

SÜLFÜRLÜ BİR MADEN SAHASINDA ASİT MADEN DRENAJ OLUŞUM
POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ VE MODELLENMESİ

Güzide KALYONCU ERGÜLER

Doktora Tezi

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Ekim - 2012

Sevgili Eşim ve Kızıma

SÜLFÜRLÜ BİR MADEN SAHASINDA ASİT MADEN DRENAJ OLUŞUM
POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ VE MODELLENMESİ

Güzide KALYONCU ERGÜLER

Dumlupınar Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği Uyarınca
Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalında
DOKTORA TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman : Doç. Dr. Hamdi AKÇAKOCA

Ekim - 2012

KABUL ve ONAY SAYFASI

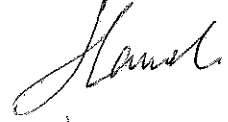
Güzide KALYONCU ERGÜLER'in DOKTORA tezi olarak hazırladığı "SÜLFÜRLÜ BİR MADEN SAHASINDA ASİT MADEN DRENAJ OLUŞUM POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ VE MODELLENMESİ" başlıklı bu çalışma, jürimizce Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

15/10/2012

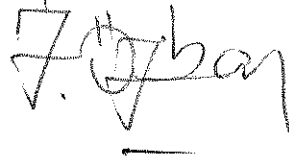
Üye : Prof. Dr. Remzi KARAGÜZEL



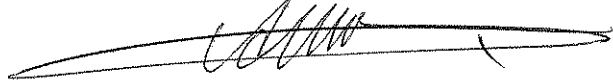
Üye : Doç. Dr. Hamdi AKÇAKOCA



Üye : Doç. Dr. İhsan ÖZKAN



Üye : Doç. Dr. Ali UÇAR



Üye : Doç. Dr. Melih GENİŞ



Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hasan GÖÇMEZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

SÜLFÜRLÜ BİR MADEN SAHASINDA ASİT MADEN DRENAJ OLUŞUM POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ VE MODELLENMESİ

Güzide KALYONCU ERGÜLER

Maden Mühendisliği, Doktora Tezi, 2012

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Hamdi AKÇAKOCA

ÖZET

Asit Maden Drenajı (AMD) günümüzde karşılaşılan en önemli çevre sorunlarından biri olarak bilinmektedir. AMD potansiyelinin tahmini için şimdiye kadar birçok statik ve kinetik deney yöntemleri önerilmiştir. Bu deneyler arasında, doğal koşulları daha iyi temsil edici olması nedeniyle kinetik kolon deneyleri daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, kinetik kolon deneyleri için kolon boyutları ve kullanılan malzemenin miktarı konusunda kabul gören bir standart bulunmamaktadır. Bu çalışma kapsamında, AMD olgusunun ülkemizde son yıllarda taşıdığı önem ve kinetik kolon deneyindeki sınırlamalar göz önünde bulundurularak, farklı boy ve çaplarda hazırlanan kolonlarda bu deneylerin yapılması ve asit maden drenajı oluşum mekanizmasının araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, farklı boyutlara sahip kolonlardan oluşan düzenekler hazırlanmış ve Murgul Damar işletmesinden deneylerde kullanılmak üzere cevher örnekleri alınmıştır. Alınan örneklerin kinetik kolon deneyleri öncesi ve sonrası mineralojik, fiziksel ve/veya kimyasal bileşimlerinin tespiti için, X-ışınları kırınımı analizleri, cevher mikroskobu çalışmaları, mineral serbestleşme derecesi analizleri ve X-ışınları floresans analizleri gerçekleştirilmiştir.

Kinetik kolon deneyleri sırasında alınan pH, Ec ile kimyasal analizlerle belirlenen birçok element ve bileşiklerin konsantrasyonlarının zaman bağlı değişimleri incelenmiştir. Bu deneyler sırasında yapılan pH ölçümlerinden tanımlanan “gecikme zamanı” ile kolonların boyutları arasında istatistiksel olarak anlamlı bağıntılar elde edilmiştir. Benzer şekilde, kümülatif SO_4 ve kümülatif $Ca+Mg+Mn$ konsantrasyonu ile kolon boyutları arasında istatistiksel olarak anlamlı bağıntıların olduğu belirlenmiştir. Kümülatif SO_4 , kümülatif $Ca+Mg+Mn$ ve kümülatif pH değerlerinin zaman parametresine göre değişimlerini kapsayan istatistiksel analizlerde anlamlı ilişkiler ve bu ilişkilerden genel bağıntılara ulaşılmıştır. Ayrıca, kümülatif SO_4 ve kümülatif $Ca+Mg+Mn$ ’nın bağımlı, kümülatif pH ve zamanın ise bağımsız değişken olarak seçildiği çoklu regresyonlarda uygulamalarda kullanılabilecek istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Asit Maden Drenajı, Bozunma, Çevre Kirliliği, Kinetik Kolon Deneyi, Sülfürlü Maden Sahası.

DETERMINING AND MODELING THE POTENTIAL FORMATION OF ACID MINE DRAINAGE IN A SULPHIDE MINE FIELD

Güzide KALYONCU ERGÜLER

Mining Engineering, Dissertation, 2012

Supervisor: Assoc. Prof. Hamdi AKÇAKOCA

SUMMARY

Acid Mine Drainage (AMD) is known as one of the most important environmental problems encountered at the present time. Until now, several static and kinetic tests methods have been proposed for estimation of AMD potential. Of these tests, kinetic column tests are commonly performed due to its better representative of natural conditions. However, there isn't any suggested standard for the column dimensions and the amount of material used for kinetic column tests. Considering the importance of AMD event in our country in recent years and the limitations of the kinetic column test, performing this test on columns having different lengths and diameters and investigating the mechanism of the acid mine drainage formation is aimed in this study. For this purpose, platforms consisting of columns of different dimensions were designed and ore samples were collected from Murgul Damar open-pit mining to be used in the tests. X-ray diffraction analysis, ore microscopic studies, Mineral Liberation Analysis and X-ray fluorescence analysis were realized in order to determine the mineralogical, physical and/or chemical composition of these collected samples before and after kinetic column tests.

The time depended variations of pH, Ec, and concentration of many elements and compounds measured from chemical analysis during kinetic column tests were examined. Statistically significant correlations were obtained between column dimensions and "lag time" which described from pH measurements during these tests. Similarly, it is determined that statistically significant correlations exist among column dimensions and cumulative SO_4 and the cumulative Ca+Mg+Mn concentrations. Significant relationships and some general correlations have been achieved from comprehensive statistical analysis of the variation of cumulative SO_4 , cumulative Ca+Mg+Mn and cumulative pH values with time. In addition, statistically significant relationships that can be used in applications are proposed based on multiple regressions in which cumulative Ca+Mg+Mn, SO_4 and pH were taken as dependent and time was selected as independent variables.

Keywords: Acid Mine Drainage, Weathering, Environmental Contamination, Kinetic Column Test, Sulphide Mine Field.

TEŞEKKÜR

Proje danışmanlıklarının yanı sıra; değerli görüş ve önerilerinin, motive edici tutumu nedeniyle tez danışmanım Doç Dr. Hamdi AKÇAKOCA'ya ve tezimin her aşamasında gösterdiği sabır, ilgi ve olumlu tutumunun yanı sıra çok değerli bilimsel katkılarını esirgemeyen sevgili eşim Doç. Dr. Zeynal Abiddin ERGÜLER'e (DPÜ Jeoloji Müh. Böl.)

Gerek tez izleme komitesi ve jüri üyesi olarak değerli görüş, katkı ve özverilerinden dolayı Doç. Dr. Ali UÇAR, Doç. Dr. İhsan ÖZKAN'a (SÜ Maden Müh. Böl.)

Tezi özveri ile inceleyen ve değerlendiren jüri üyeleri Prof. Dr. Remzi KARAGÜZEL (İTÜ Jeoloji Müh. Böl.) ve Doç. Dr. Melih GENİŞ'e (BEÜ Maden Müh. Böl.)

Sağladığı sonuz destek ve tüm olanaklar sayesinde değerli katkılarını esirgemeyen MTA Genel Müdürü Sayın Mehmet ÜZER'e, tüm çalışma süresi boyunca yaptığı katkılarla, çalışmanın sonucuna ulaştırılmasında ve karşılaşılan güçlüklerin aşılması konusundaki yol göstericiliğinden dolayı Prof. Dr. Reşat ULUSAY'a (HÜ Jeoloji Müh. Böl.),

Arazi çalışmamı gerçekleştirdiğim Murgul'da işletme olanaklarını kullanmama izin veren ETİ BAKIR A.Ş. yetkililerine,

MTA Genel Müdürlüğünün finans ettiği ve yürütücülüğünü yaptığım 2012-37-14-01-9 no.lu "Asit Maden Drenajı Oluşumunda Kinetik Test Yaklaşımının Belirlenmesi" isimli proje ile destek sağlayan MTA'ya ve bu proje kapsamında çalışan ve laboratuvar deneyleri aşamasında yardımlarını gördüğüm teknik personele, teknisyenlere, stajyer öğrencilere ve işçilere,

Çalışmalarım sırasında hasretle yolumu bekleyen sevgili kızım Zelaya Yağmur ERGÜLER'e, manevi destekleri nedeniyle annem Fatma KALYONCU ve babam Nihat KALYONCU'ya ve her türlü imkânlarını zorlayarak benim kızıma olan sorumluluklarımı paylaşan kardeşlerim Vildan, Kezban ve Ayşegül KALYONCU'ya, hayır dualarını hiç eksik etmeyen anneannem Fatma ALTUNBAŞ'a ve teyzelerime,

