma, asabiyet, alt bezi bölgesinde kızarıklık, yüz ve ensede kırmızı döküntü, gözlerde kanlanma ve kasılma nöbetleri görülebilir. Yetişkinlerde aşırı doz; bulantı, kusma, ciltte kızarıklık, boğazdaki ülser nedeni ile yutmada güçlük ve ishale neden olmaktadır. Hayvanlarda uzun süreli aşırı doz bor alımı uyuşukluk, hızlı solunum, göz iltihaplanması, pençelerde şişme, pençe ve kuyruk derisinde döküntü, dokunma sırasında uyarılma, işkembe hücrelerinde değişikliğe sebep olmaktadır [5].

ABD’de içme suyunda bor derişiminin yetişkinler için 3 mg/l (1-10 günlük sağlık önerisi) ve çocuklar için 2 mg/l’yi (çocuklar için uzun süreli sağlık önerisi) aşması durumunda genç erkeklerin testislerinde olumsuz etkiler gözlenmektedir. 5 mg/l (yetişkinler için uzun süreli sağlık önerisi) üzerinde bor içeren içme suyunun uzun süreli kullanımı hamile kadınların doğmamış bebeklerini olumsuz etkilemesi olası olduğu gibi erkek yetişkinlerde testisler üzerindeki olumsuz etkileri arttırmaktadır. Bu araştırmalar 1950-1960 yıllarında fareler üzerinde yapılan deneysel verilere dayandırılarak yapılan kabul değerlerdir. Bu derişimlerin üzerindeki içme sularının bebekler için mama ve çocukların yiyeceklerinin hazırlanması sırasında kullanılmaması önerilmektedir. Borun kanserojenik etkisi gözlenmemiştir [5].

Borun yanısıra çalışma alanındaki su ve toprak örneklerinde dikkate değer bollukta bulunduğu belirlenen arsenik doğal olarak jeolojik birimlerde bulunmaktadır. Jeolojik birimlerdeki arsenik bozunma sonucunda su ve toprağa geçerek bölge insanları için çevresel risk oluşturmaktadır. Yüksek dozda arseniğin uzun süreli içme-kullanma suyu olarak alınması, bordan farklı olarak, daha kalıcı ve kronik sağlık problemlerine neden olmaktadır [6]. Doz aşımında arsenik alınımlı deride kalınlaşma ve renk değiştirmeye, bulantı, kusma, ishal, el ve ayaklarda uyuşma, kısmi felç ve körlüğe neden olmaktadır. Diğer sağlık sorunlarının yanısıra arsenik mesane, akciğer, deri, böbrek, geniz yolu, karaciğer ve prostat kanserleri görülme sıklığı ile ilişkilendirilmiştir. TSE266 ve diğer uluslararası organizasyonların içme-kullanma suyu limit değeri 10 µg/l ve altında olacak şekilde belirlemişlerdir.

1.4 Önceki Çalışmalar

1970 yılından günümüze sürekli üretim yapılan Kırka ve diğer bor işletmelerinde çok sayıda bağımsız araştırma ile bor yataklarının özellikleri ve olası çevresel etkileri incelenmiştir. Türkiye’de yapılan çalışmaların yanısıra dünya genelinde özellikle bor minerallerinin

çözünme ya da iyon takas süreçleri ile suya geçişi ile ilgili literatür aşağıdaki bölümde özetlenmiştir.

Şükrü vd [7], Kırka borat yatağının mineralojik, jeokimyasal ve teknolojik özelliklerini belirlemiştir. İlk defa bu araştırmada hidrokloroborit, brianroulstonit, hilgardit-4M ve searlesit mineralleri belirlenmiştir. Ayrıca; Kırka'daki bor yataklarının elektron spin rezonans yöntemi ile bu yatakların manyetik özellik taşıdığı ortaya konmuştur.

Yüce ve Yasin [8] çalışmalarında Kırka Bor İşletmesi ve kuzeydeki akiferlerdeki yüzey ve yeraltısuyundaki bor ve arsenik derişimlerini incelemiştir. Çalışma sonucunda, maden işletme faaliyetinin bir sonucu olarak sulama suyu olarak kullanılan barajlarda ve yeraltısuyundaki derişimlerin limit değerlerin (10ppb) üzerine çıktığı belirlenmiştir. Çalışma kapsamındaki bir kuyuda 7 ppm üzerinde bor derişimi gözlenmiştir.

Kutlu vd. [9] tarafından Seydisuyu üzerindeki farklı noktalarda su örneklerinde bor derişimi belirlenmiş ve yüksek bor yükünün Salmonella türü bakterilerde mutasyona neden olup olmadığı incelenmiştir. Çalışma sonucunda yüzey sularındaki 3.75 g/l ye kadar çıkan yüksek bor derişimine rağmen salmonellalarda mutasyon gözlenmediği belirtilmiştir. Araştırmanın önerisi benzeri çalışmanın diğer canlı organizmalarda tekrar edilmesi yönünde olmuştur.

Kütahya-Hisarcık Bor İşletmesi ve çevresinde içme-kullanma suyu ve deneklerin idrarlarındaki bor derişimlerinin konu alındığı araştırma Çöl ve Çöl [10] tarafından gerçekleştirilmiştir. Bölgedeki içme-kullanma sularında limit değer üzerinde 2-20 mg/l arasında değişen bor derişimleri belirlenmiştir. Bölge halkının idrar örneklerindeki bor yükü ile içme-kullanma suyu ilişkilendirilmiş ancak çalışmada bölge halkının kullanımı için doz önerisi yapılmasının güç olduğu sonucuna varılmıştır.

Gemici vd. [11], Bigadiç bor yatağının yeraltısuyundaki bor ve arsenik derişimleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. Yeraltısuyundaki borun su-kayaç etkileşimi sonucu arttığı belirtilmiştir. Çalışmada sunulan analiz sonuçlarında bor derişimleri 0.1-67 mg/l arasında değişmektedir. Bor ile birlikte en dikkate değer kirleticinin arsenik olduğu ortaya konmuştur. Gianluca vd. [12] Toscana-İtalya'da yeraltısuyunda yüksek bor derişimi gözlenen Corina akiferindeki borun kökenini araştırmıştır. Çalışmanın sonucunda bor derişimi yüksek hidrotermal suların akifer içindeki dolaşımı sonucunda akifer matriksine borun tutulduğu belirlenmiştir. Hidrotermal dolaşımın sonlanmasının ardından günümüzde borun salındığı anlaşılmıştır.

Ravescroff ve Mcarthur [13], Bangladeş ve Michigan (ABD) iki farklı akiferde yeraltısuyunun bor derişimi açısından zenginleşme sürecini incelemiştir. Araştırma

sonucunda tatlı-tuzlu su arayüzeyinde iyon takas süreci sonucunda yeraltısuyundaki bor derişiminin arttığı belirlenmiştir. İyon takas sürecinin çözünmüş bor derişimi açısından önemini vurgulaması açısından dikkate değer bir çalışmadır.

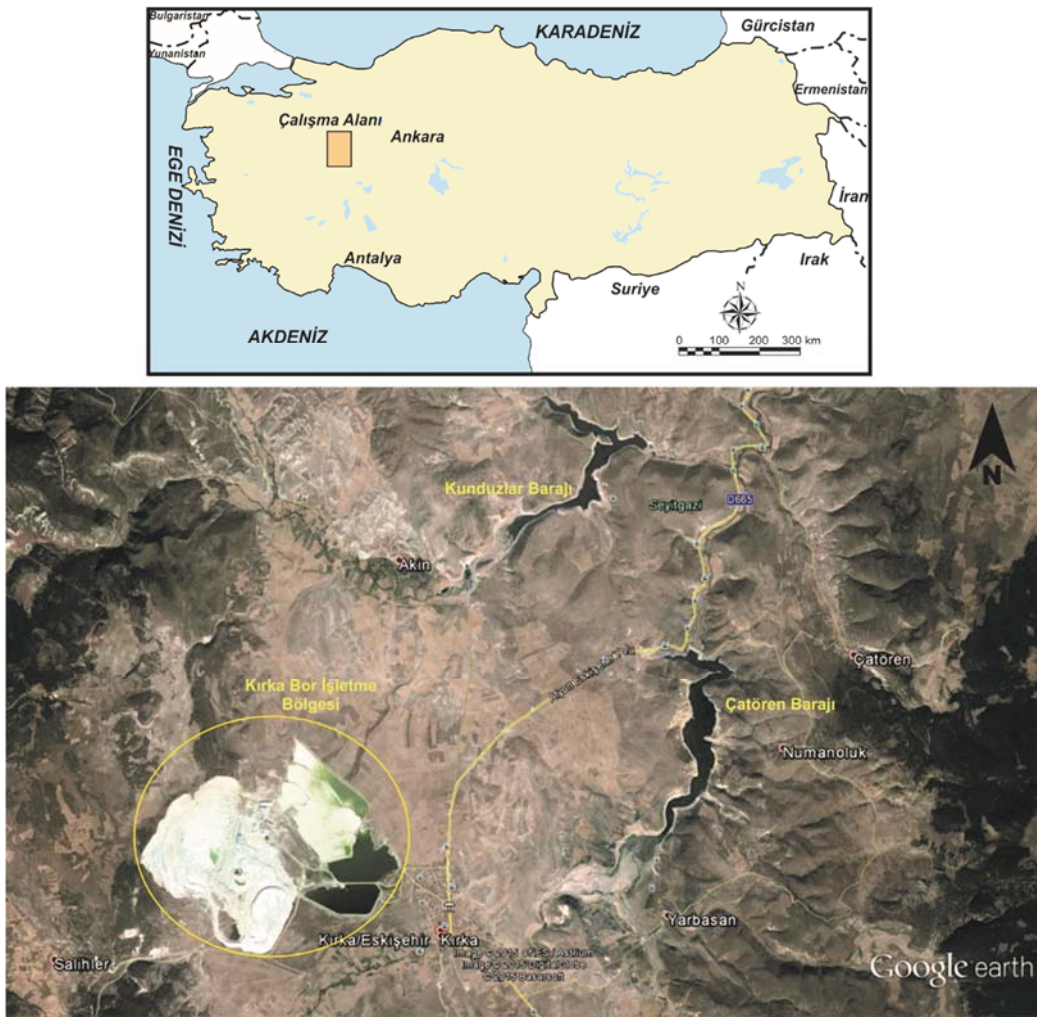
Barth [14], suda bor izotop oranlarından ($^{11}\text{B}/^{10}\text{B}$) hareket ile doğal ve antropojenik bor kökenlerinin belirlenmesi üzerine çalışmıştır. Yapılan çalışma sonucunda bor içeren ürünlerin işlenmesi sırasında bor izotop oranlarının büyük oranda değişmemesi nedeni ile köken belirlemenin kolay olmadığı belirlenmiştir.

Zorlu [15], bor yataklarının belirlenmesi için bitkilerde biriken borun kullanılabilirliğini araştırmıştır. Çalışma Kırka Bor İşletmesi ve çevresinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada bölgede yetişen *Gypsophila perfoliata* L., *Pinus nigra* Arn, *Chrysopogon gryllus* (L.) Trin., *Juniperus oxicedrus* L. subsp., *Juniperus foetidissima* Willd., *Apera intermedia* Hackel, *Quercus trojana* P.B. Webb, *Puccinellia intermedia* (Schur) Janchen, *Alyssum sibiricum* Willd, *Genista aucheri* Boiss ve *Euphorbia hirsuta* L. bitkilerinin yaprak ve gövdelerindeki bor derişimleri belirlenmiştir. Belirli bitki türlerinin dal ve yapraklarındaki derişimler bor yatağı varlığı ile ilişkilendirilmiştir.

Bu tez kapsamında gerçekleştirilen çalışmada bor yatağı ve işletmenin olası çevresel etkilerinin belirlenmesinin yanısıra toprak ve suda bor yükünün tarihsel gelişimi derlenmiştir. Ayrıca benzeri bor işletmelerinde olası çevresel etkilerin sürekli gözlenmesinin yanısıra kullanılan analitik yöntemlerin değerlendirmeler üzerindeki yanıltıcı sonuçları tartışılmıştır.

2 ÇALIŞMA ALANI

Çalışma alanı Eskişehir il merkezinin 70 km. güneyinde Seyitgazi ilçesi sınırları içindedir. Bölge yazları sıcak ve kurak, kışları ise soğuk ve yağışlı karasal iklim etkisindedir. Çalışma alanı ve çevresinde yıllık ortalama yağış yaklaşık 350 mm olarak gözlenmiştir [16]. Çalışma alanı, kuzeyde Gemiç ve Akın köyleri, kuzeydoğuda Kunduzlar Baraj Gölü, doğuda Çatören Barajı, güneyde Ağzıkara dere ve kolları, batıda ise işletme ile sınırlanan yaklaşık 100 km²'lik bir alanı kapsamaktadır. Çalışma alanına ait yerbulduru haritası ve sayısal yükselti modeli Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4 Çalışma alanı yerbulduru haritası

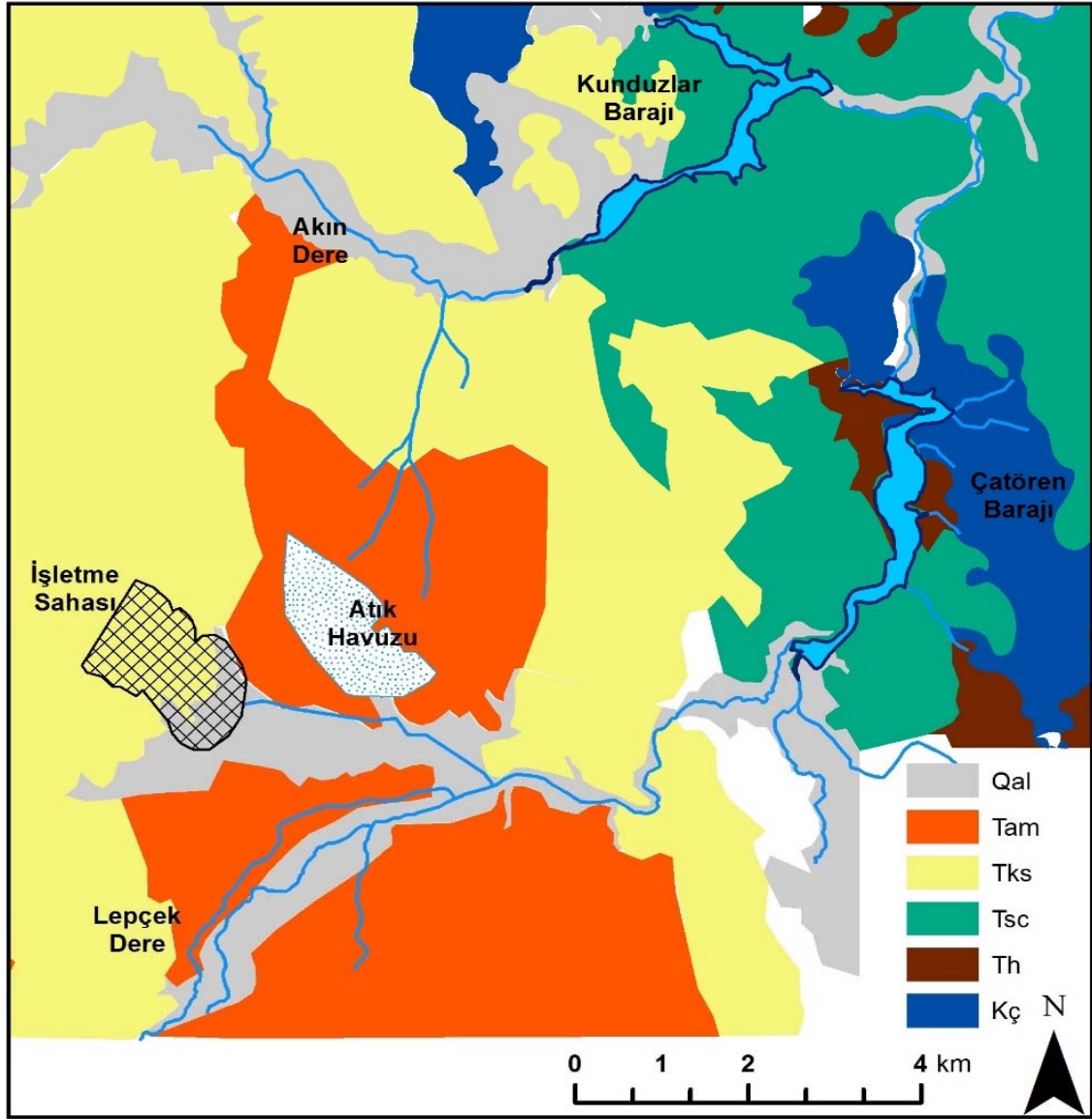
2.1 Çalışma alanının jeolojisi

Ekonomik değeri yüksek borun işletimine verilen önem nedeni ile Türkiye'deki diğer bor havzaları ile birlikte Kırka Havzasının jeolojik yapısı da çok sayıda araştırmaya konu olmuştur (Helvacı, 1983 [17]; Göktaş, 2006 [18]; Gök vd, 1980 [19]). Bu çalışma

kapsamında bölgenin genel jeolojik yapısı ile ilgili aşağıdaki özet bölüm önceki çalışmalardan yapılan derleme ile oluşturulmuştur.

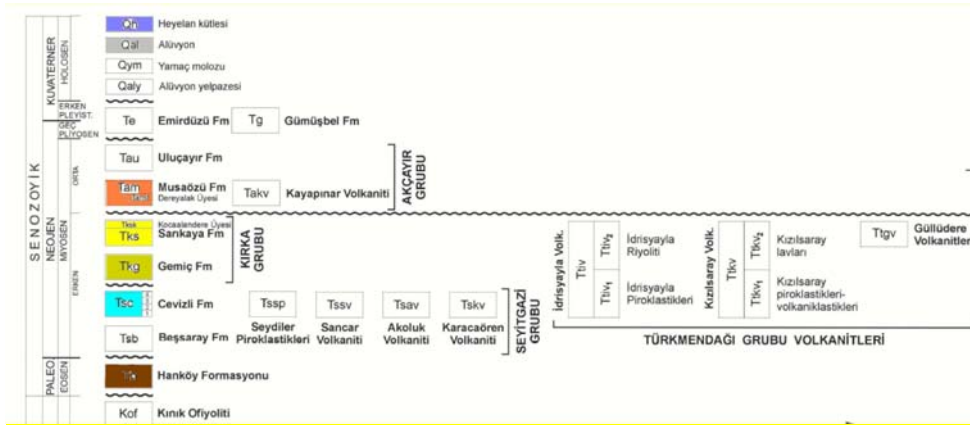
Çalışma alanında yüzeylenen jeolojik birimleri kapsayan stratigrafik istif; volkanosedimanter gölssel basenin tabanını oluşturan değişik yaş ve litolojideki Miyosen öncesi temel kayaçları ile Alt Miyosen yaşlı volkanik kayaçlardan oluşmaktadır. Bölgesel jeolojik istif Alt Miyosen’de asidik bileşimdeki viskoz gazlarla yüklü mağmanın şiddetli Pliyen Tipi Püskürmeler ile atılan ve büyük çoğunluğu kül boyutundaki piroklastik malzemenin, püskürme ve rüzgarın etkisi ile bir süre havada taşındıktan sonra, karaya ve göle ulaşması sonucunda sedimantasyon gerçekleşmiştir. Orta-Üst Miyosen’de gölssel ortamda çökelen Sarıkaya Formasyonu, kimyasal ve kısmen de piroklastik çökelpmenin ürünlerini taşımaktadır. Birimin özellikle boratlı kesiminde bulunan yer yer bozunmuş pomza parçaları içeren kil taşları, gerçekte toz boyutundaki piroklastik malzemenin tümüyle hidrolize olması ve sonra karbonatlarla birlikte çökelpmesi sonucunda oluşmuştur. Diğer bir ifadeyle, boratların oluşumu sırasında volkanizmanın çökelpme ile eşzamanlı ve aralıklarla devam ettiğini göstermektedir. Daha sonra Pliyosen yaşlı olan Fetiye Formasyonu’nun paleogölün kurummasına yakın veya kuruduktan sonraki dönemlerde akarsu fasiyesinde çökeldiği düşünülmektedir [20].

Bölgeye ait stratigrafik istif alttan üste doğru; temel kayaçlar (Çöğürler Karışığı(Kç)), Hanköy Formasyonu(Th), Cevizli Formasyonu (Seyitgazi Grubu(Tsc)), Sarıkaya ve Gemiç Formasyonu (Kırka Grubu(Tks)), Musaözü Formasyonu (Akçayır Grubu(Tam)) ve Kuvaterner(Qal) oluşuklarıdır. Neojen yaşlı Kırka gölssel volkanosedimanter baseninin genelleştirilmiş jeolojik haritası Şekil 5’de verilmiştir.



Şekil 5. Çalışma alanı için genelleştirilmiş jeoloji haritası [20]

Buna göre; Miyosen öncesi yaşlı temel kayalar, metamorfik, kristalize kireçtaşı ve fosilli kireçtaşlarından oluşmaktadır. Birimin alt sınırı bölgede gözlenmemektedir. Üstüne ise uyumsuz olarak Karaören Formasyonu gelmektedir. Birim, görsel sedimanter istifin tabanında yükselti oluşturarak baseni çevrelemek suretiyle paleogölün yayılımını sınırlamaktadır. Muhtemel dizilimi ise aşağıdan yukarıya doğru; metamorfikler (yeşil renkli şistler ve meta-kumtaşları), kristalize kireçtaşları (gri,siyah renkli, yer yer mermerleşmiş), fosilli kireçtaşları (bol nummulites içeren, sarı renkli) olarak sıralanmaktadır [20]. Kırka Neojen havzasının stratigrafisi Şekil 6’da görülmektedir.



Şekil 6. Kırka Neojen havzasının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti [20]'den değiştirilerek alınmıştır.)

Neojen yaşlı sedimanter istifin tabanında yer alan İdris yayla Volkanitleri, 3 ana evrede oluşan volkanizmanın ürünüdür. Neojen gölüne temel kayalar ile birlikte set ve paleotopoğrafya oluşturmaktadır. Birim kendi içinde aşağıdan yukarıya doğru, pembe-kırmızı bazen de yeşil-siyah renkli andezitler, beyaz-mor-siyah renkli tabakalı riyolitler, kırmızı-kahverengi, köşeli, kenarları keskin olan volkanik lav çakıl ve bloklarının oluşturduğu riyolitik volkanik breşten oluşmaktadır. Formasyonun kalınlığı gerek alt ve üst sınırlarında belirlenen uyumsuzluk gerekse de yerleşimi bakımından belirlenememiştir. Birimin yaşı Alt Miyosen (Burdigaliyen)'dir. Birim, andezitten riyolite kadar değişim gösteren magmatik seriyi temsil etmektedir. Riyolitik breşler ise bu dizilimin tüf püskürmesinden (Karaören Formasyonu'nun oluşumu) önceki otoklastik ürünlerini yansıtmaktadır. Bölgede kuzeyde gözlenen perlitleşmeler ise volkanizmanın lav ürünlerinin sulu bir ortama aktığına işaret eder [20].

Bölgede ilk volkanosedimanter birim olan Karaören formasyonu; riyolitik bileşimli, kahve renkli karasal tüfler ve kırıntılı, karbonatlı ve silisli kayaç ara katkıları içeren gölsel riyolitik tüfler ile temsil edilmektedir. Karasal tüfler, bölgenin güneyinden Afyon'a kadar uzanmakta ve az engebeli bir topografya oluşturmaktadır. Kalınlığı 150 metre olarak belirlenmiştir. Gölsel tüfler, karasal tüflere göre daha geniş bir alanı kaplamakta ve genellikle sarp yamaçlı vadilerin içinde üstteki genç birimlerin aşınması ve faylanmalar neticesinde yüzeylenmektedir. Kalınlığı 170 metre olarak belirlenmiştir.

Temel kayalar (kristalize kireçtaşları) üzerinde uyumsuzlukla yer alan birimin üst sınırı Sarıkaya Formasyonu'nun kireçtaşları ile uyumlu olarak örtülmektedir. Bölgede birimin alt dokunağı belirlenememiş ancak daha yaşlı birimler ile (temel kayalar ve İdris yayla Formasyonu) ile uyumsuz ilişkileri saptanmıştır. Kırka açık ocakta yapılmış olan sondajda

formasyon kalınlığının 252 metreye kadar çıktığı belirlenmiştir. Böylece formasyon kalınlığının basenin kenarlarından ortasına doğru arttığı tespit edilmiştir.

Karaören Formasyonu'nun karasal tüfleri, temel kayalar üzerine uyumsuzlukla gelmektedir. Üst sınırı da yine bu fasiyesten türeyen resedinmente tuf/tüfitlerle (Fetiye Formasyonu) örtülmektedir. Karaören Formasyonu'nun gösel tüfleri, aşamalı sedimantasyonla İdrisyayla volkanitleri, bazı yerlerde de temel kayaları üzerine uyumsuz olarak gelmekte, üst sınırı ise Sarıkaya Formasyonu ile belirlenmektedir. Formasyonun yaşı Alt Miyosen (Burdigaliyen)'dir.

Tüflerin çeşitli seviyelerinde gözlenen kimyasal ve kırıntılı kayaç arakatkıları, püskürmenin tekrarlandığını, gösel ortamın kesikli olarak volkanik kaynak veya kaynaklardan beslendiğini göstermektedir. Ayrıca kuzeyden güneye doğru tüflerdeki pomzalarda ve kuvarslarda gözlenen tane boyu artışı ve bolluğu, volkanik kaynağın güneyde bulunduğu şeklinde yorumlanmıştır. Karasal tüflerin bölgenin güney kesiminde gözlenmesi ve piroklastik kayaların uzanımının da bu yönde yayılım göstermesi yorumu desteklemektedir. Tüfler özellikle de tüfitler içerisinde, volkanik kayaç parçacıklarının bulunması, temel kayaları ile birlikte havzanın taban paleotopoğrafyasını oluşturan İdrisyayla Volkanitlerinin, sedimantasyon sırasında su üstünde kalan kısımlarının basene kırıntılı malzeme verdiği anlaşılmıştır. Ayrıca taban kayaları bölgede birbirlerine bağlı veya bağımsız küçük havzacıkların ortaya çıkmasına katkıda bulunmuştur.

Orta kesimlerinde borat oluşumları içeren Sarıkaya Formasyonu killi, karbonatlı, silisli ve tüflü kayalardan oluşmakta ve havzanın merkezi kesiminde nispeten düz, kuzeyinde ise oldukça engebeli bir topografya oluşturmaktadır. Bölgenin kuzeydoğu ve güneybatısında yüksek tepelerin üzerinde erozyon kalıntısı biçiminde izlenmektedir. Birimin kalınlığı 150-300 metre (ortalama 230 metre) arasında değişmekte olup, boratların yer aldığı basenin merkezi kesimlerinden kenarlara doğru kalınlığı azalmaktadır. Birimin ana litolojisini oluşturan killi- karbonatlı kayalar, dikey ve yanal yönde birbirlerine sık sık geçiş göstermekte hatta milimetre seviyesinde kil/karbonat oranı sürekli değişmektedir. Boratlı zonda değişik türde mineraller gözlenmektedir (Şekil 7). Yatak içinde alttan üste doğru Ca, NaCa, Na, NaCa, Ca borat biçiminde dizilim gösteren zonlarda, minerallerin dağılımları ve makroskopik özellikleri aşağıdaki gibidir.

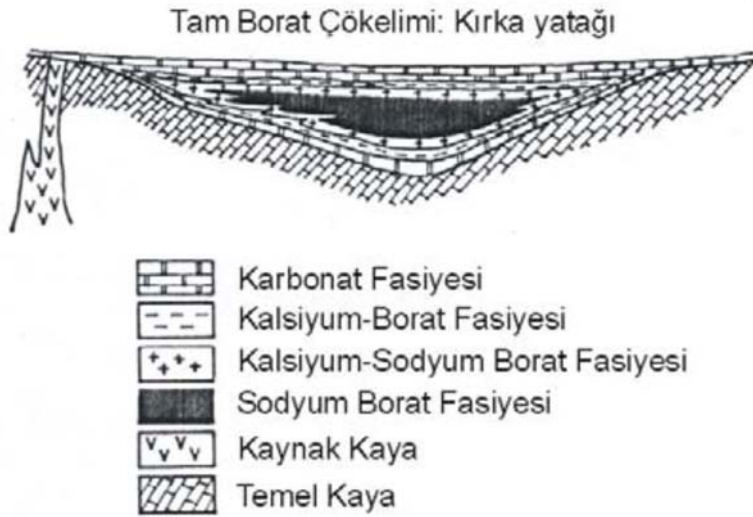
1) Na-Borat Zonu: Mercek biçimindeki boratlı zonun ortasında yer almakta ve kalınlığı 2-130 metre (ortalama 50 m.) arasında değişmekte olup ana minerali boraks oluşturmaktadır.

Boraks; oluşumları, görünüşleri bakımından bantlı, camsı ve breşik olmak üzere 3 farklı şekilde gözlenmektedir.

a) Bantlı Boraks; laminalı, dolomitli kıltaşı/marnlar (killi-karbonatlı kayaçlar) ile ardalanmalı olarak yatay konumda bulunmaktadır. Saf boraks kristalleri renksiz ve şeffaftır. İçerdikleri kil, karbonat ve tuf kapanımlarına bağlı olarak balmumu, yeşil, mavi ve siyah renklerde olabilmektedir.

b) Camsı Boraks; bantlı boraksların oluşturduğu tabakalanma düzlemini keser durumda 10x5 metre ebatlarında kütleler halinde bulunmakta, fay ve çatlak gibi zayıf düzlemlerde izlenmektedir. Buralarda bantlı boraks tabakalarının kıvrılıp büküldüğü gözlenmiştir. Kıltaşı/marnlar içerisindeki kırık dolgusu biçiminde de 1-10 cm. kalınlığında metrelerce uzunlukta camsı boraks bulunmaktadır.

c) Breşik Boraks; genelde bantlı boraksların üst kesimlerinde yer almakta ve 2-5 metrelik seviyeler oluşturmaktadır. Kıltaşı/marnlar içerisinde 1-10 cm. büyüklüğünde özşekli ve yarı özşekli kristaller halinde gözlenmektedir. Boraks mineralleri killi içerisinde 1-2 cm. büyüklüğünde özşekli olarak da yer almaktadır. Boraks minerallerinin killiyle dokanak yaptıkları yerlerde yer yer 2-5 cm. uzunluğunda üleksit liflerine, atmosfere açık yüzeylerinde ise ince film şeridi biçiminde tinkalkonite dönüşmüşlerdir.



Şekil 7. Kırka gölsel baseninde borat minerallerinin çökelimi [17]

2) NaCa Borat Zonu: Na-borat zonunun alt ve üstünde 2-10 m. (Ort. 5 m.) yer almaktadır. Üst Ca-borat zonunda kolemanit, inyoit, meyerhofferit ve tünelit, alt zonda ise kolemanit, inyoit, hidroborasit ve tünelit bulunmaktadır. Üst zonunda ise kurnakovit, inderit, inderborit ve tünelit bulunmaktadır. Kolemanit, Sarıkaya bölgesinde tabakalar halinde gözlenirken,

borat yatağının kenar kesimlerine karşılık gelen Çörez ve Göcenoluk bölgelerinde 1-20 cm. çapında yumrular şeklindedir.

Sarıkaya Formasyonunun alt sınırı Karaören Formasyonu ile uyumlu, İdrisyayla Volkanitleri ve Temel kayaçları ile uyumsuzdur. Üst sınırı ise Fetiye Formasyonu ile açılı uyumsuzlukla örtülmekte Türkmen Dağı Formasyonu (bazalt) ile kesilmektedir. Sarıkaya Formasyonunu oluşturan birimler Orta-Üst Miyosen'de çökelmişlerdir.

Formasyon, gölsel ortamlardaki kimyasal ve kısmen de piroklastik çökelmenin ürünlerini yansıtmaktadır. Birimin özellikle boratlı kesiminde bulunan yer yer bozunmuş pomza parçaları içeren kilaşları, toz boyutundaki ince piroklastiklerin ise bütünüyle hidrolize olması ve sonra da karbonatla birlikte çökmesi durumu diğer bir ifadeyle boratların oluşumu sırasında volkanizmanın çökme ile eş zamanlı ve aralıklarla devam ettiğini göstermektedir. Borat katmanları volkanizmanın hidrotermal getirimleri sonucunda oluşmuşlardır. Borat yatağının merkezi kesimindeki kalınlık artışı ve merccek biçimindeki oluşumu ise volkanizma ve evaporasyon sisteminin belirli dönemlerde tekrarlanarak devam ettiğini göstermektedir.

Türkmen Dağı Bazaltı; bölgedeki 3. ve son volkanik evreyi temsil etmekte ve bazaltik lavlardan oluşmaktadır. Birimin alt ve üstünü sınırlayan uyumsuzluk ve yerleşimi itibarıyla kalınlığı tam olarak belirlenememiştir. Yaşı ise Üst Miyosen (Tortaniyen) olarak belirlenmiştir.

Fetiye Formasyonu bütünüyle Karaören Formasyonu'nun karasal tüflerine ait silt-kum boyunda parçalarından oluşmaktadır. Üst seviyelerde ise tüflü bağlayıcı malzeme içinde Sarıkaya Formasyonu'nun kireçtaşı ve çörtlerle temsil edilen çakıllarının miktarı ve tane boyu artmaktadır. Kısaca karasal ve gölsel tuf kırıntıları içeren resedimente tuf-tüfitten oluşmaktadır. Güneyde Karaören ve Sarıkaya Formasyonları, batıda ise Temel Kayaçları ve Sarıkaya Formasyonu üzerine açılı uyumsuzlukla gelmektedir. Üst sınırı aşınma yüzeyi ile yer yer de Kuvaterner oluşukları ile sınırlanmaktadır. Ortalama 100 metre kalınlığında olan birimin yaşı Pliyosen'dir.

Kuvaterner Oluşukları; köşeli, çakıl, kum, silt ve kil boyutunda, pekişmemiş, kendinden daha yaşlı birimlerin sedimanlarından oluşmaktadır. Kalınlığı Kırka Ovası'nda 20 metreyi bulmaktadır.

Hafif dalgalı olan inceleme alanında Fetiye Formasyonu'nun üst kesimlerinin atmosferik koşulların etkisiyle ayrışmasıyla kil oluşmuştur. Yöre halkı tarafından bu killi kısımlar tarım arazisi olarak kullanılmaktadır. Bölgede yapılan sondajlarda kilin kalınlığının 0.0-4.0 metre

arasında değiştiği belirtilmektedir. Kil, orta plastik inorganik kumlu siltli kil (CL), inorganik kil, çok plastik kil (CH) ve inorganik çok plastik kil-silt (MH) karakterinde siyah ve kahve renkli az ince kum, silt ve kilin değişik oranlarda karışımıdır.

2.1.1 Yapısal jeoloji

Çalışma alanının yapısal jeolojisi [7] ve [20]’den yararlanılarak özetlenmiştir. Karaören Formasyonu’nda tabaka kalınlığı lamine ile orta kalınlık arasında değişmektedir. Tabaka konumları değişik yönlerdedir. Sarıkaya Formasyonu kalın tabakalı, yer yer de lamine. Tabaka konumları KD doğrultu, eğim yönleri ise GB’ dır. Fetiye Formasyonu iyi yüzlek vermediği için tabakalanma tespit edilememekle birlikte dikey tane boylanması ve kama şekilli çapraz tabakalanmalar yaygın olarak izlenmektedir. Bu zellik tesislerin hemen kuzeyindeki yarma ve şevlerde açık olarak görülmektedir.

İnceleme alanının yakın çevresinde çok sayıda kıvrımlanmalar mevcuttur. Özellikle açık işletmenin yapıldığı bölgede kıvrımlar antiklinal ve senklinal şeklinde devam etmektedir. Kıvrımların uzanımları KD-GB yönlü olup dalım yn belirlenememiştir.

Sedimanter birimleri oluşturan kayalar da eklem sistemleri özellikle Karaören Formasyonu tfitlerinde iyi gelişmiştir. Bunların doğrultuları KB-GD, eğimleri GB yönünde yoğunlaşmıştır. Eğim açıları 60-90° arasındadır. Sarıkaya Formasyonu’ndaki eklemlerin doğrultuları genellikle D-B, eğimleri ise kuzeye olup eğim değerleri 65-90° arasındadır. Karaören ve Sarıkaya Formasyonlarında eklemler tansiyon tipidir. Fetiye Formasyonu’nda eklemlenme fazla gelişmemiştir. Eklemlerin içi birimlerin alterasyonu ile oluşan kil ve kum ile doludur.

İnceleme alanı çevresinde KD-GB, K-G uzanımlı eğim atımlı faylar gözlenmekte ve bu faylar da ‘basamaklı fay’ sistemini oluşturmaktadır. Bu faylar açık işletmenin yapıldığı bölgede izlenmekte ve sedimantasyon sırasında hareketin devam ettiği, böylece sübsidans havza karakterini yansıttığı ve cevherleşme ile eş zamanlı oluştuğu literatürde belirtilmektedir. Sarıkaya Formasyonu’nda atımları milimetre-metre arasında değişen yüzlerce sinsedimanter normal fay, tabakalar arası kıvrım ve kırıklıklar veya kayma yapıları ile yk çökme yapıları bulunmaktadır.

2.2 Çalışma Alanının Hidrojeolojik zellikleri

Çalışma alanındaki Kırka Grubuna ait jeolojik birimler hidrojeolojik olarak akifer özelliği göstermektedir. İşletme sahası kuzeyinde sığ kuyular ile yeraltısuyuna ulaşılmaktadır. Bor

işletme sahasının güneyinde akarsu yatağına yakın bölgelerde kuyular ile sulama suyu sağlanmaktadır.

Kırka Bor işletmesi yakın çevresinde DSİ tarafından gözlem amacı ile açılmış 7 kuyuda özellikle atık havuzları ile bölgesel yeraltı suyu arasındaki ilişki gözlenmektedir (Çizelge 1 ve Şekil 8). Sadece hidrolik yükler dikkate alındığında olası bir sızıntı durumunda atık havuzlarından ve göletten bölgedeki yeraltısuyuna borca zengin suyun karışması olası gözükmemektedir. Aynı gözlem kuyularında 2012 yılı Mayıs ayında ENCON Çevre Danışmanlık Firması tarafından geniş kapsamlı kimyasal analiz yapılmıştır [21]. Yapılan analizlerden çalışma ile ilgili parametreler olan yeraltısuyunda çözünmüş madde içeriği, pH, bor ve arsenik derişimleri ileriki bölümlerde değerlendirilmiştir.

Çizelge 1. Kırka Bor İşletmesi çevresindeki gözlem kuyularında 26.08.2013 tarihli yeraltısuyu seviye gözlemleri (21)

Kuyu Kodu	Koordinat		Kuyu Kotu (m)	Statik seviye (m)	Su kotu (m)
GK-1	36 S 284425	4354274	1059	4.02	1054.98
GK-2	36 S 285135	4353654	1052	0.41	1051.59
GK-3	36 S 285845	4352473	1062	6.32	1055.68
GK-4	36 S 285615	4351136	1048	2.31	1045.69
GK-5	36 S 283808	4350802	1072	2.82	1069.18
GK-6	36 S 284238	4351607	1024	0.37	1053.63
GK-7	36 S 283803	4352621	1100	4.11	1095.89



Şekil 8. 2013 yılında yeraltısuyu gözlem kuyularının konumları ve ölçülmüş su kotları

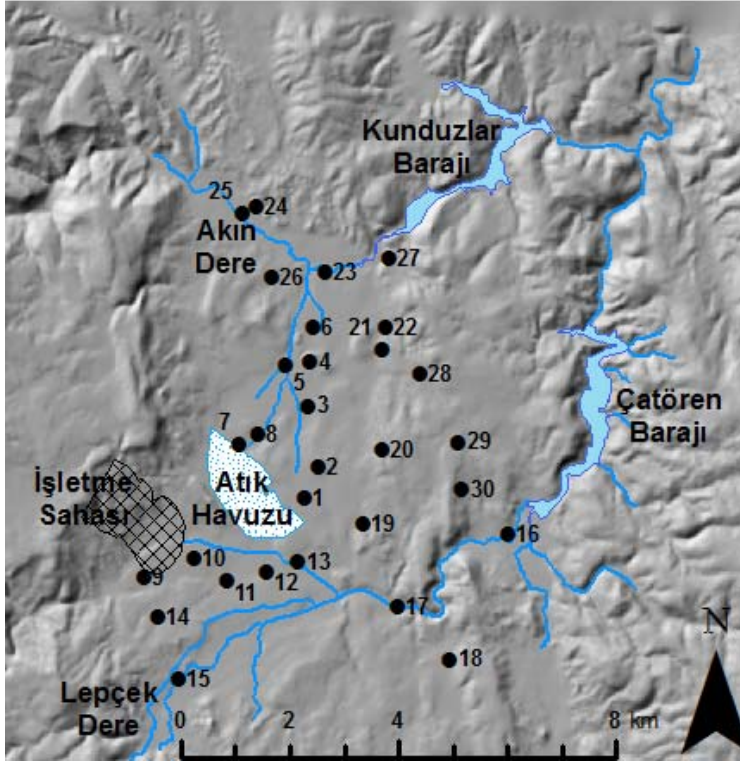
3 YÖNTEM VE SONUÇLAR

3.1 Örneklemeye çalışmaları

2012 yılı Ağustos ve Kasım aylarında Kırka Bor İşletmesi ve çevresinde işletmenin olası çevresel etkilerinin belirlenmesi için su (yüzey ve yeraltı) ve toprak (yüzey ve derinlik) örnekleme yapılmıştır.

3.1.1 Toprak örnekleme

2012 yılı Kasım ayında Kırka Bor İşletmesi çevresinde toprak örtüsü üzerindeki çevresel etkilerinin belirlenmesi amacıyla 29 farklı noktadan yüzey ve 40-50 cm derinlikten toprak örnekleme yapılmıştır. Kontrol örneği olarak işletme pasasından da örnek alınmıştır. Toprak örnekleri, ilgili noktada önce yüzeyden yaklaşık 1kg daha sonrasında aynı noktada 40-50 cm derine inilerek alınmıştır. Örnek listesi Çizelge 2 ve örnekleme noktalarının çalışma alanındaki dağılımları Şekil 9’da verilmiştir. Toprak örneklerinin toprak tipi tanımlamaları Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü laboratuvarlarında yapılmıştır. Toprak grubu sınıflandırmasında <http://aris.cob.gov.tr/sites/default/files/lejant.pdf> verilen tablo kullanılmıştır [22]. Toprak örnekleri kurutulmuş ve kimyasal analizler için öğütülmüştür.



Şekil 9. Toprak örnekleme noktaları

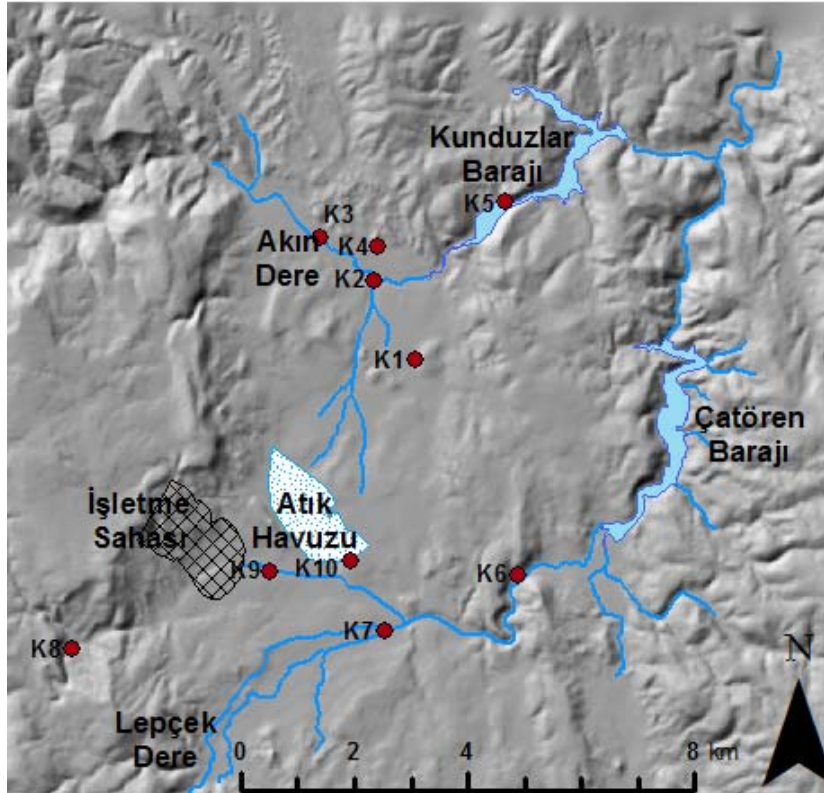
Çizelge 2. Toprak örnekleme noktaları (*pasa örneği olduğundan tanımlama yapılmamıştır.)

Örnek No	Koordinat-y	Koordinat-x	Toprak grubu
1	285961.61	4352578.90	M6.2 K l e
2	286220.78	4353160.80	M6.2 K l e
3	286035.81	4354283.88	M6.2 K l e
4	286068.35	4355098.47	M11.3 K IV es
5	285612.85	4355041.54	M6.2 K l e
6	286115.22	4355715.52	M7.3 K III es
7	284768.34	4353587.08	M6.2 K l e
8	285113.57	4353750.66	M6.2 K l e
9	283011.42	4351121.61	A7.5 M II ws
10 Pasa	283922.41	4351488.54	*
11	284526.13	4351074.62	A7.5 M II ws
12	285263.60	4351219.22	A7.5 M II ws
13	285849.24	4351401.78	A4.5 II w
14	283255.44	4350388.66	M11.3 K IV es
15	283644.05	4349261.67	A4.5 II w
16	289699.27	4351926.87	A5 h S III sw
17	287673.03	4350590.20	M12. 3 K II se
18	288641.86	4349624.08	M7.3 K III es
19	287034.97	4352122.08	M11.3 K IV es
20	287396.48	4353486.76	M11.3 K IV es
21	287398.29	4355324.11	M10.2 K III e
22	287461.55	4355732.61	M11.3 K IV es
23	286344.50	4356747.54	A4 K II w
24	285075.82	4357958.28	M15 t 3 M VI es
25	284824.65	4357832.50	A4 K II w
26	285350.76	4356651.14	M7.3 K III es
27	287524.37	4356991.27	A4 K II w
28	288082.90	4354870.14	M10.2 K III e
29	288801.18	4353618.52	M11.3 K IV es
30	288868.33	4352752.56	M11.3 K IV es

3.1.2 Yüzey ve yeraltı su örnekleme ve yerinde gözlemler

Kırka Bor İşletmesi ve çevresindeki 10 noktada 23 Ağustos 2012 tarihinde yerinde ölçüm yapılmış ve kimyasal analizler için su örnekleri alınmıştır. Örnekleme noktalarının

koordinatları ve çalışma alanı içindeki dağılımları Çizelge 3 ve Şekil 10'da sunulmuştur. K1'den K7'ye kadar kodlanan örnekler işletme çevresindeki yüzey ve yeraltısularına ait örneklerdir. K9 örneği işletme sahasında depolanan pasadan sızıntıyı temsil etmektedir. K10 örneği ise işletmeye ait atık su dinlendirme göletinden alınmıştır. Örnekleme noktalarının genel özellikleri Çizelge 1'de açıklanmıştır. Örneklerde YSI MPS 556 model cihaz ile yerinde sıcaklık, özgül elektriksel iletkenlik (ÖEİ), ve pH ölçümleri yapılmıştır (Çizelge 3). Kimyasal analiz için alınan örnekler standart yöntemler ile korunarak en kısa sürede Hacettepe Üniversitesi Su Kimyası Laboratuvarına ulaştırılmıştır.



Şekil 10. Ağustos 2012 yüzey ve yeraltısuyu örnekleme noktaları.

Çizelge 3. 23 Ağustos 2012 tarihli yüzey ve yeraltısuyu örnekleme noktaları

Örnek Kodu	Açıklama				Kot (m)	Sıcaklık (oC)	ÖEİ (mS/cm)	pH
K-1	Keson kuyu	36S	286745	4355417	1041	11.97	488	7.69
K-2	Akin Dere (5# örnek noktası)	36S	286046	4356819	1030	19.02	473	8.25
K-3	Akin Dere (6# örnek noktası)	36S	285070	4357573	1040	21.14	448	8.12
K-4	Akin köyü çeşmesi	36S	286104	4357402	1036	19.66	456	7.49
K-5	Kunduzlar Barajı	36S	288332	4358216	1022	24.25	262	8.09
K-6	Çatören Barajı (Kırka atık)	36S	288567	4351621	1036	24.23	350	7.79
K-7	Ağzıkara Deresi Kuyu 10-12 m derinlik	36S	286213	4350611	1050	13.00	715	6.81
K-8	Lepçek Dere çeşme pompa istasyonu	36S	280697	4350295	1121	12.73	443	7.14
K-9	Pasa sızıntı	36S	284205	4351683	1060	23.54	1599	8.30
K-10	1 nolu gölet	36S	285607	4351858	1067	21.51	20041	9.57
TSE 266 S1-2/T2*							650	
TSE 266 S2/T2**							2500	

* S1-2/T2: Kaynak (membra)suları, kaynak suları dışındaki insani tüketim amaçlı sular / İşlem görmüş kaynak (membra) suları (TSE, 266 [23])

** S2/T2: Kaynak suları dışındaki insani tüketim amaçlı sular / İçme ve kullanma suları

3.2 Toprak Analizleri ve Sonuçları

Kırka Bor İşletmesi çevresindeki ait toprak örneklerinde Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Laboratuvarlarında tane boyu analizi, tüm kayaç ve kil XRD mineral analizi, toprak pH ve organik madde içeriği, sıcak suda çözünmüş bor içeriği ve katyon takas kapasitesi analizleri yapılmıştır. Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü laboratuvarlarında ise toprak grupları belirlenmiş, örnekler çeneli kırıcı ile öğütülmüş ve asitte çözünmüş bor analizleri yapılmıştır. Çalışmanın amacı doğrultusunda sıcak suda ve asitte çözünmüş bor analizleri tüm örneklerde yapılmıştır. Bor analiz sonuçlarına göre seçilen 14 toprak örneğinde ise diğer analizler gerçekleştirilmiştir.

3.2.3 Toprak pH'ı analizleri

Toprak örneklerinin pH değerleri ASTM D4972-01 nolu standarda göre belirlenmiştir. 10 numaralı elek altına geçen havada kurutulmuş toprak örneğinden 10 g tartılmıştır. Toprak örneğine 10 ml deionize su eklenerek karıştırılıp 1 saat bekletilmiş ve tampon çözeltiler ile kalibre edilmiş MPS 556 model çoklu ölçüm cihazı ile pH ölçümleri +/- 0.2 ölçüm hassasiyeti ile gerçekleştirilmiştir. Toprak pH ölçümü için hazırlanmış örnekler ve ölçüm

süreci Şekil 11’de gösterilmiştir. Ölçüm sonuçları Çizelge 4’de verilmiştir. Ölçülen pH değerleri 6.21 ve 9.20 arasında değişmektedir. Örneklerin büyük çoğunluğu nötr-bazik karakterdedir. Asidik özellik gösteren tek örnek 5 no.lu örnekleme noktasına ait yüzey toprağıdır. 9.20 pH değeri ile en bazik toprak 25 no.lu örnekleme noktasında belirlenmiştir (Şekil 13).



Şekil 11. Toprak pH ölçümü için örnek hazırlama ve ölçüm.

Çizelge 4. toprak örneklerinde ölçülmüş pH, organik madde ve hesaplanmış KTK değerleri. (* kil boyu malzeme ve organik maddeye bağlı olarak hesaplanan teorik KTK değerleridir.)

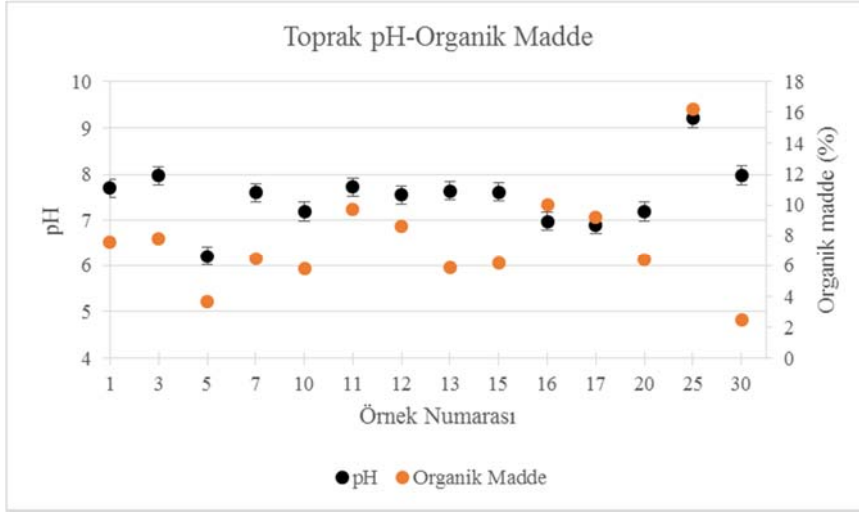
Örnek No	pH	Organik Madde (%)	Kil boyu malzeme(<0.002mm) (%)	KTK* (meq/100g)
1	7.70	7.6	16.2	37.9
3	7.97	7.8	28.3	47.1
5	6.21	3.7	12.1	21.4
7	7.60	6.5	9.6	29.5
10	7.19	5.8	12.6	29.1
11	7.72	9.7	34.7	58.2
12	7.55	8.6	14.0	39.9
13	7.64	5.9	9.7	27.4
15	7.62	6.2	10.9	29.3
16	6.98	10.0	17.3	47.1
17	6.90	9.2	14.4	42.2
20	7.19	6.4	8.2	28.1
25	9.20	16.2	26.7	75.4
30	7.98	2.5	6.8	13.5
en düşük>	6.2	2.5	6.8	13.5
en yüksek	9.2	16.2	34.7	75.4

3.2.4 Toprak Organik Madde İçeriği

Çalışma alanına ait örneklerde ASTM D 2974-00 no.lu ölçüm standardının 4 no.lu metoduna göre organik madde içeriği belirlenmiştir. Porselen krozeler 0.01 hassasiyetle tartılmıştır. Tartılmış krozeler içine 10 gr örnek eklenerek tekrar tartılmış ve yakma fırınında kademeli artan fırın sıcaklığı ile 440°C de 24 saat ısıtılmıştır. Fırınlama sonrası alınan son tartım kullanılarak örneklerdeki organik madde miktarı belirlenmiştir. Toprak örneklerinde organik madde içeriği belirleme yöntemine ait fotoğraflar şekil 12’de verilmiştir. Yapılan analiz sonucunda belirlenen organik madde yüzdeleri izelge 4 ve şekil 13’de sunulmuştur. Örneklerde llen organik madde içerikleri %2.5 ile %16.2 arasında değişmektedir. Organik madde içeriği %16.2 ile en yüksek toprak rneği bazık karakteri ile diğer örneklerden ayrılmaktadır.



şekil 12. Toprak örneklerinde organik madde analizi

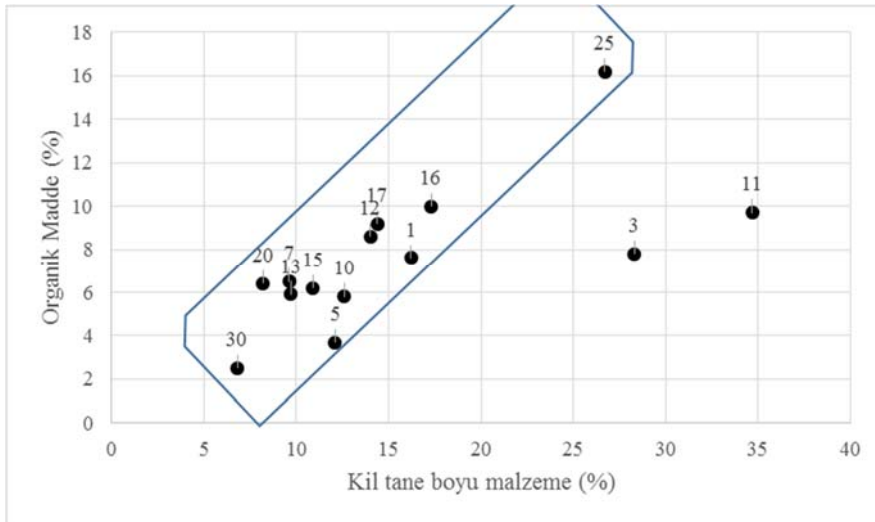


Şekil 13. Toprak pH ve organik madde analiz sonuçları

3.2.5 Tane Boyu Dağılımı

Toprak örneklerinde tane boyu dağılımı ASTM D6913 no.lu standarda göre havada kurutulmuş örneklerden itibaren kaba ve ince elek ve hidrometre deneyleri ile gerçekleştirilmiştir [24]. Örneklerin yüzde tane boyu dağılımları Çizelge 5’de sunulmuştur. Hazırlanan tane boyu dağılım eğrileri ise EK-1 de verilmiştir.

Uluslararası sınıflamalara göre 0.002 mm’nin altındaki taneler kil olarak adlandırılırlar. Toprak örneklerindeki kil tane boyundaki malzemenin bolluğu iyon takas süreçleri üzerinde belirleyici etkiye sahip olduğundan çalışma kapsamında ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir. Tane boyu analizi yapılan örneklerde kil boyu malzeme yüzdesi % 6.8 ile % 34.7 arasında değişmektedir. Kil boyu malzeme yüzdesi ile organik madde bolluğu arasında 3-11 no.lu örnekler dışında kuvvetli bir ilişki gözlenmektedir. Ancak; bu ilişkinin genelleştirilerek tanımlanması yanıltıcı olabilir (Şekil 14).



Şekil 14. Toprak örneklerinin organik madde ve kil boyu malzeme yüzdelерinin ilişkisi.

Cizelge 5. Toprak örneklerinde tane boyu dağılımı

	1		3		5		7		10		11		12
T.B (mm)	E.A (%)	T.B (mm)	E.A (%)	T.B (mm)	E.A (%)	T.B (mm)	E.A (%)	T.B (mm)	E.A (%)	T.B (mm)	E.A (%)	T.B (mm)	E.A (%)
4.75	97.8	4.75	93.8	4.75	92.8	4.75	98.4	4.75	83.7	4.75	99.5	4.75	64.3
2	95.2	2	86.1	2	86.3	2	95.3	2	78.7	2	98.2	2	58.9
0.84	90.7	0.84	85.0	0.84	70.8	0.84	90.0	0.84	64.7	0.84	97.3	0.84	49.2
0.42	85.6	0.42	73.0	0.42	59.0	0.42	78.9	0.42	56.2	0.42	96.1	0.42	44.5
0.25	79.7	0.25	70.8	0.25	52.0	0.25	69.4	0.25	50.9	0.25	94.9	0.25	42.1
0.105	66.2	0.105	68.0	0.105	42.5	0.105	54.6	0.105	43.4	0.105	92.2	0.105	38.8
0.074	63.1	0.074	67.9	0.074	40.5	0.074	51.1	0.074	41.3	0.074	91.1	0.074	37.9
0.0427	42.7	0.0414	49.6	0.0510	32.0	0.0463	32.0	0.0492	35.4	0.0382	55.7	0.0458	36.1
0.0312	39.0	0.0298	47.5	0.0370	27.8	0.0336	28.3	0.0362	29.3	0.0274	53.9	0.0335	32.1
0.0229	35.3	0.0213	46.5	0.0264	26.2	0.0245	24.7	0.0262	26.3	0.0201	51.6	0.0240	30.1
0.0166	32.5	0.0153	44.5	0.0190	23.6	0.0177	22.4	0.0188	24.3	0.0145	49.3	0.0172	28.1
0.0124	29.7	0.0114	43.0	0.0140	22.5	0.0131	20.1	0.0140	21.2	0.0109	47.5	0.0128	25.1
0.0089	26.9	0.0083	39.4	0.0100	19.9	0.0094	17.4	0.0099	20.2	0.0077	46.6	0.0092	23.5
0.0065	23.2	0.0060	36.4	0.0072	17.8	0.0067	15.5	0.0071	18.2	0.0056	44.7	0.0066	20.0
0.0047	20.4	0.0043	33.4	0.0051	15.7	0.0048	13.7	0.0051	15.7	0.0041	41.5	0.0047	18.0
0.0033	18.6	0.0031	30.3	0.0037	13.6	0.0034	11.9	0.0036	15.2	0.0030	38.3	0.0034	16.0
0.0023	16.2	0.0022	28.3	0.0026	12.1	0.0024	9.6	0.0026	12.6	0.0022	34.7	0.0024	14.0
0.0014	12.1	0.0013	23.8	0.0015	10.5	0.0015	7.3	0.0014	9.1	0.0013	29.2	0.0014	10.0
0.0010	9.3	0.0009	20.2	0.0010	8.4	0.0010	6.4	0.0010	7.6	0.0009	21.9	0.0010	7.5

Çizelge 5. Toprak örneklerinde tane boyu dağılımı (devam ediyor)

	13		15		16		17		20		25		30
T.B. (mm)	E.A (%)	T.B. (mm)	E.A (%)	T.B. (mm)	E.A (%)	T.B. (mm)	E.A (%)	T.B. (mm)	E.A (%)	T.B. (mm)	E.A (%)	T.B. (mm)	E.A (%)
4.75	90.7	4.75	81.4	4.75	96.6	4.75	95.0	4.75	92.9	4.75	100.0	4.75	94.2
2	84.4	2	76.2	2	92.0	2	91.6	2	92.6	2	98.4	2	86.7
0.84	75.5	0.84	66.2	0.84	90.1	0.84	88.5	0.84	83.6	0.84	92.8	0.84	67.9
0.42	66.9	0.42	59.6	0.42	87.8	0.42	85.1	0.42	73.3	0.42	85.4	0.42	48.0
0.25	58.9	0.25	55.1	0.25	80.7	0.25	81.8	0.25	64.9	0.25	80.5	0.25	38.8
0.105	45.3	0.105	47.1	0.105	72.8	0.105	70.6	0.105	53.1	0.105	74.2	0.105	27.8
0.074	41.7	0.074	44.8	0.074	69.1	0.074	66.5	0.074	50.4	0.074	72.8	0.074	25.3
0.0499	31.9	0.0473	33.3	0.0420	47.5	0.0453	41.1	0.0454	33.7	0.0429	44.5	0.0522	18.5
0.0368	26.1	0.0344	29.7	0.0312	42.9	0.0337	35.0	0.0337	30.9	0.0308	43.0	0.0374	16.5
0.0266	23.2	0.0246	27.1	0.0237	35.6	0.0247	30.3	0.0249	25.5	0.0220	41.5	0.0267	14.6
0.0192	19.4	0.0177	25.5	0.0173	31.9	0.0178	27.8	0.0178	23.7	0.0158	39.6	0.0190	13.6
0.0142	18.9	0.0131	22.9	0.0129	29.2	0.0131	25.7	0.0131	22.7	0.0118	37.6	0.0140	11.7
0.0101	16.5	0.0094	20.8	0.0093	26.5	0.0095	23.1	0.0094	21.8	0.0085	35.6	0.0100	11.2
0.0072	15.0	0.0067	18.8	0.0067	24.6	0.0068	21.1	0.0068	19.1	0.0061	33.1	0.0071	10.2
0.0052	13.5	0.0048	15.6	0.0048	22.4	0.0047	18.5	0.0047	16.8	0.0044	30.7	0.0051	8.8
0.0037	11.6	0.0033	13.5	0.0035	20.1	0.0034	14.4	0.0034	12.7	0.0031	28.2	0.0036	7.8
0.0026	9.7	0.0024	10.9	0.0025	17.3	0.0024	14.4	0.0024	8.2	0.0022	26.7	0.0025	6.8
0.0015	6.8	0.0015	8.3	0.0014	13.7	0.0014	11.8	0.0014	7.3	0.0013	23.2	0.0015	5.8
0.0010	5.8	0.0010	0.0	0.0010	11.9	0.0010	8.7	0.0010	6.4	0.0009	20.8	0.0010	4.9

3.2.6 Katyon Takas Kapasitesi (KTK)

Katyon takas kapasitesi, toprak mineralleri yüzeylerine ortamdaki katyonları bağlanabilme kapasitesidir. Genel olarak 100 g toprak için yüzeylere bağlanabilen katyon derişimi (meq/l) olarak tanımlanır. KTK reaksiyonları çok kısa sürelerde gerçekleşebilirler ve reaksiyon ortamda bulunan katyonların bolluğuna bağlı olarak zaman içinde değışkenlik gösterebilir. Toprağın takas yüzeyi ve ortamdaki kirlilik riski oluşturan katyon bolluğuna bağlı olarak kirlletici taşınımı açısından oldukça önemli bir süreçtir [25].

Kil boyu malzeme yüzdesi ve organik madde bolluğuna bağlı olarak ampirik KTK eşitliğı [26] aşağıda verilmiştir.

$$KTK \left(\frac{meq}{100g} \right) = 0.7 * Kil(\%) + 3.5 * Organik Madde(\%)$$

Bu ampirik yaklaşım ile hesaplanan KTK değeri Çizelge 4’de verilmiştir. Hesaplanan KTK değeri 75.4 meq/100g ve 13.5 meq/100g arasında değışmektedir. Bu yaklaşım ile en yüksek KTK değeri, organik madde içeriğı en yüksek ve pH=9.20 ile en bazik olan 25 no.lu toprak örneğinde gözlenmektedir. Organik madde ve kil boyu malzeme içeriğine bağlı olan

bu genelleştirilmiş yaklaşım kimyasal analizler ile desteklenmesi gereklidir. En önemli belirsizlik kil boyu malzemeyi oluşturan mineralleri KTK lerindeki farklılıklardan kaynaklanmaktadır. Örneğin kil minerallerinden illit, kaolinit ve simektit (kaolinit) için KTK leri sırası ile 20-50, 3-15, 80-120meq/100g arasında değişkenlik göstermektedir [26]. Organik madde için ortalama KTK 10-400meq/100g aralığında değişmektedir.

KTK nin belirlenmesi için yaygın olarak kullanılan yöntem iyon takas reaksiyonuna giren tüm iyonların derişik bir takaslayıcı ile çözeltiye alınarak çözeltide iyon analizi yapılmasıdır. Bu deney için genellikle NH₄ asetat çözeltisi kullanılır [27]. Çalışma kapsamında 0.2 g toprak örneğine 15 ml 1 M NH₄ asetat (pH 7) çözeltisi eklenerek gece boyunca bekletilmiştir. Daha sonra çözelti topraktan ayrılarak santrifüjle askıda maddelerden arındırılmıştır. Çözelti HNO₃ ile asitlenerek ICP-MS ile analiz edilmek üzere hazırlanmıştır. Deney sürecinde kullanılan NH₄ asetat çözeltisi kontrol örneği (blank) olarak deneyin analiz aşamasına dahil edilmiş ve toprak örneklerinin analiz sonuçlarından kontrol örneğindeki elementer derişimler çıkartılmıştır. NH₄ asetat yöntemi ile analizi yapılan elementler içinden analiz kabiliyeti üzerinde derişim gözlenen sonuçlar Çizelge 6’da verilmiştir. NH₄ asetat yöntemi ile çözeltiye tüm örneklerde büyük oranda kalsiyum geçmiştir. 25 no.lu örnek diğerlerinden oldukça yüksek bor, sodyum, potasyum, stronsiyum ve arsenik derişimleri ile ayrılmaktadır. 25 no.lu örnek çalışma alanında analizi yapılan örnekler içinde pH ve organik madde içeriği en yüksek olan topraktır.

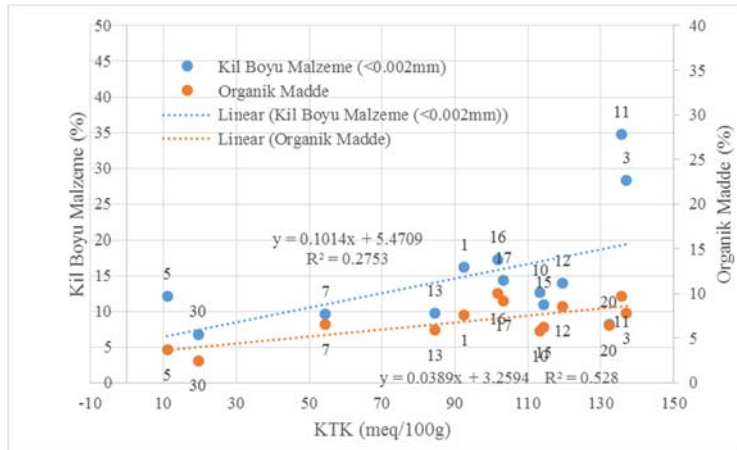
Çizelge 6. Toprak örneklerinden NH₄ asetat yöntemi ile çözeltiye geçen element derişimleri (blank düzeltmesi yapılmış derişimler ppb olarak verilmiştir.)

Örnek No	B	Na	Mg	Si	K	Ca	Mn	Fe	Ga	As	Rb	Sr	Cs	Ba
1	171	597	9668	6110	11370	205435	47	195	28	26	96	1127	102	819
3	145	nd	5055	7910	7333	329635	28	350	20	8	119	1042	58	572
5	82	167	2292	1820	3183	17735	288	19	11	1	41	167	7	295
7	64	328	2401	4510	8098	123535	12	115	16	2	106	206	89	458
10	76	67	2068	5820	5283	278435	71	291	27	3	62	426	106	765
11	260	330	26422	11010	13170	275235	64	307	21	16	117	6430	134	602
12	84	107	2696	7380	4411	290435	101	311	19	3	48	348	42	555
13	86	114	1917	7580	5978	196835	27	202	14	2	99	371	121	384
15	54	77	2108	8290	6692	274135	133	271	13	4	71	472	58	374
16	266	236	7022	8450	15100	226035	108	228	29	10	78	889	58	813
17	296	224	8329	8860	17680	224835	172	236	31	12	68	986	49	880
20	53	50	2239	10730	8373	314035	82	314	14	6	96	268	142	402
25	526095	217764	15702	nd	16360	355735	27	299	12	900	109	13000	26	349
30	5798	1082	1634	nd	2195	14545	577	15	9	3	45	151	8	254

KTK değerlendirmesinde iyonik yükler takas kabiliyetini belirlediğinden ölçülen derişimler iyonik yük değerlerine bölünerek derişimler meq/l'ye dönüştürülmüştür. Herbir toprak örneği için hesaplanan toplam iyonik derişim 100g örnek için düzenlenerek standartlaştırılmıştır (Çizelge 7). Yapılan hesaplamalar sonucunda 25 no.lu toprak örneğinde çözeltiye geçen yüksek bor nedeni ile KTK'si 1296 meq/100g gibi literatür değerlerinin çok ötesinde bir büyüklükte esaplanmıştır. Diğer örneklerin KTK değerleri 11-137 meq/100g arasında değişen değerler almıştır. 5 ve 30 nolu toprak örneklerinde çalışma alanındaki en düşük KTK değerleri belirlenmiştir. Artan organik madde ve kil boyu malzeme yüzdesi arasında anlamlı ilişkilerin belirlendiği Şekil 15'de gözlenmektedir.

Çizelge 7. Toprak örneklerinden NH4 asetate yöntemi ile çözeltiye geçen element derişimleri ve KTK (blank düzeltmesi yapılmış derişimler meq/l olarak verilmiştir.)

	B	Na	Mg	Si	K	Ca	Mn	Fe	Sr	Ba	KTK
İyonik yük	3	1	2	4	1	2	4	3	2	2	meq/100g
Atom ağırlığı	11	23	24	29	39	40	55	56	88	137	
1	0.05	0.03	0.81	0.84	0.29	10.27	0.00	0.01	0.03	0.01	93
3	0.04	-0.01	0.42	1.09	0.19	16.48	0.00	0.02	0.02	0.01	137
5	0.02	0.01	0.19	0.25	0.08	0.89	0.02	0.00	0.00	0.00	11
7	0.02	0.01	0.20	0.62	0.21	6.18	0.00	0.01	0.00	0.01	54
10	0.02	0.00	0.17	0.80	0.14	13.92	0.01	0.02	0.01	0.01	113
11	0.07	0.01	2.20	1.52	0.34	13.76	0.00	0.02	0.15	0.01	136
12	0.02	0.00	0.22	1.02	0.11	14.52	0.01	0.02	0.01	0.01	120
13	0.02	0.00	0.16	1.05	0.15	9.84	0.00	0.01	0.01	0.01	84
15	0.01	0.00	0.18	1.14	0.17	13.71	0.01	0.01	0.01	0.01	114
16	0.07	0.01	0.59	1.17	0.39	11.30	0.01	0.01	0.02	0.01	102
17	0.08	0.01	0.69	1.22	0.45	11.24	0.01	0.01	0.02	0.01	103
20	0.01	0.00	0.19	1.48	0.21	15.70	0.01	0.02	0.01	0.01	132
25	143.48	9.47	1.31	0.00	0.42	17.79	0.00	0.02	0.30	0.01	1296
30	1.58	0.05	0.14	0.00	0.06	0.73	0.04	0.00	0.00	0.00	19



Şekil 15. KTK ile organik madde ve kil boyu malzeme yüzdesi arasındaki ilişki.

3.2.7 Toprak Mineral İçeriği (XRD analizi)

Toprak örneklerinin mineral kompozisyonunun belirlenmesi için XRD analizi iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada tüm kayaca ait geniş spektrumlu ölçüm yapılarak mineral grupları ve yüzdeleri belirlenmiştir. Örneklerde önemli oranda kil minerali varlığı gözlemlendiğinden bu kez minerallerini tanımlamaya yönelik ayrıntılı ölçüm yapılmıştır. XRD analiz sonuçları Çizelge 8’de toplu olarak sunulmuştur. Tüm kayaç ve kil çekimlerine ait dökümler EK-2’de verilmiştir. Analizi yapılan tüm örneklerde kil mineralleri ile kuvars varlığı belirlenmiştir. Minerallerin yarı kantitatif bollukları belirlenirken yanıt oranı bilinmeyen mineraller hesaplama dahil edilmemiştir. Yanıt oranı bilinmeyen ancak örnekte belirlenen mineraller (muskovit, uleksit vb.) Çizelge 8’de verilmiştir. Örneklerin tümünde illit minerali bulunurken, simektit ve kaolinit ise az sayıda toprak örneğinde gözlenmemiştir. Kil minerallerinin KTK üzerindeki arttırıcı etkisi bilinmektedir. 12, 20, 25 ve 30 no.lu örnekler dışındaki örneklerde feldispat grubu mineraller (albit, anortit, mikroklin) bulunmaktadır.

Çizelge 8. Toprak örneklerinde XRD sonuçları

Örnek No	Mineral Bollukları *(%)					Kil mineralleri (%)			Diğer mineraller	feldispat mineralleri
	Kil Mineralleri	Kuvars	Feldspat	Kalsit	Dolomit	Simektit	İllit	Kaolinit		
1	53	7	30	6	4	51	25	24	muskovit	anorthite
3	54	16	8	20	3	60	26	14		anorthite
5	45	19	36			0	49	51		albit
7	58	8	29	5		33	43	24	arsenolit, muscovit	anorthitesodian, microcline
10	40	4	10	46		32	26	41		microcline
11	57	4	18	15	5	37	43	20	clauderite	anorthite
12	43	5	2	50		29	37	34		
13	43	27	15	15		51	49	0		albit
15	50	4	7	39		20	52	28		albit
16	68	10	16	6		0	75	25	muskovit	albit
17	65	12	16	8		13	65	22	muskovit	anorthite
20	60	5	1	34		58	20	22	muskovit	anorthite
25	36	26	38			32	38	30	uleksit, mixite	albit
30	40	14	42	4		0	59	41	margarite, muskovit	anorthite

*Mineral ve/veya grubuna ait 100’lük pikin ortalama yanıt oranları (Kil:14.63, Kuvars: 0.35, Feldispat: 1.62, Kalsit: 0.74, Dolomit: 1.00) kullanılarak hesaplanmıştır.

3.2.8 Toprakta Bor Analizi

Toprakta bor absorbe olmuş olarak, oksitlere bağlı olarak, organik maddeye bağlı ve minerallerin yapısında bulunmaktadır. Toprağın bor yükünün belirlenmesi için ilgilenilen borun formuna (topraktaki bulunuşuna) bağlı olarak çözeltiye alma yaklaşımının kullanılması önemlidir. Hou et al., 1994 tarafından önerilmiş çözeltiye alma yaklaşımları Çizelge 9’da özetlenmiştir [28]. Toprak bünyesinde farklı formda bulunan bor ilgilenilen problemin amacına göre çözeltiye alınmaz ise amaca uygun bor yükü bilgisi üretilmesi mümkün değildir.

Çizelge 9. Toprakta borun bulunuşu ve çözeltiye alma yaklaşımları [28]

Bor’un toprakta bulunuşu	Çözeltiye alma yaklaşımı	Toplam bor içindeki oranı
Kolaylıkla çözünebilir	0.01 M CaCl ₂	%2
Adsorbe olmuş	0.05 M KH ₂ PO ₄	%2
Oksitlere bağlı	0.20 M acidic NH ₄ -oxalate	%2.3
Organik olarak bağlı	0.02 M HNO ₃ + 30% H ₂ O ₂	%8.6
Toplam bor	HNO ₃ + HCl + HF	~%85

Bor işletmesi yapılan ya da bor minerali içeren kayaların yüzeylendiği bölgelerde toprakta çevresel risk oluşturan bor yükünün belirlenmesi bu borun topraktaki bulunuşundaki çeşitlilik nedeni ile karmaşık bir probleme dönüşmektedir. Topraktaki borun canlılar için tehdit oluşturabilmesi için kolaylıkla suya geçmesi ve dolayısı ile bitkilerde birikerek canlılar tarafından tüketilmesini gerekmektedir. Ancak yoğun asitler ile reaksiyonu sonucunda topraktaki formundan ayrılabilen borun çevresel tehdit oluşturma olasılığı oldukça zayıftır.

Toplam B değerleri, kullanılabilir B derişimi ya da B ihtiyacının belirlenmesi için anlamlı bir gösterge değildir. Asitte çözünebilir B derişimi daha anlamlı olmakla birlikte özellikle karbonatlı topraklarda (karbonat ekstraksiyon çözeltisini nötrelize ettiğinden) bitki kullanımına uygun B un belirlenmesinde yeterli değildir [29]. Berger and Troug (1939) tarafından geliştirilen Sıcak Suda Çözünebilir B (SSÇB) yöntemi bitki kullanımına uygun B derişiminin belirlenmesi için yaygın olarak kullanılmaktadır [30]. SSÇB yöntemi standartlaştırılması zor, zaman alıcı ve tekrarlanabilirliği şüpheli bir yöntemdir. SSÇB yöntemi ile çözeltiye geçen B miktarı sıcaklık ve bekletme süresine bağlıdır. Çözeltinin soğutulması sırasında B’un bir bölümü tekrar adsorbe olarak çözültiden ayrılabilir. SSÇB çözültülerinin toprağın karakterine bağlı olarak çökelti renklendiğinde B ölçümü güçleştirmektedir. Çözeltiye renk veren aksıda katı maddenin aktif kömür ile uzaklaştırılması

mümkün olmakla birlikte B'un bir bölümünde aktif kömüre tutularak çözeltiden ayrılabilir.

Türkiye'deki bor işletmelerinde çevresel etki gözlemi yapılırken tercih edilen çözeltiye alma yaklaşımı asit ile çözeltiye almadır. Asidik çözeltiye geçen bor ise spektrofotometrik olarak karmen yöntemi ile analiz edilmektedir. Bu çalışma kapsamında Kırka Bor İşletmesi çevresindeki toprak örneklerinde asitte çözünmüş ve sıcak suda çözünmüş bor içerikleri ayrı ayrı belirlenmiş ve sonuçları tartışılmıştır. Toprakta her iki yaklaşım ile yapılmış bor analiz sonuçları Çizelge 10'da toplu olarak sunulmuştur.

Sıcak Suda ve Asitte Çözünmüş Bor Analiz yöntemleri

Topraklardaki toplam bor 7-80 mg/kg aralığında değişmektedir. Ancak, topraktaki borun tamamı bitkiler tarafından kullanılamaz. Bitkiler tarafından kullanılabilen bor genellikle toplam borun % 5'inden daha azdır. SSÇB un 0.5 mg/kg olduğu topraklarda bitkilerin gelişimi için bor içeren gübre uygulanmaması önerilmektedir [31].

Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü Laboratuvarlarında uygulanan asitte çözünmüş bor içeriğinin belirlenmesi için kurutulup öğütülmüş 2 g toprak örneği 60-70 ml sıcak saf su ve 5 ml % 37'lik HCl ile karıştırılarak 130°C'de ısıtıcı tabla üzerinde 2 saat bekletilmiştir (ETİ MADEN AŞ Laboratuvar yetkilileri ile sözlü görüşme). Bekletme süresi sonunda çözelti filtrelenerek tortudan ayrılmıştır. Filtrelenmiş çözeltideki bor derişimi spektrofotometrik olarak analiz edilmiştir

Toprakdaki borun sıcak su ile çözünmesi Berger and Troug (1939) tarafından geliştirilmiş yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir [30]. Önerilen 1:2 toprak: su oranı ile toprağın sıcak su ile 5 dakika karıştırılarak bekletilmesidir. Bu yöntem, bekletme süresinin 10 dakikaya uzatılmasının çözünen borun arttığını ortaya koyan Gupta (1967) tarafından modifiye edilmiştir [32]. Uzun yıllar boyunca bir çok laboratuvar Berger and Troug yöntemini küçük değişiklikler ile uygulamışlardır. Georgia Üniversitesi 1:5 toprak:su oranı ve 30 dakika bekletme süresini önermiştir. Bu çalışmada Georgia Üniversitesinin önerdiği yöntem uygulanmıştır [31].

SSÇB analizi için 5 gr kuru öğütülmüş toprak örneği üzerine 25 ml saf su eklenir. Hazırlanan örnek su karışımı 80°C'de 30 dakika karıştırılarak bekletilir. Daha sonra topraktan ayrılan su santrifüjlenerek tortularından arındırılır ve analize hazır hale getirilir. Örnek hazırlama sürecine ait fotoğraflar Şekil 16'da verilmiştir. Bor analizi Karmen yöntemi ile spektrofotometrik olarak ya da ICP-MS ile yapılır. Bu çalışma kapsamında belirlenen SSÇB

içerikleri için ICP-MS yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem ile bor dışındaki farklı elementlerin analizinin yapılması mümkündür ve spektrofotometrenin bor analizindeki belirsizlikleri ortadan kaldırılmaktadır. Çözeltide ölçülen bor derişimi aşağıdaki eşitlik ile topraktaki suda çözünmüş bor derişimine dönüştürölmektedir.

$$\text{Toprak } B \left(\frac{mg}{kg} \right) = \text{Çözeltideki } B \left(\frac{mg}{l} \right) \cdot 25/5$$

2012 yılı toprak örneklerinde farklı yaklaşımlar ile farklı laboratuvarlarda yapılan toprakta bor analiz sonuçları Çizelge 10'da toplu olarak sunulmuştur. Çalışma alanında bor mineralleri ile birlikte cevher içeren jeolojik birimlerde bolluğu yüksek olan arsenik bulunduğu bilinmektedir. Arsenik oldukça düşük derişimlerinde bile önemli sağlık problemlerine neden olabilmektedir Bu nedenle analiz için hazırlanan toprak örneklerinde arsenik derişimleri de belirlenmiştir.



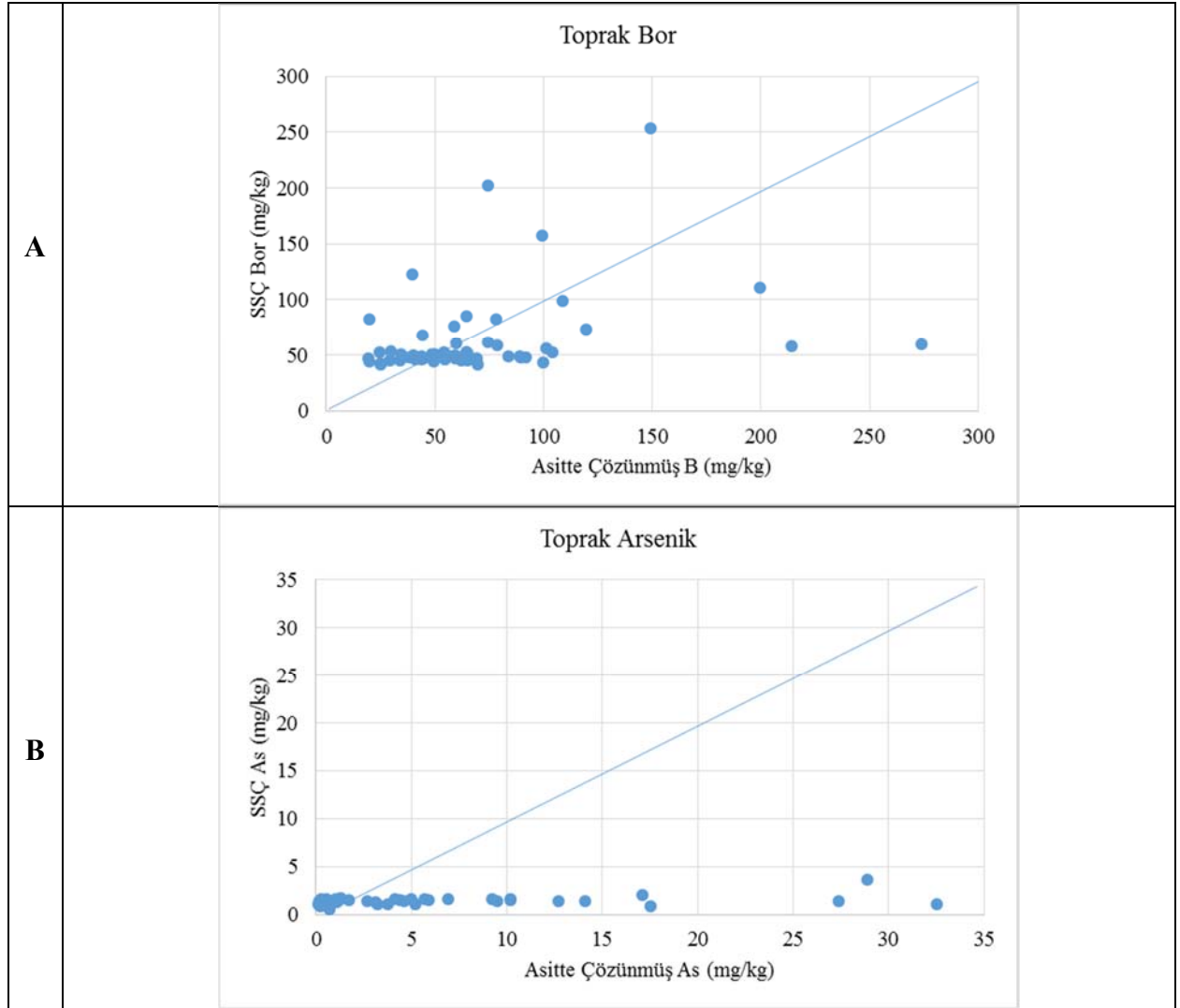
Şekil 16. SSÇB analiz aşamaları

Çizelge 10. Kırka bor işletmesi Kasım 2012 toprak örneklerinde bor analiz sonuçları (*: analiz yapılmamıştır.)

	ETİ HCl B	ETİ HCl B	ETİ HCl As	ETİ HCl As	HU SSÇB	HU SSÇB	HU SSÇ As	HU SSÇ As
	Yüzey	40-50	Yüzey	40-50	Yüzey	40-50	Yüzey	40-50
1	24.99	19.8	5.70	4.42	42.03	44.62	1.57	1.51
2	33.78	54.65	0.29	0.31	44.81	50.30	1.35	1.31
3	19.33	54.61	0.18	0.19	47.40	46.30	1.44	1.31
4	104.26	64.68	0.47	0.48	52.65	52.70	1.51	1.21
5	214.11	89.46	1.74	2.69	58.20	47.89	1.55	1.37
6	39.87	53.86	0.13	0.17	49.48	49.62	1.03	1.06
7	39.77	19.96	17.51	17.1	122.70	82.35	0.86	2.00
8	24.41	29.53	3.2	3.12	52.30	53.55	1.09	1.27
9	78.03	108.56	9.51	12.69	82.55	98.90	1.35	1.36
10	149.39	*	0.73	*	253.90	*	0.58	*
11	64.52	58.95	10.17	6.92	85.60	76.25	1.49	1.58
12	569.79	783.01	70.45	39.8	5740.00	1548.50	10.34	5.26
13	99.16	74.59	9.23	28.9	157.95	202.35	1.61	3.60
14	48.44	64.95	10.17	14.08	51.05	51.50	1.61	1.42
15	54.04	38.23	5.88	5.2	52.90	47.79	1.46	1.08
16	29.05	24.95	32.55	27.4	44.98	41.78	1.08	1.35
17	60.01	64.92	0.57	0.82	48.26	45.47	1.59	1.18
18	99.82	69.59	4.63	5.01	43.58	41.40	1.43	1.60
19	49.31	54.6	0.34	0.3	44.23	50.10	1.50	1.32
20	92.05	59.52	0.52	0.52	48.32	50.00	1.41	1.08
21	88.81	41.03	0.46	0.41	48.40	45.75	1.26	0.99
22	59.93	59.26	0.28	0.3	60.40	46.95	0.97	1.64
23	34.63	74.49	1.04	1.11	50.75	61.65	1.65	1.41
24	64.43	199.53	0.48	0.53	52.10	110.65	1.44	0.94
25	274.07	101.16	1.32	1.09	60.15	55.70	1.74	1.24
26	49.82	84.05	0.22	0.24	50.20	49.04	1.39	0.91
27	57.89	44.37	0.23	0.29	48.67	67.80	1.02	1.09
28	69.24	44.66	0.31	0.46	47.40	46.79	1.22	1.14
29	62.33	49.8	0.36	0.34	45.20	49.22	1.25	1.08
30	119.52	78.51	4.11	3.77	73.65	59.00	1.56	1.08
Min	19.33	19.80	0.13	0.17	42.00	41.40	0.58	0.91
Maks	569.79	783.01	70.45	39.80	5740	1549	10.34	5.26

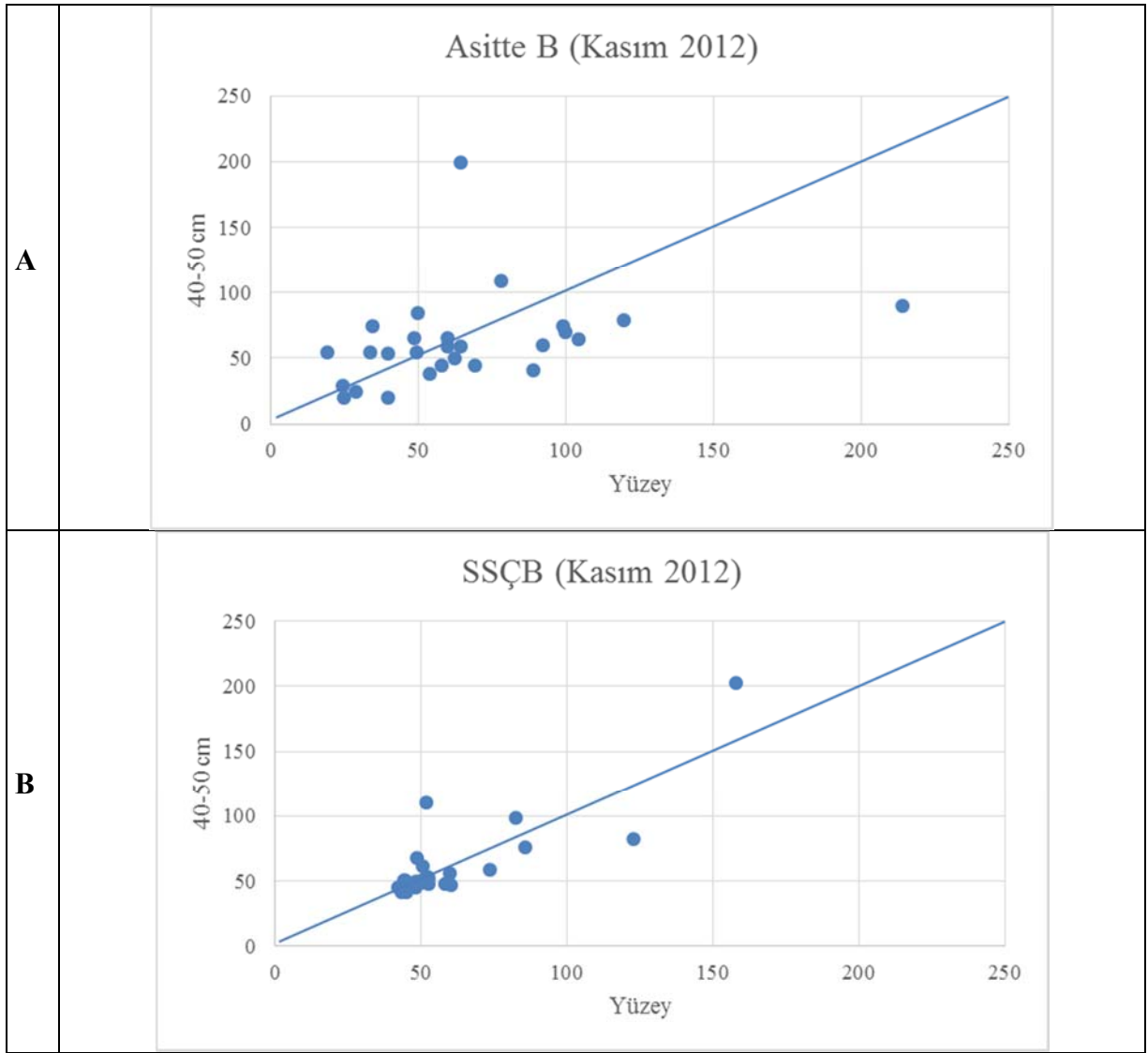
Aynı toprak örneklerinde yapılmış asitte ve sıcak suda çözünmüş bor ve arsenik derişimleri Şekil 17’ de karşılaştırılmıştır. Şekillerde de açıkça ortaya konulduğu gibi her iki yöntem ile çok az sayıda örnekte karşılaştırılabilir büyüklükte derişimler belirlenmiştir. Özellikle 50 mg/kg üzerindeki bor derişimleri yöntemler arasında büyük farklılıklara göstermektedir. Sıcak suda çözünmüş arsenik ölçümlerinin tümü 5 mg/kg’ın altında kalırken asit ile yapılan deney sonucunda 30 mg/kg’a kadar çıkan derişimler gözlenmiştir. Bu karşılaştırma her iki

yöntem ile toprak örneğinden farklı formdaki elementlerin ayrılabilmesini açıkça göstermektedir.



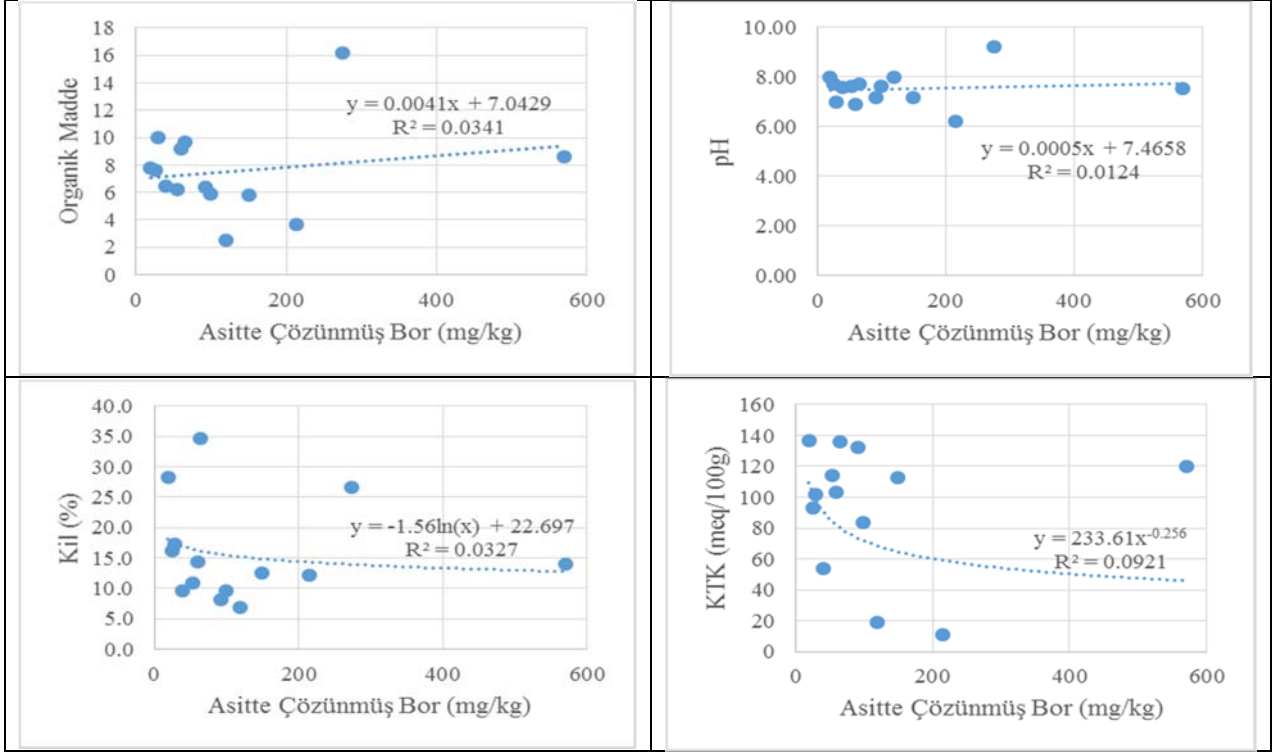
Şekil 17. Asitçe çözünmüş ve SSÇ bor (A) ve arsenik (B) derişimlerinin karşılaştırılması.

Toprak örnekleme toprak zonunda derinlik ile olası kirlenici yükünün izlenebilmesi için yüzey ve 40-50 cm derinden alınmıştır. Yüzey ve derinlik örneklerinin asitçe ve sıcak suda çözülmesi ile gözlenen en yüksek derişimler yaklaşık 200 mg/kg olarak belirlenmiştir (Şekil 18).

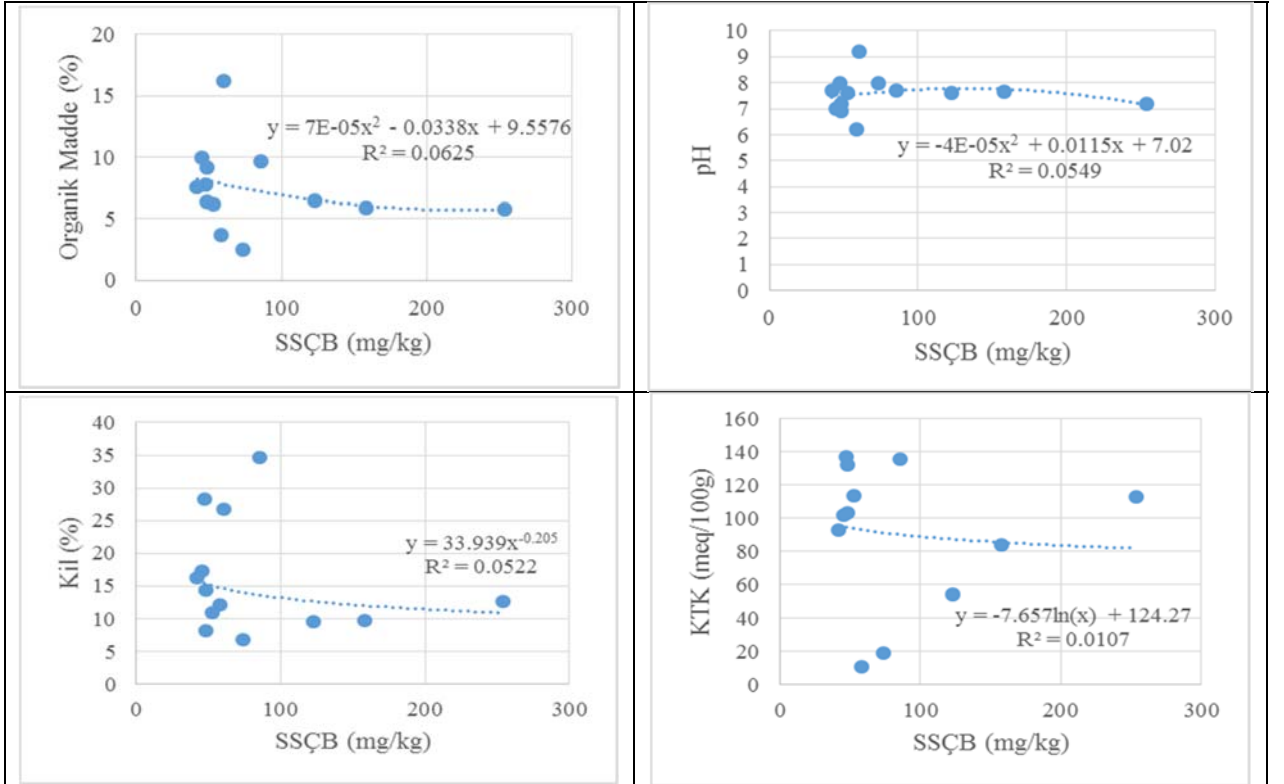


Şekil 18. Yüzey ve derinlik örneklerinde asitte çözünmüş (A) ve SSÇ (B) bor derişimlerinin karşılaştırılması.

Toprağın pH, yapısı, nemi, sıcaklığı, organik madde içeriği ve kil mineralojisi borun bitkiler tarafından alınabilirliğini etkilemektedir ([33], [34], [35], [36]). Katyon değişim kapasitesinin de borun toprakta bağlanmasına etki eden önemli bir faktör olduğu ileri sürülmüştür [37]. Bu sebeple yapılan çalışmada toprakta elde edilen asitte ve sıcak suda çözünmüş bor derişimleri toprağın organik madde, pH, kil yüzdesi ve katyon takas kapasiteleri ile karşılaştırılmış ancak anlamlı bir ilişki tespit edilememiştir (Şekil 19 ve Şekil 20). Hazırlanan grafiklerde çok yüksek KTK değerine sahip olan 25 nolu örnek ile SSÇB değeri yüksek olan 12 nolu örnek kullanılmamıştır.



Şekil 19. Asitte çözülmüş bor değerleri ile toprağın organik madde, pH, kil ve katyon takas kapasiteleri arasındaki ilişki



Şekil 20. Sıcak suda çözülmüş bor değerleri ile toprağın organik madde, pH, kil ve katyon takas kapasiteleri arasındaki ilişki

3.3 Su örneklerinde yapılan analizler ve sonuçları

Eskişehir Kırka ilçesinde kurulu Bor işletmesinde yapılan üretim sonucunda borca zengin su, atık olarak ortaya çıkmaktadır. Atık suyun bor derişimi bekletme havuzlarında dinlendirilerek kontrol edilmektedir. Ancak pasadan sızan ve dekapaj alanı önünde birikerek Sakarya Nehri kollarına deşarj olan suyun engellenmesi gerekmektedir. Suda izin verilen derişimler üzerindeki çözünmüş bor derişimi yüksek dozda kullanıldığında insan sağlığı ve bitki gelişimi açısından olumsuz sonuçlara neden olmaktadır.

Kırka bor işletmesinde boraks ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) üretimi yapılmaktadır. Kırka bor yatağı Türkiye’deki tek sodyum borat (boraks) üretilen yataktır ve oluşum süreci açısından eksiksiz borat yatağı olarak adlandırılmaktadır. Kolemanit %35-40 B_2O_3 , %25 CaO , %1 Na_2O ve eser oranlarda Pb, Cu, As ve Cd içermektedir. Boraks, bor mineralleri içerisinde çözünürlüğü göreceli olarak daha yüksek olan minerallerden biridir. Boraksın suda çözünürlüğü 20°C’de 4.71 g/100ml olarak belirlenmiştir [38].

Kırka bölgesinde bor içeren seviyelerde yapılan jeokimyasal çalışmalarda boraks mineralinin majör ve iz element içerikleri incelenmiştir. Kırka bölgesi bor minerallerinde Se, Sr, As, Cs ve Li elementlerinin bolluğunun yer kabuğu ortalamalarının üzerinde olduğu ortaya konmuştur (7). Kırka Bor İşletmesi ve çevresindeki 10 noktadan 23 Ağustos 2012 tarihinde yerinde ölçüm yapılmış ve kimyasal analizler için su örnekleri alınmıştır. Saha çalışmaları sırasında majör anyon-kasyon, silis (SiO_2), bor, ve iz element analizleri için standart yöntemler ile örnekleme yapılmıştır. Alınan örnekler en kısa sürede Hacettepe Üniversitesi Su Kimyası Laboratuvarına iletilerek analizlere başlanmıştır. Majör iyon analizleri yüksek performanslı iyon kromatografi (Na, K, Ca, Mg, Cl, SO_4 , NO_2 , NO_3 , PO_4 , NH_4 , F, Br, Li) ve titrimetri (CO_3 , HCO_3 , OH) teknikleri ile gerçekleştirilmiştir. B analizleri ICP-MS ve SiO_2 analizleri spektrofotometri tekniği ile gerçekleştirilmiştir. İz element (55 element) analizleri ICP-MS yöntemi ile standart çözeltiler ile oluşturulan kalibrasyon eğrileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analiz doğruluğunun kontrolü için doğal su örneği karakterindeki SRM1640a ve 1643e kodlu standart referanslar kullanılmıştır.

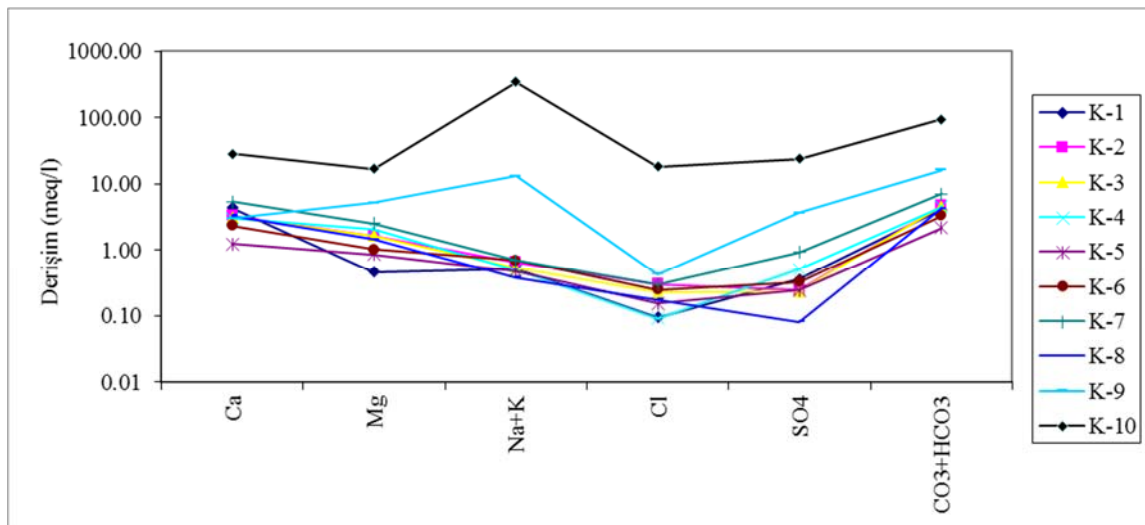
3.3.9 Major İyon Kimyası, Silis ve Bor derişimleri

Çalışma alanında örneklenen suların sıcaklıkları 11.97°C ile 24.25°C arasında değişmektedir. En yüksek sıcaklık ölçümleri Kunduzlar ve Çatören baraj girişlerindeki kısmen durgun sularda belirlenmiştir. En düşük sıcaklık K1 kodlu keson kuyuda ölçülmüştür. Sudaki toplam çözünmüş madde bolluğunun göstergesi olan OEİ değerleri

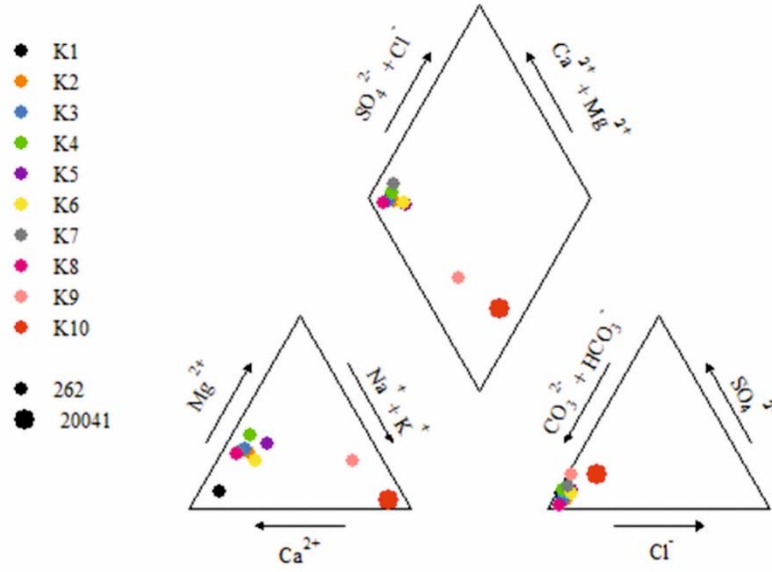
Çalışma alanındaki örneklerde 262 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (K5) ile 20041 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (K10) arasında değişmektedir. Kunduzlar Barajı girişinde alınan K5 nolu örneğin çözünmüş madde içeriği tüm diğer örneklerden düşüktür. En yüksek çözünmüş madde ise işletmenin bekletme havuzunda (K10) llmştr. K10 rneğini K9 kodlu pasa sızıntı rneği 1599 $\mu\text{S}/\text{cm}$ Eİ değeri ile izlemektedir. Örneklerin pH değerleri 6.81 ile 9.57 arasında değişmektedir. En düşük pH değeri Ağzıkara Dereyi yakınındaki kuyuya aittir. Bor işletmesi ile ilişkili örneklerin pH değerleri bazık karakter göstermektedir. Suyun pH içeriği bor minerallerinin çözünmesi açısından oldukça önemlidir.

Su noktalarına ait majör iyon, SiO_2 ve B analiz sonuçları izelge 11’de sunulmuştur. Çalışma alanına ait örneklerin hiçbirinde fosfat (PO_4) llebilir bollukta bulunmamaktadır. Br ve NO_2 sırası ile K7 ve K9 kodlu örneklerde gözlenmiştir. NO_2 sıcak kanlı canlı kökenli dışkı atıklarından kaynaklanmaktadır. Sularda kirlilik göstergesi olarak kabul edilen NO_3 ise çalışma kapsamında örneklenen tüm noktalarda ölçülebilir büyüklükte belirlenmiştir. Genellikle tarımsal amaçlı gübre ve ilaçlardan gelen NH_4 tüm örneklerde belirlenmiştir. En yüksek NH_4 K10 ve en yüksek NO_3 K1 kodlu örneklerde ölçülmüştür. K7 rneği dışındaki tüm sularda NH_4 derişimleri TSE 266 içme kullanma suyu standardının limit değerini aşmaktadır.

Ölçülen majör iyon derişimleri, çalışılan alanda iki farklı hidrojeokimyasal fasiyesin varlığını göstermektedir. şekil 21 ve şekil 22’de görülebileceği üzere işletme bekletme havuzu ve pasa sızıntısı (K9-K10) $\text{Na}-\text{CO}_3/\text{HCO}_3$ fasiyesindedir. İşletme sahası vresindeki diğer su örnekleri ise $\text{Ca}/\text{Mg}-\text{CO}_3/\text{HCO}_3$ fasiyesindedir.

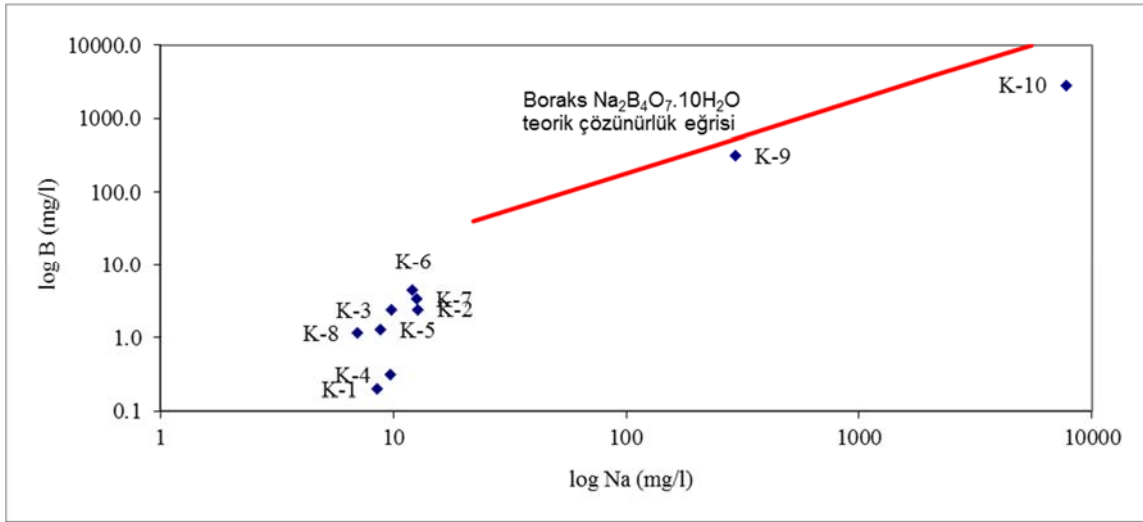


şekil 21. Çalışma alanındaki yüzey ve yeraltısuyu örneklerinin majör iyon kimyası, yarı logaritmik diyagram



Şekil 22. Çalışma alanındaki yüzey ve yeraltısuyu örneklerinin major iyon kimyası, piper diyagram

Kırka işletmesinde üretimi yapılan boraks minerali ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) ile çevre sulardaki çözünmüş bor ve sodyum derişimleri karşılaştırılarak sudaki borun olası kökeni belirlenmeye çalışılmıştır. Şekil 23'deki grafik çalışma kapsamında analizi yapılan suların B ve Na derişimlerinin yanısıra teorik boraks çözünme hattını göstermektedir. Teorik boraks çözünme eğrisi her bir mol boraks çözünmesi sonucunda suya geçebilecek Na ve B un hesaplanması ile oluşturulmuştur. İşletmenin boraksla temas eden suları olan K9 ve K10 çözünmüş Na ve B derişimleri ile teorik eğri ile ilişkili olarak gözükmemektedir. Ancak; diğer sulara doğrudan boraks çözünmesi nedeni ile stokiyometrik olarak orantılı Na ve B zenginleşmesi oluşmadığı anlaşılmaktadır. Dolayısıyla K9 ve K10 nolu örneklerdeki çözünmüş Na ve B un kökeni çözünme dışında karışım (farklı B ve Na sodyum derişimindeki suların karışımı) ve/veya buharlaşmadan kaynaklanmaktadır.



Şekil 23. Çalışma alanındaki yüzey ve yeraltısuyu örneklerinde bor ve sodyum derişimleri

Çizelge 11. Major iyon, SiO₂ ve B analiz sonuçları (derişimler mg/l)

Örnek	F	Cl	NO ₂	Br	NO ₃	PO ₄	SO ₄	CO ₃	HCO ₃	Li	Na	NH ₄	K	Mg	Ca	SiO ₂ ⁺	B ⁺⁺	B ⁺
K-1	0.49	3.36	0	0	35.47	0	17.51	0	249.81	0.09	8.51	0.91	5.884	5.680	87.637	48.110	0.194	0.251
K-2	0.41	10.66	0	0	3.66	0	11.74	17.14	273.05	0.08	12.76	1.11	4.180	20.172	67.499	32.529	2.393	3.688
K-3	0.31	8.01	0	0	2.98	0	11.33	34.29	249.81	0.08	9.80	1.28	4.069	20.332	63.479	31.999	2.374	3.959
K-4	0.29	3.27	0	0	0.89	0	24.63	0	278.86	0.03	9.71	0.67	2.563	25.713	60.257	23.576	0.306	0.274
K-5	0.31	5.49	0	0	0.00	0	11.76	22.86	110.38	0.05	8.80	1.30	3.735	10.509	24.960	5.767	1.274	1.947
K-6	0.30	8.80	0	0	0.16	0	15.66	0	203.33	0.05	12.11	1.00	6.790	12.447	47.018	7.547	4.467	7.328
K-7	0.52	10.66	0	0.05	0.09	0	44.46	0	429.90	0.11	12.65	0.25	5.803	31.115	108.441	47.353	3.380	5.632
K-8	0.45	6.24	0	0	16.29	0	3.94	0	261.43	0.09	7.03	0.50	3.003	17.528	67.078	31.758	1.136	1.630
K-9	1.01	15.14	0.28	0	5.17	0	176.11	742.86	232.38	1.24	296.05	2.15	10.676	63.697	60.418	22.517	313.1	468.3
K-10	10.06	655.10	0	0	22.98	0	1149.60	5714.28	1254.8 (OH)	122.02	7791.24	57.51	165.949	204.911	576.711	22.280	2827	4963
TSE 266 S1-2/T2*	1.0	30	0.1		25		25				100	0.05					1.0	1.0
TSE 266 S2/T2**	1.5	250	0.5		50		250				200	0.5					1.0	1.0

+ Kolorimetrik olarak analiz edilmiştir. ++ ICP-MS yöntemi ile analiz edilmiştir.

* S1-2/T2: Kaynak (memba)suları, kaynak suları dışındaki insani tüketim amaçlı sular / İşlem görmüş kaynak (memba) suları

** S2/T2: Kaynak suları dışındaki insani tüketim amaçlı sular / İçme ve kullanma suları

İçme kullanma suyu için limit değerleri TSE 266 (2005) ile sulama suyu kriterleri ise 1991 tarihli “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği”nde tanımlanmıştır. İçme kullanma suyu bor için limit değeri 1 mg/L’dir (23). K10 nolu örnek noktası atık havuzlarından alındığından içme-kullanma suyu kriterlerine göre değerlendirmeye dahil edilmemiştir. Ancak, hemen hemen tüm parametreler için önerilen limit değerlerin çok üzerinde çözünmüş madde içerdiğinden havuzlardan uzaklaştırılması gerektiğinde dikkat edilmelidir. Aynı zamanda havuzların sızdırmazlığı çevre sularındaki gözlemler ile sürekli kontrol altında tutulmalıdır. Limit değerlerin Na, NH₄ ve B parametreleri için aşıldığı pasa sızıntı suyu (K9) açık havuzlarda bekletilerek, yağışlı dönemlerde Çatören Barajına ulaşan yan kollara verilerek işletme sahasından uzaklaştırılmaktadır. Sulama amaçlı baraj gölüne sürekli yüksek bor yüklü suyun iletilmesi uzun vadede sulama suyu problemlerin ortaya çıkmasına neden olabileceğinden deşarjın kontrollü olarak yapılması gereklidir. Çalışma kapsamında örnekleme yapılan su örneklerinden K1 ve K4 örnekleri dışındaki tüm sular bor derişimi TSE 266 ile önerilen limit değerin üzerindedir. İçme sularında bor için uluslararası organizasyon olan WHO 0.3 mg/l (2003), Avrupa Birliği 1 mg/l şeklinde limit değerler tanımlamışlardır. Bor minerali açısından zengin jeolojik birimlerin bulunduğu ve bor minerallerinin işlendiği ABD’de içme suyu kalitesi için düzenleme yapan EPA bor için limit değeri önermemektedir.

Suda çözünmüş borun fazlası bitki gelişimini açısından olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. Sulama suyu izin verilen bor derişimleri sulama suyu sınıfları ve bitki türleri için ayrı ayrı belirlenmiştir (Çizelge 12 ve Çizelge 13). Çalışma alanından alınan su örneklerin büyük bölümü bor derişimi açısından sulama suyu kriterlerini karşılamamaktadır. K1 ve K4 örnekleri sulama suyu olarak 1.sınıf su olarak tanımlanırken ve K5 ve K8 2.sınıf su sınıfına girmektedir. Diğer örnekleme noktalarındaki bor derişiminin 2 mg/l’nin üzerinde olması bu suların sulama için kullanımında dikkate edilmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır. Bor derişiminin yüksek olduğu sular ile “dayanıklı bitkiler” olarak tanımlanan şeker pancarı, yonca, bakla, soğan, marul ve havuç grubu bitkilerin yetiştirilmesi için bilgilendirme yapılması gereklidir. Bitki türü seçiminde sulama suyu kalitesinin yanısıra bitki su ihtiyacı temelli su kaynağı yöntemi geliştirilmelidir.