Şükranlarımı sunar, içtenlikle sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL ve ONAY SAYFASI.....	iii
ÖZET.....	iv
SUMMARY.....	v
TEŞEKKÜRLER.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xix
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	6
2.1 Asit Maden Drenajı Oluşumu ve Nötralizasyonu.....	6
2.2 Statik Deneyleri Konu Alan Önceki Çalışmalar.....	9
2.2.1. Standart asit baz hesabı (ABH) deneyi	12
2.2.2. Yeniden düzenlenen (modifiye) ABH deneyi.....	13
2.2.3. British Columbia Research başlangıç deneyi.....	13
2.2.4. Net asit üretim deneyi.....	14
2.2.5. Alkalın üretim potansiyeli/ kükürt oranı (AÜP/S).....	14
2.3. Kinetik Deneyleri Konu Alan Önceki Çalışmalar.....	14
2.3.1. Nem hücresi deneyi	16
2.3.2. Kinetik kolon deneyi.....	19
2.4. AMD Kaynağında Önleme ve İyileştirmesine Yönelik Çözüm Teknikleri.....	21
2.5. Çalışmanın Yapıldığı Sahayla İlgili Önceki Çalışmalar.....	25
2.6. Asit Maden Drenaj Oluşumunda Bozunmanın Önemi.....	26
2.6.1. Mineral kayaç ekseninde bozunma.....	26
2.6.2. Bozunma süreçleri.....	27
2.6.2.1. Fiziksel bozunma	28
2.6.2.2. Kimyasal bozunma.....	30
2.6.3. Bozunmayı denetleyen başlıca faktörler.....	33
2.6.3.1. Tane büyüklüğü.....	33
2.6.3.2. İklim.....	33
2.6.3.3. Topoğrafya.....	34

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
2.6.3.4. Kaya kütlesinin ve kaya malzemesinin özellikleri.....	35
2.6.3.5. Zaman.....	36
3. ARAZİ ÇALIŞMASI.....	37
3.1. Çalışma Sahası.....	37
3.1.1. Coğrafi konum.....	37
3.1.2. Jeolojik özellikler.....	39
3.1.3. İklimsel verilerin deneysel çalışmalara yansıtılması.....	46
3.2. Örneklemeye Çalışmaları.....	52
3.3. Hat Etüdü Çalışmaları ile Süreksizliklere İlişkin Özelliklerin Belirlenmesi.....	55
3.4. Foto Analiz Tekniğiyle Tane Boyu Dağılımının Belirlenmesi.....	59
4. KİNETİK KOLON DENEY DÜZENEĞİ.....	65
4.1. Kolonların Tasarımı ve Kullanılan Malzemeler.....	66
4.2. Kolonların Fiziksel Özellikleri.....	71
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	77
5.1. Örnek Hazırlama ve Elek Analizi.....	79
5.2. Cevher ve Yan Kayanın Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesine Yönelik Deneyler.....	80
5.2.1. Yüzey alanı ve mikro gözeneklilik deneyi.....	81
5.2.2. Örneklerin hidrolik iletkenlik özelliklerin belirlenmesi.....	83
5.3. Mineralojik ve Kimyasal Analizler.....	86
5.3.1. Mineralojik analizler.....	86
5.3.1.1. X-ışınları kırınım (XRD) analizleri.....	86
5.3.1.2. Cevher mikroskobu çalışmaları.....	93
5.3.1.3. Mineral serbestleşme derecesi analizleri (MLA).....	97
5.3.2 Kimyasal analizler.....	101
5.3.2.1. X-ışınları floresans (XRF) analizleri.....	101
5.3.2.2. Toplam demir, Fe ²⁺ , karbon ve sülfür konsantrasyonlarının belirlenmesi.....	103
5.4. Statik Deneyler.....	109

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
5.5 Kinetik Kolon Deneyi.....	112
5.5.1. pH ve elektriksel iletkenlik (Ec) ölçümleri.....	115
5.5.2. Kinetik kolon deneyleri sırasında elde edilen su örneklerinin kimyasal analizleri.....	116
5.6 Kinetik Kolon Deneyleri Sırasında Gözlenen Fiziksel Değişimler.....	119
6. KİNETİK KOLON DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	124
6.1. pH ve Elektriksel İletkenlik (Ec) Değerlerinin Zamana Bağlı Değişimi.....	124
6.2. Kinetik Kolon Deneyleri Sırasında Alınan Su Örneklerinin Kimyasal Analizlerine İlişkin Değerlendirmeler.....	135
6.3. Kinetik Kolon Deney Süresince Yapılan Kimyasal Analiz Sonuçlarının Kinetik Değerlendirmeleri.....	148
6.4. Kinetik Kolon Deneyleri Sırasında Alınan Cevher Örnekleri Üzerinde Yapılan XRF Analizlerine İlişkin Değerlendirmeler.....	168
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	173
KAYNAKLAR DİZİNİ	183
EKLER	
Ek 1. Kinetik kolon test düzeneğinde elde edilen pH ve elektriksel iletkenlik (Ec, $\mu\text{S}/\text{cm}$) değerleri	
Ek 2. Kinetik kolon testleri sırasında elde edilen su numunelerinin tarih sırasına göre kimyasal analiz sonuçları	
Ek 3. pH ve iletkenlik değerlerinin zamana bağlı değişim grafikleri	
Ek 4. Kinetik kolon testleri sırasında alınan cevher örneklerinin XRF analiz sonuçları.	
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 Araştırma kapsamında yapılan çalışmaları gösteren akım şeması.....	5
2.1 Farklı madencilik çalışmalarındaki yan kayacın tane boyu değişim grafiği (Lapakko, 1993).....	15
2.2. Basitleştirilmiş nem hücre kesiti (Lawrence, 1995).....	18
2.3 Farklı boyutlardaki kinetik kolon deney görünüşleri.....	20
2.4 Atmosfere açık yüzey (sub-aerial) ve atmosfere kapalı yüzey (sub-aqueous) kolon çeşitlerinin basit görünümü (Lawrence, 1995)	21
2.5 Kimyasal bozunma süreçleri (Anon, 1995'den değiştirilerek alınmıştır).....	31
2.6 Bowen reaksiyon serisi (Shelby, 1993'den).....	36
3.1 Çalışma alanına ait yer bulduru haritası (çalışma bölgesinin yakın uydu görüntüsü 2011 tarihinde http://maps.google.com 'dan yararlanılarak hazırlanmıştır).....	38
3.2 Damar işletmesi ve yakın çevresinin jeoloji haritası (MTA,1991'den düzenlenerek alınmıştır).....	40
3.3 Damar işletmelerinin genelleştirilmiş ölçeksiz stratigrafik dikme kesiti (Yazıcı ve Doksanbir, 1996).....	41
3.4 Artvin Meteoroloji İstasyonu kayıtlarına göre uzun dönemi temsil eden yıllık ortalama buharlaşma histogramları (DMİ, 2010).....	47
3.5 Artvin Meteoroloji İstasyonu kayıtlarına göre uzun dönemi temsil eden yıllık nem değerlerinin maksimum, ortalama ve minimum değişim eğrileri (DMİ, 2010).....	47
3.6 Artvin Meteoroloji İstasyonu kayıtlarına göre son elli yılın verileri ile uzun dönemi temsil eden aylık ortalama yağış histogramları (DMİ, 2010).....	48
3.7 Artvin Meteoroloji İstasyonu kayıtlarına göre uzun dönemi temsil eden yıllık ortalama yağış histogramları (DMİ, 2010).....	48
3.8 Artvin Meteoroloji İstasyonu kayıtlarına göre uzun dönemi temsil eden yıllık sıcaklık değerlerinin maksimum, ortalama ve minimum değişim eğrileri (DMİ, 2010).....	49
3.9 Artvin Meteoroloji İstasyonu kayıtlarına göre son elli yıllık uzun dönemi temsil eden aylık sıcaklık değerlerinin maksimum, ortalama ve minimum değişim eğrileri (DMİ, 2010).....	49

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.10 Yıllık yağış-sıcaklık rejimlerine göre ayrılmış kuramsal morfojenik bölgeler: (a) iklimsel bölgeleri ayıran sınırlar ve (b) çeşitli bozunma türleri (Peltier, 1950; Dearman, et al., 1978'den).....	51
3.11 Örneklemeye çalışmalarının yapıldığı Damar işletmesinin görünümü.....	53
3.12 Damar bakır işletmesindeki dasitler için bozunma dereceleri haritası ve farklı bozunma zonlarının dağılımı (Arıkan, 2002).....	54
3.13 Damar işletmesinde yeni kazılmış şev basamaklarında hat etüdü çalışmaları.....	56
3.14 Süreksizliklerin stereografik izdüşüm tekniği ile değerlendirilmesi.....	57
3.15 Çalışma sahasında yapılan ölçümlerden belirlenen süreksizlik aralığı dağılımı histogramı.....	58
3.16 Damar işletmesindeki kaya kütlelerinin süreksizliklerin açıklık parametresi histogramları.....	59
3.17 a)Atmosferik koşullarda bozunma süreçlerine maruz kalan farklı tane boyuna sahip kayaç parçaları b) bu parçaların Split-Desktop3.0 bilgisayar programı kullanılarak sınırlarının saptanması ve tane boyu analizi.....	61
3.18 a)Tane boyu analizleri için alınan detaylı görüntüler, b) bu görüntülerde elde edilen tane boyu dağılım grafikleri.....	62
3.19 Damar ocağındaki madencilik çalışmaları sonucunda kaya malzemelerinin meydana gelen parçalanma ve bu parçalanmaların Split-Desktop 3.0 bilgisayar programı kullanılarak belirlenen tane boyu dağılım grafikleri.....	64
4.1 Bu çalışma kapsamında kullanılan kolon geometrisi.....	67
4.2 a) Kinetik kolon düzeneklerinin görünümü, b) filtre ızgaralarında önce kullanılan cam yünü ve yerini alan akrilik yün malzemelerinin görünümü, c) kolon filtre haznesi.....	69
4.3 Kolonlara karlı gün sayısı uygulaması.....	73
5.1 Orta ve ince boyutta hazırlanan cevher ve yan kayaç örneklerinin tane boyu dağılım grafikleri.....	80