Çizelge 12. Sulama Sularının Sınıflandırılmasında Esas Alınan Sulama Suyu Kalite Parametreleri [39]

	Sulama suyu sınıfı				
	I. Sınıf su (çok iyi)	II. Sınıf su (iyi)	III. Sınıf su (kullanılabilir)	IV. Sınıf su (ihtiyatla kullanılmalı)	V. sınıf su (zararlı) uygun değil
Bor derişimi (mg/l)	0-0.5	0.5-1.12	1.12-2.0	> 2.0	-

Çizelge 13. Bitkilerin Bor Mineraline Karşı Dayanıklılıklarına Göre Sulama Sularının Sınıflandırılması [39]

Sulama Suyu Sınıfı	Sulama Suyundaki Bor Konsantrasyonu (mg/l)		
	Duyarlı Bitkiler ¹	Orta Derecede Dayanıklı Bitkiler ²	Dayanıklı Bitkiler ³
I	0.33'ten az	0.67'den az	1.0'den az
II	0.33-0.67	0.67-1.33	1.00-2.00
III	0.67-1.00	1.33-2.00	2.00-3.00
IV	1.00-1.25	2.00-2.50	3.00-3.75
V	1.25'ten fazla	2.50'den fazla	3.75'den fazla

¹ : Örnek ; Ceviz, Limon, İncir, Elma, Üzüm ve Fasulye

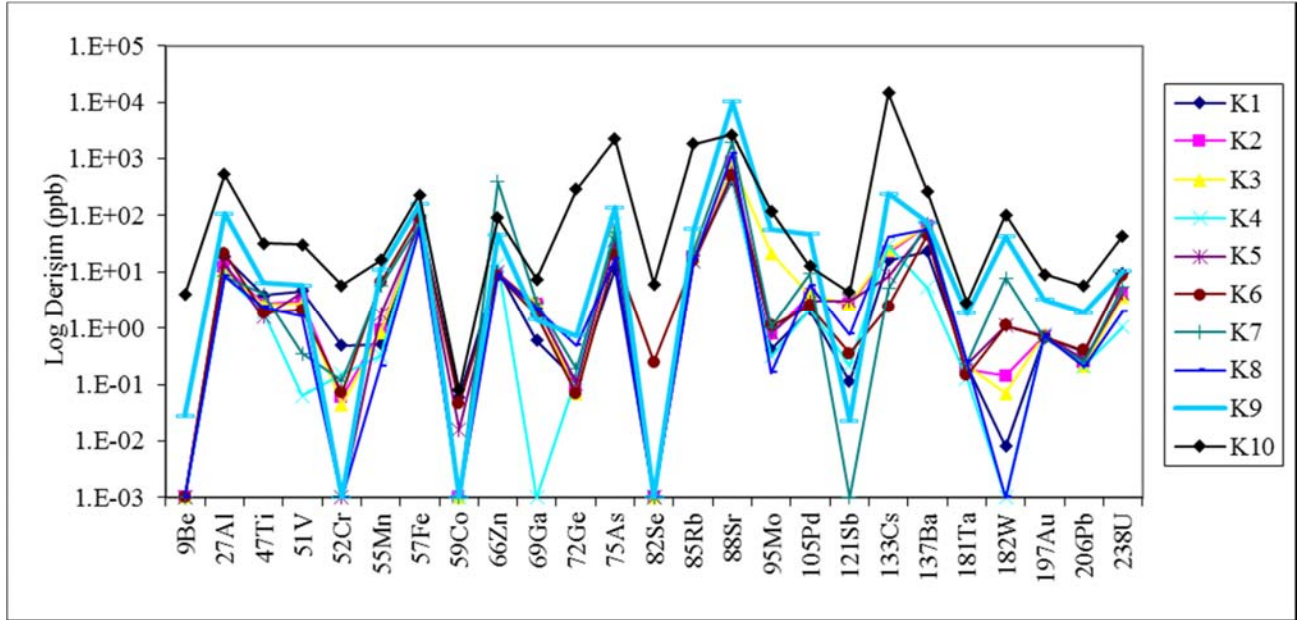
² : Örnek : Arpa, Buğday, Mısır, Yulaf, Zeytin ve Pamuk

³ : Örnek : Şeker Pancarı, Yonca, Bakla, Soğan, Marul ve Havuç

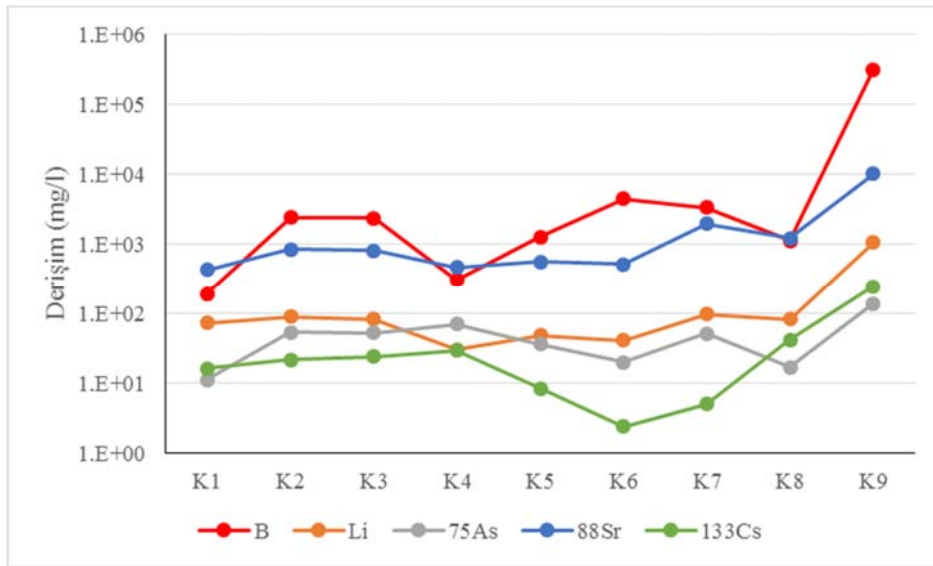
3.3.10 İz element Kimyası

Çalışma kapsamında analizi yapılan iz element analiz sonuçları Çizelge 14'de özetlenmiştir. İz element derişimlerinin örneklerdeki bolluklarını gösteren grafik Şekil 24'de sunulmuştur. İz element derişimleri K10 kodlu depolama havuzunda en yüksek değerlerdedir. Pasa sızıntı suyundaki iz elementlerin bazıları diğer örneklere göre daha yüksektir. İçme kullanma suyu limit değerleri açısından en belirgin tehdit arsenik derişimlerinde gözlenmektedir. Çalışma alanındaki tüm örneklerde arsenik derişimi içme kullanma suyu limit değeri olan 10 ppb'nin üzerindedir. İz element derişimlerinin değerlendirmesi için özellikle işletilen bor minerallerinde gözlenen eser element derişimleri üzerinde durulmalıdır. 2012 yılında Ankara Üniversitesi araştırmacıları tarafından yürütülen araştırmanın sonuçlarına göre Kırka bölgesinde işletilen bor minerallerinde dikkate değer bollukta gözlenen iz elementler Sr, Li, Cs, Se ve As olarak sıralanmaktadır (7). Bor işletmesi ile temas eden yeraltı ve yüzey sularının bu elementler açısından zenginleşmesi beklenmektedir. Bor minerallerinde önemli bollukta belirlenen iz elementlerin sudaki bollukları

ile karşılaştırılması Şekil 25’de sunulmuştur. Selenyum dışındaki tüm elementlere su örneklerinde ölçülebilir bollukta belirlenmiştir.



Şekil 24 Çalışma alanındaki yüzey ve yeraltı suyu örneklerinin iz element derişimleri



Şekil 25 Çalışma alanındaki yüzey ve yeraltı suyu örneklerinde bor mineralinde belirlenen iz elementlerin derişimleri

Analizi yapılan iz elementlerin TSE 266 (2005) tarafından önerilen içme-kullanma suyu limit değerleri ile karşılaştırılması Çizelge 14’de sunulmuştur. K10 atık havuzu örneği iz elementler

açısından da limit değerlerin üstünde kimyasal kompozisyona sahiptir. İçme-kullanma amacı ile kullanılmamasına karşın havuzlardan sızıntının çevresel tehdit oluşturabileceği unutulmamalıdır. Pasa sızıntı sularının toplandığı gölet rneği (K9) As açısından limit değerlerin 10 kat üzerinde derişime sahiptir. Dolayısıyla göletin deşarjının yapıldığı akarsu kolları ve atren Barajında oluşacak As derişimi artışı kontrol altında tutulmalıdır.

Diğer su örneklerinin tümü içme-kullanma ve sulama açısından kullanılmaktadır ve tüm örnekte limit değer olan 10 mg/l'nin üzerinde As derişimleri ölçülmüştür. Bu su noktalarındaki B'un yanısıra As derişimi sürekli kontrol edilerek evre halkın ilgili suların kullanımı konusunda bilgilendirilmesi gereklidir.

Çizelge 14. İz element analiz sonuçları (ppb)

	TSE 266 S1-2/T2*	TSE 266 S2/T2**	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10
Bor (ppm)	1	1	0.194	2.393	2.374	0.307	1.274	4.467	3.380	1.136	313.1	2827
Lityum			0.073	0.090	0.084	0.031	0.048	0.041	0.097	0.083	1.057	90.940
Berilyum			0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.028	3.914
Aluminyum	200	200	18.700	12.270	10.390	8.770	13.980	21.450	8.365	8.360	108.100	529.000
Titanyum			3.799	2.704	2.614	1.931	1.560	1.873	4.059	2.352	6.323	31.920
Vanadyum			4.544	3.014	2.742	0.063	4.230	2.071	0.352	1.606	5.758	30.660
Krom	50	50	0.485	0.060	0.043	0.153	0.001	0.072	0.115	0.001	0.001	5.698
Mangan	20	50	0.512	0.890	0.829	0.314	1.734	6.522	5.589	0.212	11.160	16.350
Demir	50	200	94.730	65.310	61.100	79.740	69.440	92.210	69.990	57.030	157.400	232.300
Kobalt			0.060	0.001	0.001	0.001	0.016	0.045	0.001	0.001	0.001	0.078
Çinko			10.470	9.046	9.165	13.660	9.655	8.668	393.900	8.905	46.020	90.570
Galyum			0.605	2.634	2.783	0.001	2.406	1.739	2.836	2.155	1.409	7.361
Germanyum			0.117	0.100	0.068	0.134	0.104	0.067	0.186	0.490	0.730	291.700
Arsenik	10	10	11.210	54.430	53.100	70.670	36.700	19.900	51.230	16.910	139.800	2189.000
Selenyum	10	10	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.247	0.001	0.001	0.001	5.974
Rubidyum			18.820	18.470	19.110	15.660	15.470	15.500	23.810	16.160	57.100	1786.000
Stronsiyum			433.200	849.300	818.100	471.100	560.900	520.500	1962.000	1237.000	10090.000	2626.000
Molibden			0.405	0.775	21.130	0.311	0.828	1.097	1.029	0.161	56.620	120.400
Palladyum			2.112	3.920	3.870	2.164	2.953	2.484	9.201	5.681	46.940	12.440
Atimon	5	5	0.113	2.581	2.672	0.214	3.057	0.354	0.001	0.768	0.023	4.321
Sezyum			16.350	22.000	23.980	29.540	8.432	2.436	5.081	41.690	246.000	14520.000
Baryum			23.090	65.490	67.290	5.335	59.300	44.980	72.340	55.780	76.220	267.300
Tantal			0.214	0.183	0.211	0.126	0.221	0.145	0.236	0.252	1.834	2.779
Tungsten			0.008	0.141	0.070	0.001	1.107	1.101	7.720	0.001	42.460	102.200
Altın			0.672	0.716	0.775	0.777	0.708	0.682	0.670	0.732	3.179	9.092
Kurşun	10	10	0.369	0.241	0.207	0.214	0.277	0.401	0.246	0.208	1.890	5.597
Uranyum			9.372	3.873	3.634	1.034	4.157	8.360	5.489	1.984	10.170	43.850

* S1-2/T2: Kaynak (membra)suları, kaynak suları dışındaki insani tüketim amaçlı sular / İşlem görmüş kaynak (membra) suları

** S2/T2: Kaynak suları dışındaki insani tüketim amaçlı sular / İçme ve kullanma suları

4 ÇEVRESEL ETKİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

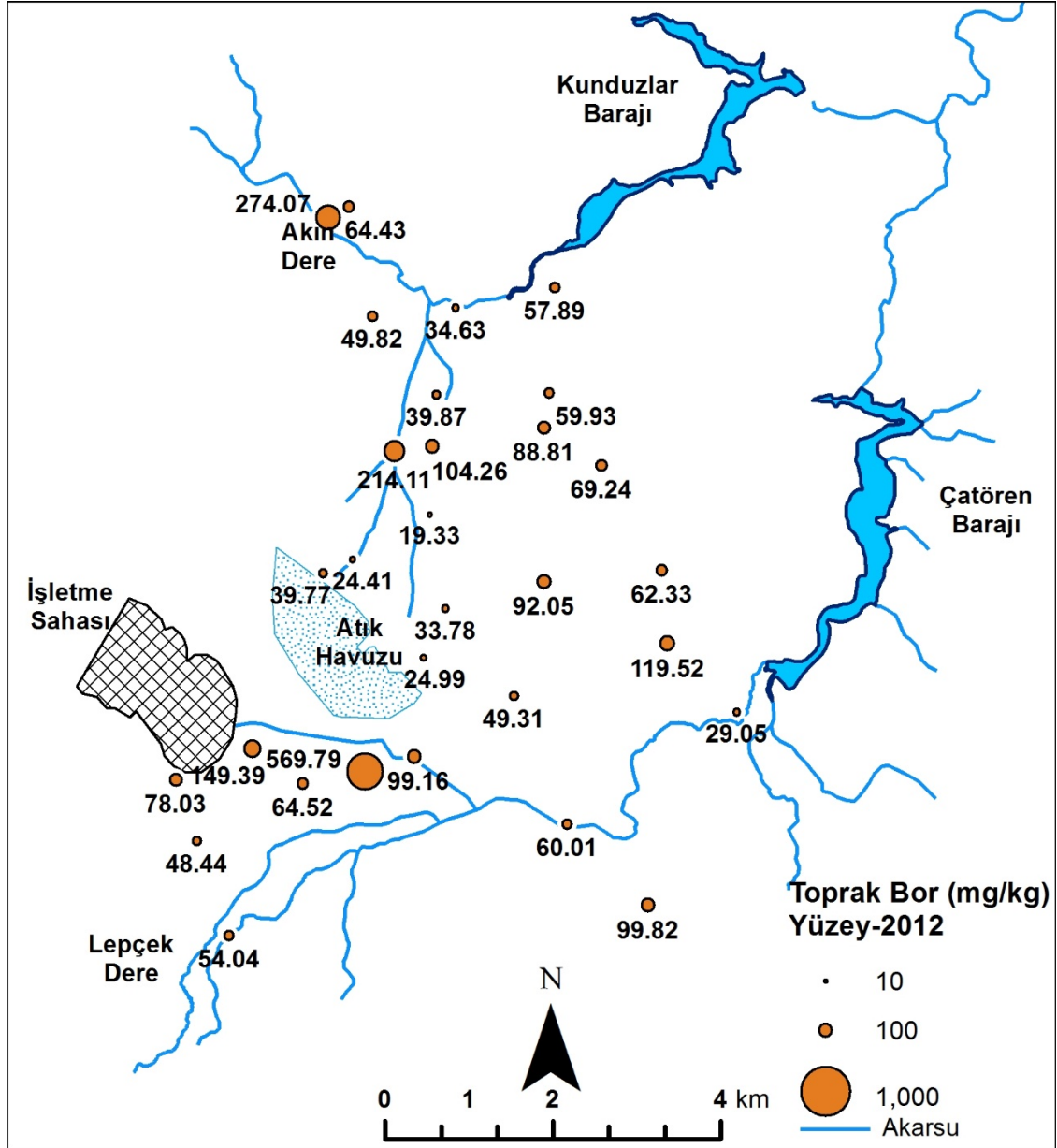
4.1 Güncel gözlemlerin çevresel etkilerinin değerlendirilmesi

Çalışma kapsamında işletme çevresinde gözlem yapılan su ve toprak örneklerinde bor başta olmak üzere diğer bazı kimyasal parametrelerin (As, NH₄, NO₂ vb) limit değerleri aştığı belirlenmiştir. Kırka Bor İşletmesi çevresindeki toprak ve su örneklerinde gözlenen bor ve arsenik değişimlerinin alansal dağılımları aşağıdaki bölümde değerlendirilmiştir.

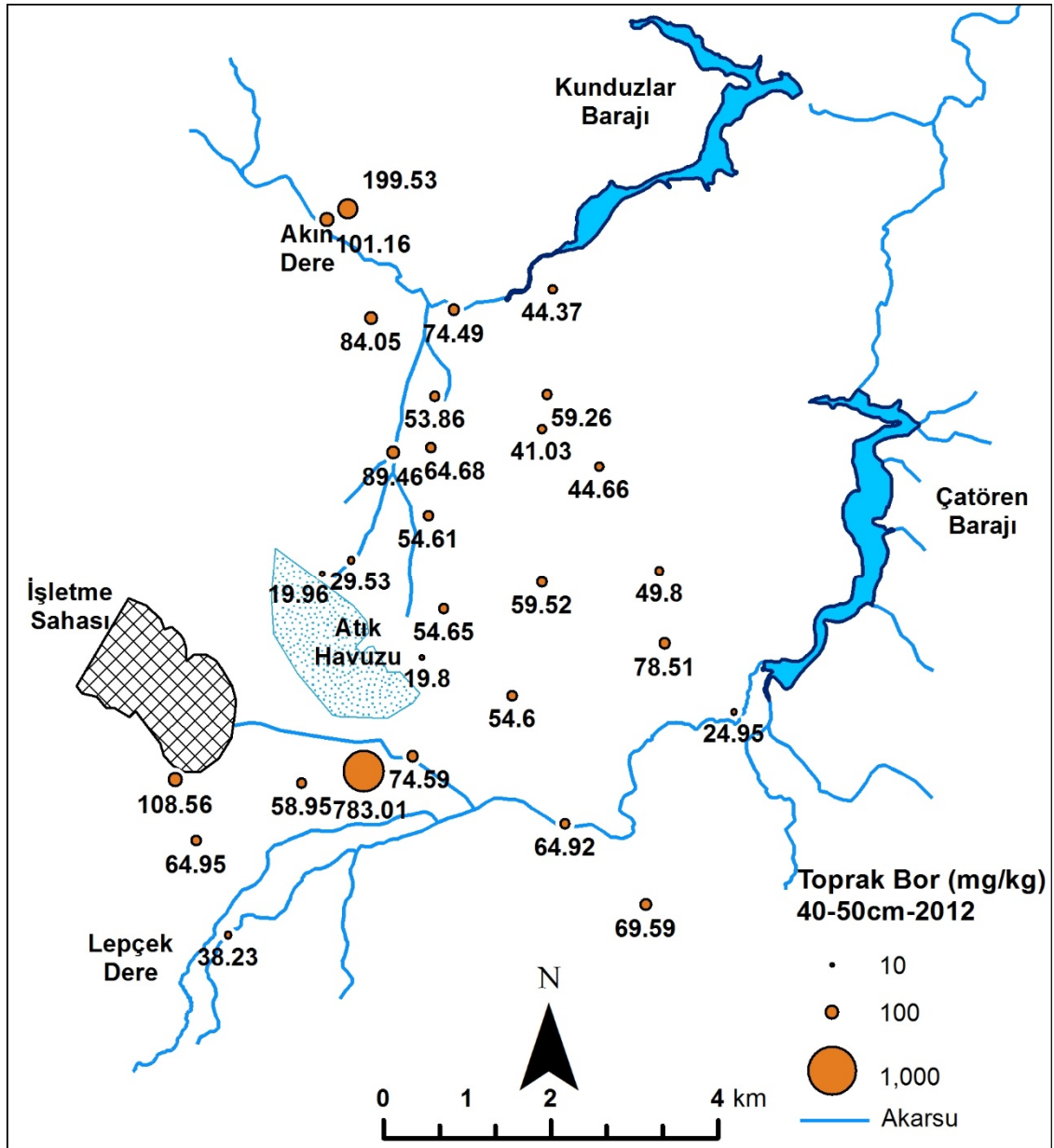
2012 yılı toprak (yüzey) örneklerinde asitte çözünmüş bor derişimleri Şekil 26'da verilmiştir. En düşük bor derişimi 19,33 mg/l ile işletme sahasının KD'sunda; en yüksek derişim ise pasa biriktirme bölgesine ait toprak örneğinde 569,79 mg/l olarak gözlenmiştir. Çalışma alanına yayılan diğer noktalarda gözlenen bor derişimleri kısa mesafede çok büyük farklılıklar göstermektedir. İşletme bölgesinden uzaklaştıkça toprak örneklerindeki bor yükünün azaldığını söylemek mümkün değildir. Şekil 27'de 2012 yılında 40-50 cm derinden alınan toprak örneklerinde asitte çözünmüş bor derişimlerinin alansal değişimi gösterilmiştir. Aynı döneme ait yüzey örneklerinde olduğu gibi en düşük derişim 19,8 mg/l ile atık havuzu yakınındaki noktada gözlenirken en yüksek derişim 793,01 mg/l olarak pasa biriktirme bölgesinde belirlenmiştir. Yüzey örneklerinde olduğu gibi 40-50 cm dağılımında da işletme sahası yakın çevresinde yoğunlaşan bir borca toprak kirliliği belirlenememiştir. Çalışma alanı ve çevresinde yaklaşık 20 mg/l'den aşağı inmeyen bor yükünün bölgede toprak oluşum sürecinde bozulan jeolojik birimlerin görece yüksek bor içeriklerinden kaynaklandığı söylenebilir.

Bölgedeki toprak örneklerinde çalışma alanının jeolojik yapısı nedeni ile ortalama değerlerin üzerinde gözlenen bor yükünün çevresel bir tehdit oluşturup oluşturmadığının SSÇ bor derişimleri ve yeraltısularındaki bor derişimleri ile birlikte değerlendirilmesi gerektiği açıktır. 2012 yılı yüzey ve 40-50 cm toprak örneklerinde SSÇ bor derişimleri sırası ile Şekil 28 ve Şekil 29'da verilmiştir. 2012 yılı toprak yüzey ve 40-50 cm örneklerinde gözlenen en yüksek ve en düşük derişimler sırası ile 5740-42 mg/l ve 1549-41 mg/l olarak ölçülmüştür. En yüksek derişimler asitte çözünmüş bor derişimlerinde olduğu gibi pasa biriktirme bölgesinde belirlenmiştir. Ancak SSÇ yöntemi ile özellikle pasa yakınındaki topraklardan asit ile çözünmeye oranla çok daha fazla borun suya geçtiği açıktır. Bu durumda boraks mineralinin diğer bor minerallerine göre göreceli olarak yüksek çözünürlüğü ve sıcaklık ile çözünürlüğün artışı dikkate alınarak özellikle pasayı yıkayarak süzülen suların deşarjında dikkatli olunması önemlidir. Yüzey örneklerindeki en düşük derişim atık havuzunun doğusunda havuzu yaklaşık 200 m uzaklıktaki noktada gözlenmiştir. Atık havuzları yakın

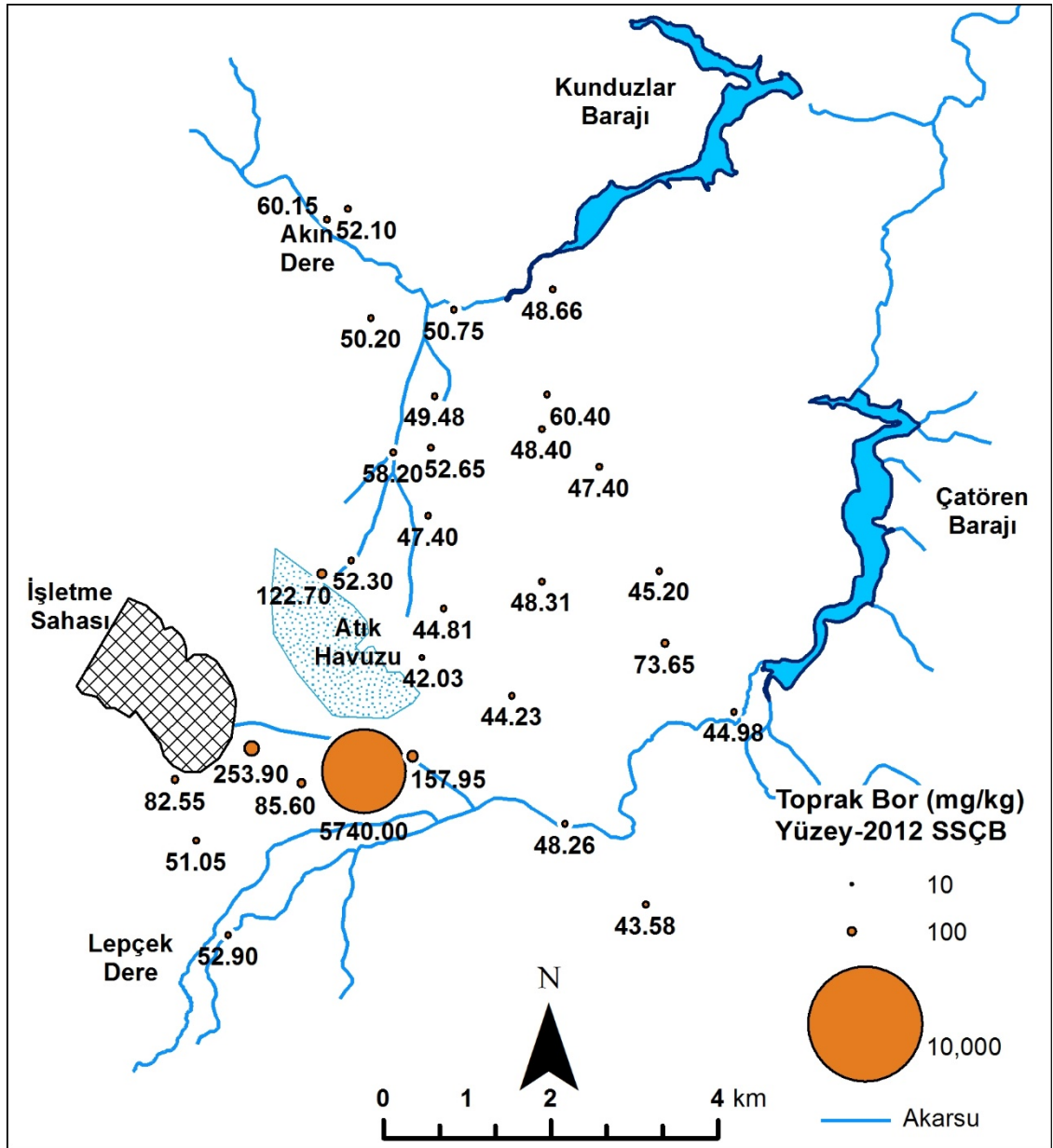
çevresine ait yüzey toprak örneklerinde bor derişimin artış göstermemiş olması zaman zaman işletme tarafından uygulanan püskürtme ile buharlaşma sonucunda borca zengin suyun toprakta birikmediğini göstermektedir. 40-50 cm derinden alınan örneklerde ise en düşük derişim ise çalışma alanının güneyindeki Lepçek Deresinin sağ sahilindeki örnekleme noktasında gözlenmiştir.



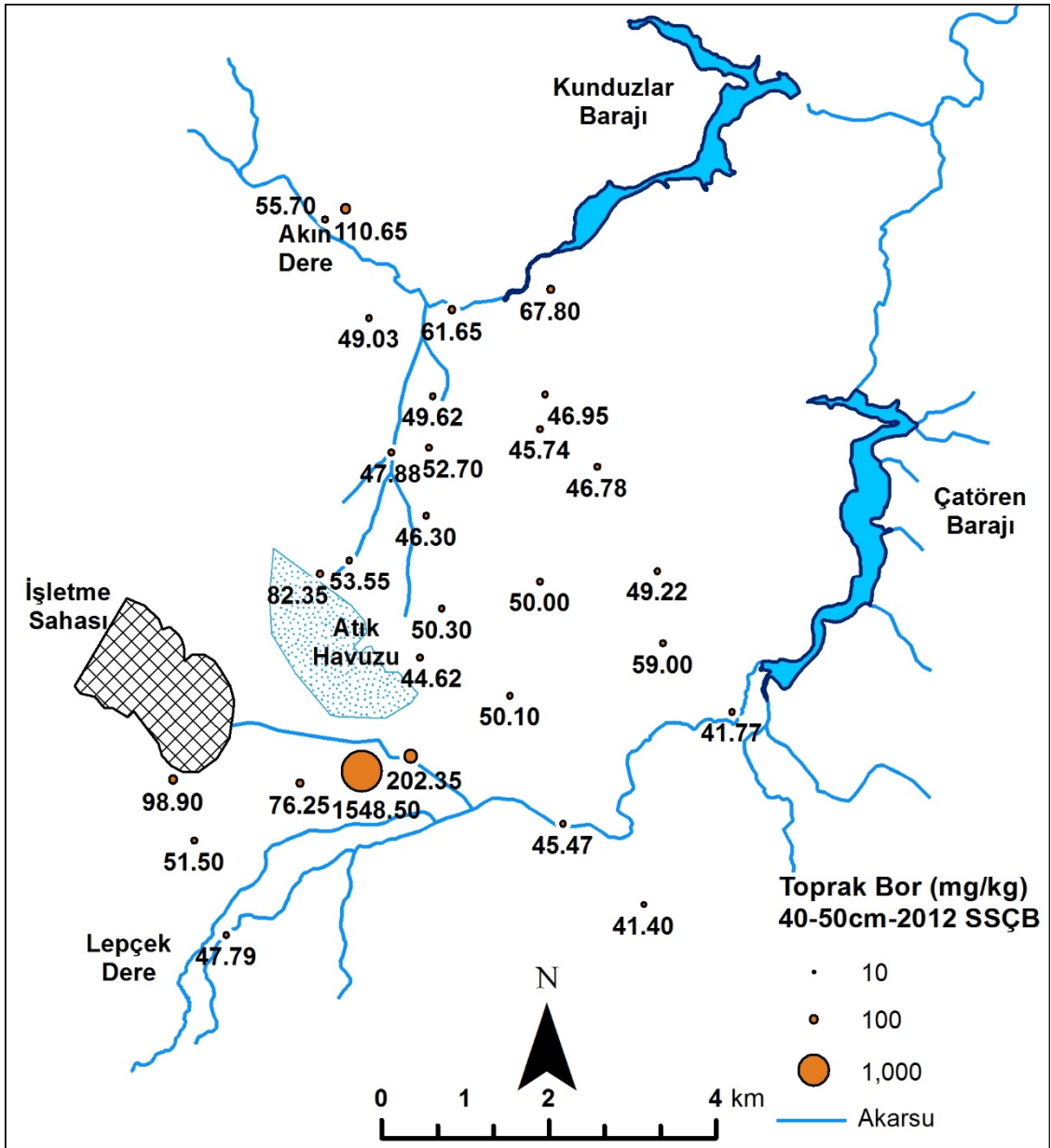
Şekil 26. 2012 yılı toprak (yüzey) örneklerinde asitte çözünmüş bor derişimlerinin alansal dağılımı.



Şekil 27. 2012 yılı toprak (40-50 cm) örneklerinde asitte çözülmüş bor derişimlerinin alansal dağılımı.



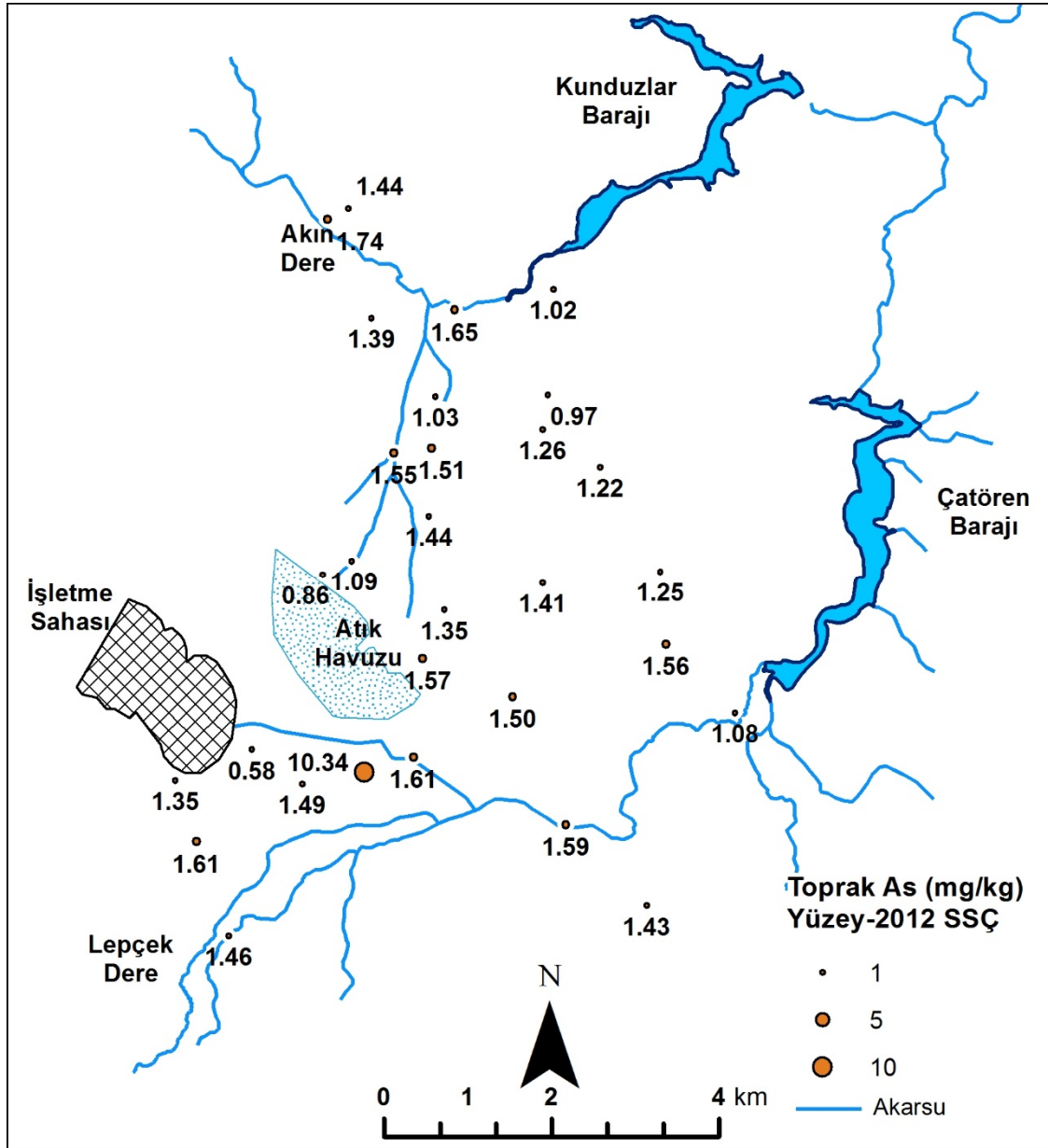
Şekil 28. 2012 yılı toprak (yüzey) örneklerinde SSÇ çözünmüş bor derişimlerinin alansal dağılımı.



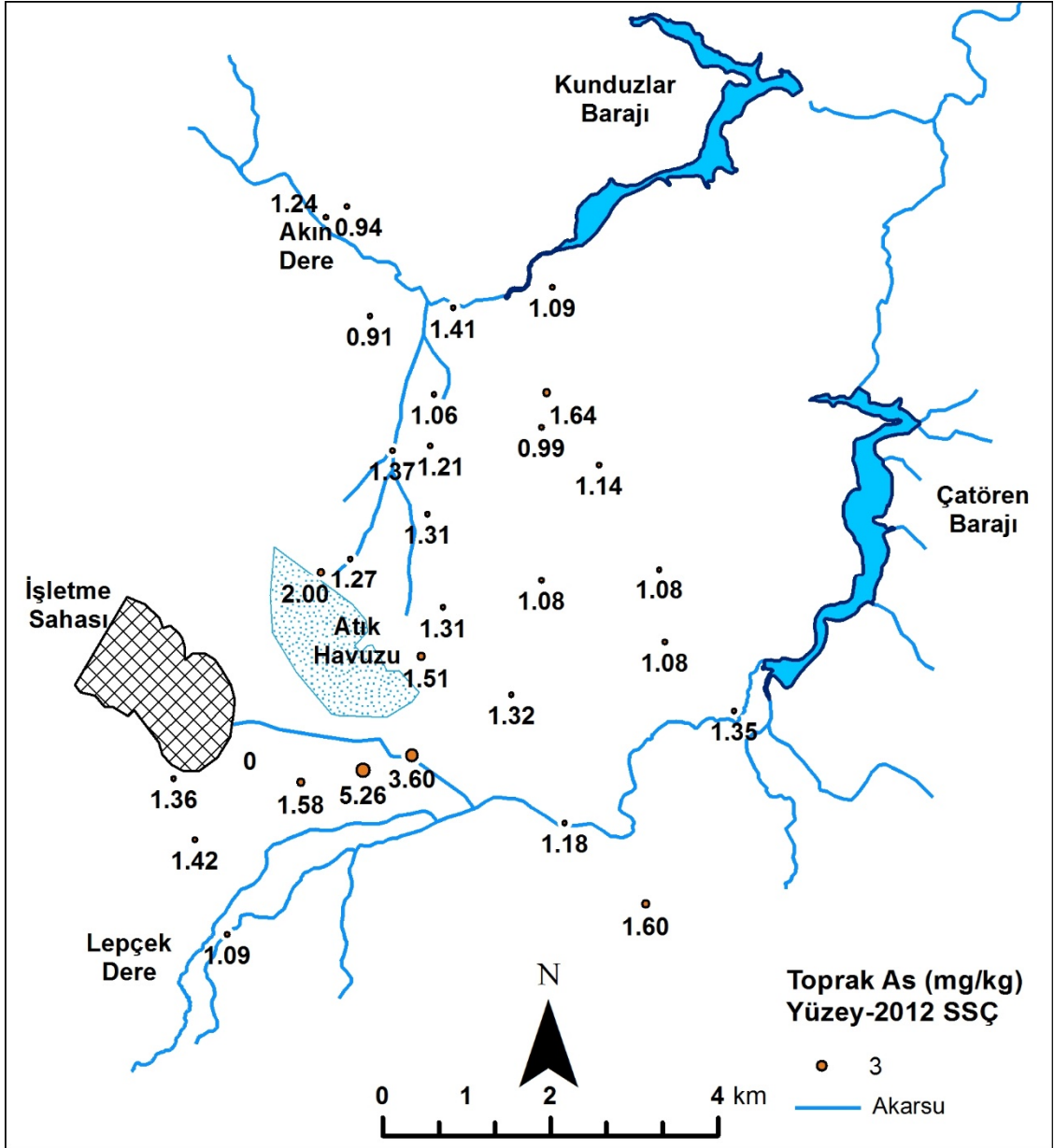
Şekil 29. 2012 yılı toprak (40-50cm) örneklerinde SSÇ çözülmüş bor derişimlerinin alansal dağılımı.

Çalışma alanındaki bor minerallerinde bulunan arseniğin toprak örneklerindeki bolluğu asitte ve sıcak suda çözünme yöntemleri ile belirlenmiştir (Şekil 30 ve Şekil 31). Asitte çözülmüş en yüksek arsenik derişimleri yüzey ve derinlik örneklerinde sırası ile 70.45 ve 39.8 mg/l olarak belirlenmiştir. Arseniğin suda çözünürlüğü aside göre çok daha düşüktür ve ölçülmüş en yüksek derişim yüzey örneklerinde 10.34 mg/l'dir. Çalışma alanındaki yüzey ve yeraltısularının pH'ları dikkate alınarak asitte çözülmüş arsenik derişimlerine bu bölümde yer verilmemiştir. Toprak örneklerinde suda çözülmüş arsenik derişimleri pasa biriktirme bölgesinde noktasal olarak artış gösterirken çalışma alanının geri kalanında

alansal olarak 2 mg/l'nin altında değerler gözlenmektedir. Arseniğin insan sağlığı üzerindeki etkileri göz önüne alındığında çalışma alanında toprak ile temas eden sulara geçme olasılığı dikkate alınarak çevre gözlem planlarına arseniğin de dâhil edilmesi gereklidir.