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.2 Örneklerin yüzey alanı ve mikro gözeneklilik belirlenmesinde kullanılan “yüzey alanı ve gözenek boyu analiz cihazı” görünümü.....	82
5.3 Kinetik kolon deneyinin başlatılması aşamaları ve sabit seviyeli permeabilite deneyi: a) kuru örnek ve b) örneklerle su verme aşaması.....	84
5.4 X-ışınları kırınımı analizlerinde elde edilen tipik bir difraktogram örneği (-3.35 mm tane boyuna sahip cevher örneğine aittir).....	88
5.5 Kinetik kolon deney öncesi, deney başladıktan üç ve altı ay sonra alınan örnekler üzerinde gerçekleştirilen X-ışınları kırınımı analizlerinde elde edilen tipik bir difraktogram örneklerinin karşılaştırılması (11 no.lu kolon).....	91
5.6 Kinetik deneylere tabii tutulan örneklerin altı ay sonraki XRD analizlerinden elde edilen kırınım şiddeti değerlerinin deney öncesi değerlerden çıkarılması sonucu elde edilen grafik (11 no.lu kolon).....	93
5.7 Mineralojik bileşim ve bozunma sonrası örneklerde meydana gelen değişim belirlenmesi amacıyla kolonlardan periyodik örnek alımı.....	94
5.8 Sfalerit boşluğunu öz şekilli pirit doldurmuştur (kataklaзма) görünümü.....	95
5.9 Bakteri piriti görünümü (Kolon12).....	97
5.10 MLA analiz yöntemi kullanılarak, a) orta tane boyu (-3.35 mm) ve b) ince tane boyu (-0.625 mm) örneklerde belirlenen kantitatif mineralojik bileşim.....	98
5.11 Bozunma süreçlerine maruz bırakılan kolonlardan kimyasal analizleri ve mineral bozunmasını belirlemek için örnek alımı.....	102
5.12 Fe^{2+} miktarının belirlenmesinde kullanılan yaş yöntemin uygulanışı: (a) kromat dökülmeden önce (b) kromat döküldükten sonra.....	106
5.13 Fe^{3+} yüzdesinin tane boyuna bağlı değişimi.....	107
5.14 Doğal örneklerde (a) sülfür yüzdesinin tane boyutuna bağlı değişimi, (b) karbon yüzdesinin tane boyutuna bağlı değişimi.....	108
5.15 Statik deney aşamaları: a) örneklerin asitle muamelesi sonrası çalkalaması, b) çözeltiye uygulanan titrasyondan bir görünüm.....	110
5.16 NPR değerinin Robertson ve Broughton (1992) tarafından önerilen grafik üzerindeki dağılımı.....	112

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.17 Kinetik kolon deneyinin uygulama şeması.....	114
5.18 Kimyasal analizler için süzülen sudan alınan örnekler	117
5.19 Su analizleri için kullanılan cihazlar: a) ICP-OES cihazı b) azot tespit cihazı, c) iyon kronometre, d) otomatik titratör.....	118
5.20 Kinetik kolon deneyi sırasında gözlenen fiziksel değişim örnekleri: a) örneklerin çökmesi, b) kolonlarda kabarcık oluşumu, c) tuzlanma, d) renk değişimi.....	121
5.21 Kinetik kolon deneyi öncesi ve sonrasındaki örneklerin tane boyu dağılım grafikleri.....	122
6.1 Kolon 11'e ait a) pH ve b) iletkenlik değerlerinin zamana bağlı değişimi.....	125
6.2 pH değerlerinin zamana bağlı değişimi (Broughton and Robertson, 1992).....	127
6.3 Gecikme zamanı ile kolon boyu arasındaki ilişkiler.....	131
6.4 Gecikme zamanı ile kolon çapı arasındaki ilişkiler.....	131
6.5 Gecikme zamanı ile kolon hacmi arasındaki ilişki.....	132
6.6 Damar ocağındaki madencilik çalışmaları sonucunda kaya malzemelerinin meydana gelen parçalanma ile oluşan doğal örnekler ile kinetik kolon deneyinde kullanılan örneklerin karşılaştırmalı tane boyu dağılımları.....	133
6.7 İnce tane boyuna sahip örneklerin kullanıldığı 28 no.lu kolondan belirlenen elektriksel iletkenlik ve SO ₄ konsantrasyonu değerleri arasındaki ilişki.....	135
6.8 Kinetik kolon deneyinin 16 no.lu kolonundan alınan ölçümler: a) pH, SO ₄ ve toplam Ca+Mg+Mn değerlerinin zamana bağlı değişimi, b) pH, K ve Na konsantrasyonlarının değişim grafikleri.....	137
6.9 Farklı hacimlere sahip kolonlar için pH, SO ₄ ve Ca+Mg+Mn değerlerinin zamana bağlı değişim grafikleri.....	139
6.10 Orta tane boyuna sahip örneklerde gerçekleştirilen kinetik kolon deneylerinde belirlenen sülfat (SO ₄) konsantrasyonun, a) kolon boyu, b) kolon çapı ve c) kolon hacmi ile ilişkisi.....	143

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.11 İnce tane boyuna sahip örneklerde gerçekleştirilen kinetik kolon deneylerinde belirlenen sülfat (SO_4) konsantrasyonun, a) kolon boyu, b) kolon çapı ve c) kolon hacmi ile ilişkisi.....	144
6.12 Orta tane boyuna sahip örneklerde gerçekleştirilen kinetik kolon deneylerinde belirlenen elementlerin ($Ca+Mg+Mn$) konsantrasyonun, a) kolon boyu, b) kolon çapı ve c) kolon hacmi ile ilişkisi.....	145
6.13 İnce tane boyuna sahip örneklerde gerçekleştirilen kinetik kolon deneylerinde belirlenen elementlerin ($Ca+Mg+Mn$) konsantrasyonun, a) kolon boyu, b) kolon çapı ve c) kolon hacmi ile ilişkisi.....	146
6.14 Kümülatif SO_4 ve kümülatif $Ca+Mg+Mn$ değerleri arasındaki değişim grafiği (Kolon 12).....	149
6.15 Kümülatif SO_4 , $Ca+Mg+Mn$ ve pH değerlerinin zamana bağlı değişimleri (Kolon 11).....	152
6.16 Kümülatif SO_4 için önerilen Eşitlik 6.3'teki a_1 parametresinin kolon boy, çap ve hacmi ile ilişkisi.....	156
6.17 Kümülatif $Ca+Mg+Mn$ için önerilen Eşitlik 6.4'teki a_2 parametresinin kolon boy, çap ve hacmi ile ilişkisi.....	157
6.18 Kümülatif pH için önerilen Eşitlik 6.5'teki a_3 parametresinin kolon boy, çap ve hacmi ile ilişkisi.....	158
6.19 Kümülatif pH için önerilen Eşitlik 6.5'teki b parametresinin kolon boy, çap ve hacmi ile ilişkisi.....	159
6.20 Kümülatif SO_4 ile Çizelge 6.7'de Kolon 11 için verilen eşitlik esas alınarak tahmin edilen kümülatif SO_4 değerlerinin karşılaştırılması.....	163
6.21 Kümülatif $Ca+Mg+Mn$ ile Çizelge 6.7'de Kolon 11 için verilen eşitlik esas alınarak tahmin edilen kümülatif $Ca+Mg+Mn$ değerlerinin karşılaştırılması.....	163
6.22 Kümülatif SO_4 ile Çizelge 6.7'de Kolon 12 için verilen eşitlik esas alınarak tahmin edilen kümülatif SO_4 değerlerinin karşılaştırılması.....	164
6.23 Kümülatif $Ca+Mg+Mn$ ile Çizelge 6.7'de Kolon 12 için verilen eşitlik esas alınarak tahmin edilen kümülatif $Ca+Mg+Mn$ değerlerinin karşılaştırılması.....	164
6.24 Kümülatif SO_4 ile Çizelge 6.7'de Kolon 13 için verilen eşitlik esas alınarak tahmin edilen kümülatif SO_4 değerlerinin karşılaştırılması.....	165

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.25 Kümülatif Ca+Mg+Mn ile Çizelge 6.7'de Kolon 13 için verilen eşitlik esas alınarak tahmin edilen kümülatif Ca+Mg+Mn değerlerinin karşılaştırılması.....	165
6.26 Kümülatif SO ₄ ile Çizelge 6.7'de Kolon 14 için verilen eşitlik esas alınarak tahmin edilen kümülatif SO ₄ değerlerinin karşılaştırılması.....	166
6.27 Kümülatif Ca+Mg+Mn ile Çizelge 6.7'de Kolon 14 için verilen eşitlik esas alınarak tahmin edilen kümülatif Ca+Mg+Mn değerlerinin karşılaştırılması.....	166
6.28 Kümülatif SO ₄ ile Çizelge 6.7'de Kolon 15 için verilen eşitlik esas alınarak tahmin edilen kümülatif SO ₄ değerlerinin karşılaştırılması.....	167
6.29 Kümülatif Ca+Mg+Mn ile Çizelge 6.7'de Kolon 15 için verilen eşitlik esas alınarak tahmin edilen kümülatif Ca+Mg+Mn değerlerinin karşılaştırılması.....	167
6.30 Farklı kolonlarda kinetik kolon deneyi süresince alınan cevher örneklerinden belirlenen SO ₃ ve toplam Ca+Mg+Mn değerlerinin zamana bağlı değişim grafikleri.....	170

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Asit maden drenajı oluşumunda etkili olan kimyasal bozunma süreçleri (Paktunç, 1998).....	7
2.2 Bazı minerallerin maksimum nötralizasyon potansiyelleri (Paktunç, 1998).....	8
2.3 Bazı minerallerin sülfürik asit (H ₂ SO ₄) ile olan kimyasal reaksiyonu (Paktunç, 1998).....	8
2.4 Statik deney yöntemlerinin karşılaştırılması (Lapakko 1993).....	11
2.5 Nötralizasyon potansiyeli ve asit potansiyel oluşumunun yorumlanması (Price, et al., 1997).....	13
2.6 Kinetik deney yöntemlerinin karşılaştırması (Lapakko, 1993).....	17
2.7 Fiziksel ayrışma süreçlerinin kayalara uyguladıkları gerilmeler (Ollier, 1984).....	28
3.1 Artvin Meteoroloji İstasyonu kayıtlarına göre elli yıllık maksimum, ortalama ve minimum sıcaklık ve nem ortalamalarının değerleri (DMİ, 2010).....	46
3.2 Artvin Meteoroloji İstasyonu kayıtlarına göre son elli yılın verileri değerlendirilerek sayılı gün değerleri (dolulu, karlı, sisli, yağışlı) (DMİ, 2010)....	50
3.3 Arazi koşullarında tespit edilen ve Şekil 3.19’da verilen iri, orta ve ince tane boyu dağılım eğrilerinin D ₃₀ , D ₅₀ ve D ₈₀ değerleri.....	64
4.1 Farklı tane boyuna ait kinetik kolon düzeneklerine ait fiziksel bilgiler.....	70
4.2 Aynı boy/çap oranına sahip kolonlar.....	71
4.3 İklimsel yağışa bağlı olarak her bir kolona uygulanan yağış miktarı.....	73
4.4 Yağış verilerinin değerlendirilmesi.....	75
4.5 Artvin’de bulunan DMİ’nin istasyonda kaydedilen son 50 yıllık veriler dikkate alınarak kolonlardan alınan su miktarı.....	76
5.1 Tez kapsamında hedeflenen amaçlara ulaşılması amacıyla gerçekleştirilen laboratuvar çalışmaları yöntemi ve deney amaçları.....	78
5.2 Cevher ve yan kaya örneklerinin D ₃₀ , D ₅₀ ve D ₈₀ değerleri.....	80
5.3 Cevher ve yan kayanın fiziksel özelliklerinin değişim aralıkları ve istatistiksel değerlendirme sonuçları.....	81