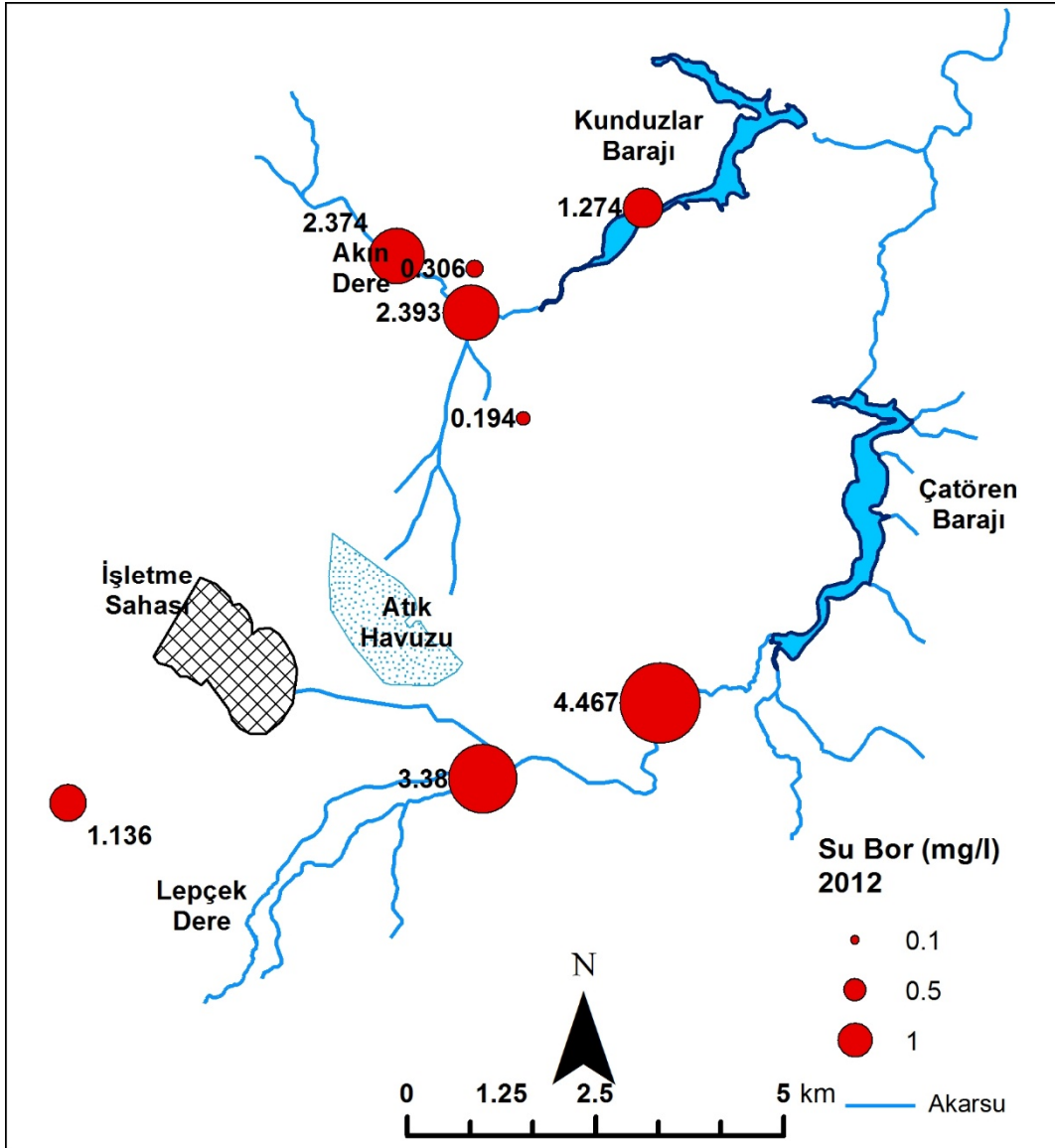
Şekil 30. 2012 yılı toprak (yüzey) örneklerinde SSÇ çözülmüş arsenik derişimlerinin alansal dağılımı.



Şekil 31. 2012 yılı toprak (40-50cm) örneklerinde SSÇ çözülmüş arsenik derişimlerinin alansal dağılımı.

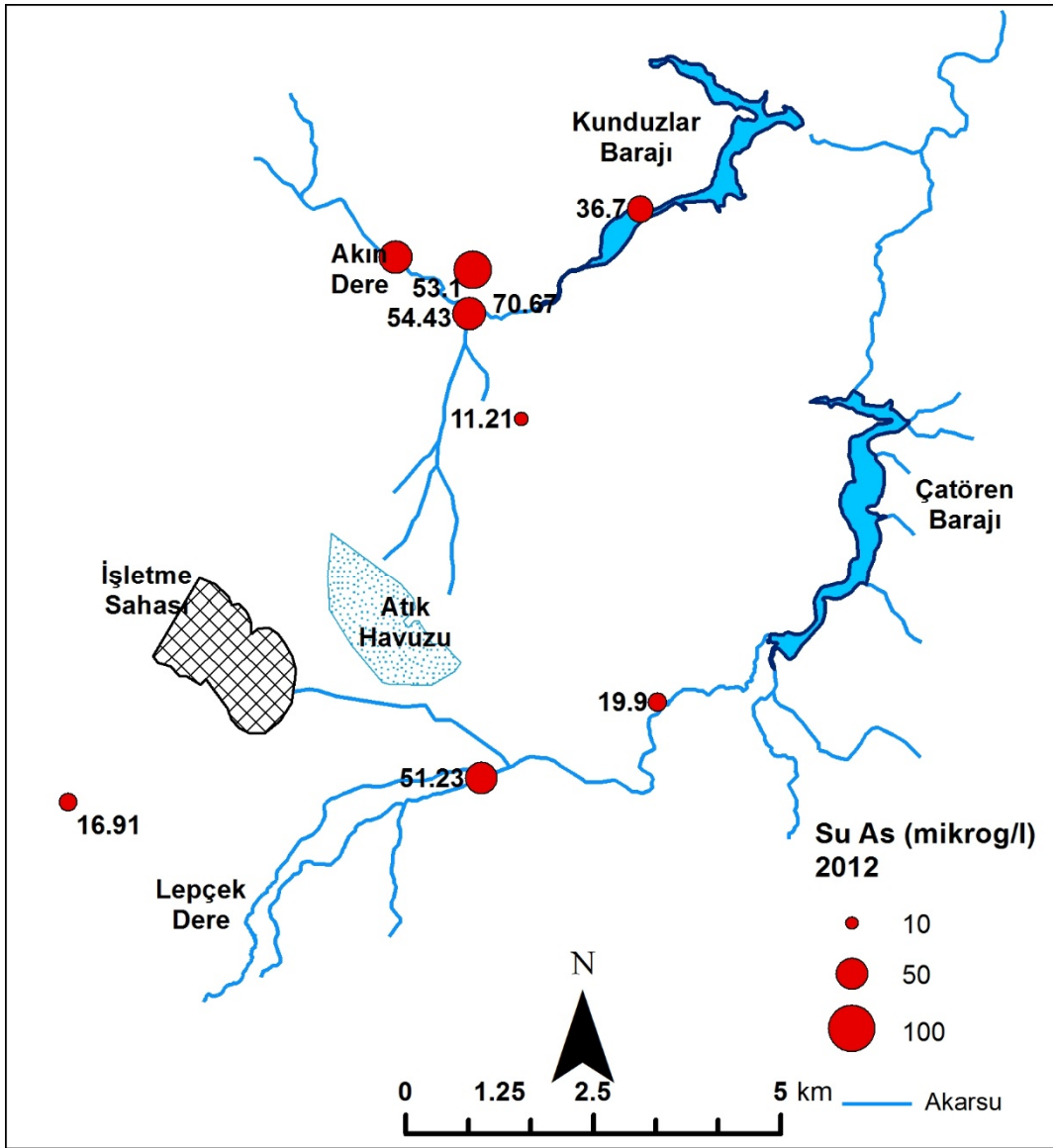
2012 yılı yüzey ve yeraltısularında gözlenen bor ve arsenik derişimlerinin alansal değişimleri sırası ile Şekil 32 ve Şekil 33’de sunulmuştur. Şekillerde yüksek bor derişimi belirlenen atık havuzu ve gölet örneklerine yer verilmemiştir. Çatören barajına ulaşan Lepçek deresi boyunca alınan su örneklerinde 3-4,5 mg/l ölçülürken, bu hat boyunca gözlenen yüksek bor derişimleri işletme sıvı atıklarının kurutma kanalı ile zaman içinde kontrollü deşarjı ile ilişkilidir. Çalışma alanının kuzeyinde daha düşük derişimler belirlenmiştir. Yer yer içme kullanma suyu limit değerlerine ulaşan suların doğal dolaşımları sırasında bor mineralleri ile teması nedeni ile bor çözdükleri gözlenmektedir. Çalışma alanındaki bor işletmesinin atık

havuzlarının sızdırmazlığını kontrol etmesi ve deşarj kurallarına uyması durumunda çevre sulara etkisi olmayacağı gözlenmektedir.



Şekil 32. 2012 yılı su örneklerinde bor derişimlerinin alansal değişimi.

Çalışma alanında 2012 yılına ait örneklerin tümünde arsenik derişimleri 10µg/l'nin üzerindedir (Şekil 30). Özellikle bor derişimi açısından görece daha düşük derişimlerin gözleendiği Kunduzlar barajı ve yakın çevresinde 70 µg/l ye ulaşan arsenik derişimleri belirlenmiştir. İçme kullanma suyu olarak kullanılan sığ kuyu ve çeşme sularındaki yüksek arsenik derişimi kontrol edilerek bölgede yaşayan insanlar bilgilendirilmelidir.



Şekil 33. 2012 yılı su örneklerinde arsenik derişimlerinin alansal değışimi.

4.2 Tarihsel verilerin değeriendirilmesi

Çalışma alanında yapılmış bağımsız araştırmalar dışında ETİ HOLDİNG AŞ tarafından yapılmış bir proje kapsamında işletme çevresindeki toprak ve sularda bor yükü 1999-2001 döneminde 4 kez gözlenmiştir [40]. Yapılan bu gözlemlerin 2012 yılındaki gözlemler ile birlikte değeriendirilmesi zaman içinde toprağın bor yükündeki değışimin değeriendirilmesi için oldukça önemlidir. Bu değeriendirmeyi tartışmalı hale getiren en önemli nokta bor analizi için kullanılan yöntemlerin (örnek hazırlama ve analitik yöntem) zaman içinde farklılaşmış olmasıdır.

Atık havuzları ve göletlerin sızdırmazlığının kontrolü için açılan gözlem kuyularında 2006-2011 döneminde bor derişimi aylık olarak gözlenmiştir.

4.2.1 Toprak örneklerindeki tarihsel gözlemler

1999-2001 yılı örneklerinin asitteki bor analizleri 100 g toprak örneğinin yeteri kadar su ve derişik HCl ile 1 gece dinlendirilmesi sonucunda elde edilen çözeltide Karmen yöntemi ile kolorimetrik olarak gerçekleştirilmiştir. Suda çözünen bor analizi içinse aynı prosedür sadece su kullanılarak uygulanmıştır. Kasım 2012 dönemine ait toprak örneklerinin asitte analizi için 2 gramı kurutulmuş ve öğütülmüştür. 2 g örnek üzerine 5 ml HCl ve 60-70 ml sıcak su eklenerek 130°C’de ısıtıcı üzerinde 2 saat bekletilmiştir. Örneğin sıvı bölümü filtrelenerek karmen yöntemi ile kolorimetrik olarak analiz edilmiştir. 2012 yılı örneklerinde uygulanan SSÇB yöntemi önceki bölümlerde anlatılmıştır.

Tüm belirsizliklere karşın çevresel etki gözlemlerinde izlenen yaklaşımların tartışılması için tarihsel gözlemlerin özeti Çizelge 15 ve Şekil 34’de verilmiştir. Tüm gözlemler yüzey ve derinlik (40-50 cm) örneklerinde yapılmıştır. Tarihsel olarak çalışma alanında gözlenen en düşük bor derişimleri 2012 yılında büyük oranda arttığı görülmektedir.

2000 ve 2012 yılı asitte çözünen bor deney sonuçları örnek derinliği ile ilişkilendirildiğinde çalışma alanındaki az sayıda noktada yüzey örneklerindeki bor yükünde artış gözlenmektedir. Ancak; analitik yöntem farklılıklarından kaynaklanmadığı düşünülecek olursa, 2000-2012 döneminde çalışma alanındaki topraklarda bor derişimi artmıştır.

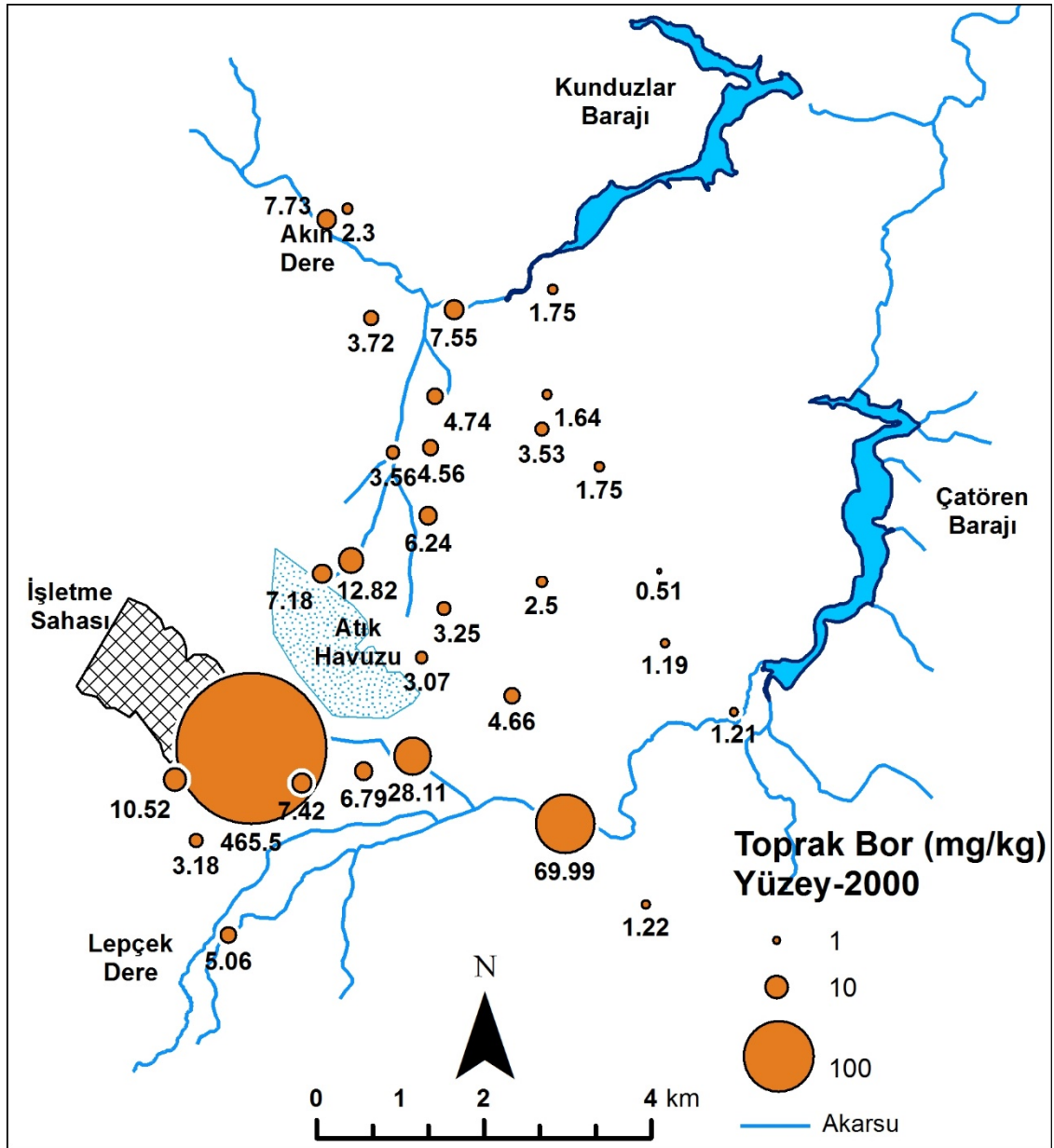
Çizelge 15. 1999, 2000, 2001 ve 2012 yıllarında yapılan toprak bor yükü verilerinin özeti

		Bor (mg/l)			
		En Düşük	En Yüksek	En Düşük	En Yüksek
		Asit	Asit	Su	Su
Kas.99	yüzey	1	51	1	36
Mar.00	yüzey	2	12	1	9
Kas.00	Yüzey	1	466	0	281
Mar.01	yüzey	3	1125	1	451
Kas.12	Yüzey	19	570	42	5740
Kas.99	alt (A)	1	60	1	56
Mar.00	alt (A)	2	34	1	31
Kas.00	alt (A)	0	152	0	126
Mar.01	alt (A)	3	2264	0	46
Kas.12	40-50	20	783	41	1549

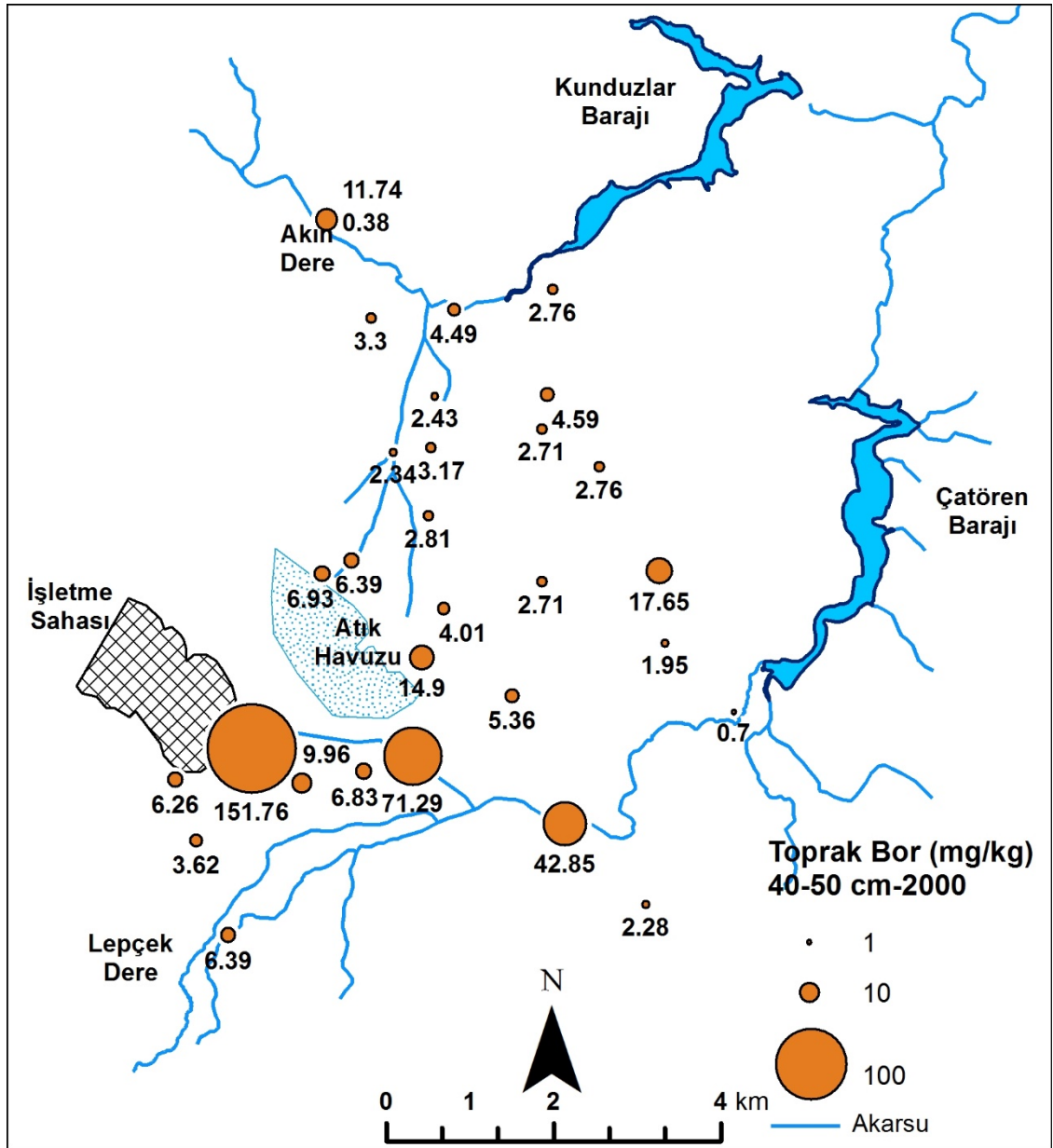


Şekil 34. 1999, 2000, 2001 ve 2012 yıllarında yapılan toprak bor yükü verilerinin yöntem ve örnekleme derinliğine göre karşılaştırılması

2000 yılı toprak örneklerinde belirlenen bor derişimlerinin alansal değışimleri Şekil 35 ve Şekil 36’da verilmiştir. Hazırlanan dağılım haritaları 2012 yılındaki güncel dağılımı oldukça benzerdir. Toprak örneklerinde en yüksek derişimler işletme sahası güney ve güney doğusunda gözlenmektedir. Yüzey örneklerindeki bor derişimleri genel olarak derinlik örneklerinden daha yüksektir. Genel dağılımı bozan, noktasal olarak yüksek bor derişimleri, özellikle derinlik örneklerinde işletme sahası ile Çatören Barajı arasında ve Akın Dere yakınlarında ölçülmüştür. 2000’li yılların başından günümüze Kırka Bor işletmesinin üretim miktarındaki artış ve atık politikalarındaki değışiklikler işletmenin çevreye olan etkilerini sürekli değıştirmektedir. Bu nedenle belirlenecek sabit noktalarda sürekli çevre gözlemlerinin yapılması gereklidir.



Şekil 35. 2000 yılı yüzey toprak örneklerindeki bor derişimlerinin alansal değişimi

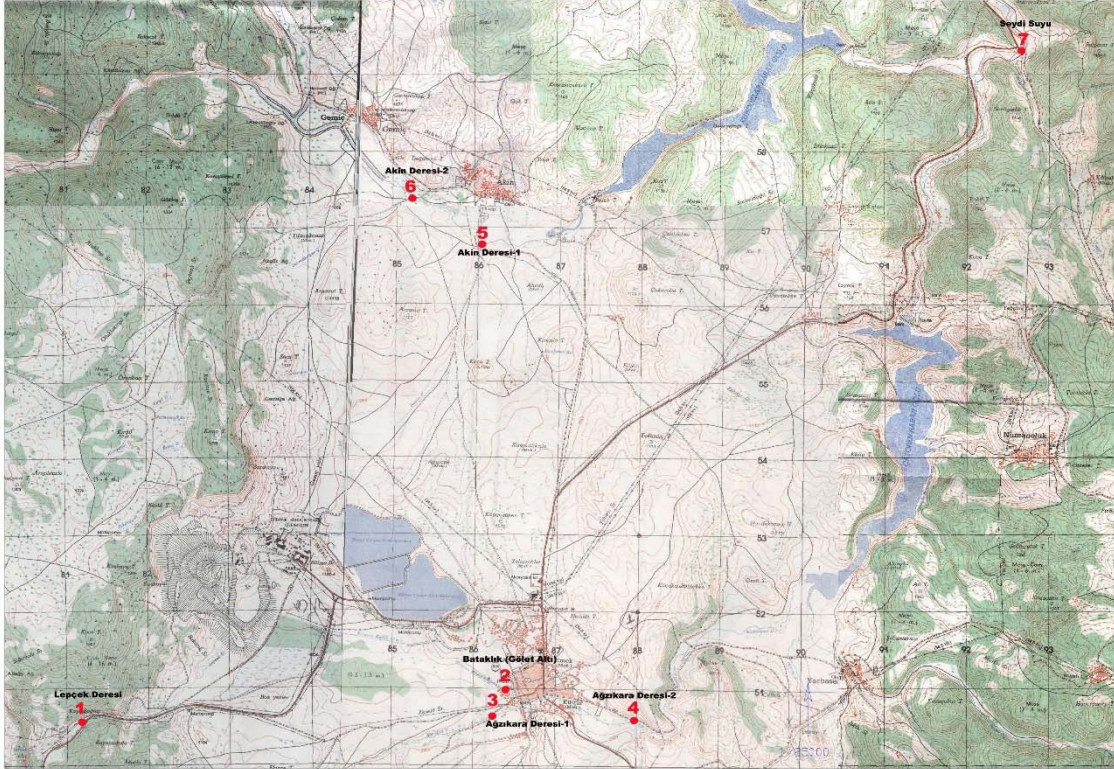


Şekil 36. 2000 yılı derinlik (40-50cm) toprak örneklerindeki bor derişimlerinin alansal değişimi

4.2.2 Su örneklerindeki tarihsel gözlemler

Kırka Bor işletmesi tarafından çalışma alanı çevresinde belirlenen 7 yüzeysuyu gözlem noktasında 2006-2011 döneminde aylık bor ve elektriksel iletkenlik analizi yapılmıştır. Gözlem noktaları 1'den 7'ye kadar örnek numaraları sırası ile Lepçek Deresi, Bataklık (Gölet altı), Ağzıkara Deresi-1, Ağzıkara Dersi-2, Akın Deresi-1, Akın Dersi-2 ve Seydi Suyu noktalarına ait su örneklerini tanımlamaktadır. Örnekleme noktalarının çalışma alanındaki konumları Şekil 37'de verilmiştir. Gözlem noktalarında aylık bor derişiminin

yanısıra sularda toplam çözünmüş madde miktarının göstergesi olan elektriksel iletkenlik değerleri de gözlenmiştir. Yapılan gözlemlere ait veriler EK-3’de toplu olarak sunulmuştur.



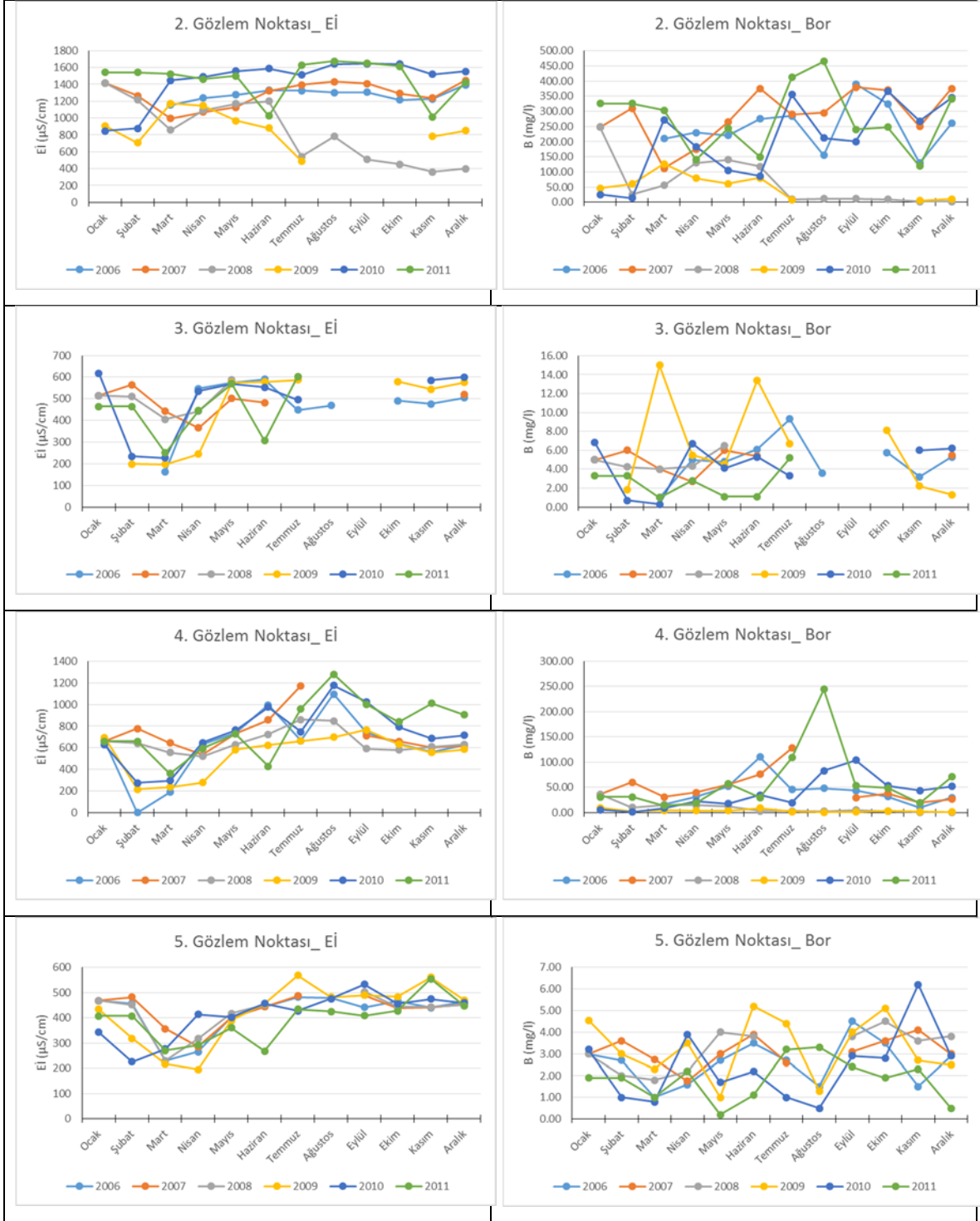
Şekil 37. 2006-2011 dönemi su gözlem noktaları

Analizi yapılan parametrelerin hem yıl içinde hem de ardışık yıllarda farklılaştıkları gözlenmektedir (Şekil 38). Bor işletmesinin güney batısındaki Lepçek Dere gözlem noktasına ait gözlemlere ait grafikler verilerdeki eksiklik nedeni ile hazırlanmamıştır. Çalışmanın kuzeyinde bulunan Akın Dere ve Seydisuyu örneklerinin (5-6-7 nolu örnekleme noktaları) Eİ değerleri yıl boyunca 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'nin altında gözlenmektedir. En düşük Eİ değerleri Akın Deresi üzerindeki noktalarda bahar yağışları ve kar erimesi etkisi ile Mart-Nisan döneminde gözlenmektedir. Barajlardan salınan sular ile beslenen Seydisuyu'nda ise en düşük Eİ değerleri yaz döneminde gözlenmektedir. Bu 3 gözlem noktasındaki bor derişimleri yıl boyunca ve ardışık yılların tümünde 7 mg/l'nin altında gözlenmiştir. Bor derişiminin yıllık değişiminde anlamlı ve sistematik bir değişim gözlenmemektedir. Ancak, yapılan gözlemlerin hemen hemen tamamı 1mg/l içme-kullanma suyu limit değerinin üzerindedir.

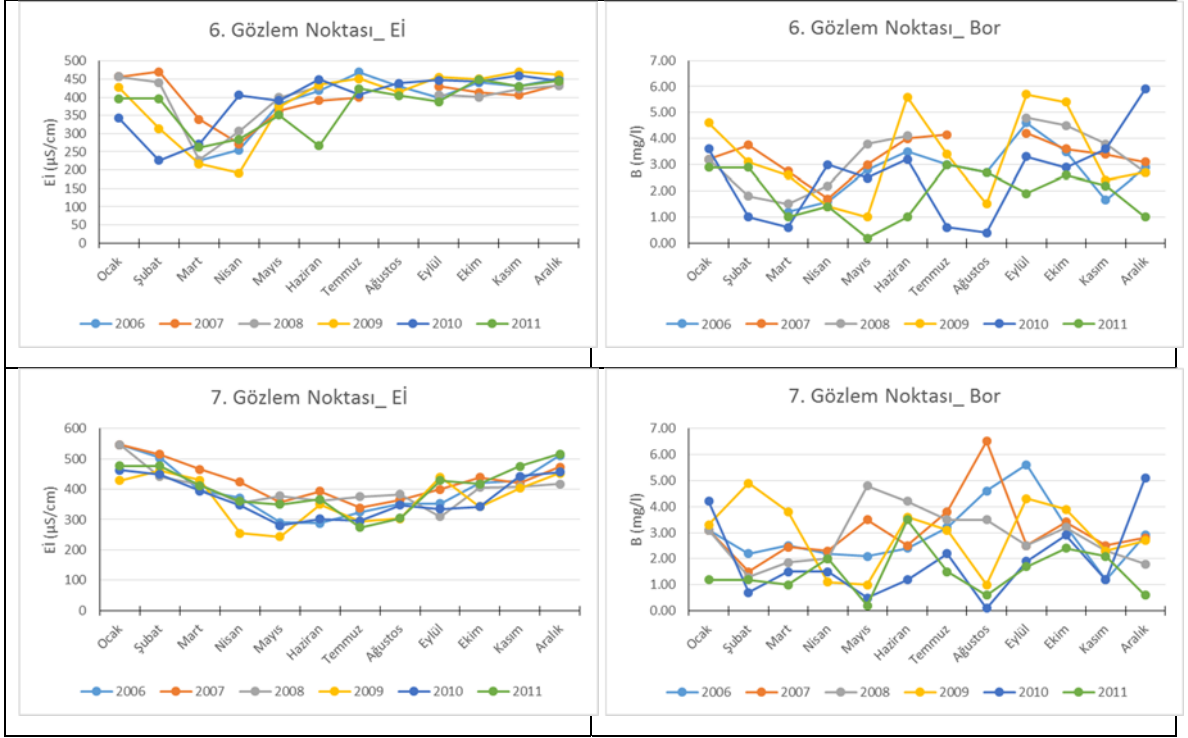
2 nolu gözlem noktası işletme tarafından bataklık olarak adlandırılan pasa sızıntı sularının biriktiği bölgeye aittir. Güncel gözlemlerde de yüksek bor derişimlerinin belirlendiği bu bölgede tarihsel olarak da bor derişiminin oldukça yüksek olduğu gözlenmektedir. 2 nolu

gözlem noktasında bor derişimlerinin zaman zaman 450 mg/l'ye kadar çıktığı belirlenmiştir. 2008-2009 yılları dışındaki gözlem yıllarında bor derişimlerinde Haziran-Aralık döneminde bir artış trendi gözlenmektedir. Bu artışta bataklık/göletteki buharlaşma etkili olmuştur. Buharlaşma nedeni ile borca zenginleşen suyun kanal ile barajlara iletilmesi konusuna dikkat edilmelidir. Buharlaşma nedeni ile 2 no.lu gözlem noktasının Eİ değerlerinde de aynı dönemde hafif bir artış gözlenmektedir. 2008-2009 yıllarında gözlem noktasındaki Eİ değerlerindeki düşük gözlemiş olması olasılıkla Bor işletmesindeki farklı bir uygulamadan kaynaklanmış olmalıdır. 2008-2009 yıllarında göletteki suyun Eİ değeri çalışma alanının güneyindeki gözlem noktalarına ait değerlere (600µS/cm) kadar düşmüştür.

İşletmenin güney doğusundaki Ağzıkara Dere'si üzerinde 2 farklı noktada gözlem yapılmıştır. 3 nolu gözlem noktası işletmeye ait göletin sularının katılım noktasının akış yukarısında 4 nolu nokta ise işletmeye ait suların dereye ulaştığı noktanın akış aşağısındadır. Bu noktada yapılan gözlemler karşılaştırıldığında işletmeye ait göletten dereye ulaşan suların etkisi oldukça açık olarak gözlenmektedir. 3 no.lu noktada en yüksek Eİ ve bor gözlemleri sırası ile 600 µS/cm ve 14 mg/l olarak ölçülürken 4 no.lu nokta bu değerler sırası ile 1300 µS/cm ve 250 mg/l'ye çıkmaktadır. 3 nolu gözlem noktasında Eİ mart ayında 200 µS/cm en düşük değerine ulaştıktan sonra kısa sürede 600 µS/cm'ye kadar çıkmaktadır. Ağzıkara deresinin bu bölümü ağustos-eylül döneminde kurumaktadır. 3 no.lu noktadaki bor derişimlerinin yıl içinde sistematik olarak artıp azaldığının söylemek mümkün değildir. Ağzıkara Dere üzerindeki 4 nolu gözlem noktasında dere yatağında yıl boyunca sürekli akım gözlenmektedir. Bu durum akarsu yatağındaki sürekli akışta bor işletmesinden gelen suyun katkısının özellikle yaz aylarında arttığını göstermektedir. Bu beklenti yapılan bor gözlemlerinde yaz aylarında ani artış gösteren bor derişimleri ile desteklenmektedir. Yaz aylarında bor derişiminin yanısıra Eİ değerleri de artmaktadır.



Şekil 38. Gözlem kuyularında 2006-2011 döneminde yapılan gözlemler (Eİ: Elektrisel iletkenlik)



Şekil 38. Gözlem kuyularında 2006-2011 döneminde yapılan gözlemler (Eİ: Elektriksel iletkenlik) (Devam ediyor)

Çalışma alanında 2006-2011 dönemi yüzey suyu gözlemlerinin dışında 2013 yılında işletme çevresinde açılan yeraltısuyu gözlem kuyularında bor ve arsenik derişimlerinin gözlemlendiği bir çalışma yapılmıştır. Bu kapsamda gözlem yapılan kuyular ve ölçülen kimyasal parametreler Çizelge 16'da verilmiştir. Gözlem kuyularının konumları Şekil 37'de verilmiştir. Analiz yapılan tüm gözlem kuyularında arsenik derişimi 10µg/l limit değerinin üzerindedir. Bor ise işletme sahasının doğusundaki 3 no.lu gözlem kuyusu dışındaki tüm kuyularda limit değerin üzerinde ölçülmüştür. İşletme sahası içindeki 6 nolu gözlem kuyusunda bor derişimi 306 mg/l olarak belirlenmiştir. İşletme sahası içinde ve işletme sahasının güney doğusunda atık göletleri yakınındaki bölgede yeraltısuyunda bor derişiminin çok yüksek olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 16. Kırka Bor İşletmesi çevresindeki gözlem kuyularında 26.08.2013 tarihli yeraltısuyu seviye gözlemleri ve kimyasal analiz sonuçları

Kuyu Kodu	Koordinat		Kuyu Kotu (m)	Su kotu (m)	pH	TDS mg/l	Bor (mg/l)	As (µg/l)
GK-1	36 S 284425	4354274	1059	1054.98	7.76	377	3.89	17.5
GK-2	36 S 285135	4353654	1052	1051.59				
GK-3	36 S 285845	4352473	1062	1055.68	7.94	275	0.67	19.8
GK-4	36 S 285615	4351136	1048	1045.69	7.56	726	86.96	113.8
GK-5	36 S 283808	4350802	1072	1069.18	7.81	356	13.76	12
GK-6	36 S 284238	4351607	1024	1053.63	7.96	823	306.65	10.5
GK-7	36 S 283803	4352621	1100	1095.89	8.54	293	50.27	12
1 nolu Gölet					9.64	10920	2669.00	1652

Tarihsel gözlemlerin genel değerlendirmesi sonucunda çalışma alanındaki yüzey sularındaki olası risk taşıyan bölgelerin değişmediği gözlemiştir. Ancak; çevre suların bor yüklerinin yıl içindeki farklılaşmaları gözlemlerin aylık periyotta yapılmaya devam edilmesi gerektiğini göstermektedir. Bor derişimi yüksek suların akarsuya ve baraja ulaşması durumunda akarsu ve baraj yatağındaki sedimanların yüzeylerine tutunacaktır. İlerleyen zamanda oluşacak olası tehditlerin dikkate alınması gereklidir. İşletme çevresindeki gözlem kuyularında bu gözlem programına dahil edilmesi gereklidir. Yeraltısuyu ve çevre suları gözlem programına, çalışma alanının hemen hemen tamamında önemli bir çevresel tehdit oluşturan, arsenik gözlemlerinin de dahil edilmesi önemlidir.

4.3 Çevresel etki gözlem ve ölçüm yaklaşımlarının tartışılması

Kırka Bor İşletmesi çevresinde yapılan çevresel etki gözlem çalışması ve yapılan değerlendirme sonucunda, çalışma alanı için gelecekte uygulanması gereken gözlem politikası ve analitik yöntemler ile ilgili çıkarımlar aşağıda sıralanmıştır. Bu çıkarımlar benzeri maden işletmeleri içinde genelleştirilmesi önerilir.

4.3.3 Toprak ve suda gözlenen borun kökeni belirlenmesi

Bor minerallerinin işletildiği havzalarda doğal olarak toprak ve su da bor derişimleri göreceli olarak daha yüksek gözlenmektedir. Ancak; çevre ortamlardaki bor yükünün maden işletme faaliyetleri ile ilişkili olup olmadığının belirlenmesi önemlidir. Maden işletmesi nedeni ile çevre ortamlar da bor yükünün artmasının en önemli nedenleri;

- işletmede bor ürünlerinin üretimi sürecinde kullanılan suyun atık havuzlarında biriktirilmesi,
- pasalardaki artık borun yağış suları ile çevre ortamlara taşınması,
- atık havuz hacimlerinin kontrolü için kullanılan buharlaştırma yöntemi ile işletme çevresine bor taşınması,

- pasadan bor içeriği yüksek kırıntılı malzemenin çevre topraklara taşınması, şeklinde sıralanabilir. Konu edilen süreçler maden işletmesinin sürdürülebilirliği için yapılması gereken uygulamalar olmakla birlikte her bir sürecin etkisinin çevresel etki gözlem programı kapsamında sürekli izlenmesi gereklidir. Yapılan gözlem sonuçlarına göre işletmedeki uygulamaların geliştirilmesi için yeni yaklaşımlar üretilmelidir.

4.3.4 Gözlem noktaları ve gözlem sıklığı

Bor işletmesi çevresindeki toprak ve su gözleme noktaları yapılan bu ve benzeri çalışmalar dikkate alınarak belirlenmelidir. Gözlem noktası olarak seçilen noktalar yerinde işaretlenmeli ve standart yöntemler ile örnekleme yapılmalıdır.

Toprak gözlem noktaları işletme yakın çevresinden jeoloji ve hava akımlarını dikkate alan bir alana yayılmalıdır. Bor içeren litolojilerin bulunmadığı görece uzak noktalar ve işletme içindeki pasa sahası kontrol noktaları olarak gözleme dahil edilmelidir. Toprak gözlem noktalarında analiz sürecinin örnek hazırlama süreci dikkate alınarak yılda en az 2 kez gözlem yapılması önerilebilir.

Bor işletmesi çevresindeki yüzey ve yeraltısularının tümünde gözlem yapılmalıdır. Yeraltısuyu gözlem noktalarının sayısı artırılarak daha geniş alandaki değişim gözlenmelidir. Su gözlem noktalarındaki bor derişimlerinin mevsimsel olarak doğal süreçlerle ve işletme faaliyetinin yoğunluğuna bağlı olarak değiştiği dikkate alınarak aylık olarak planlanmalıdır.

4.3.5 Analiz yapılacak kimyasal/fiziksel parametreler ve analitik yöntem seçimi

Gözlem noktalarında bor derişimindeki değişimin gözlemesinin yanısıra limit değerlerin aşıldığı (arsenik) ya da zorlandığı (nitrit) tüm kimyasal parametreler gözlenmelidir. Toprak örneklerinde zaman içinde değişim göstermesi olası organik madde içeriği, pH ve KTK vb parametreler de gözlem programına dahil edilmelidir. Su gözlem noktalarında standartlara uygun olarak yerinde ölçümler (sıcaklık, özgül elektriksel iletkenlik, pH, çözünmüş oksijen) yapılmalıdır. Alınan su örneklerinde major iyon analizleri ve analitik alt yapının izin verdiği tüm kimyasal parametreler gözlenmelidir.

Gözlem yapılacak parametrelerin belirlenmesinden sonra her bir parametrenin analizi için güncel uluslararası standartlarda önerilen analitik yöntemler kullanılmalıdır. Özellikle toprak analizlerinde çevresel risk oluşturacak bor yükünün belirlenmesi için uygun yöntem ile örnek hazırlandıktan sonra analiz yapılmalıdır. Toprak örneklerindeki bor derişimi örnek hazırlama (çözeltiye alma) yaklaşımına göre farklı formlardaki boru çözdüğünden ölçülen derişimler farklı anlamlar taşımaktadır. Topraktaki borun çevresel risk oluşturabilmesi için

hangi formdaki borun ölçüldüğü önemlidir. Bu nedenle; genellikle sıcak suda çözünmüş bor ile belirlenen derişimler dikkate alınmaktadır. Çalışma alanının temel araştırma ve gözlem parametresi olan bor analizi için spektrofotometrik yöntemin tercih edildiği görülmektedir. Ancak yöntemin özellikle dar bir derişim aralığında ayırt edici sonuçlar verdiği bilinmektedir. Spektrofotometrik yöntem özellikle düşük derişimlerin analizinde yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle içme kullanma suyu kalitesi açısından bor için limit değeri tanımlayan WHO bor analizi için ICP-MS, ICP-OES ya da absorpsiyometrik analitik yöntemlerini önermektedir [41]. Limit değeri tanımlayan bir diğer uluslararası organizasyon olan EPA ise ICP-OES yönteminin kullanımını önermektedir [42].

Çevresel gözlem yapılan tüm noktalardaki örneklerin çözeltiye alma ve analiz kalitelerinin kontrolü için standart referans malzemeler kullanılmalıdır. Yapılan gözlemler rapor edilirken standart referans malzeme analiz sonuçları, çözeltiye alma yöntemi ve analiz yöntemi ayrıntılı olarak rapor edilmelidir.

4.3.6 Çevresel etki gözlemlerinin duyurulması ve bölge halkının bilgilendirilmesi

Bor işletmesi tarafından yapılan çevresel gözlemlerin topluma açık olarak yayınlanması konusunda gerekli girişimlerde bulunulmalıdır. İşletmenin olası çevresel etkilerinden ya da bor havzasının doğal jeokimyasal kompozisyonu nedeni ile çevre yerleşim yerlerinde yaşayanlar su ve toprak ortamlarında insan sağlığı için olumsuz etki yaratması olası kimyasal bileşenler konusunda bilgilendirilmelidir.

5 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Kırka Bor işletmesi ve çevresini yakın çevresini kapsayan çalışma sonuçları ve öneriler aşağıda özetlenmiştir.

İşletme çevresindeki su örneklerinde uluslararası (WHO, EPA) ve ulusal (TSE 266) kalite standartlarını aşan bor derişimleri gözlenmiştir. Çalışma kapsamında 2012 dönemine ait çevre su örneklerinde ölçülen bor derişimleri 0.2-4.5 mg/l arasında değişmiştir.

Çalışma kapsamındaki toprak örneklerindeki bor derişimleri alansal olarak büyük farklılık göstermektedir. Ancak; topraktaki bor yükünün besin zincirine geçerek insan sağlığı için tehdit oluşturup oluşturmayacağı tartışmalıdır. 2012 yılında yapılan örneklemeye ait sonuçlar Çizelge 17 de özetlenmiştir. Toprak örneklerinde ölçülen bor derişimleri 19.3-5740 mg/kg arasında değişik değerler almıştır. Analiz yöntemi ve örnekleme derinliğine göre bor yükleri farklılık göstermektedir.

Çizelge 17. Kırka Bor İşletmesi çevresindeki toprak örneklerinde bor derişimleri (mg/kg)

	Yüzey		40-50cm	
	En düşük	En yüksek	En düşük	En yüksek
SSÇ	42.3	5740	41.4	1548
Asitte Çöz.	19.3	274	19.8	783

2012 yılı toprak (yüzey) örneklerinde asitte çözülmüş bor derişimleri çalışma alanında kısa mesafede çok büyük farklılıklar göstermektedir. İşletme bölgesinden uzaklaştıkça toprak örneklerindeki bor yükünün azaldığını söylemek mümkün değildir. 2012 yılında 40-50 cm derinden alınan toprak örneklerinde asitte çözülmüş bor derişimlerinin yüzey örneklerinde olduğu gibi en düşük derişim atık havuzu yakınındaki noktada gözlenirken en yüksek derişim pasa biriktirme bölgesinde belirlenmiştir. Yüzey örneklerinde olduğu gibi 40-50 cm dağılımında da işletme sahası yakın çevresinde yoğunlaşan bir borca toprak kirliliği belirlenememiştir. 2012 yılı yüzey ve 40-50 cm toprak örneklerinde SSÇ bor derişimlerine bakıldığında en yüksek derişimler asitte çözülmüş bor derişimlerinde olduğu gibi pasa biriktirme bölgesinde belirlenmiştir. Ancak işletmeden uzaklaştıkça bor derişimlerinde daha belirgin bir düşme eğilimi söz konusudur.

Literatürde toprağın pH, organik madde içeriği, kil mineralojisi ve katyon takas kapasitesinin toprakta borun bağlanmasına etki eden önemli faktörler olduğu belirtilmiştir. Bu sebeple yapılan çalışmada toprakta elde edilen asitte ve sıcak suda çözülmüş bor derişimleri toprağın

organik madde, pH, kil yüzdesi ve katyon takas kapasiteleri ile karşılaştırılmış ancak çalışma alanında anlamlı bir ilişki tespit edilememiştir.

Yapılan çalışmada su ve toprak ortamlarında borun yanı sıra insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkiler somutlaşmış arsenik derişimlerinin yüksekliği dikkat çekicidir. İşletme çevresinde suda ölçümüş arsenik derişimleri 11.21-70.67 µg/l aralığında değişmektedir. Ölçülen derişimlerin tümü TSE 266’ya göre tanımlanan limit değeri aşmaktadır. Toprak örneklerinde arsenik analizleri sadece sıcak suda çözünmüş örneklerde yapılmıştır. Toprak örneklerinde ölçülen derişimler 0.86-10.34 mg/kg arasında değişmektedir. Toprak örneklerinde arsenik için EPA tarafından önerilen limit değer 0.39 mg/kg’dır [43].

Çizelge 18. Kırka Bor İşletmesi çevresindeki toprak örneklerinde arsenik derişimleri (mg/kg)

	Yüzey		40-50cm	
	En düşük	En yüksek	En düşük	En yüksek
SSÇ	0.86	10.34	0.91	5.26

Yapılan araştırma kapsamında önceki çalışmalara alternatif farklı analitik yöntemler kullanılmıştır. Toprak örneklerinin analizi için çözeltiye alma sürecinde “sıcak suda çözünmüş” derişimlerin kullanılması önerilmiştir. Su örneklerinin ve benzeri şekilde toprak örneklerinin analizinde uluslararası standartlarda önerilen analitik analiz yöntemlerinin kullanılması sağlanmalıdır. Bu çalışmada da kullanılan ICP-MS yöntemi düşük derişimlerdeki bor ve arsenik analizinin sağlıklı olarak ölçebilme kabiliyeti nedeni ile tercih edilmelidir.

Çalışma alanında önceki yıllarda yapılan çevresel gözlemler temelde analitik yöntem farklılıkları nedeni ile birbirleri ve bu çalışma kapsamındaki gözlemler ile sağlıklı olarak karşılaştırılabilir değildir.

İşletmenin çevre gözlem sürecinin yeniden tasarlanması ve güncel analitik yöntemlerin kullanılması gereklidir. Bu koşullar altında yapılacak çevresel gözlemler sonucunda toprak ve suda ölçülen bor ve arsenik derişimlerinin maden işletmesinden kaynaklanıp kaynaklanmadığı ortaya konulabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü <http://www.boren.gov.tr/tr> (Kasım, 2015).
- [2] Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü Bor Rezervleri <http://www.boren.gov.tr/tr/bor/bor-rezervleri> (Kasım, 2015).
- [3] ETİ Maden İşletmeleri <http://www.etimaden.gov.tr/urunler-10k.htm> (Kasım 2015).
- [4] EPA Document for Boron
<http://yosemite.epa.gov/water/owrccatalog.nsf/7322259e90d060c885256f0a0055db68/593f365a7d06ad73852572bc004b7132!opendocument> (Kasım, 2015).
- [5] EPA, Health Effects Support Document for Boron., EPA Number: 822R06005, 2006
- [6] EPA Document for Arsenic
<http://water.epa.gov/lawsregs/rulesregs/sdwa/arsenic/index.cfm> (Kasım 2015)
- [7] Koç, Ş., Birey M., Koçak İ., Yavuz B., Kırka (Eskişehir) Borat Yatağının Mineralojik, Jeokimyasal ve Teknolojik Özellikleri. Ankara Üniversitesi 10B4343004 Nolu Araştırma Projesi, 100s, 2012.
- [8] Yuce G., Yasin D. U., Assesment of an Increase in Boron and arsenic concentrations at the discharge area of Na-Borate Mine (Kırka-Eskişehir, Turkey): *Terrestrial Atmospheric and Ocean. Sciences*, Vol. 24, 2013.
- [9] Kutlu, M., Aydoğan G. and Mumcu, E., Mutagenicity analysis of water samples from Seydisuyu (Kırka, Eskişehir) stream under the influence of boron production complex.: *Food and chemical Toxicology*, Vol. 45. 2064-2068, 2007.
- [10] Çöl, M. and Çöl, C., Environmental boron contamination in waters of Hisarcık area in the Kütahya Province of Turkey, *Food and chemical Toxicology*, Vol. 41. 1417-1420, 2003.
- [11] Gemici, Ü., Tarcan, G., Helvacı C., Somay A.M., High arsenic and boron concentrations in groundwaters related to mining activity in the Bigadiç Borate deposits (Western Turkey).: *Applied Geochemistry*, Vol. 23. 2462-2472, 2008.
- [12] Bianchini G. , Pennisi M. , Cioni R, Muti A., Cerbai N., Kloppmann W., Hydrochemistry of the high-boron groundwaters of the Cornia aquifer (Tuscany, Italy), *Geotermics*, Volume 34, 297-319, 2005.

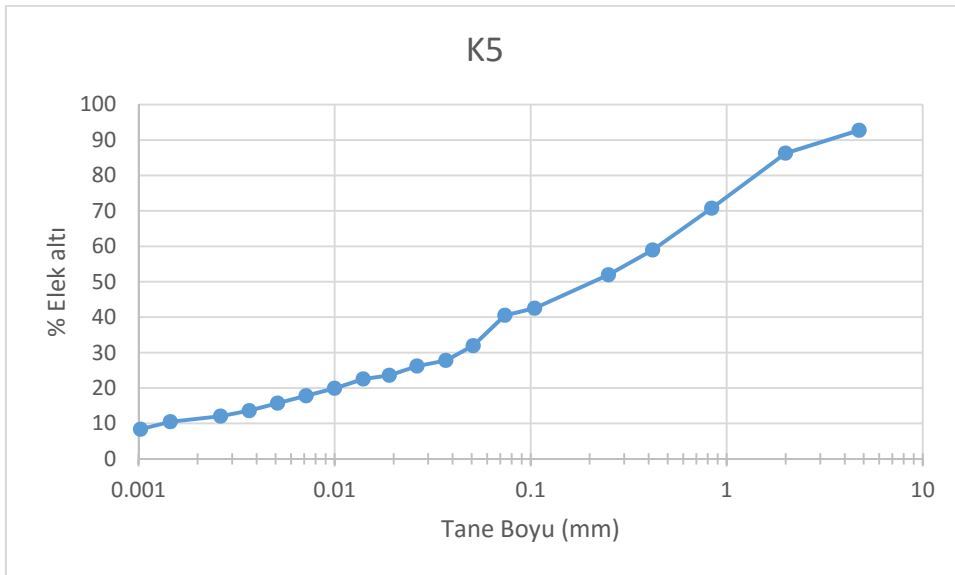
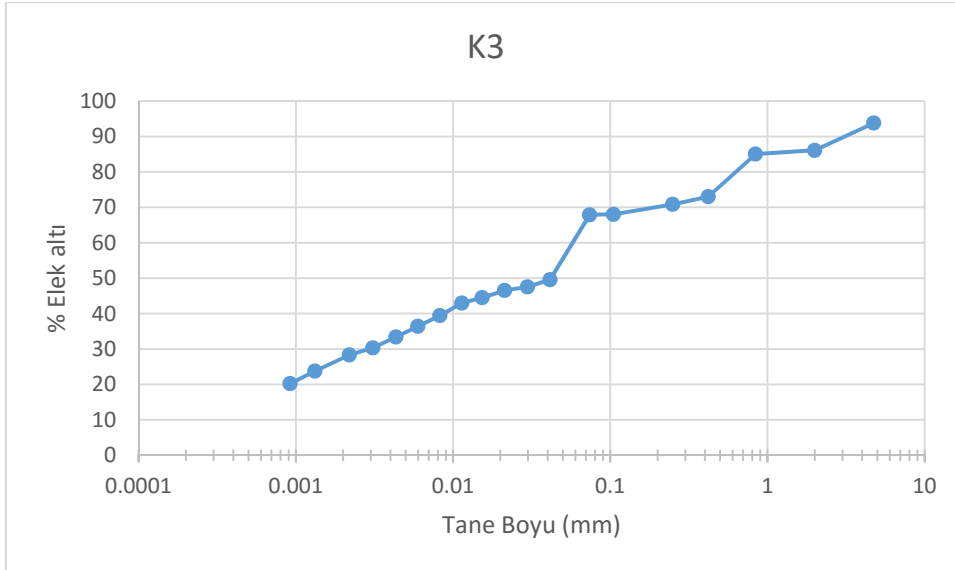
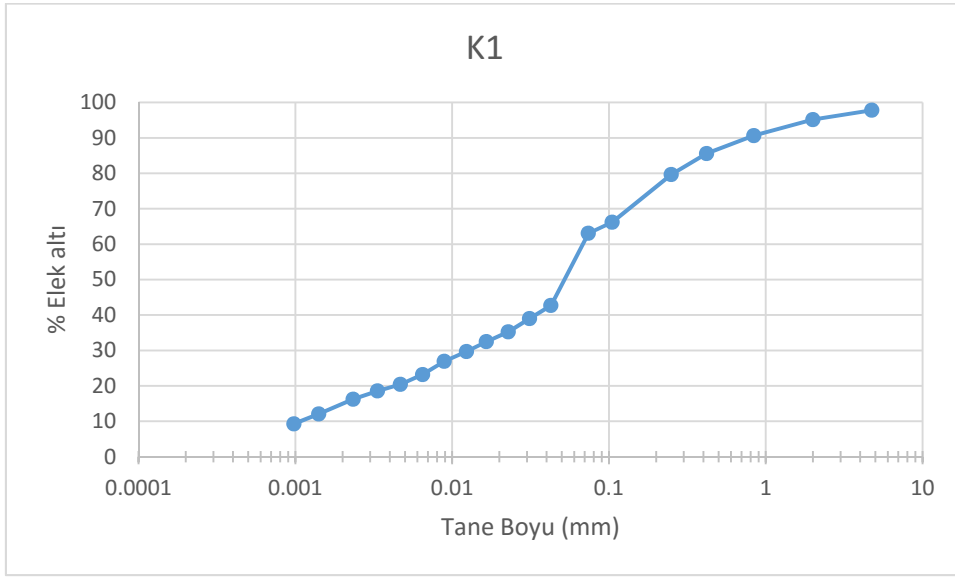
- [13] Ravenscroft, P. ve Macarthur, J.M., Mechanism of regional enrichment of groundwater by boron: the examples of Bangladesh and Michigan, USA, *Applied Geochemistry*, Volume 19. 1413-1430, **2004**.
- [14] Barth, S., Application of boron isotopes for tracing sources of antropogenic contamination in groundwater,; *Water. Resources*, 1998, Volume 32, 485-490, **1998**.
- [15] Zorlu, S., Kırka (Eskişehir) Bor Yatakları Çevresindeki Biyojeokimyasal Anomalilerin Araştırılması: Çukurova Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, Adana, **2006**.
- [16] Meteoroloji Genel Müdürlüğü <http://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/yillik-toplam-yagisverileri.aspx?m=eskisehir#sfB> (Kasım, **2015**).
- [17] Helvacı, C., Türkiye borat yataklarının mineralojisi: Jeoloji Mühendisliği, Sayı 17, 37-54, **1983**.
- [18] Göktaş, F., Kırka Çevresindeki Neojen Tortullaşması ve Volkanizmasının Jeolojik Özeti, MTA İzmir Bölge Müdürlüğü, **2006**.
- [19] Gök, S., Çakır, A. ve DüNDAR, A., Eskişehir İli – Kırka Kasabası civarı borat yataklarının ve diğer endüstriyel hammadde etüt raporu, MTA Rapor No 1433, **1980**.
- [20] ETİMADEN, Atık Göletleri ile Kil Döküm Sahası İçin Açılan Gözlem Kuyuları Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi Raporu, Etimaden İşletmeleri Genel Müdürlüğü, Kırka İşletme Müdürlüğü, Kırka-Eskişehir, **2012**.
- [21] ENCON, Kırka Bor İşlemesi ve Çevresi Raporu (yayımlanmamış), **2012**.
- [22] Toprak sınıflaması. <http://aris.cob.gov.tr/sites/default/files/lejant.pdf>. (Ekim, **2015**)
- [23] TSE 266, “İçme suyu standartları” Türk Standartlar Enstitüsü, Ankara, **2005**.
- [24] ASTM, Anual Book of ASTM Standard, Section 4 Construction, Volume 04.08 Soil and Rock, Building, Stones, Geotextiles, Publication Code Number: 01-040888-38, ISBN 0-8031-1110-X, 1916 Race Street, Philadelphia, USA, **1992**.
- [25] Doğdu, M.,Ş. Akarçay (Afyon) havzasında jeotermal kökenli yüzeysuyu ve yeraltısuyu kirliliğinin araştırılması: Hacettepe Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Ankara, **2001**.
- [26] Appelo and Postma D., Geochemistry, Groundwater and Pollution, Netherlands. : A.A. Balkema Publishers, **2005**.
- [27] USDA (United States Departmen of Agriculture), Soil Survey Labrotory Methods Manual, Natural States Resources Conservation Service, National Soil Center, Soil Investigation Report No: 42, Version 3.0, Washington D.C., USA, **1996**.

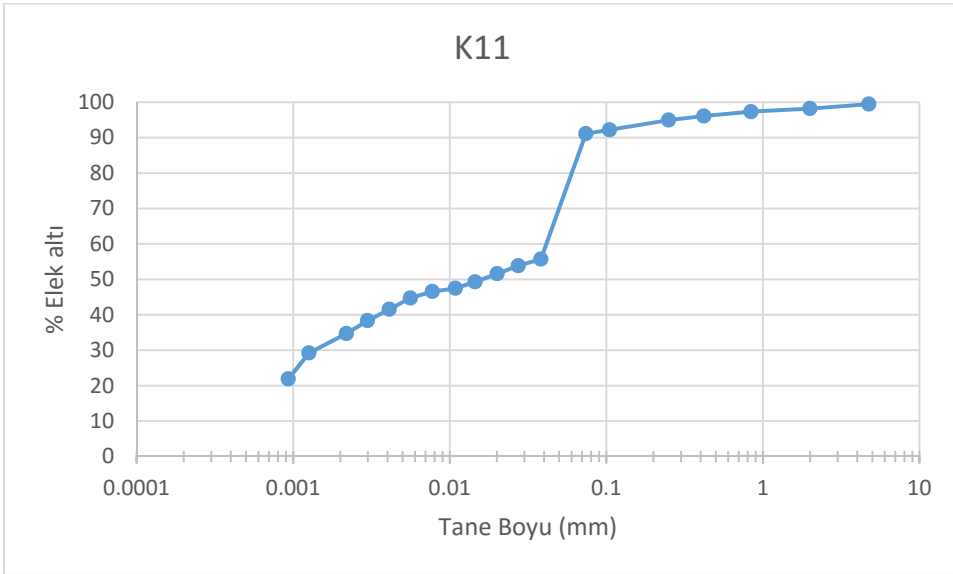
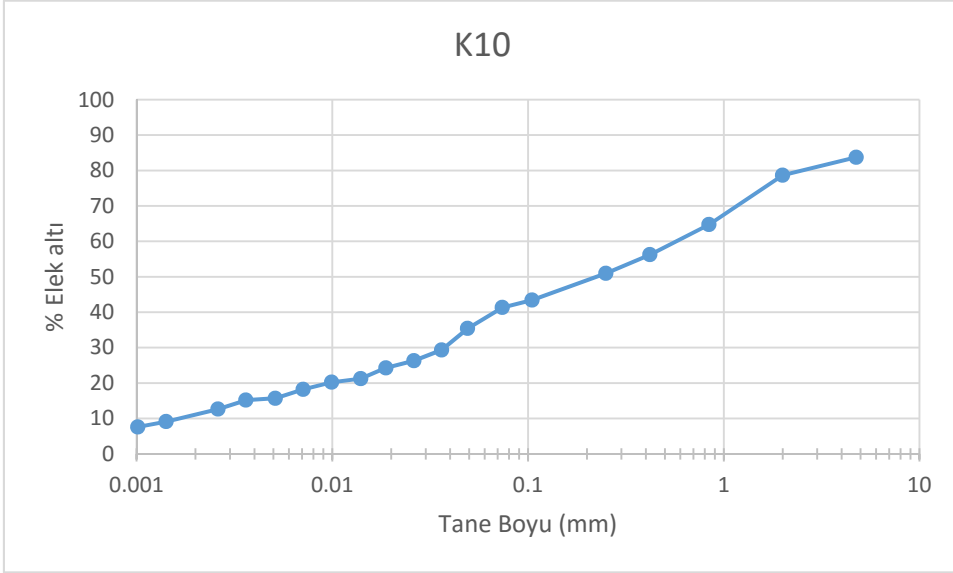
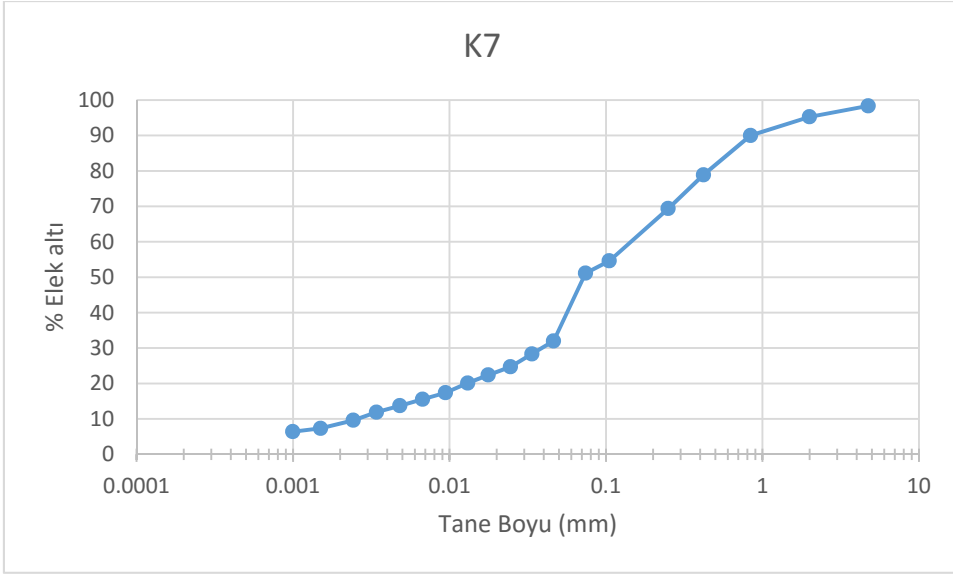
- [28] Hou J, Evans L J and Spiers G A, Boron fractionation in soils, *Communication in Soil and Plant Analysis*, Volume 25, 1841–1853, **1994**.
- [29] Sah R.N. and Brown P.H., Boron Determination—A Review of Analytical Methods, *Microchemical Journal* 56, 285–304, **1997**.
- [30] Berger, K.C. and Troug, E. Boron determination in soils and plants using the quinalizarin reaction. *Industrial Engineering Chemistry Research*, Volume 11:540-545, **1939**.
- [31] L.Sonon and D. Kissel www.clemson.edu/sera6/HotwaterBoron70710.doc (Ekim, **2015**).
- [32] Gupta, U. C., A Simplified Method for Determining Hot Water-soluble Boron in Podzol Soils, *Soil Sciences*, Volume 103, 424-428, **1967**.
- [33] Russel E.W., Soil Conditions and Plant Growth. Longman, London, New York, **1973**.
- [34] Gupta U.C., Jame Y.W., Campbell C.A., Leyshon A.J., Nicholaichuk W., Boron toxicity and deficiency: a review, *Canadian Journal of Soil Sciences*, 65: 381–409, **1985**.
- [35] Keren R., Boron. In: Sparks D.L. (eds.): Methods of Soil Analysis, Part 3 Chemical Methods, SSSA Book Series 5, Madison: 603–626, **1996**.
- [36] Goldberg S., Reactions of boron with soils, *Plant Soil*, 193: 35–48, **1997**.
- [37] Raza M., Mermut A.R., Schoenau J.J., Malhi S.S., , Boron fractionation in some Saskatchewan soils *Canadian Journal of Soil Sciences*, 82: 173–179, **2002**.
- [38] ETİMADEN Boraks, <http://www.etimaden.gov.tr/d/file/boraks-dekahidrat.pdf> (Kasım **2015**).
- [39] Resmi Gazete, (20748. sayı, 7 Ocak 1991) “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği”, **1991**.
- [40] Ayaroğlu, H., Gürbüz D., Polat İ., Türköz, S, Kırka ve Yöresindeki İçme ve Kullanma Suları ile Topraktaki Yıllık Bor Yükünün Tayini, ETİ HOLDİNG Proje No: 97.C.11.0010, **2001**.
- [41] WHO (World Health Organization), Guidelines for Drinking Quality, Third Edition, Volume 1 Recommendations, Geneva, **2004**.

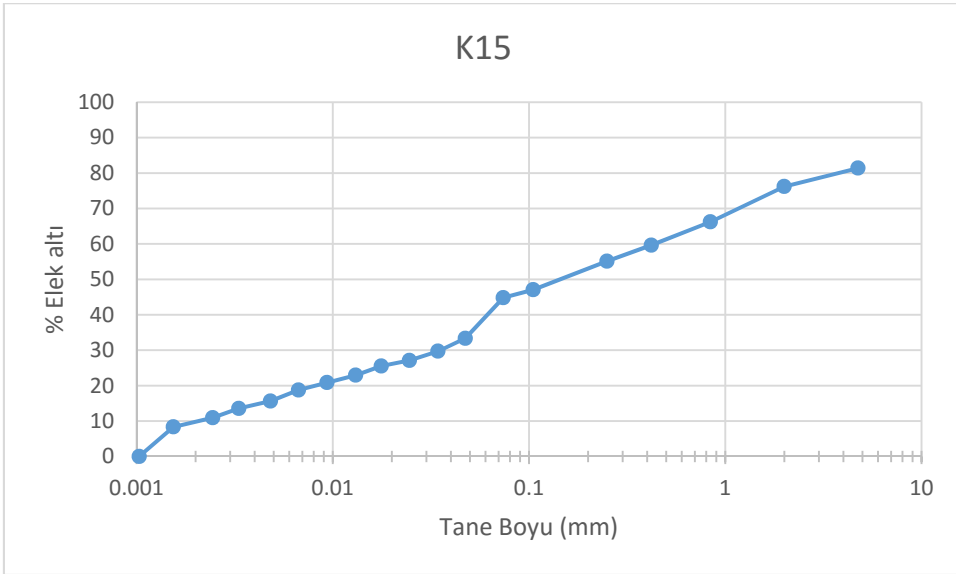
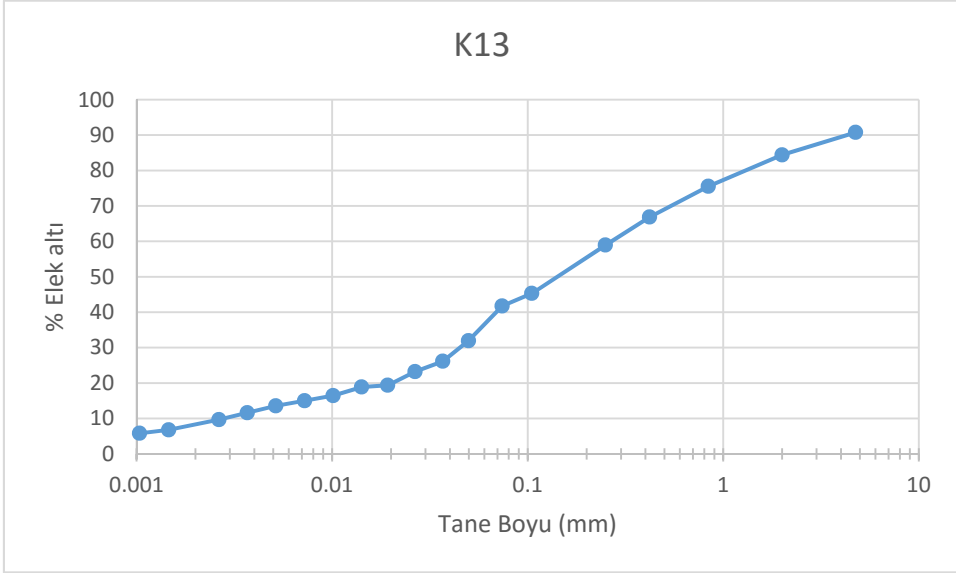
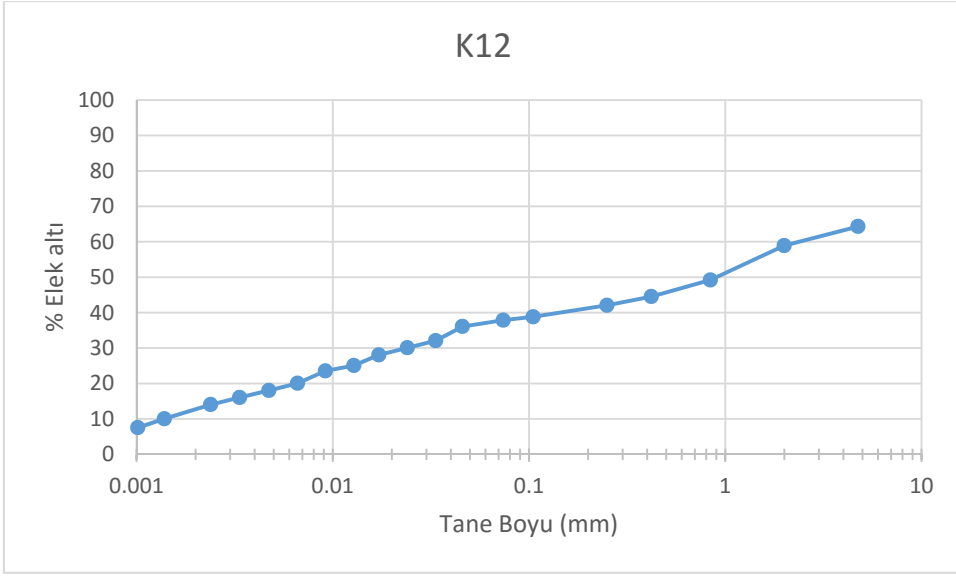
- [42] EPA (U.S. Environmental Protection Agency), Drinking Water Health Advisory for Boron, Document Number: 822-R-08013, **2008**.
- [43] Teaf, C. M., Covert, D.J.; Teaf, P. A.; Page, E.; and Starks, M. J., Arsenic Cleanup Criteria for Soils in the US and Abroad: Comparing Guidelines and Understanding Inconsistencies," Proceedings of the Annual International Conference on Soils, Sediments, *Water and Energy*: Vol. 15, Article 10, **2010**.