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
5.4 Farklı tane boyunda hazırlanan cevher ve yan kayaç örneklerinin yüzey alanı ve mikro gözeneklilik özelliklerine ilişkin analiz sonuçları.....	83
5.5 AMD deneylerinde kullanılan kolonların boyutları ve sabit seviyeli permeabilite deneyleri ile belirlenen hidrolik iletkenlik katsayısı (K) değerleri.....	85
5.6 Farklı malzemeler için önerilen hidrolik iletkenlik değerlerinin değişim aralığı (Freeze and Cherry, 1979) ve geçirgenlik derecesi (USBR, 1974).....	85
5.7 Mineralojik ve kimyasal analiz amaçlı yapılan deneysel çalışmalar ve kullanılan örnekler.....	87
5.8 Kinetik kolon deneyleri sürecinde belli aralıklarla alınan örneklerde yapılan XRD analizleri sonucu belirlenen mineraller.....	89
5.9 Yan kaya ve cevhere ait doğal örneklerin XRF analizleri.....	103
5.10 Doğal cevher ve yan kaya örneklerin bulunan eser element ve toplam demir değerleri.....	104
5.11 Farklı tane boyuna sahip doğal cevher örneklerinden elde edilen Fe^{2+} , Fe^{3+} , C ve S' ün değişim aralıkları ve istatistiksel değerlendirme sonuçları.....	106
5.12 Cevher ve yan kaya örneklerine ait “asit potansiyeli” (AP), “nötrleştirme potansiyeli” (NP) ve “net nötralizasyon potansiyeli” (NPR) değerleri.....	111
5.13 Kinetik kolon deneyi öncesi ve sonrasındaki cevher örneklerinin tane boyu dağılım grafiklerinden belirlenen D_{30} , D_{50} ve D_{80} parametresi değerleri.....	123
6.1 AMD oluşum sürecinde tampon görevi yapan yaygın mineraller (Jambor, 2003; Blowes, et al., 2003; BCAMDTF, 1989).....	128
6.2 Kolon boyutları ve pH değerlerinin zamana bağlı değişimi dikkate alınarak belirlenen gecikme zamanı parametresi değerleri.....	130
6.3 Süzülen sulardan belirlenen K, Na, SO_4 ve Ca+Mg+Mn konsantrasyonlarında meydana gelen artışın son bulunduğu zaman.....	136
6.4 Doğrudan deneylerle belirlenmiş ve normalize edilmiş SO_4 ve Ca+Mg+Mn parametrelerinin kolon boyut parametreleri ile olan ilişkileri.....	148
6.5 Kümülatif SO_4 değerlerinin bağımsız (x) ve kümülatif Ca+Mg+Mn değerlerinin ise bağımlı (y) değişken olarak alındığı basit regresyon analizlerinde elde edilen ampirik (görgül) ilişkiler.....	150

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
6.6 Kümülatif SO_4 , kümülatif $\text{Ca}+\text{Mg}+\text{Mn}$ ve kümülatif pH değerlerinin bağımlı (y), zaman parametresinin ise bağımsız (x) değişken olarak alındığı basit regresyon analizlerinde elde edilen ampirik (görgül) ilişkiler.....	153
6.7 Kümülatif SO_4 ve kümülatif $\text{Ca}+\text{Mg}+\text{Mn}$ değerlerinin bağımlı (y), kümülatif pH ve zaman (hafta) parametresinin ise bağımsız (x) değişken olarak alındığı çoklu regresyon analizlerinde elde edilen ampirik (görgül) ilişkiler.....	161
6.8 Kinetik kolon deneyi sonrası cevher örneklerdeki MgO , CaO , MnO ve SO_3 tüketiminin değişim aralıkları.....	169

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

A_w	Ağırlıkça su emme
C	Karbon
e	Boşluk oranı
E_c	Elektriksel iletkenlik
K	Hidrolik iletkenlik katsayısı
n	Porozite
S	Sülfür

Açıklama

Kısaltmalar

ABA	Asit-baz sayım deneyi
ABH	Standart asit baz hesabı deneyi
AMD	Asit maden drenajı
AP	Asitleşme potansiyeli
AÜP	Asit üretme potansiyeli
BCRIT	British Columbia Research başlangıç deneyi
BET	Yüzey alan belirleme
BJH	Barret-Joyer-Halenda
DMİ	Devlet Meteoroloji İşleri
EPA	U.S. Environmental Protection Agency
MLA	Mineral serbestleşme derecesi analizi
MTA	Maden Tetkik Arama
NAÜP	Net asit üretme potansiyeli
NNP	Net nötürleşme potansiyeli
NP	Nötürleşme potansiyeli
NTE	Nadir toprak element
TDS	Toplam çözünmüş madde miktarı
USBR	United States Bureau of Reclamation
XRD	X-ışınları kırınım analizi
XRF	X-ray fluorescence

1. GİRİŞ

Madencilik faaliyetlerinin sınır değer ekonomi sürecinde, cevhere bağlı girdi parametrelerinin (tenör, fiyat, maden ömrü vb.) yanı sıra, işletim sistemi, çevresel kaygılar gibi çıktı parametreleri ile birlikte değerlendirilmektedir. Fizibilite çalışmalarında, girdi kazanç verimliliği parametrelerinin sağlam veri üzerinden yapılması gibi, çıktı parametrelerinin ve yasal düzenlemelerin zorunluluklarının da etkin bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir. Madencilik çalışmalarının uzun dönemde ekonomik bir süreçte değerlendirilmesi, sürdürülebilir kalkınma (gelecek kuşakların gereksinimlerini karşılayabilme olanaklarının şimdiki zamanda yapılan gelişmelerden dolayı negatif bir şekilde etkilenmemesi) bilinciyle çevre politikalarıyla bütünlük kurulmasıyla sağlanmaktadır.

Madencilik ile ilişkili önemli çevre sorunlarından bazıları; maden atıklarının fiziksel ve jeokimyasal özelliklerinin yetersiz bir şekilde belirlenmesi, cevher mineralleri ve bileşiklerinin uzun süreçlerde davranışlarının ve çevreye yapabilecekleri etkilerin belirlenememesinin yanı sıra, kontrol ve arıtma tasarımlarının yetersizliğidir. Günümüzde en önemli çevre sorunlarından biri de, sülfürlü mineraller bakımından zengin ocaklarda yapılan madencilik çalışmaları esnasında atmosferik süreçlere maruz kalan bu minerallerin farklı bozunma süreçlerinden kaynaklanan “Asit Maden Drenajı (AMD)” oluşumudur. AMD, başladıktan sonra durdurulması oldukça güç ve kontrolü pahalı bir süreç olup, bu durum yüzey ve yeraltı sularının kirlenmesine ve dolayısıyla doğal hayatın oldukça olumsuz bir şekilde etkilenmesine neden olabilmektedir. Maden endüstrisinin en büyük çevre problemlerinden birisi olarak tanımlanmakta olan AMD’den; ABD, Kanada gibi gelişmiş ülkelerindeki dünyanın önde gelen maden şirketlerinin AMD kaynaklı sorunların ortadan kaldırılması için gerekli finans maliyetlerinin, toplam 12500 hektar asitli ince taneli artıklar ile 750 milyon ton asitli yan kaya için 2-5 milyar \$ arasında değiştiği (Paktunç and Dave, 2002) gerçeği bu sorunun boyutlarının algılanması açısından oldukça iyi bir örnek oluşturmaktadır.

AMD oluşumundan etkilenen ortamların temizleme çalışmalarının fazla maliyetli olması sebebiyle, AMD oluşum potansiyelinin önceden doğru tahmin edilmesi, maden işletme çalışmalarının tasarımı açısından oldukça önemli olmaktadır. Bu nedenle, ülkemizde 23 Ocak 2010 tarihli, 27471 sayılı resmi gazetede yayınlanan, madencilik faaliyetleri ile bozulan arazilerin doğaya yeniden kazandırılması yönetmeliği kapsamında işletme alanı ve yan kayacın olası asit maden drenajının belirlenmesi ve önlemlerin alınması zorunluluğu bulunmaktadır. Asit maden drenajı da asitli su olasılığının tespiti ve alıcı ortamlara etkisinin en aza indirilmesi için ihtiyaç duyulan önlemlerin alınması koşulu getirilmiştir. Kaynağında önlem alınması, daha

düşük maliyet oluşturacağından, maden sahasının ekonomikliği çalışmalarında olumlu yönde etki edecektir. İşletme öncesi ve esnasında ve de maden kapandıktan sonraki süreci kapsayan doğru planlama ve kestirim sürecinde etkili bir yönetim ve uygulama sağlanması çevre maliyetlerini düşürecektir.

Cevher ve atığın AMD oluşturma potansiyelinin önceden tahmini için örneklerin mineralojik ve kimyasal bileşimini esas alan birçok statik deney yöntemi önerilmiştir. Cevherli bir kayacın asit üretilip üretmeyeceği ve üretilen asidin ortamda tüketilip tüketilemeyeceği konusunda ön değerlendirme amaçlı kullanılan bu statik deneyler, oldukça düşük maliyetli, kolay uygulanabilen ve kısa süreli olmaları açısından oldukça önemlidir. Ancak, Lapakko (2002), bu statik deney yöntemlerinde örneklerin asit üretme ve nötrleştirme özelliklerini değerlendirirken, minerallerin varlığı ve çözünme hızları arasındaki farkları ve meteorolojik değerlendirme parametrelerinin dikkate alınmadığını vurgulamıştır. Ayrıca, bozunma süreçleri içerisinde mikroorganizma (biyolojik bozunma süreçleri) etkisi de genellikle bu deneylerde gözlenmemektedir. Bu nedenle, statik deney yöntemlerinin doğasında mevcut bu sınırlamaların aşılması, AMD oluşumu sırasında meydana gelen bütün süreçlerin dikkate alınması ve arazi koşullarının daha doğru laboratuvar koşullarına yansıtılması amacıyla, nem hücresi deneyi, Soxhlet ekstraktörü yöntemi, British Columbia araştırma doğrulama yöntemi, çalkalama ve kinetik kolon yöntemi olmak üzere kinetik esasları dikkate alan birçok yöntem de geliştirilmiş ve önerilmiştir. Bu kinetik yöntemler arasında, doğal koşulları daha iyi temsil edici olması nedeniyle kinetik kolon deneyleri araştırmalarda daha yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak, kinetik kolon deneyi AMD oluşum potansiyeli belirlenmesinde kullanılan yeni bir yöntem olması nedeniyle, kullanılan kolon boyutları ve kolonlarda kullanılan malzemenin miktarı konusunda kabul gören bir standart bulunmamaktadır. Bu nedenle, bu çalışma kapsamında, deney sistemindeki söz konusu bu sınırlamanın aşılması kinetik kolon deneylerinin yapılması ve AMD'nin oluşum mekanizmasının araştırılması için, farklı boy ve çaplarda kolonlar dizayn edilmiştir. Deneylerde Türkiye'de seçilen bir maden sahadan alınan cevher örnekleri kullanılmıştır. Bu amacı gerçekleştirmek için;

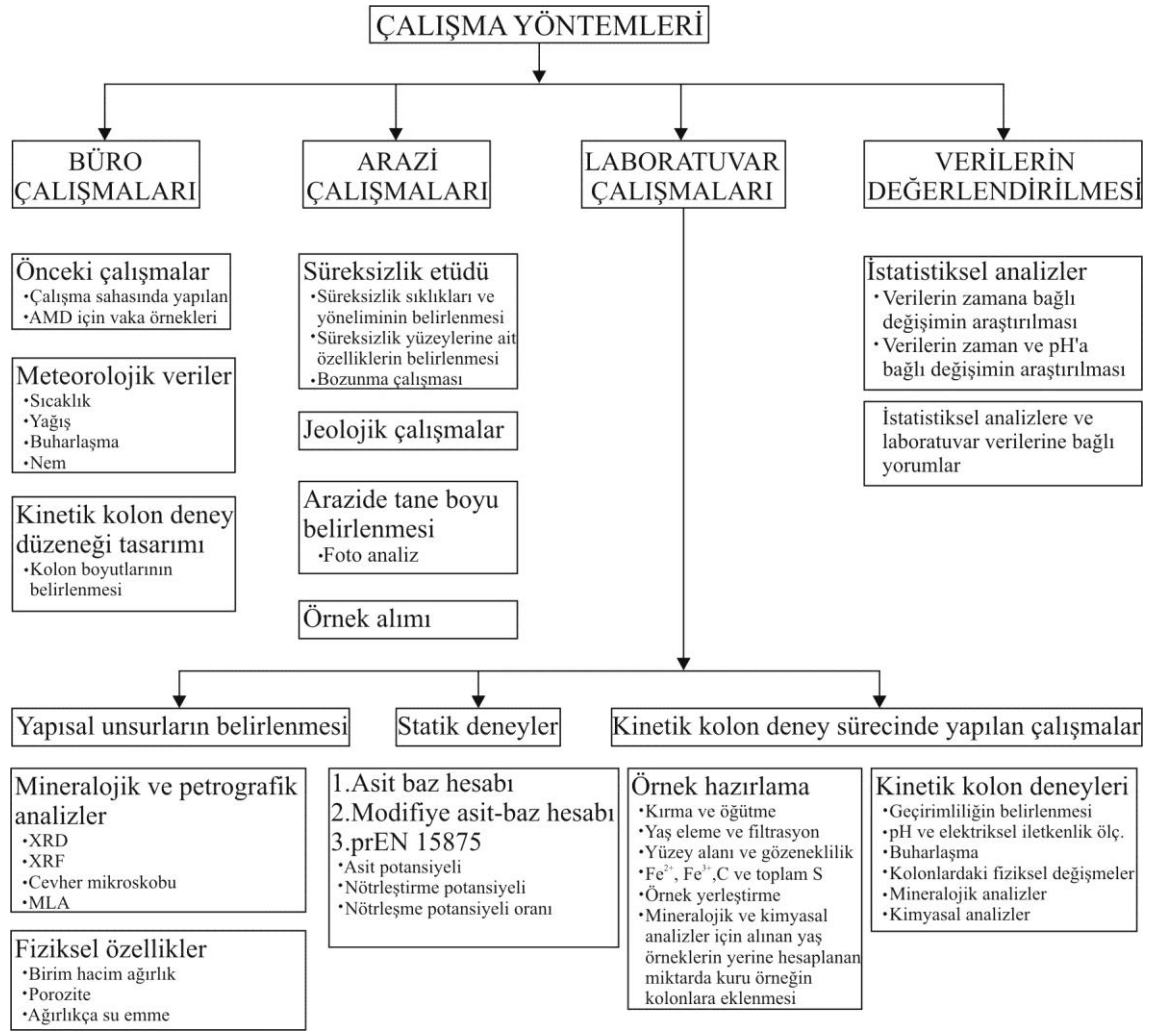
- a) Artvin ili Murgul İlçesi yakınlarındaki Eti Bakır A.Ş. tarafından işletilen Damar açık ocağındaki Üst Kretase yaşlı volkanik birimler içerisindeki cevher ve dasitten amaca uygun cevher örneklerinin alınması,
- b) Fiziksel, kimyasal ve biyolojik bozunma süreçleri ile iklim koşulları arasındaki ilişki ve dolayısıyla AMD oluşum sürecindeki önemi dikkate alınarak, Artvin meteoroloji istasyonunun son elli yılına ait sıcaklık, yağış ve buharlaşma gibi verilerin alınması ve değerlendirmesi,

- c) Çalışma alanı olarak seçilen Damar açık işletmesindeki Üst Kretase yaşlı volkanik birimlerden oluşan kaya kütlelerine ait süreksizlik özelliklerinin araştırılması ve bu süreksizlik özelliklerinin kaya kütlelerinin bozunma davranışı ve sonrasında AMD oluşumu üzerindeki etkinin ortaya konulması,
- d) Bu ocakta bakır üretimi amaçlı yapılan kazı çalışmaları sonucunda oluşan ve doğa koşullarında bozunma süreçlerine maruz kalan parçalanmış ve özellikle atmosferik süreçlere açık olan bu kaya malzemelerin tane boyu dağılımlarının tespiti,
- e) Kinetik kolon deneylerinde kullanılmak üzere, arazi koşullarındaki bozunma süreçleri dikkate alarak, farklı boy ve çaplara sahip kolonlardan oluşan düzeneklerin hazırlanması,
- f) Kinetik kolon deneylerinde kullanılan örneklerin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla birim hacim ağırlık (γ), gözeneklilik (n), ağırlıkça su emme (A_w) ve boşluk oranı (e) gibi fiziksel özelliklerinin belirlenmesine yönelik laboratuvar deneylerin gerçekleştirilmesi ve ayrıca, hidrolik iletkenlik parametreleri farklı boyutlarda imal edilen kolonlara konulan örneklerde meydana gelecek bozunma süreçleri ile ilişkisi dikkate alınarak örneklerin hidrolik iletkenlik katsayılarının belirlenmesi,
- g) Bozunma süreçleri ile bu süreçlere maruz kalan örneklerin yüzey alanına ilişkin parametreler arasındaki ilişkisi dikkate alınarak, kinetik kolon deneyleri için farklı tane boylarında hazırlanan ve kinetik kolon deneylerine tabi tutulan örneklerin yüzey alanı ve gözenek yarıçapı gibi parametrelerinin saptanması,
- h) Kinetik kolon deneyleri için alınan örneklerin deney öncesi ve sonrası mineralojik ve/veya kimyasal bileşimlerinin tespiti amacıyla, X-ışınları kırınımı analizleri, cevher mikroskobu çalışmaları, mineral serbestleşme derecesi analizleri ve X-ışınları floresans (XRF) analizleri gerçekleştirilmesi,
- i) Cevher örnekleri kinetik kolon deneylerine maruz bırakılmadan önce, örneklerin AMD oluşturma potansiyeli hakkında öngörüye sahip olmak için bu örneklerin “Asitleşme Potansiyeli” (AP), “Nötrleşme Potansiyeli” (NP) ve “Nötrleşme Potansiyeli Oranı” (NPR) parametrelerinin statik yöntemlerle hesaplanması,
- j) Kinetik kolon deneyleri sırasında zamana bağlı olarak alınan pH ve elektriksel iletkenlik (E_c) ölçümleri ile kimyasal analizlerle belirlenen K, Na, Ca, Mg, NH_4 , Li, B, SiO_2 , Fe, Mn, Pb, Zn, Cd, Cu, Ni, Cr, Co, Mo, Sr, Ba, CO_3 , HCO_3 , Cl, SO_4 , F, NO_2 , NO_3 , Br ve PO_4 gibi element ve bileşiklerin değişimlerinin incelenmesi ve AMD oluşumu ile söz konusu bu değişimler arasındaki ilişkinin kinetik kolon deneylerinde

kullanılan kolonların boy, çap, boy/çap oranı ve hacim gibi parametreleri dikkate alınarak araştırılması,

- k) Kinetik kolon deney süresinde, Ca, Mg ve Mn elementlerinin toplam konsantrasyonları nötralizasyon etkisi göstermekte ve dolayısıyla ortamın pH değerlerinin bazik değerlere doğru yükselmesini sağlarken, sülfat (SO_4) konsantrasyonu ise ana oksitlenme ürünlerini göstermektedir. Bu nedenle, kolon boyu, çapı ve hacmi parametresi ile SO_4 ve Ca+Mg+Mn oranları arasındaki ilişki araştırılması ve ayrıca bu parametrelerin kümülatif değerleri de dikkate alınarak benzer istatistiksel analizlerin gerçekleştirilmesi,

gibi aşamalardan oluşan bir araştırma yapılmıştır. Bu çalışmaların akım şeması Şekil 1.1’de özetlenerek verilmiştir. Şekil 1.1’de ihtiyaç duyulan analiz ve deneyler için MTA Genel Müdürlüğü Mineraloji-Petrografi Laboratuvarı, Su Analizleri Laboratuvarı, Analitik Kimya Laboratuvarı, Endüstriyel Hammadde ve Seramik Laboratuvarı, Çevre Laboratuvarı ile Dumlupınar Üniversitesi Seramik Mühendisliği Bölümü imkanlarından yararlanılmıştır.