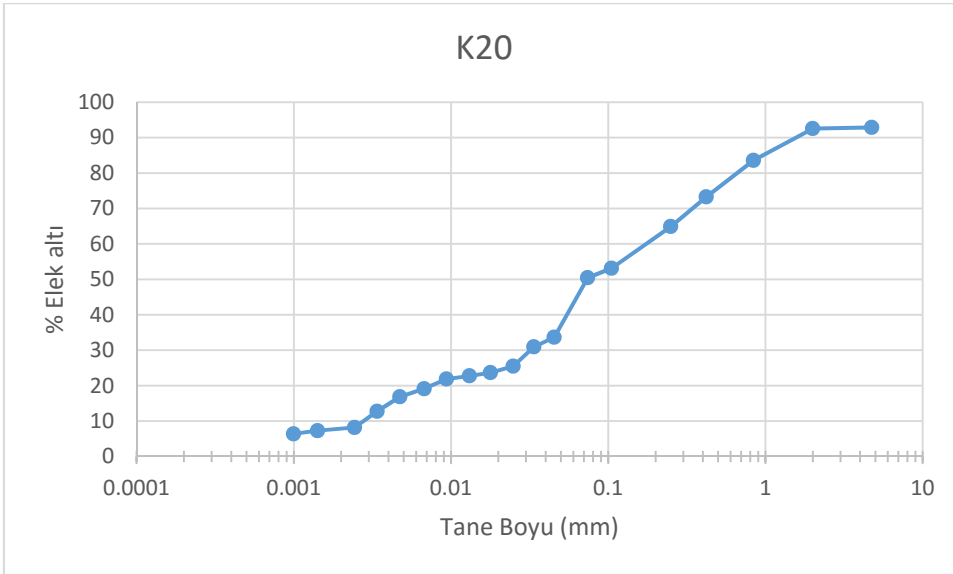
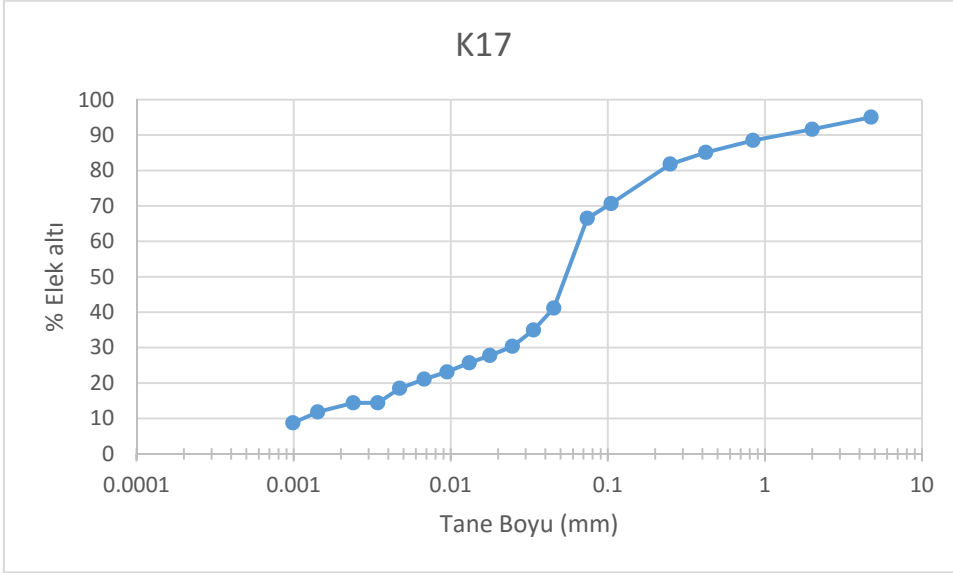
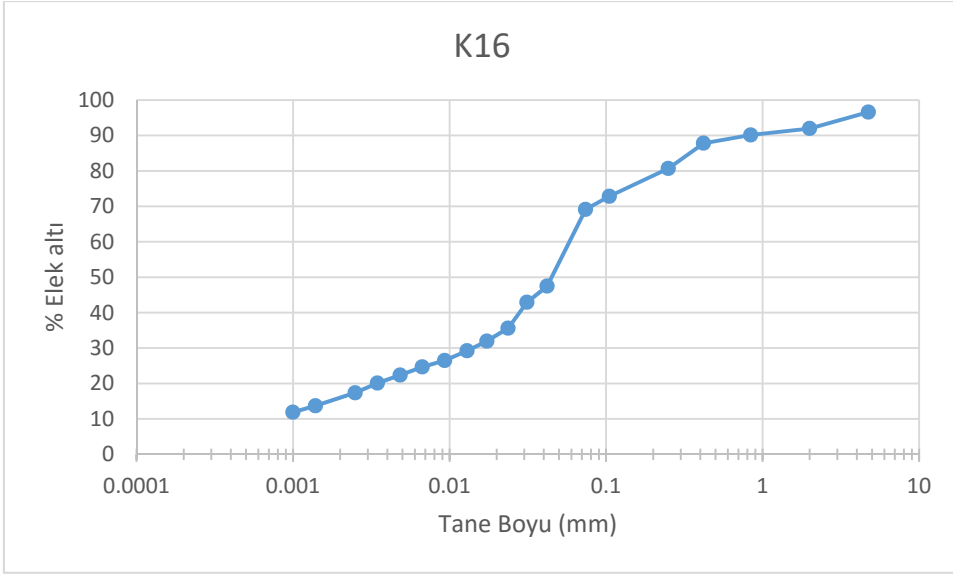
EKLER

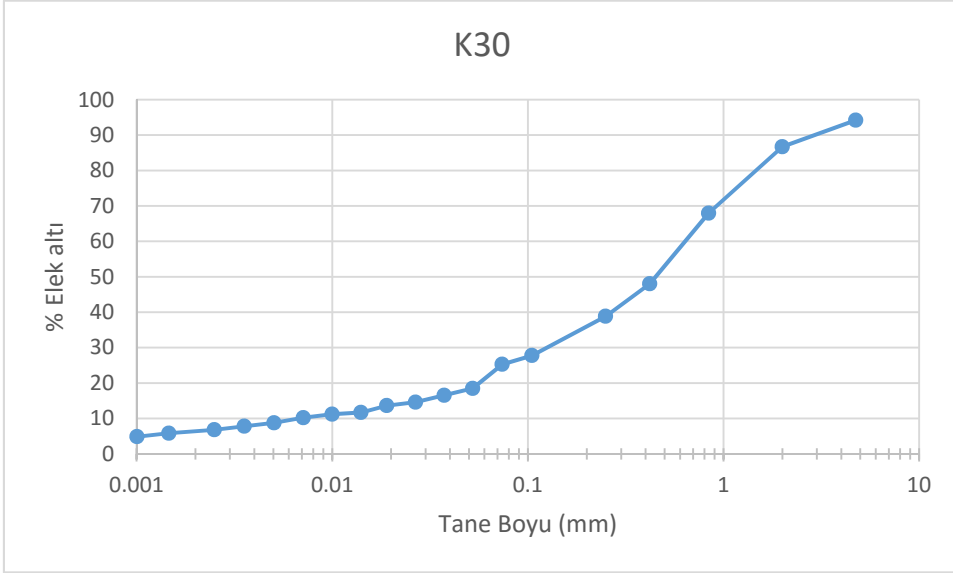
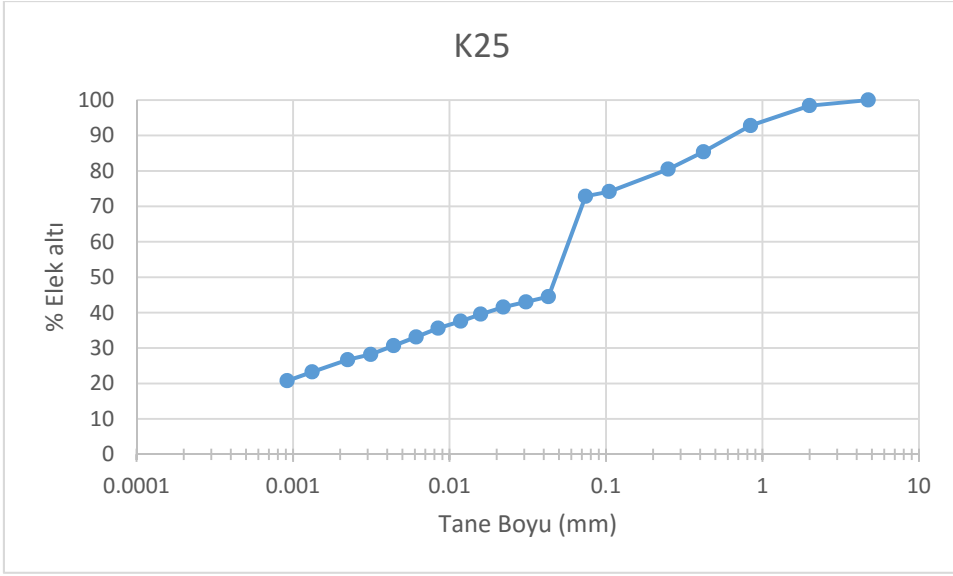
EK 1 Toprak örnekleri tane boyu dağılım eğrileri





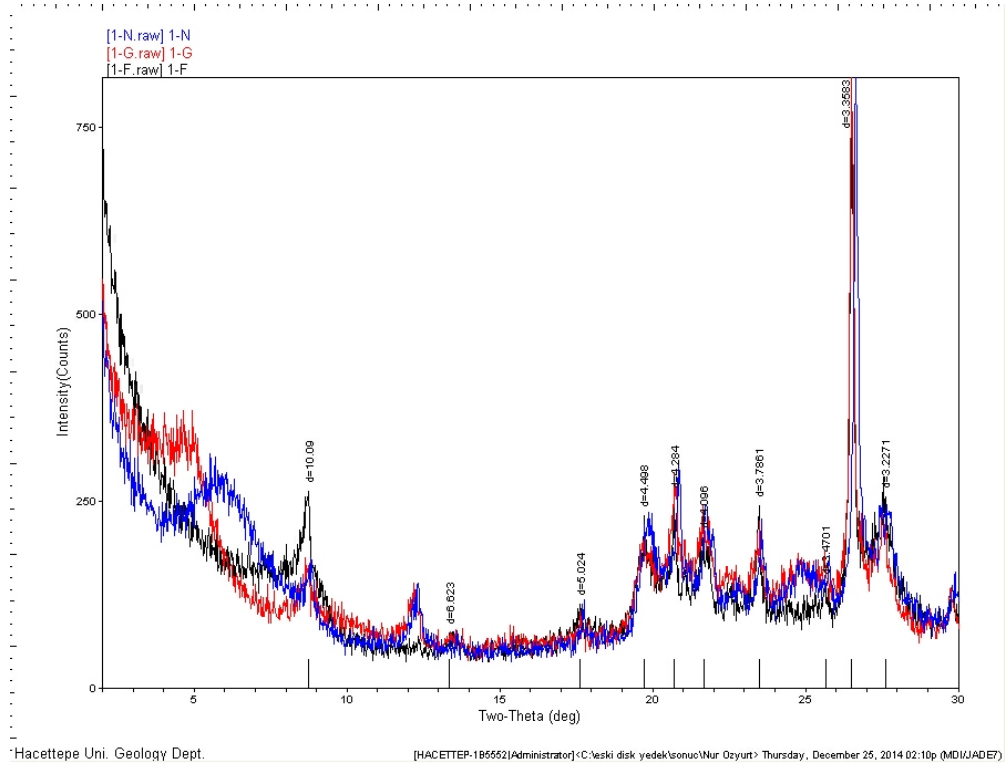
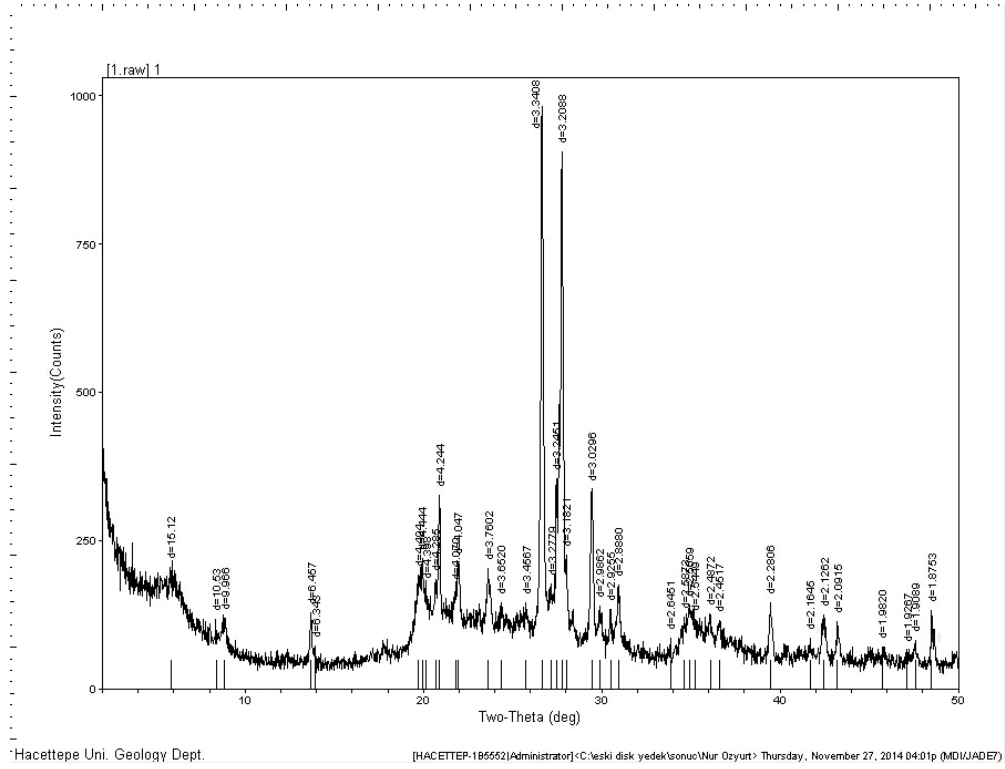




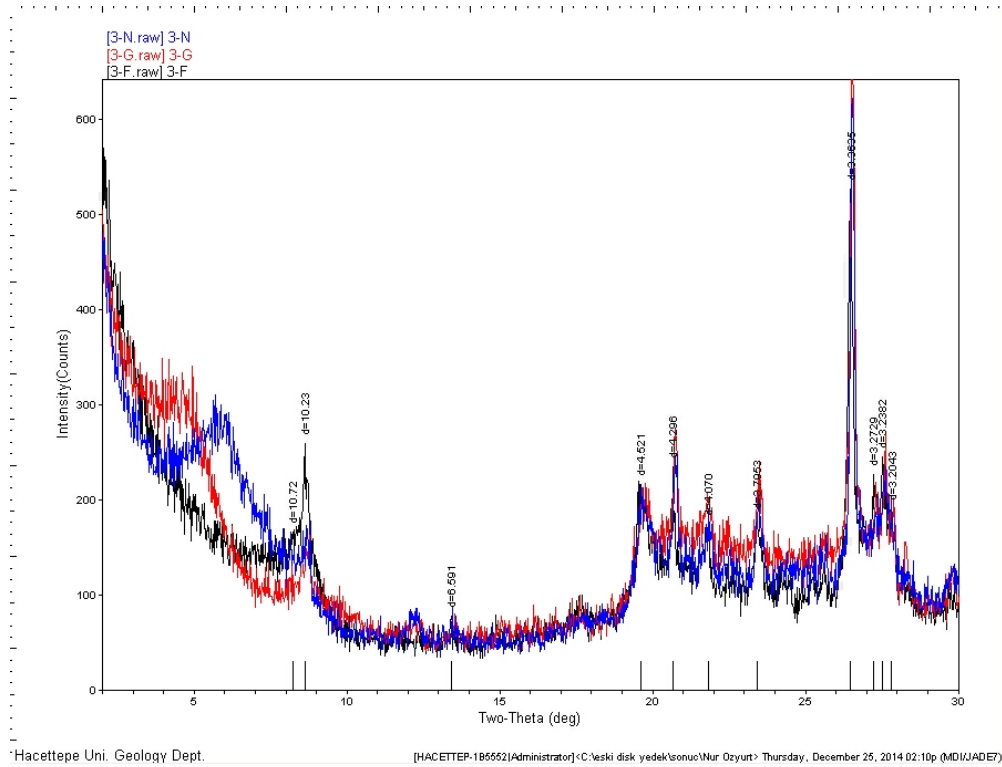
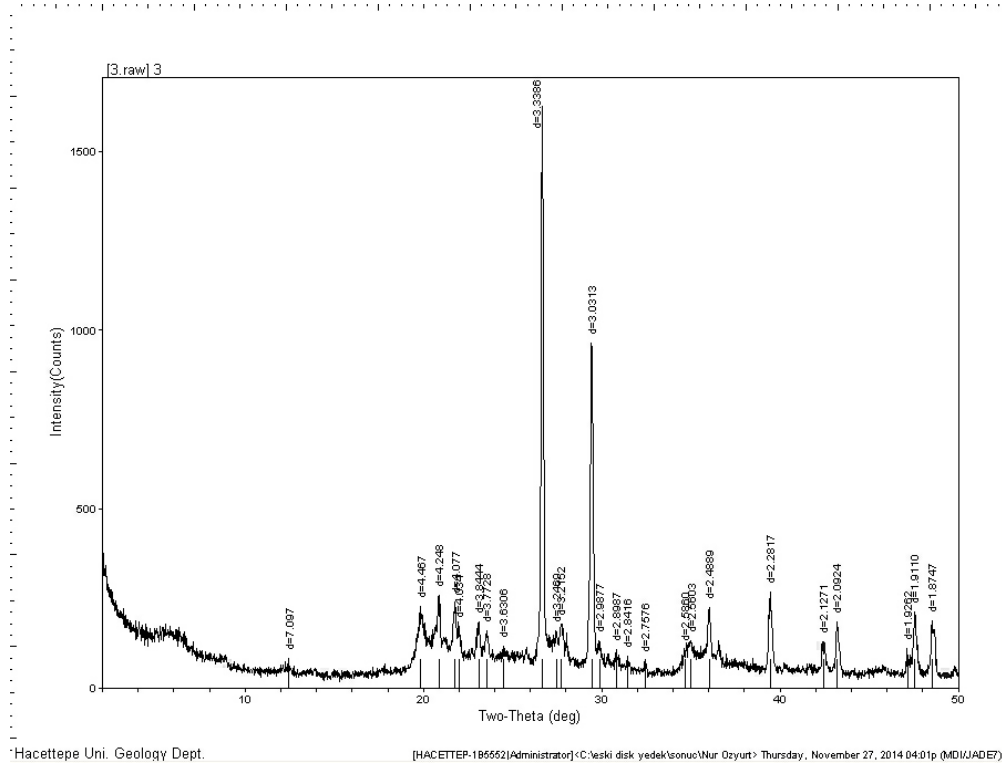


EK-2 Tüm Kayaç XRD

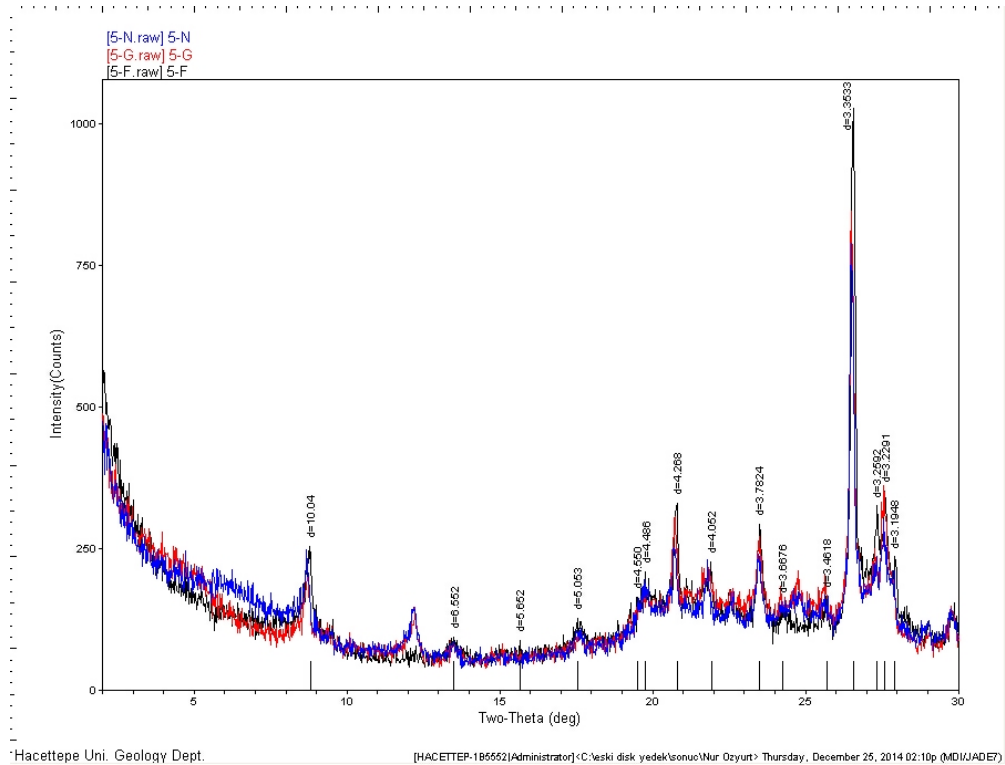
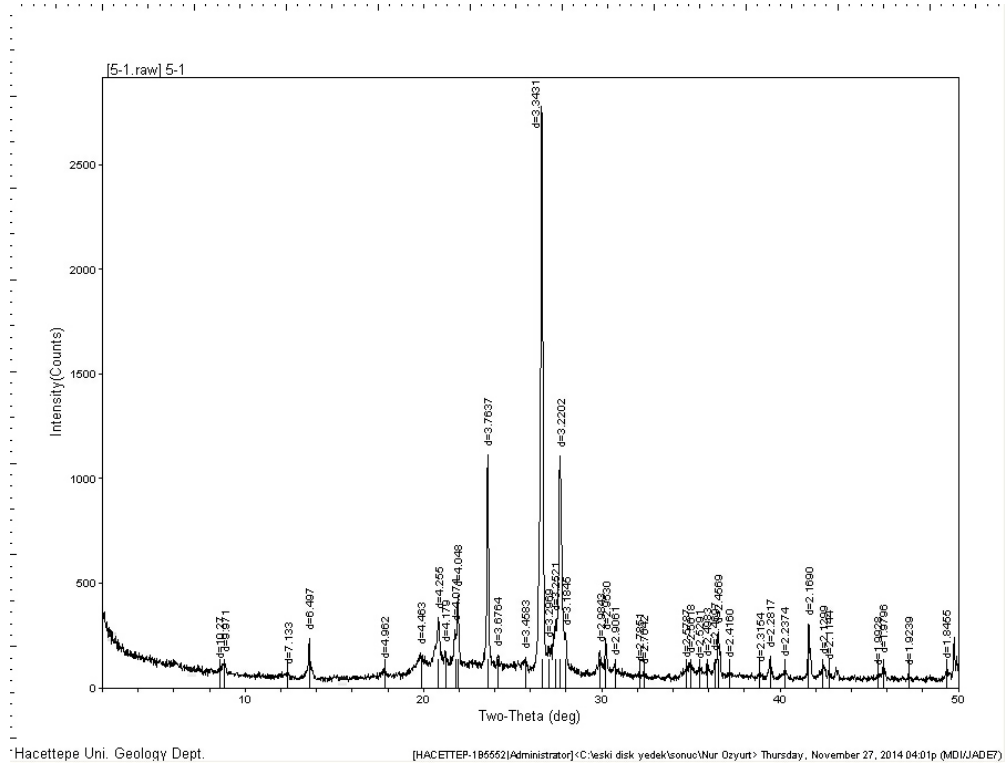
K1



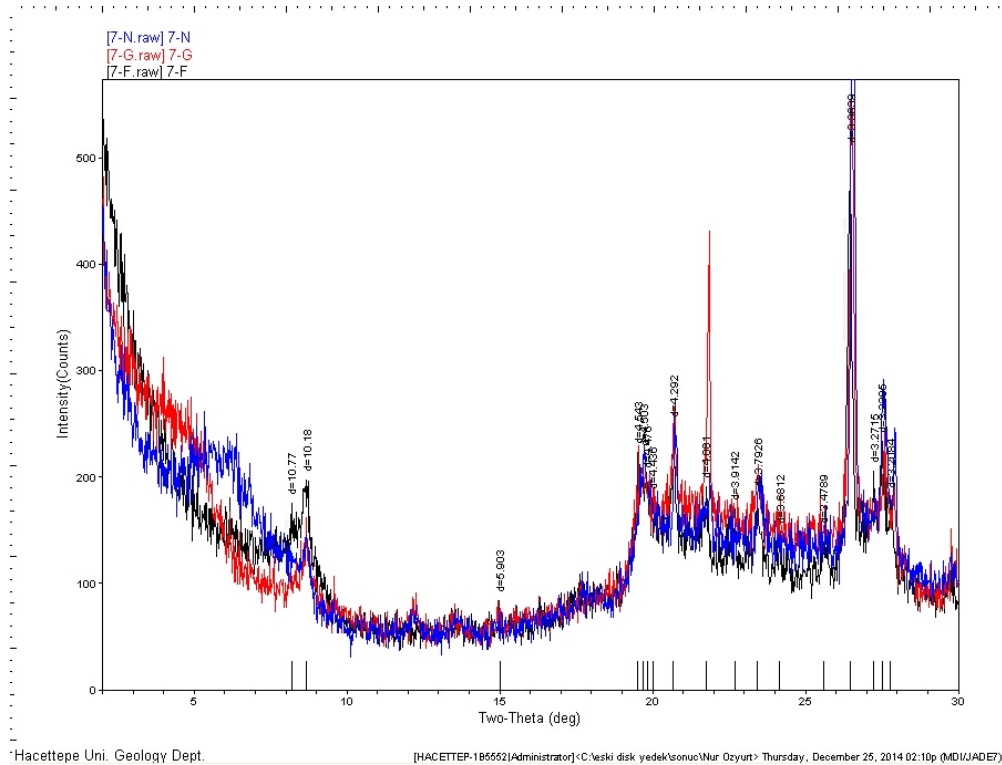
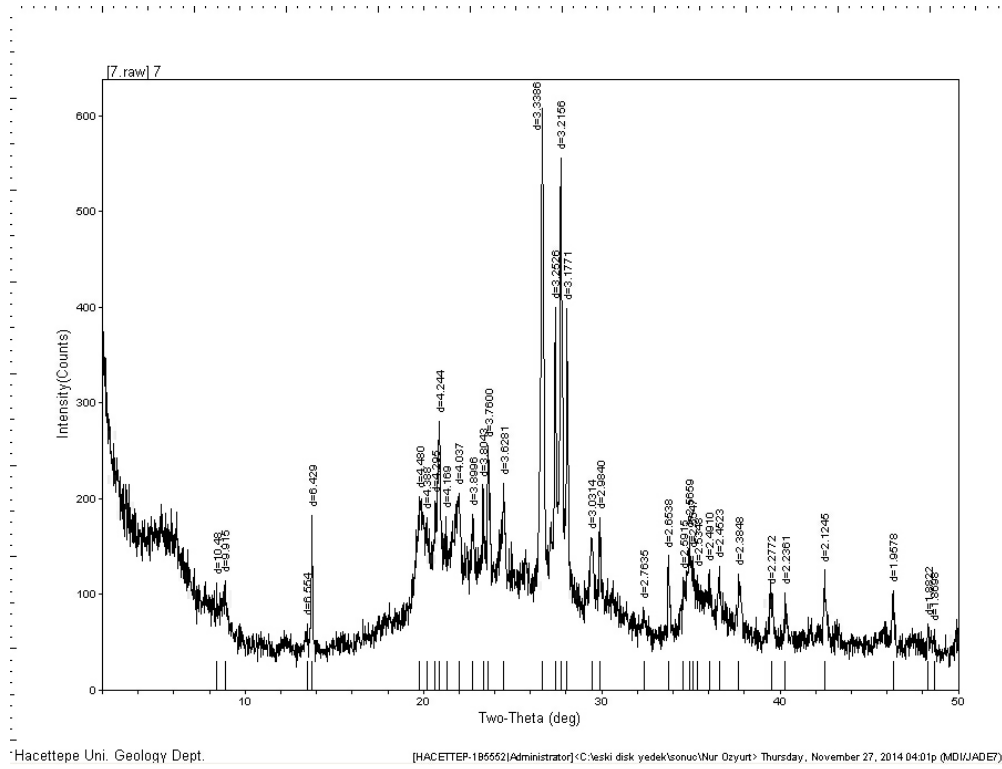
K3



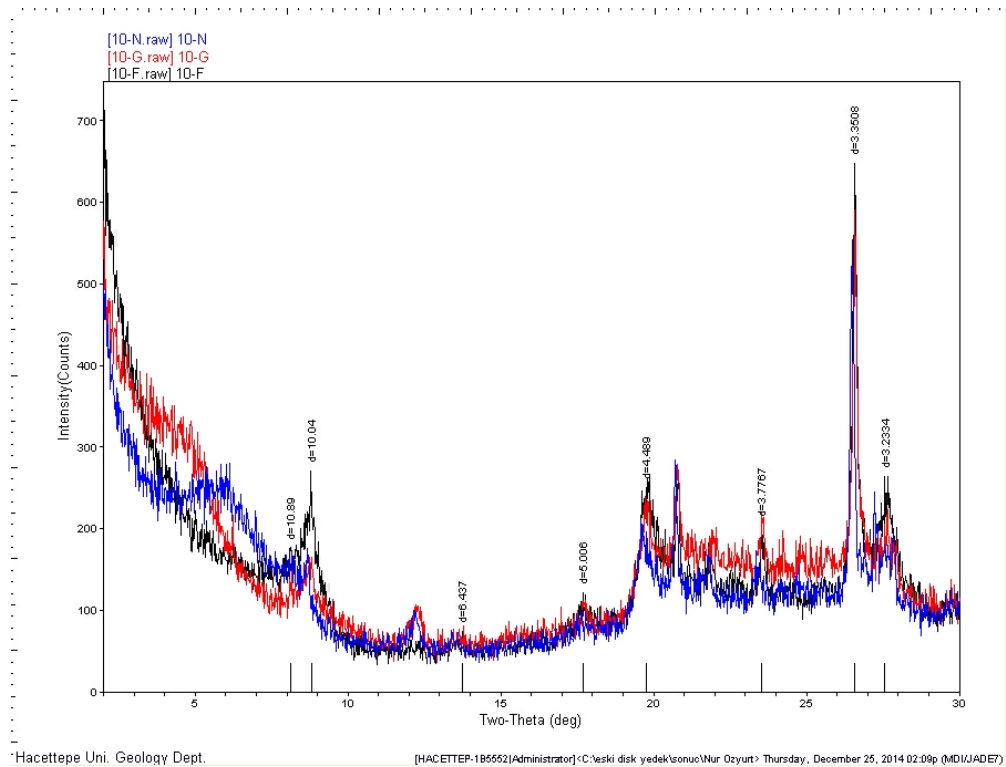
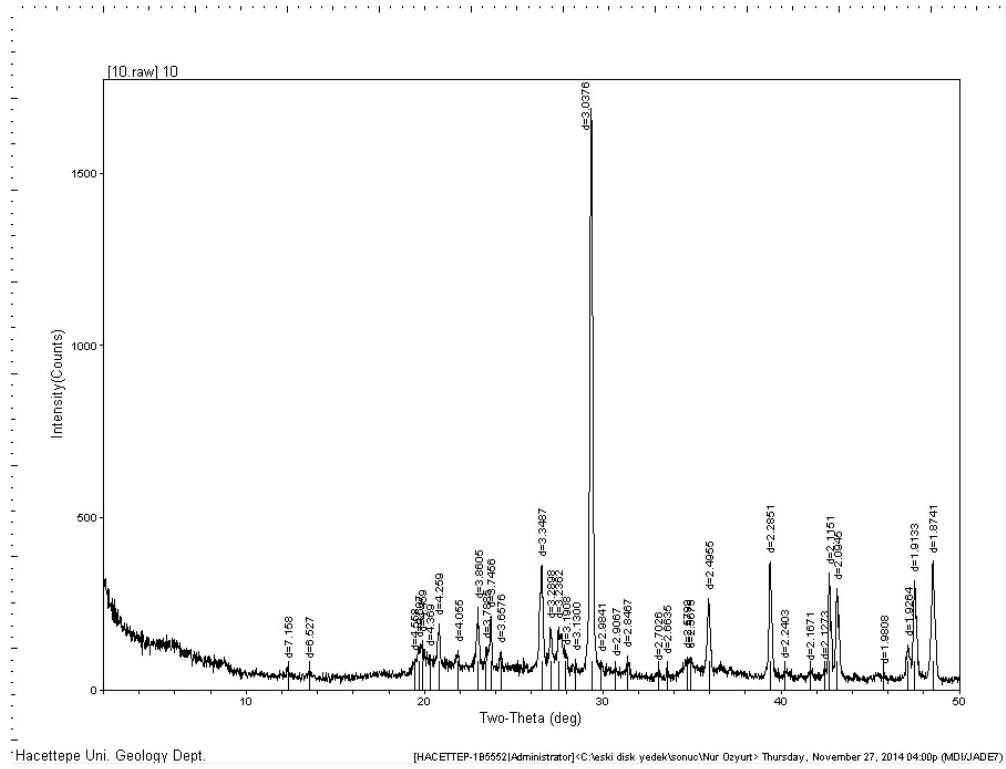
K5

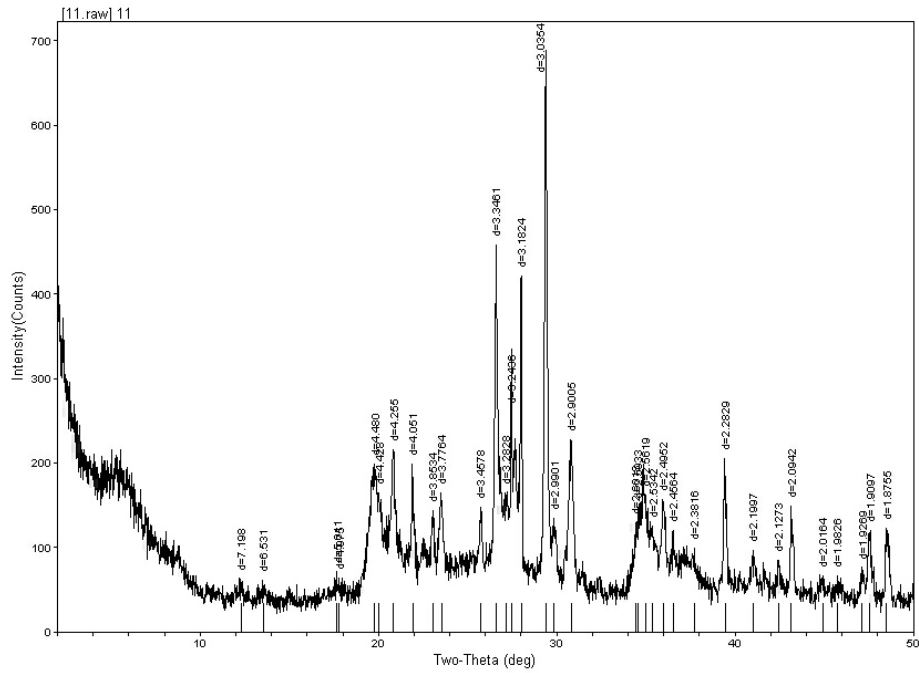


K7



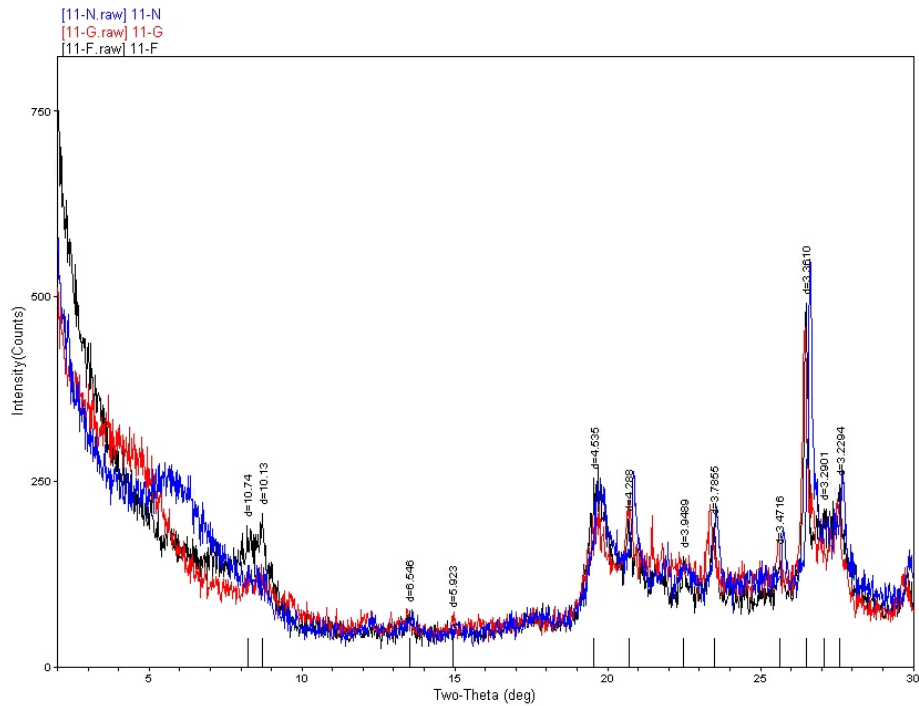
K10





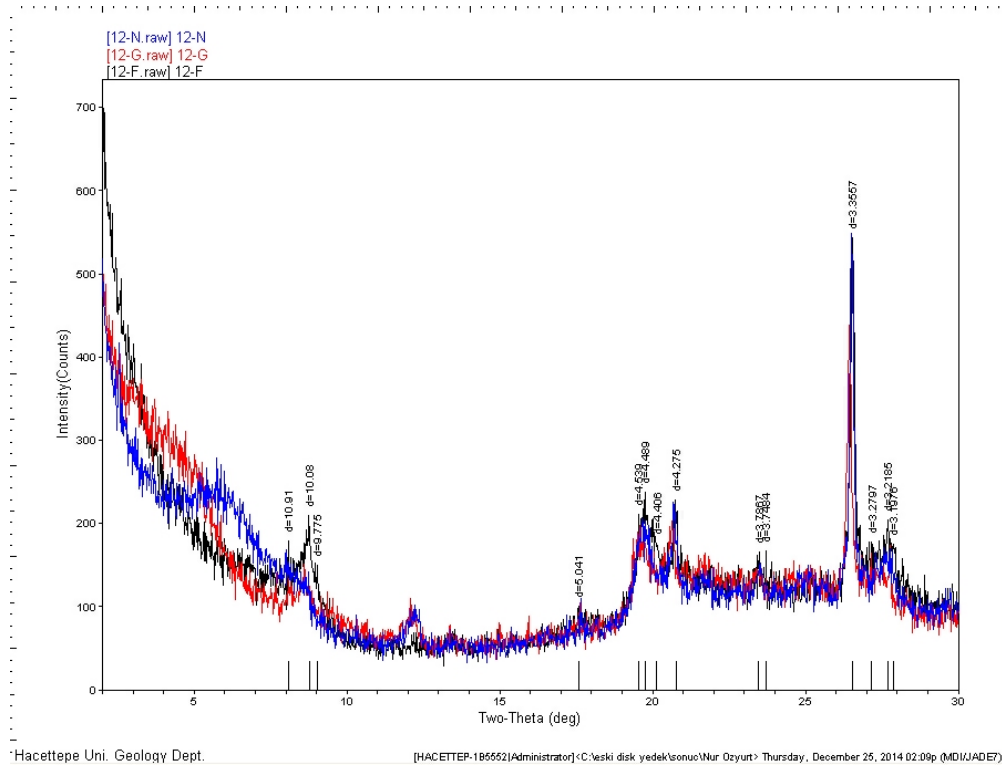
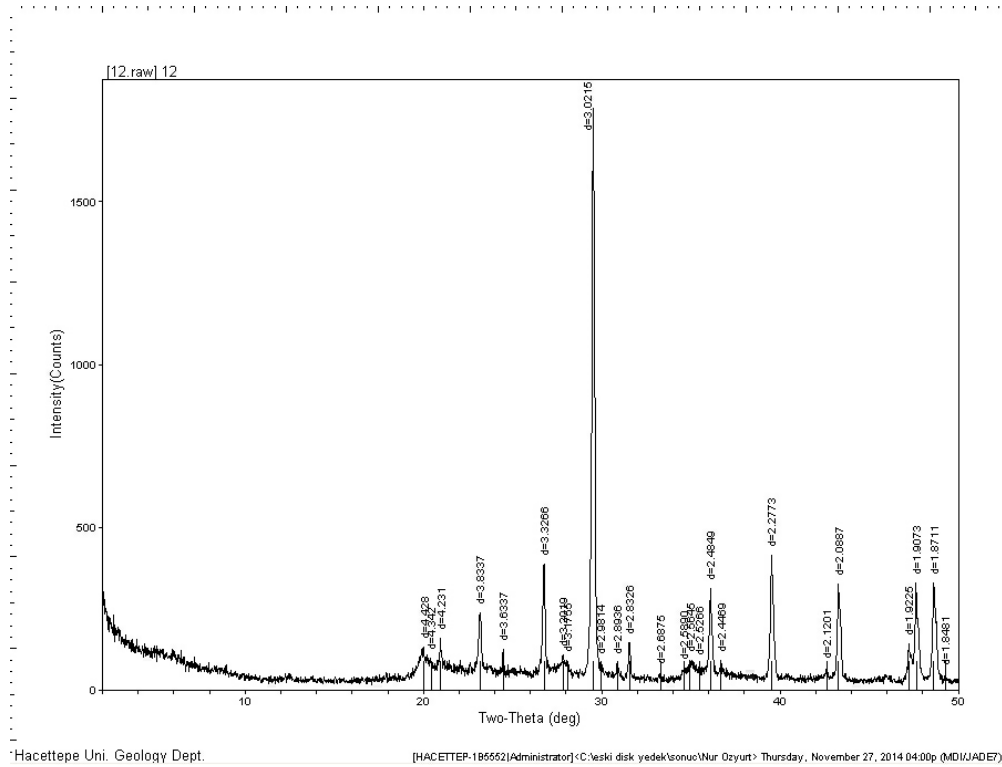
Hacettepe Uni. Geology Dept.

[HACETTEP-185552]Administrator<C:\eski disk yedek\sonuc\Nur Ozyurt> Thursday, November 27, 2014 04:00p (MDI/JADE7)

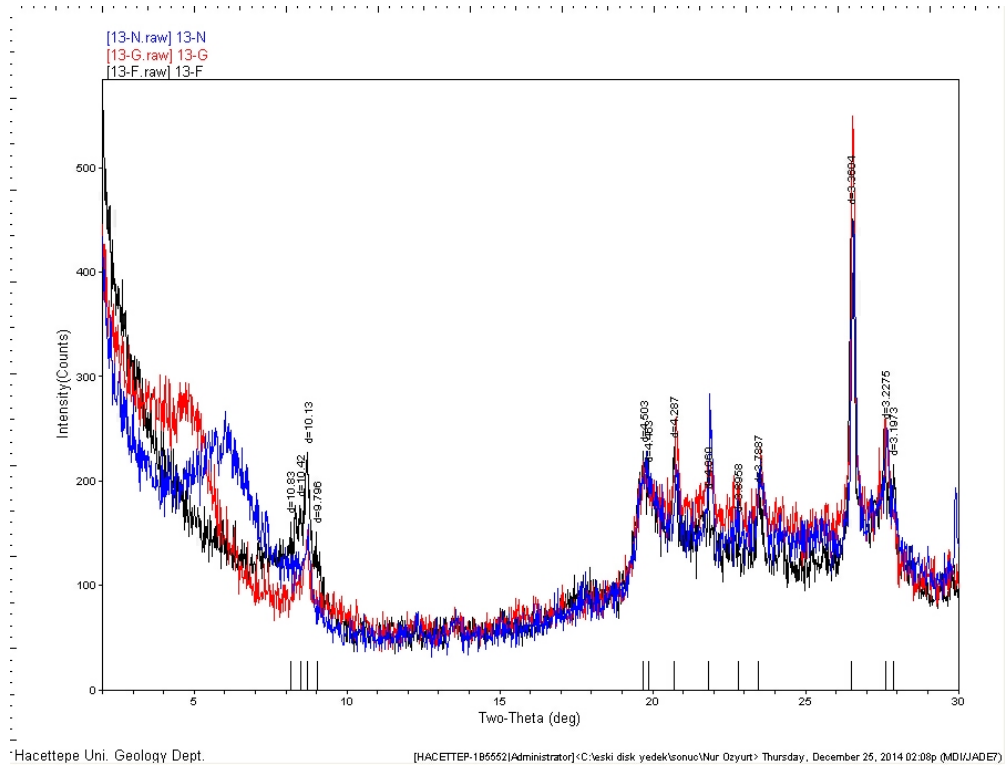
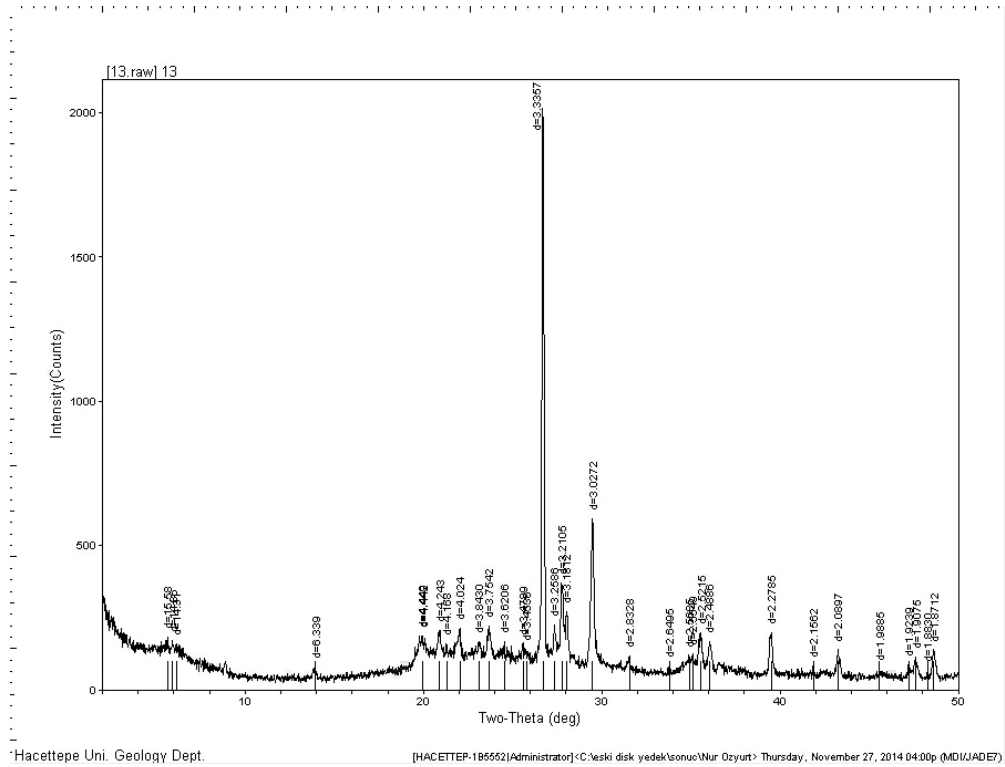


Hacettepe Uni. Geology Dept.