Şekil 1.1 Araştırma kapsamında yapılan çalışmaları gösteren akım şeması.

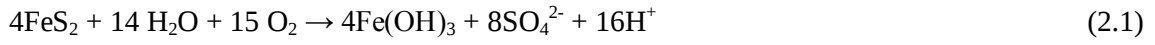
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1 Asit Maden Drenajı Oluşumu ve Nötralizasyonu

Madencilik çalışmaları, koşulları itibariyle mühendislik çalışmalarıyla önlenebilir doğa tahribatı ve kirlilik oluşturabilir. Madencilik ve çevre ilişkisinde içinden çıkılmaz en büyük tehdit unsuru olarak değerlendirilen kirletici kaynağı maden alanıyla temas eden, su ya da çözeltilerdir (Karadeniz, 2008). Kirlenen ortam ise, yüzey suları, yeraltı suları, göl, akarsu vb. gibi doğal ortamlardaki su kaynaklarıdır. Madencilik faaliyetlerinin her aşamasında suyun ayrı bir önemi olup, bu önem işletme sürecine göre artmaktadır. Üretimde delik delme işleminden, hidrolik rambeye, çözelti madenciliği gibi yoğun su işlemi içeren uygulamalarda ayrıca cevherin zenginleştirme işlemlerinde de yoğun su kullanımı söz konusu olmaktadır (Karadeniz, 2008). Piritik kükürt içeren kömür yataklarıyla, sülfür içeren metalik maden sahalarında, maden ile temas eden suların, oksijen ve mikroorganizmalar yardımıyla, sülfürlü mineralleri çözündürüp asiditesini yükseltme durumu bulunmaktadır (Karadeniz, 2008).

Asit maden drenajı (AMD), sülfür mineralleri içeren kömür, sülfürlü baz metal, uranyum ve değerli metal madenlerinin işletme sürecinde ve/veya işletme sonrası aşamasında, atmosferik koşullara maruz kalan bu minerallerin bozunmasıyla ortaya çıkan ve gerek ülkemizde ve gerekse uluslararası yapılan bir çok madencilik faaliyeti sonrasında yaygın bir şekilde karşılaşılan önemli bir madencilik ve çevre sorunudur. AMD oluşumu genellikle pasa malzemesi, atık barajında biriken ve terk edilen cevher artıkları, konsantre stokları, açık ve yeraltı maden işletmeleri gibi bozunma süreçlerinin etkin olduğu yerlerde gözlenmektedir (Kontopoulos, et al., 1996; Kuyucak, 2000). Daha çok kimyasal ve biyokimyasal bozunma ile oluşan AMD, genellikle pirit ve/veya kalkopirit gibi bir sülfürlü mineralin ıslanma-kuruma çevrimleri ile su ve oksijen etkisine maruz kalması sonucunda oksidasyona uğramasıyla başlamakta ve bakteriyel etkiyle hızlanan nihai tepkime ürünü olan sülfürik asidin meydana gelmesi sonucu ortamın pH değerinin düşmesi ve oluşan asitli çözeltilerin diğer minerallerin çözünmesi şeklinde gerçekleşen bir süreçtir (Kleinmann, et al., 1981). Cevher mineralizasyonuna bağlı yüksek metal konsantrasyonu sonucu yüksek oranda toplam çözünmüş katı miktarı ve organik madde eksikliği ile çevresel olumsuzluklar oluşabilmektedir (Ulrich, 1999).

Birçok madencilik çalışmasında, pirit minerallerinin kimyasal bozunmasının neden olduğu asit maden drenajı olgusuna daha yaygın bir şekilde karşılaşılmaktadır. Bu nedenle, pirit mineralinin kimyasal bozunma reaksiyonu Eşitlik 2.1'de verilmiş olup, asit maden drenajı oluşumunda etkili olan diğer kimyasal süreçler ise özetlenerek Çizelge 2.1'de verilmiştir.



Çizelge 2.1 Asit maden drenajı oluşumunda etkili olan kimyasal bozunma süreçleri (Paktunç, 1998).

Kimyasal bozunma süreci aşamaları	Açıklama
$\text{FeS}_2 + 7/2 \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \Rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}^+$	Piritin oksidasyonu
$\text{Kil} + \text{H}^+ \Rightarrow \text{SiO}_2 + \text{Al}^{3+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Ca}^{2+} + \text{Mn}^{2+}$	Killerin asit ile çözünmesi
$\text{CaCO}_3 + 2\text{H}^+ \Rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$	Kalsit tarafından asidin nötralizasyonu
$\text{Fe}^{2+} + 1/4 \text{O}_2 + \text{H}^+ \Rightarrow \text{Fe}^{3+} + 1/2 \text{H}_2\text{O}$	Ferro demir oksidasyonu
$\text{Fe}^{3+} + 3\text{OH} \Rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3$	Ferrik demir hidrolizi “sarı tabaka oluşumu”
$\text{Al}^{3+} + 3\text{OH} \Rightarrow \text{Al}(\text{OH})_3$	Alüminyum hidrolizi
$\text{Fe}^{2+} + 1/4 \text{O}_2 + 5/2 \text{H}_2\text{O} \Rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3 + 2\text{H}^+$	Demir oksidasyonu ve hidroliz reaksiyonları özetlenebilir
$\text{H}^+ + \text{HCO}_3 \Rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$	Bikarbonat iyonun asit nötralizasyonu
$\text{H}^+ + \text{OH} \Rightarrow \text{H}_2\text{O}$	Hidroksil iyonu tarafından asit nötralizasyonu

Çözünme tepkimesinin hızı ve mekanizmasının belirlemesinde, genellikle yan kayaç ve artıkların bünyesinde bulunan minerallerin nötralizasyon potansiyellerinin ölçülmesi esasına dayanan yöntemler kullanılmaktadır. Ortamda bulunan karbonat, silikat, oksit, oksihidroksit ve hidroksitleri içeren mineraller, kimyasal ve biyolojik süreçlerle oluşan AMD’nin nötralize olmasını sağlamakta ve dolayısıyla çevre için önemli bir sorun olan yıkıcı etkisini azaltmakta veya tamamen ortadan kaldırabilmektedir. 1 mol pirit mineralinin oksitlenmesiyle oluşan asidi nötürlemek için 2 mol karbonat minerali gerekmektedir. AMD’nin nötralizasyonu açısından önemli olan diğer mineraller Çizelge 2.2’de verilmiştir. Bu çizelge de anlaşılacağı üzere, bazı minerallerin karbonat minerallerinden daha yüksek nötralize etme kapasitesine sahip oldukları gözlenmektedir. Örneğin, plajiyoklaz ve K-feldspatlar, kalsitten 2-4 kat daha yüksek potansiyel nötralizasyon kapasitesine sahipken, 1 mol kloritin $[\text{Mg}_5\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_8]$ çözünmesi için 8 mol sülfürik asit gereklidir (Paktunç, 1998). Nötürleme etkisine sahip ve Çizelge 2.2’de verilen minerallerin H_2SO_4 ile olan kimyasal reaksiyonu ve bu reaksiyon sonrası oluşan bileşikler Çizelge 2.3’te verilmiştir. Bu kimyasal reaksiyonlar, statik ve kinetik deneyler sırasında meydana gelen süreçlerin doğru tanımlanması açısından önemlidir.

Çizelge 2.2 Bazı minerallerin maksimum nötralizasyon potansiyelleri (Paktunç, 1998).*

Mineral	Kimyasal bileşim	Nötrleme miktarı**
Kalsit	CaCO_3	1.000
Dolomit	$\text{Ca}_{0.5}\text{Mg}_{0.5}\text{CO}_3$	1.000
Ankerit	$\text{Ca}_{0.5}\text{Fe}_{0.2}\text{Mg}_{0.3}\text{CO}_3$	1.250
Klorit	$\text{Mg}_5\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_8$	0.125
Muskovit	$\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	0.200
Kaolinit	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	0.670
Olivin (Fotoo)	Mg_2SiO_4	0.500
Hornblend	$\text{Ca}_{1.7}\text{Mg}_{3.5}\text{Fe}_{1.3}\text{Al}_{1.3}\text{Si}_7\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	0.110
K-Feldspat	KAlSi_3O_8	0.500
Plajiolklas (Ano)	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$	0.500
Plajiolklas (An100)	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	0.250
Götüt	$\text{Fe}(\text{OH})_3$	0.670
Brusit	$\text{Mg}(\text{OH})_2$	1.000
Jipsit	$\text{Al}(\text{OH})_3$	0.670

*Mineralin çözeltide tamamen çözüldüğü ve ikincil faz olarak tekrar çökelmediği kabul edilmiştir; **1 mol H_2SO_4 'ü nötrlemek için gerekli mol

Çizelge 2.3 Bazı minerallerin sülfürik asit (H_2SO_4) ile olan kimyasal reaksiyonu (Paktunç, 1998).

Mineral	Kimyasal reaksiyon
Kalsit çözünmesi	$\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{CaSO}_4 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$
Dolomit Çözünmesi	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{CaSO}_4 + \text{MgSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{CO}_2$
Klorit çözünmesi	$\text{Mg}_5\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_8 + 8\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 5\text{Mg}^{2+} + 2\text{Al}^{3+} + 3\text{SiO}_2 + 8\text{SO}_4^{2-} + 12\text{H}_2\text{O}$
Muskovit çözünmesi	$\text{KAl}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_2 + 5\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{K}^+ + 3\text{Al}^{3+} + 3\text{SiO}_2 + 5\text{SO}_4^{2-} + 6\text{H}_2\text{O}$
Biyotit çözünmesi	$\text{KMg}_{1.5}\text{Fe}_{1.5}\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2 + 7\text{H}^+ + \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{K}^+ + 1.5\text{Mg}^{2+} + 1.5\text{Fe}^{2+} + \text{H}_4\text{SiO}_4 + \frac{1}{2}\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4(k)$
Albit çözünmesi	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8(s) + \text{H}^+ + \frac{9}{2}\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Na}^+ + 2\text{H}_4\text{SiO}_4 + \frac{1}{2}\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4(k)$
Anortit çözünmesi	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8(s) + 2\text{H}^+ + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4(k)$
K-Feldspat çözünmesi	$\text{KAlSi}_3\text{O}_8(s) + \text{H}^+ + \frac{9}{2}\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{K}^+ + 2\text{H}_4\text{SiO}_4 + \frac{1}{2}\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4(k)$
Demir oksi-hidroksit çözünmesi	$\text{Fe}(\text{OH})_3(k) + 3\text{H}^+ \rightarrow \text{Fe}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O}$

(k); Katı , (s); Sıvı

Yukarıda, asit maden drenajı oluşumunda ve oluşan asidin nötrleşmesinde önemli olan minerallere kısaca değinilmiştir. Özellikle sülfür mineralleri bakımından zengin bir

cevherleşmede yapılabilecek madencilik çalışmaları sonucu, atmosferik koşulların etkisinde kalarak bozunmaya uğramasıyla meydana gelen asit maden drenajı potansiyelinin belirlenmesi veya tahmin edilmesi için uluslararası birçok çalışmada başarılı bir şekilde uygulanan çeşitli deneyler bulunmaktadır. Bu deneyler amaçlarına göre başlıca statik deney ve kinetik deney olmak üzere iki ana başlık altında tanımlanabilir. Günümüze kadar statik ve kinetik koşulları temel alan birçok farklı deney yöntemi önerilmiş olup, söz konusu bu deney yöntemlerinden en yaygın olarak kullanılanlar aşağıda verilmiştir.