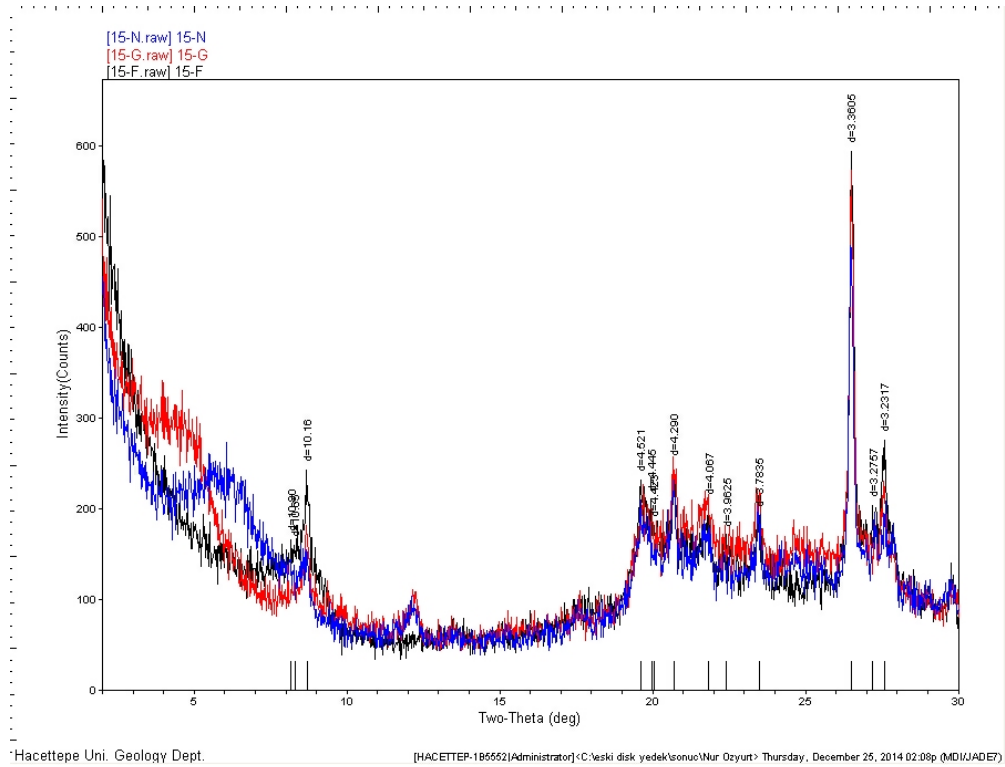
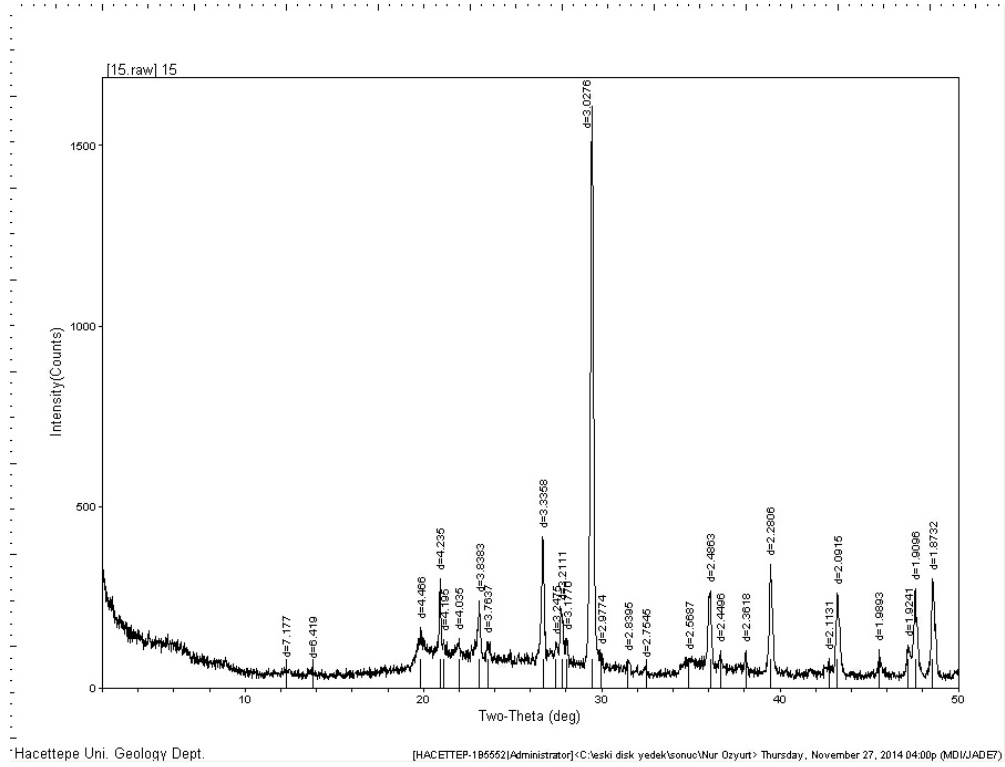
[HACETTEP-185552]Administrator<C:\eski disk yedek\sonuc\Nur Ozyurt> Thursday, December 25, 2014 02:09p (MDI/JADE7)

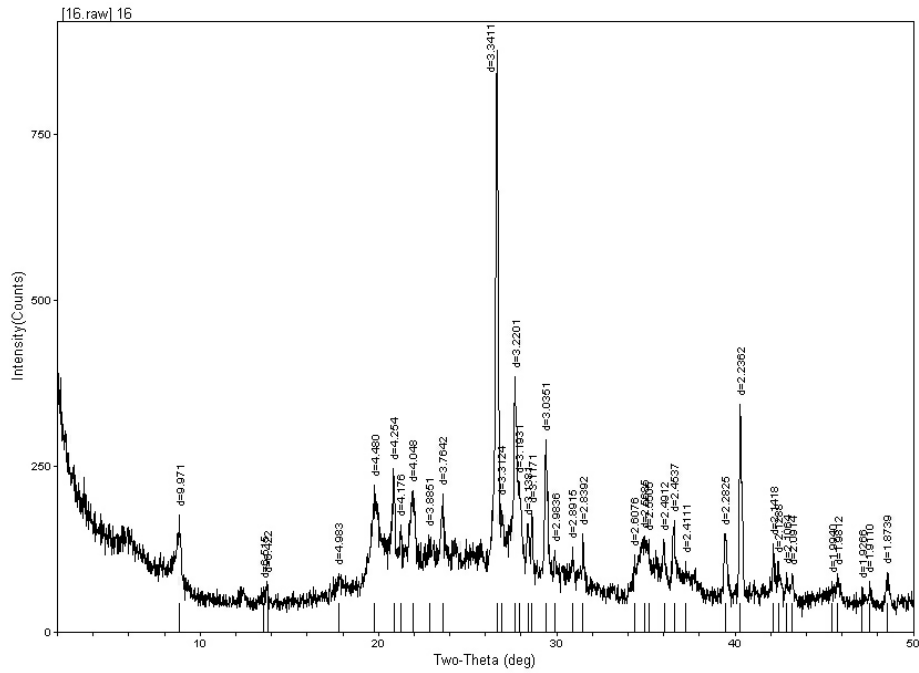


K13



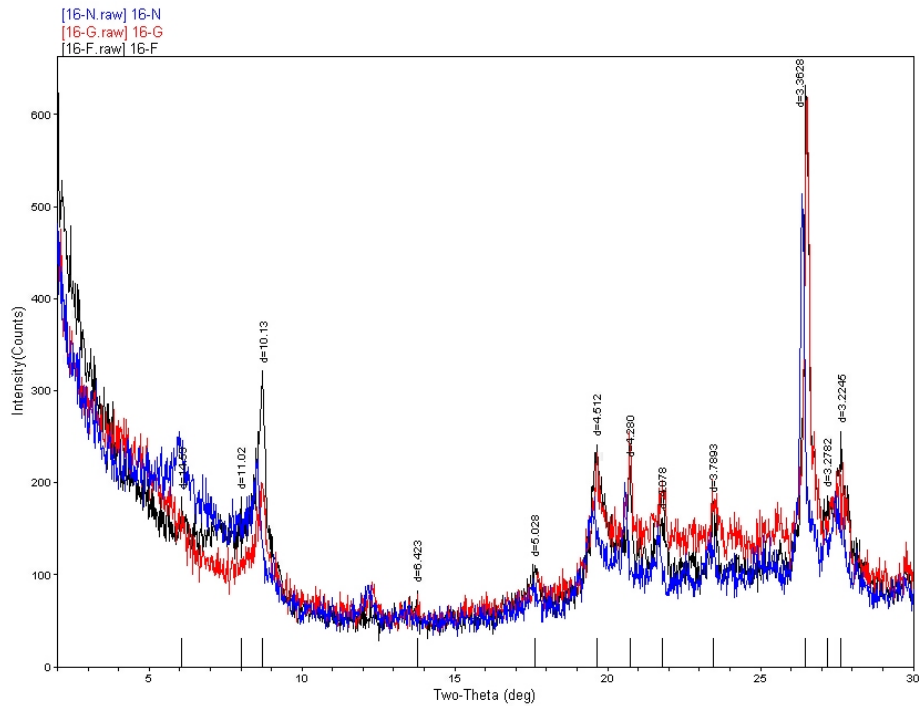
K15





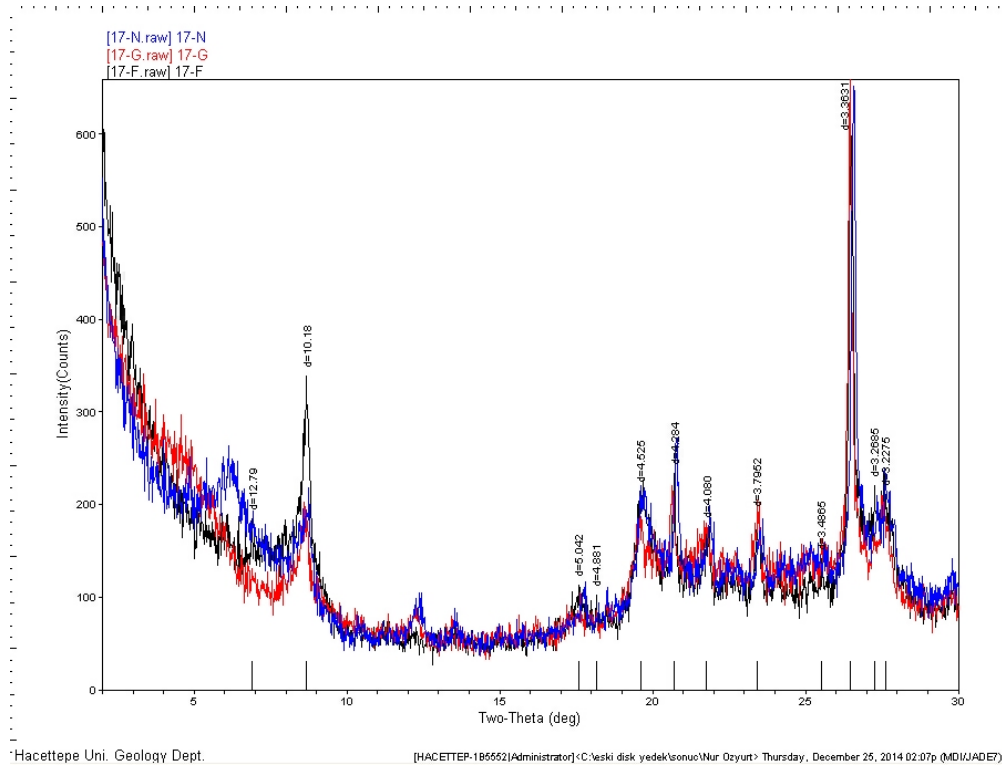
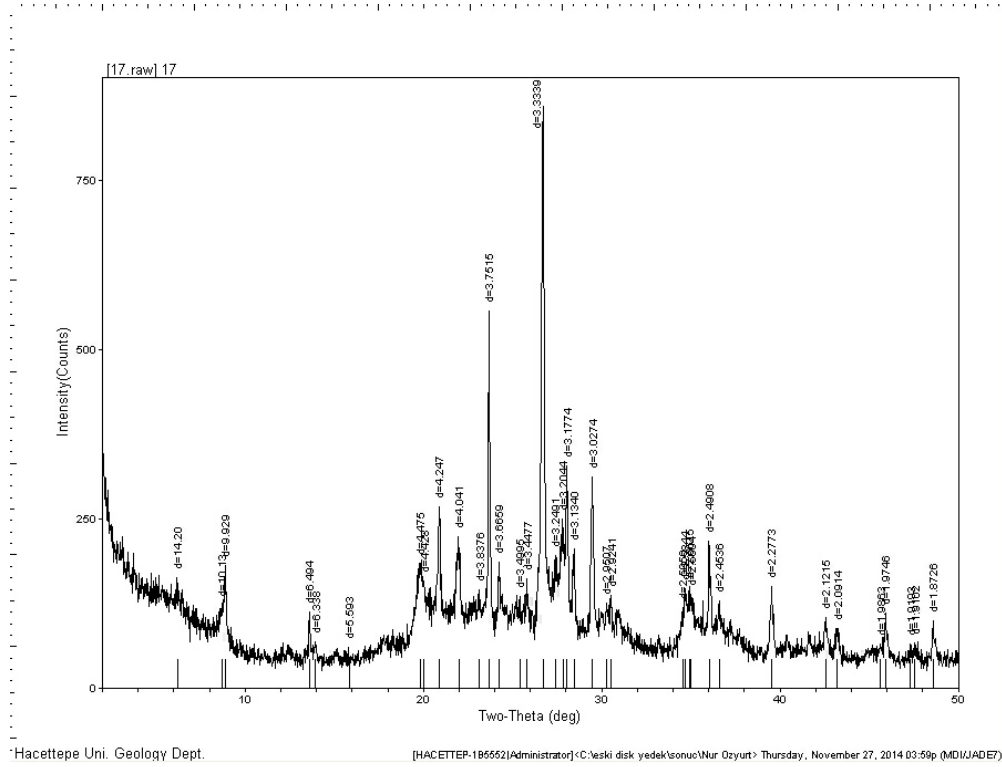
Hacettepe Uni. Geology Dept.

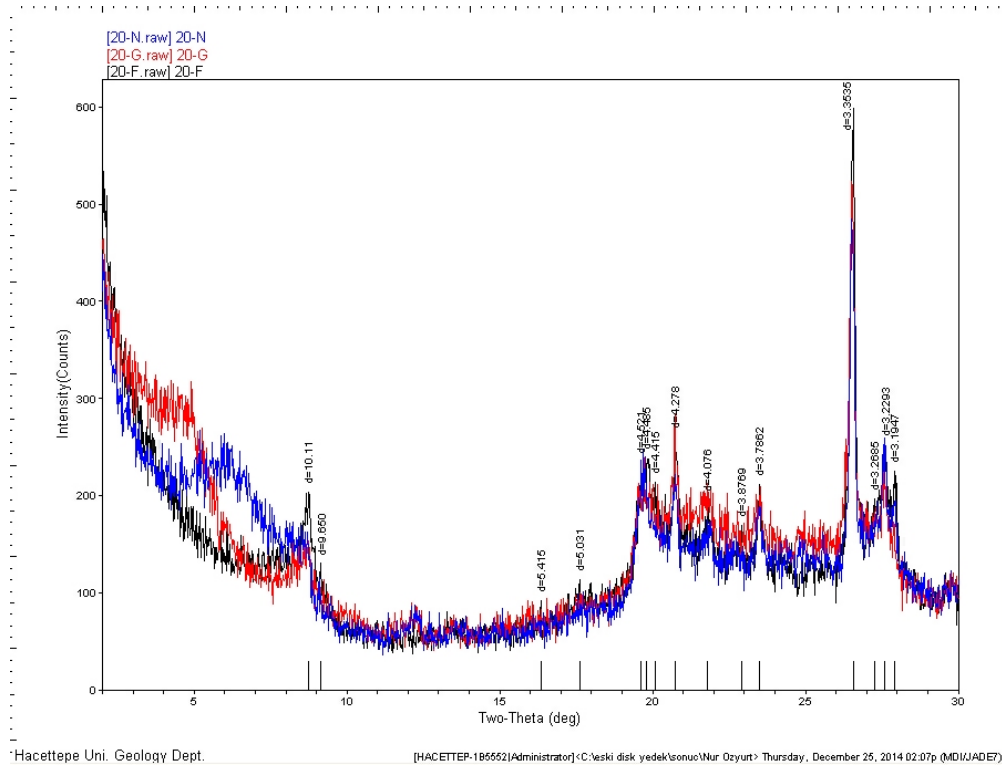
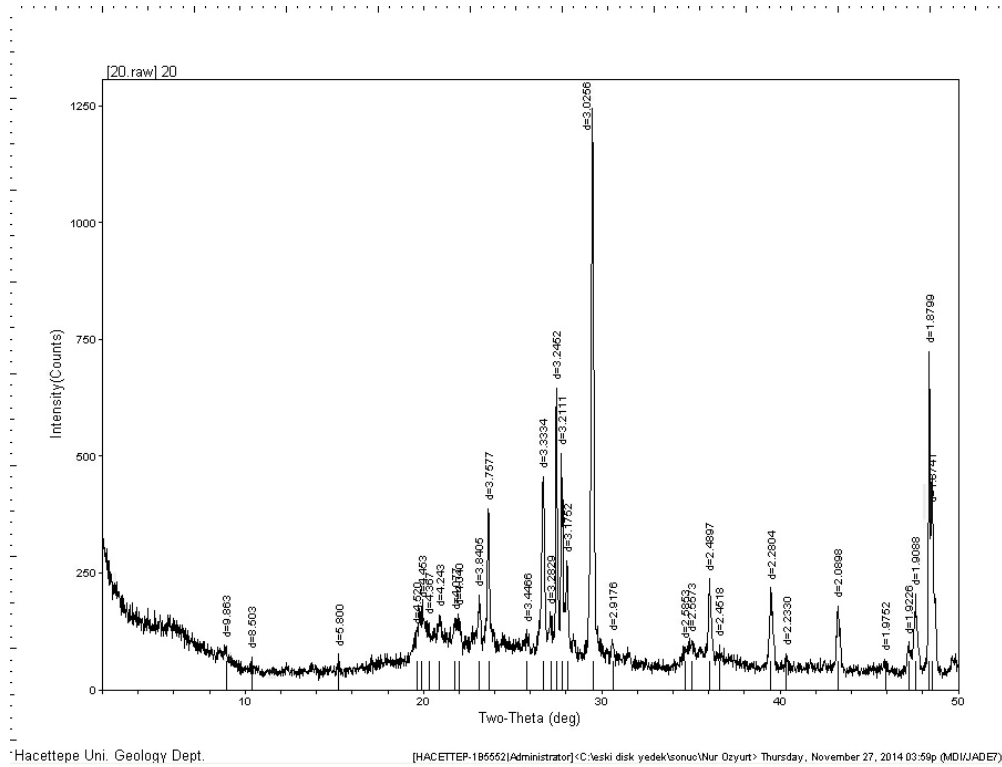
[HACETTEP-185552]Administrator\c:\eski disk yedek\sonuc\Nur Ozyurt> Thursday, November 27, 2014 04:00p (MDI/JADE7)

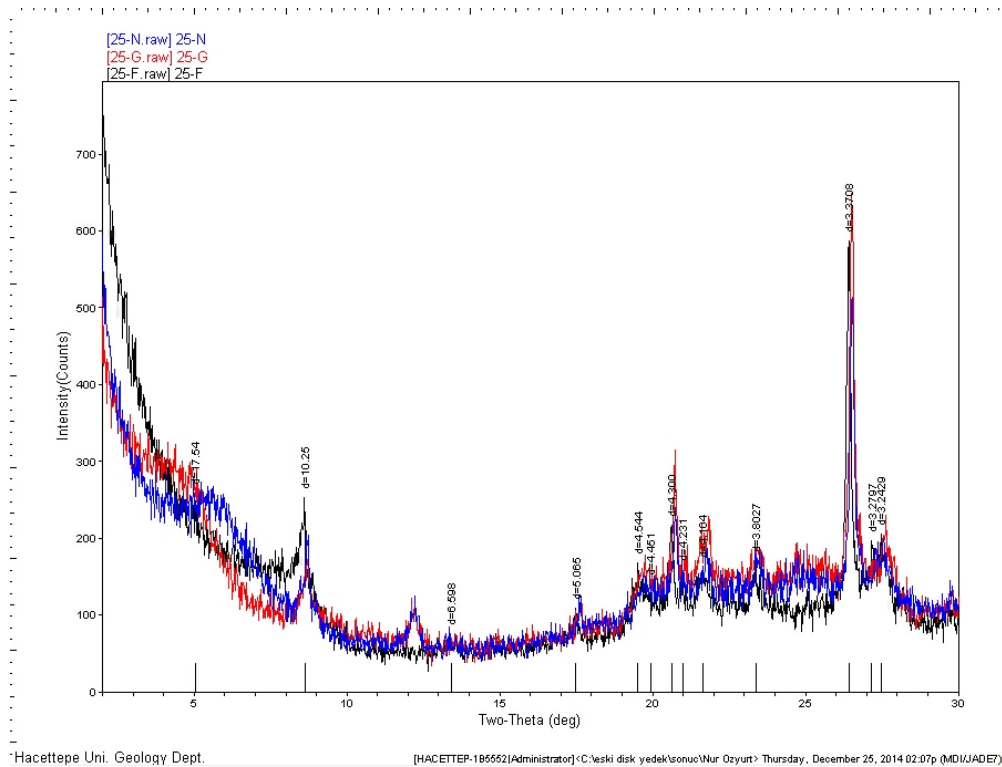
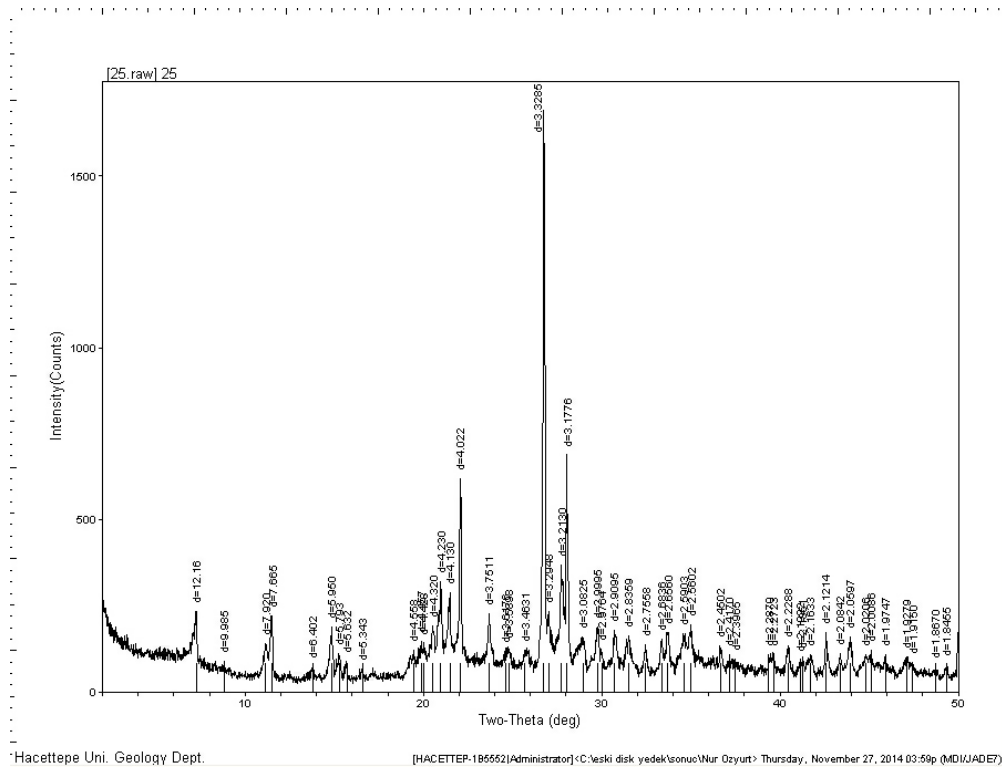


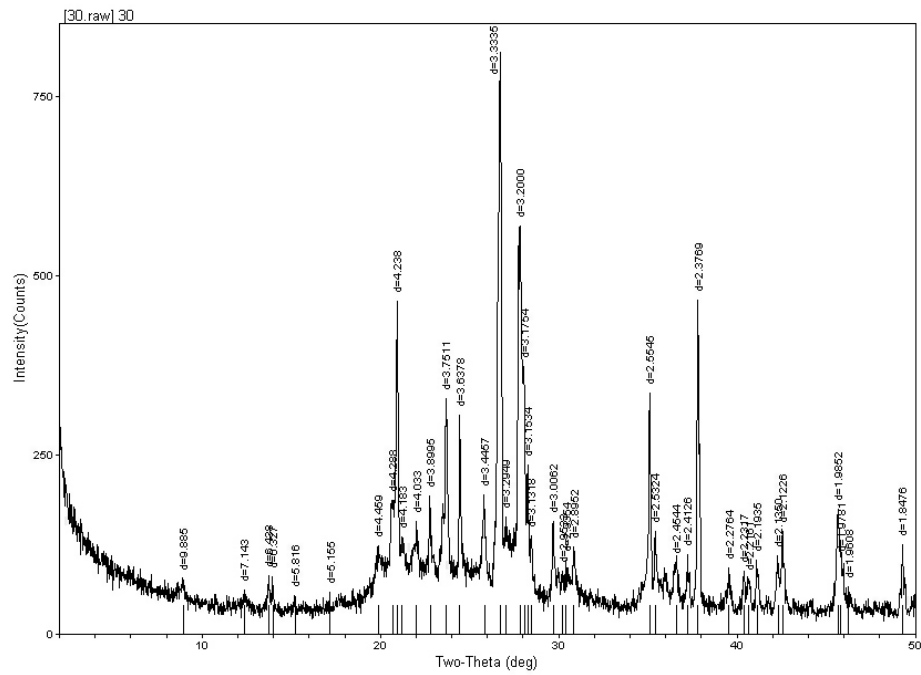
Hacettepe Uni. Geology Dept.

[HACETTEP-185552]Administrator\c:\eski disk yedek\sonuc\Nur Ozyurt> Thursday, December 25, 2014 02:08p (MDI/JADE7)



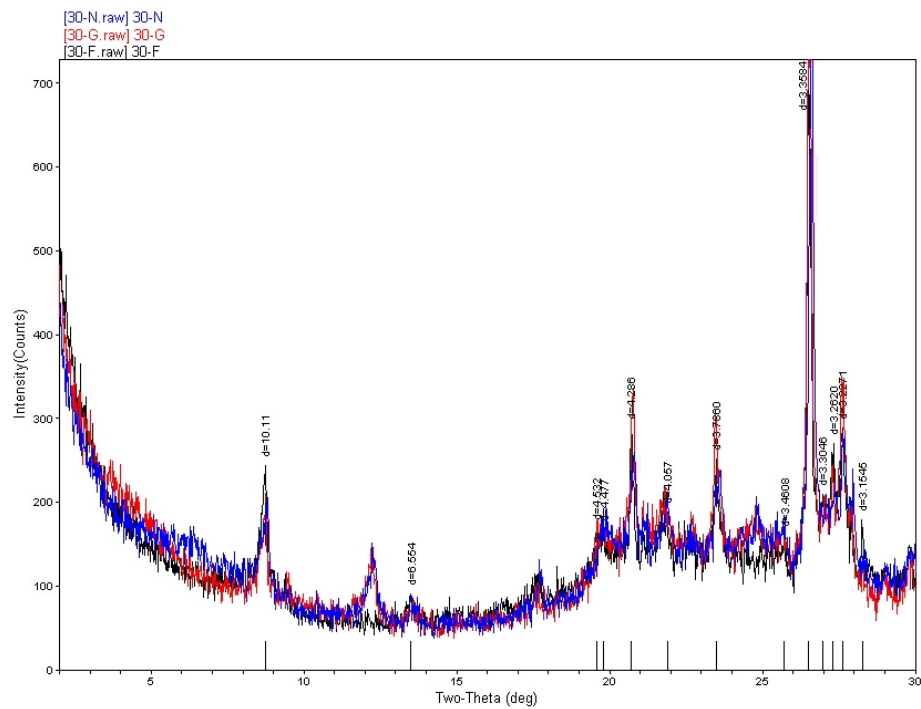






Hacettepe Uni. Geology Dept.

[HACETTEP-185552]Administrator<C:\eski disk yedek\sonuc\Nur Ozyurt> Thursday, November 27, 2014 03:59p (MDI/JADE7)



EK-3 Gözlem kuyularında 2006-2011 döneminde yapılan El ve bor gözlemleri

Gözlem Kuyusu No		Elektriksel İletkenlik (µS/cm)						Bor (mg/l)					
		2006	2007	2008	2009	2010	2011	2006	2007	2008	2009	2010	2011
1	Ocak	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
1	Şubat	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
1	Mart	370.0	*	*	*	*	*	20.0	*	*	*	*	*
1	Nisan	535.0	*	*	*	*	*	86.0	*	*	*	*	*
1	Mayıs	544.0	*	*	*	*	*	58.0	*	*	*	*	*
1	Haziran	550.0	*	*	*	*	*	72.0	*	*	*	*	*
1	Temmuz	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
1	Ağustos	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
1	Eylül	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
1	Ekim	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
1	Kasım	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
1	Aralık	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
2	Ocak	1417.0	1417.0	1417.0	907.0	848.0	1543.0	248.0	248.0	248.0	47.0	26.0	326.0
2	Şubat	**	1264.0	1214.0	708.0	876.0	1543.0	**	310.0	25.0	60.1	13.9	326.0
2	Mart	1155.0	996.0	858.0	1174.0	1448.0	1523.0	210.0	112.3	56.0	127.0	272.0	304.0
2	Nisan	1238.0	1073.0	1093.0	1147.0	1490.0	1461.0	230.0	175.0	130.0	79.0	184.0	140.0
2	Mayıs	1275.0	1127.0	1171.0	967.0	1557.0	1500.0	220.0	265.0	140.0	61.0	106.0	244.0
2	Haziran	1330.0	1323.0	1202.0	880.0	1588.0	1024.0	275.0	375.0	118.0	80.7	87.0	150.0
2	Temmuz	1325.0	1394.0	542.0	490.0	1510.0	1630.0	285.0	290.0	10.0	8.3	355.0	412.0
2	Ağustos	1303.0	1433.0	783.0	*	1641.0	1675.0	155.0	295.0	11.5	*	212.0	465.0
2	Eylül	1306.0	1410.0	510.0	*	1645.0	1651.0	390.0	380.0	12.0	*	200.0	240.0
2	Ekim	1215.0	1290.0	451.0	*	1640.0	1616.0	325.0	370.0	10.0	*	367.0	248.0
2	Kasım	1227.0	1240.0	361.0	781.0	1520.0	1013.0	130.0	250.0	2.2	5.3	268.0	119.0

Gözlem Kuyusu No		Elektriksel İletkenlik (µS/cm)						Bor (mg/l)					
2	Aralık	1395.0	1449.0	400.0	851.0	1555.0	1426.0	260.0	375.0	2.4	10.3	345.0	341.0
3	Ocak	515.0	515.0	515.0	*	619.0	465.0	5.0	5.0	5.0	*	6.8	3.3
3	Şubat	**	565.0	510.0	199.0	235.0	465.0	**	6.0	4.3	1.8	0.7	3.3
3	Mart	164.0	442.0	406.0	198.0	227.0	250.0	1.0	4.0	4.0	15.0	0.3	1.0
3	Nisan	548.0	366.0	443.0	244.0	536.0	445.0	5.0	2.7	4.3	5.5	6.7	2.8
3	Mayıs	576.0	501.0	587.0	575.0	570.0	569.0	4.8	6.0	6.5	4.5	4.1	1.1
3	Haziran	590.0	482.0	*	579.0	554.0	306.0	6.1	5.4	*	13.4	5.3	1.1
3	Temmuz	449.0	*	*	587.0	495.0	603.0	9.3	*	*	6.7	3.3	5.2
3	Ağustos	469.0	*	*	*	*	*	3.6	*	*	*	*	*
3	Eylül	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
3	Ekim	491.0	*	*	580.0	*	*	5.8	*	*	8.1	*	*
3	Kasım	476.0	*	*	545.0	586.0	*	3.2	*	*	2.2	6.0	*
3	Aralık	504.0	521.0	*	575.0	600.0	*	5.3	5.5	*	1.3	6.2	*
4	Ocak	663.0	663.0	663.0	695.0	626.0	660.0	36.0	36.0	36.0	9.8	5.6	31.0
4	Şubat	**	777.0	643.0	216.0	274.0	660.0	**	60.0	10.0	1.9	1.7	31.0
4	Mart	191.0	646.0	557.0	236.0	297.0	361.0	16.0	31.0	15.5	4.8	9.2	14.0
4	Nisan	634.0	534.0	522.0	278.0	648.0	595.0	32.0	40.0	14.5	3.9	22.2	19.0
4	Mayıs	739.0	730.0	630.0	582.0	764.0	727.0	52.0	56.0	12.8	3.9	17.8	58.0
4	Haziran	996.0	858.0	725.0	625.0	976.0	429.0	110.0	76.0	3.4	9.0	35.0	30.0
4	Temmuz	665.0	1174.0	860.0	661.0	748.0	961.0	46.0	128.0	3.1	1.8	20.0	109.0
4	Ağustos	1096.0	*	848.0	698.0	1177.0	1280.0	48.0	*	3.0	1.0	83.0	244.0
4	Eylül	742.0	712.0	591.0	765.0	1027.0	1001.0	44.0	30.0	5.5	1.2	104.0	53.0
4	Ekim	637.0	658.0	580.0	632.0	793.0	841.0	32.0	38.0	3.0	3.2	53.0	49.0
4	Kasım	563.0	603.0	610.0	556.0	685.0	1012.0	10.0	20.0	1.0	2.0	43.6	19.0
4	Aralık	628.0	622.0	631.0	585.0	717.0	906.0	30.0	27.0	1.0	1.7	52.0	71.0
5	Ocak	468.0	468.0	468.0	434.0	343.0	407.0	3.0	3.0	3.0	4.6	3.2	1.9

Gözlem Kuyusu No		Elektriksel İletkenlik (µS/cm)						Bor (mg/l)					
5	Şubat	456.0	482.0	452.0	318.0	226.0	407.0	2.7	3.6	2.0	3.0	1.0	1.9
5	Mart	230.0	356.0	230.0	217.0	277.0	270.0	1.0	2.8	1.8	2.3	0.8	1.0
5	Nisan	265.0	286.0	317.0	194.0	413.0	292.0	1.6	1.8	2.2	3.5	3.9	2.2
5	Mayıs	403.0	401.0	417.0	390.0	402.0	360.0	2.7	3.0	4.0	1.0	1.7	0.2
5	Haziran	444.0	444.0	452.0	455.0	457.0	268.0	3.5	3.9	3.8	5.2	2.2	1.1
5	Temmuz	482.0	487.0	*	568.0	428.0	434.0	2.7	2.6	*	4.4	1.0	3.2
5	Ağustos	479.0	*	*	482.0	475.0	425.0	1.5	*	*	1.3	0.5	3.3
5	Eylül	441.0	490.0	503.0	490.0	533.0	409.0	4.5	3.1	3.8	4.0	2.9	2.4
5	Ekim	466.0	439.0	444.0	483.0	455.0	427.0	3.5	3.6	4.5	5.1	2.8	1.9
5	Kasım	440.0	441.0	442.0	560.0	474.0	554.0	1.5	4.1	3.6	2.7	6.2	2.3
5	Aralık	464.0	454.0	451.0	470.0	459.0	447.0	2.9	3.0	3.8	2.5	2.9	0.5
6	Ocak	457.0	457.0	457.0	427.0	342.0	396.0	3.2	3.2	3.2	4.6	3.6	2.9
6	Şubat	**	470.0	441.0	314.0	226.0	396.0	**	3.8	1.8	3.1	1.0	2.9
6	Mart	225.0	339.0	227.0	217.0	271.0	262.0	1.2	2.8	1.5	2.6	0.6	1.0
6	Nisan	255.0	272.0	306.0	191.0	406.0	284.0	1.6	1.7	2.2	1.4	3.0	1.4
6	Mayıs	382.0	363.0	400.0	374.0	391.0	351.0	2.8	3.0	3.8	1.0	2.5	0.2
6	Haziran	419.0	391.0	429.0	434.0	449.0	266.0	3.5	4.0	4.1	5.6	3.2	1.0
6	Temmuz	469.0	400.0	*	451.0	408.0	424.0	3.0	4.2	*	3.4	0.6	3.0
6	Ağustos	430.0	*	*	414.0	439.0	405.0	2.7	*	*	1.5	0.4	2.7
6	Eylül	398.0	430.0	407.0	456.0	447.0	388.0	4.6	4.2	4.8	5.7	3.3	1.9
6	Ekim	441.0	413.0	401.0	450.0	444.0	449.0	3.5	3.6	4.5	5.4	2.9	2.6
6	Kasım	430.0	406.0	423.0	470.0	460.0	430.0	1.7	3.4	3.8	2.4	3.6	2.2
6	Aralık	452.0	435.0	432.0	462.0	446.0	445.0	2.9	3.1	2.7	2.7	5.9	1.0
7	Ocak	546.0	546.0	546.0	429.0	463.0	477.0	3.1	3.1	3.1	3.3	4.2	1.2
7	Şubat	503.0	515.0	442.0	460.0	449.0	477.0	2.2	1.5	1.3	4.9	0.7	1.2
7	Mart	396.0	466.0	415.0	430.0	394.0	412.0	2.5	2.5	1.9	3.8	1.5	1.0

Gözlem Kuyusu No		Elektriksel İletkenlik (µS/cm)						Bor (mg/l)					
7	Nisan	371.0	423.0	354.0	255.0	348.0	360.0	2.2	2.3	2.0	1.1	1.5	2.0
7	Mayıs	290.0	358.0	378.0	243.0	280.0	350.0	2.1	3.5	4.8	1.0	0.5	0.2
7	Haziran	288.0	393.0	362.0	350.0	302.0	367.0	2.4	2.5	4.2	3.6	1.2	3.5
7	Temmuz	325.0	339.0	375.0	294.0	295.0	274.0	3.2	3.8	3.5	3.1	2.2	1.5
7	Ağustos	352.0	365.0	383.0	303.0	347.0	304.0	4.6	6.5	3.5	1.0	0.1	0.6
7	Eylül	353.0	400.0	309.0	440.0	335.0	429.0	5.6	2.5	2.5	4.3	1.9	1.7
7	Ekim	420.0	439.0	406.0	342.0	343.0	417.0	3.3	3.4	3.2	3.9	2.9	2.4
7	Kasım	429.0	420.0	409.0	403.0	443.0	475.0	1.2	2.5	2.3	2.3	1.2	2.1
7	Aralık	511.0	473.0	417.0	453.0	457.0	516.0	2.9	2.8	1.8	2.7	5.1	0.6