2.2 Statik Deneyleri Konu Alan Önceki Çalışmalar

Plante et al. (2012) tarafından da vurgulandığı gibi, sülfürlü maden yataklarının işletilmesi sonucu oluşan AMD potansiyelinin değerlendirmesinde kullanılmak üzere günümüze kadar bir çok statik tahmin tekniği önerilmiştir (Adam, et al., 1997; Day, 1991; Duncan and Bruynesteyn, 1979; Lapakko, 1994; Lawrence and Wang, 1996, 1997; Lawrence, et al., 1989; Skousen, et al., 2002; Sobek, et al., 1978; Weber, et al., 2004, 2005). Bu yöntemler, genellikle asit üretim potansiyeli (AP) ve asit nötrleştirme potansiyeli (NP) tahmininde kullanılır ve asit baz hesabı (ABH) deneyleri olarak bilinmektedir (Lawrence and Wang, 1996). Plante et al. (2012) AMD değerlendirmelerinde kullanılan statik yöntemleri, kimyasal ve mineralojik yöntemler olmak üzere iki ayrı sınıfta toplanabileceğini belirtmişlerdir.

Skousen et al. (1996) tarafından da belirtildiği gibi, cevher mineralleri bakımından zengin kaya malzemeleri içerisindeki en yaygın oranda bulunan elementler, bu kaya malzemelerinin ihtiyaç duyulan bozunma koşullarının oluşması durumunda asit üretme potansiyelinin olup olmadığı konusunda önemli bilgiler vermektedir. Açık ocak yöntemiyle işletmesi planlanan maden sahalarının işletme sonrası tekrar doğaya kazanılmasını kapsayan bazı önceki çalışmalarda (Grube, et al., 1973; Smith, et al., 1974), özellikle asit-baz dengesi üzerinde durulmuştur. Bu araştırmacılar, seçilen bir kaya malzemesinin asit üretme potansiyelinin olup olmadığının tespiti için, örneklerde toplam bulunan kükürt elementi (S) miktarı ve geliştirmiş oldukları “nötrleştirme potansiyeli” (NP) kavramını dikkate alan statik bir yöntemi göz önünde bulundurmuşlardır. Ayrıntısı Grube et al. (1973) verilen bu yöntem; kükürdün oksitlenmesi ile oluşan asitten kaynaklanan “azami asit üretme potansiyeli” (AAÜP) ile toplam nötrleştirici miktarlarının karşılaştırması esasına dayanmaktadır.

Statik deneyler, asit maden drenaj potansiyelin anlaşılmasında ilk aşama niteliğinde olup, araştırmaların devam edip etmeyeceği kararının verilmesine katkı yapan eleme ve ön değerlendirme niteliğindeki deneylerdir. Bu tür deneyler asit maden drenajı ile ilişkisi olan

mineraller bakımından zengin kaya malzemelerinin özelliklerinin tanımlanmasını kapsar. Bu deneyler, kaya malzemelerinin asit üretme ve nötrleştirme kapasitelerine ve drenajın niteliğini belirlenmesi amacıyla yapılmaktadır. Statik deneyler, asidi üreten ve nötrleştiren minerallerin birbirlerine göre çözünme hızları arasındaki farkları dikkate almazlar (Lapakko and Antonson, 2002). Statik deneyler kısa sürede sonuç vermesi sebebiyle basit ve düşük maliyetli olmakta ve dolayısıyla bir çok AMD amaçlı laboratuvarında kolaylıkla yapılabilen deneylerdir. Jeokimyasal statik deneyler için farklı yöntemler geliştirilmiş olmakla birlikte, bu tür deneylerde temelde sülfürlü artıkların asit üretme potansiyelleri (sülfür minerallerinin oksidasyonu) ile oluşan asidin ortadan kalkmasını sağlayan minerallerin (karbonatlar ve silikat minerallerinin çözünürlükleri) asit nötrleştirme kapasiteleri arasındaki denge dikkate alınır (EPA, 1997). Bu nedenle, şimdiye kadar temel yaklaşımı aynı olan çeşitli statik deneyler geliştirilmiştir. Bu deneylerden en yaygın olarak kullanılanlar; Sobek et. al. (1978) tarafından geliştirilen ancak bazı değişimlere de uğrayan “Standart Asit Baz Hesaplama, (ABH)” deneyidir. 1989’da Coastech Research Inc. tarafından ABH deneyinde yapılan değişikliklerle oluşturulan “Yeniden Düzenlenen ABH”, kömür madenleri için 1979’da Duncan ve Bruneysteyn (1979) ’in geliştirdiği British Columbia Research Başlangıç Deneyi (BCRIT) ile prosedür farklılıkları gösteren Nötrleştirme Potansiyeli ve Net Asit Üretim Deneyleri (White, et al., 1999 ; Lapakko, 2000) ağırlıklı olarak kabul gören deneylerdir. Statik deneyler iki ana aşamada gerçekleştirilmektedir. Laboratuvarda kimyasal analizler dışında deneysel herhangi bir çalışma gerektirmeyen ilk aşamada, yapılan analizlerle belirlenen kükürt konsantrasyonu kullanılarak cevherli örneğin “Asitleştirme Potansiyeli (AP)” hesaplanır. Daha sonra, hazırlanan örneğe belli oranda asit katılarak bu örneğin nötrleştirme potansiyeli (NP) belirlenir. Elde edilen iki değerin farkı veya birbirine oranından örneklerin “Net Nötrleştirme Potansiyeli (NNP)” hesaplanmaktadır. Lapakko (1993) birçok araştırmacı tarafından elde edilen sonuçları dikkate alarak, günümüzde kullanılan bazı statik deney yöntemlerini, mali açıdan avantaj ve dezavantajlarını kapsayan bazı özellikler açısından karşılaştırmıştır. Bu araştırmacı tarafından elde edilen sonuçlar Çizelge 2.4’te verilmiş olup, söz konusu bu deney yöntemlerinden en önemli ve yaygın kullanılanlarına ilişkin detaylı bilgiler aşağıda alt bölümlerde sunulmuştur.

Çizelge 2.4 Statik deney yöntemlerinin karşılaştırılması (Lapakko 1993).

Asit-baz hesabı deneyi (Sobek, et al., 1978)	Yeniden düzenlenen asit-baz hesabı deneyi (Coastech, 1989)	BC Research Başlangıç deneyi (Duncan and Bruynesteyn, 1979)	Alkali üretim potansiyeli: kükürt (Caruccio, et al., 1981)	Net asit üretimi (Coastech .1989)
Asit üretimin belirlenmesi				
Asit üretimi potansiyeli = 31.25 * Toplam S	Asit üretimi potansiyeli = 31.25 * Toplam S	Toplam asit üretimi =31.25 * Toplam S	Toplam S Gösterge olarak kullanılır	Mevcut sülfürlerin doğrudan oksidasyonu için 300 ml H ₂ O ₂ 5 g örneğe eklenir.
Nötralizasyon potansiyelinin belirlenmesi				
60 no.lu elek (0.24 mm) ile örnek hazırlanır, fız deneyinde belirtildiği gibi HCl eklenir, bir dakika kaynatılır ve soğumaya bırakılır. Titrasyonun son noktasında pH 7.0'dir. Maliyet: 34-110 \$	60 no.lu elek (0.24 mm) ile örnek hazırlanır, fız deneyinde gösterildiği gibi HCl eklenir, oda sıcaklığında 23 saat çalkalanır. Altı saatlik çalkalama sonrası pH'ın 1.4 ile 2.0 arasında olması gerekir. Titrasyonun son noktasında pH 8.3'tür. Maliyet: 34-110 \$	300 no.lu elek (0.038 mm) ile örnek hazırlanır. 1 N H ₂ SO ₃ ile pH 3.4 titre edilir. Titrasyonda son nokta uygulaması yoktur. Maliyet: 65-170 \$	-0.023 mm örnek iki saat oda sıcaklığında 0.4g katı maddeye 20 mL 0.1 N HCl eklenmesi. Titrasyonda son nokta pH=4.0'tür. Maliyet: 34- 110 \$	Tane boyu belirtilmemiş. Demir sülfat oksidasyonu ile üretilen asit tampon mineralleri çözer. Titrasyonda son nokta pH=7.0'dir. Maliyet: 25-68 \$
Avantaj ve dezavantajları				
Basit ve kısa sürer ^{1,3} Özel ekipman gereksinimi yoktur ve kolay yorumlanır ¹ Bir çok örneğin deneyi yapılabilir. ³ Kinetik ile ilişkili değil ² Paralel asit / alkalın salınımını esas alır ^{2,3} APP ve NP değerlerinin birbirine yakın olması durumunda yorumlanması güçtür ve farklı tane boyları yansıtılmamaktadır ³	Basit, kısa zaman alır, özel ekipman gerekmez ve kolay yorumlanır ¹ Kinetik ile ilişkili değil ² Paralel asit / alkalın salınımını esas alır ^{2,3} AP ve NP değerlerinin birbirine yakın olması durumunda yorumlanması güçtür ve farklı tane boyları yansıtılmamaktadır ³	Basit ve oldukça kısa zaman alır ^{1,3} Özel ekipman gerekmez ve kolay yorumlanır ¹ Bir çok örneğin deneyi yapılabilir ³ Paralel asit / alkalın salınımını esas alır. Farklı tane boyları yansıtılmamakta ve APP ve NP değerlerinin birbirine yakın olması durumunda yorumlanması güçtür ³	Basit, kısa zaman alır ve özel ekipman gerekmez Yorum zorluğu orta derecededir ¹	Basit, kısa zaman alır, özel ekipman gerekmez ve kolay yorumlanır ¹ Sınırlı tekrarlanabilirlik ⁴ Sülfat oksidasyonunun araziye simüle edilmesi durumunda belirsizlik mevcut olur.

1:(Coastech 1989; Lapakko 1993). 2 : (Bradham and Caruccio 1990; Lapakko 1993). 3: (Ferguson 1985; Lapakko 1993). 4:(Lawrence, 1990; Lapakko 1993)

2.2.1 Standart asit baz hesabı (ABH) deneyi

Standart ABH deneyinde, AMD potansiyeli belirlenecek cevher örneğinin tüm kükürdün pirit mineralinden kaynaklandığı varsayılmakta beraber, mevcut kükürdün tamamının ihtiyaç duyulan bozunma reaksiyona girip asit ürettiği kabul edilmektedir. Ayrıca, 1 mol kükürdün 4 mol H^+ iyonu (2 mol asit) oluşumuyla sonuçlanacağı, buna karşın her mol $CaCO_3$ 'ün 2 mol asit tüketeceği varsayılmaktadır (EPA, 1994; Paktunç, 1999; White, et al., 1999). Kükürdün 1 molü 32 g, $CaCO_3$ 'ün ise 1 molü 100 gramdır. Kükürdün $CaCO_3$ 'a ağırlıkça oranı 1:31.25'e eşittir. Örneğin ağırlıkça içerdiği kükürt yüzdesi 31.25 değeri ile çarpıldığında, üretilen asidi nötürleştirmek için ihtiyaç duyulan $CaCO_3$ 'ün yüzde ağırlığı bulunur. Kükürt analiziyle elde edilen %S değeri 31.25 çevrim katsayısıyla çarpıldığında, teorik AP değerine ulaşılmaktadır. İfadenin kg/t biriminde $CaCO_3$ eşdeğeri olması için çarpan 50 alınır. Örneğin nötürleştirme potansiyelinin tayini için kullanılan asidin (HCl) niceliğinin ve niteliğinin belirlenmesi amacıyla, örnekteki kalsiyum ve magnezyum karbonatların miktarının belirlenmesinde kullanılan fizz deneyi uygulanır (Kleinmann, 2000; Mills, 2002). Fizz deneyi, hazırlanan örnek üzerine seyreltik (<%25) HCl damlatarak, meydana gelen kimyasal reaksiyonun örnekteki etkisinin gözlenmesini esas alan oldukça kolay uygulanabilen bir işlemdir. Ancak, yapılan bu deney sonucunda yapılan değerlendirme ve yorumların gözleme dayalı olması, takip eden aşamalar açısından son derece önemlidir. Deneye göre, belirli hacim ve konsantrasyondaki HCl'in tane boyutu 0.25 mm'ye indirilen 2 g örnek ile tepkimeye girmesi sağlanır. Reaksiyon tamamlanıncaya kadar söz konusu karışım kaynatılmaya devam edilir. Kaynatma aşamasını takiben soğutma uygulanır ve bu işlemin sonrasında, son pH değeri 7 oluncaya kadar ortama NaOH ilave edilir. Örnek tarafından nötrüze edilen asidin miktarı kullanılarak nötürleştirme potansiyeli hesaplanır. AP ve NP değerlerinin tespit edilmesinin ardından, NNP değerinin hesaplanması basit bir aritmetik işlem olup, söz konusu bu işlem için $NNP = NP - AP$ veya $NNP = NP/AP$ eşitliğinden yararlanılır. Bu deney sonrasında, cevher örneğinin AMD potansiyelinin tahmininde Çizelge 2.5'te verilen genel değerlendirme kriterleri kullanılmaktadır.

Çizelge 2.5 Nötralizasyon potansiyeli ve asit potansiyel oluşumunun yorumlanması (Price, et al., 1997).

AMD Potansiyeli	NPR (NP/AP) Kriteri	Açıklama
Olası	<1:1	Olası AMD üretir.
Muhtemel	1:1-2:1	Muhtemel AMD üretir. Sülfidler daha yüksek bir hızda tükenirken NP yetersiz kalmaktadır.
Düşük	2:1-4:1	Potansiyel değil. Yeterince reaktif NP ile sülfidler kombinasyon halinde veya kırıklı düzlemler boyunca sülfürler süreçte tercihi önemlidir.
Yok	>4:1	Malzemenin alkali kaynağı olarak kullanılabileceğinin belirlenmesi için başka deneyler de yapılmalıdır.

2.2.2 Yeniden düzenlenen (modifiye) ABH deneyi

Bu statik deney yöntemi, örnek miktarını ve tane boyutunu, asit sülfür konsantrasyonunu ve hacmi dikkate alınması açısından standart metotla aynı olup, asitleşme potansiyelinin hesaplanmasında asit üretmediği varsayımıyla sülfatlar dikkate alınmamaktadır. Bu durum, kükürt analizinde uygulanan yöntemlerde değişiklik gerektirmektedir (Kleinmann, 2000; Lapakko, 2002). Genellikle, asit ile reaksiyon işleminde, kaynatma işlemi yerine 24 saat süreyle oda sıcaklığında bekletme tercih edilmektedir. Asitleme sonucunda, karışım pH'nının 2 ile 2.5 arasında değişmesi istenmekle, daha yüksek pH değerleri görüldüğü durumlarda, ortama asit ilave edilerek deney tekrarlanmaktadır. NaOH ile ortamın pH'ı 8.3'e yükselttilerek deney sonucuna ilişkin hesaplama yapılmaktadır.

2.2.3 British Columbia Research başlangıç deneyi

Bu deney yönteminde, Standart ABH deneyinde olduğu gibi, AP hesaplamasında toplam kükürt değeri kullanılırken, NP'nin belirlenmesi aşamasında 0.038 mm'nin altına öğütülen örnekten 10 g alınıp HCl yerine 10 mol H₂SO₄ ve 100 ml saf su kullanılarak yapılmaktadır (Mills, 2002). Hazırlanan çözeltinin pH'ı titrasyon yapılarak 3.4'e getirilmekte ve dolayısıyla fizz deneyinin yapılmasına ihtiyaç kalmamaktadır. pH değerinin 3.5 olarak seçilmesinin nedeni, Kleinmann (2000) tarafından da değinildiği gibi, AMD oluşumundaki biyolojik bozunma süreçlerinde bakteri (*Thiobacillus Ferrooxidans*) etkisinin düşük pH değerlerinde çok daha etkin olmasıdır.

2.2.4 Net asit üretim deneyi

Önceki statik deneylerden farklı olarak, net asit üretim deneyinde kükürt analizi yapılmamaktadır. Demir sülfür minerallerinin oksidasyonunu gerçekleştirmek ve süreci hızlandırmak için 5 g kütleye sahip örnek için %15'lik 100 ml hidrojen peroksit kullanılır (EPA, 1994). Başlatılmış olan bu kimyasal reaksiyon ile ortamın pH'ında meydana gelen düşmeye paralel olarak nötürleştirici etkiye sahip minerallerin kendiliğinden çözünme süreci başlamaktadır. Reaksiyonun sürdüğünü gösteren işaretlerin bitmesi beklenir ve bu kimyasal reaksiyonun gözlemlendiği andan itibaren çözelti yaklaşık 1 saat bekletilir ve sonrasında ortamın pH'ı tespit edilir. Bu deneydeki en son aşama ise çözeltinin pH'ı 7 olacak şekilde titre edilmesidir. Böylelikle, örneğin asit üretme ve nötürleştirme potansiyeli doğrudan belirlenebilmektedir.

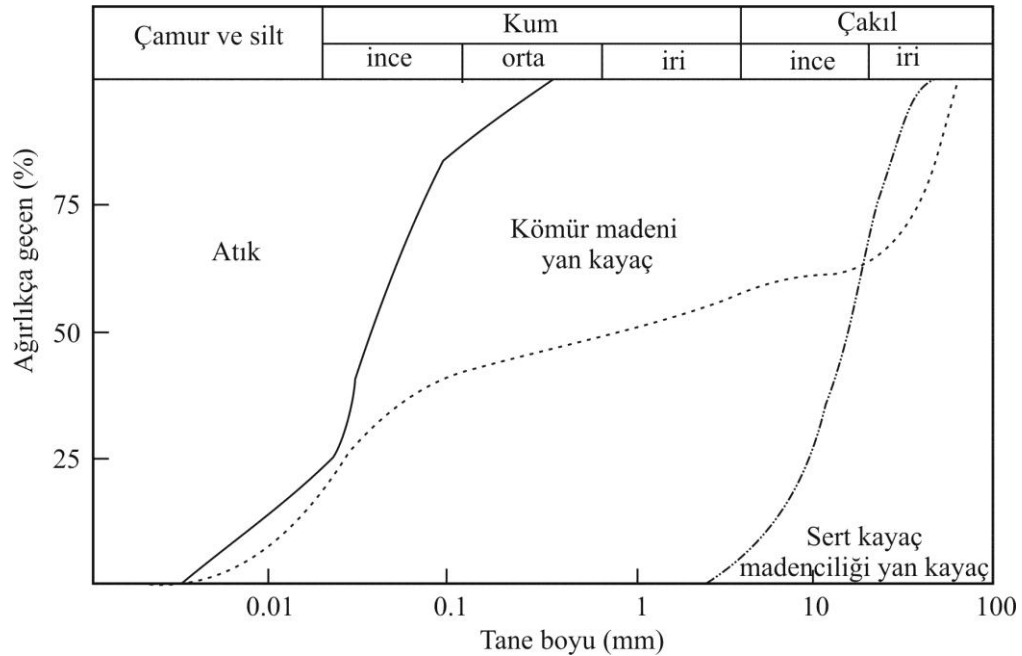
2.2.5 Alkalın üretim potansiyeli/ kükürt oranı (AÜP/S)

Caruccio et al. (1981) tarafından geliştirilmiş AÜP/S deneyi, Coastech (1989) tarafından ilk olarak kömür ocaklarındaki pasa yığınlarının asit oluşturma potansiyelini belirlenmesi amacıyla kullanılmıştır. -23 mikron boyutlu 500 mg örneğe 20 ml 0.1mol HCl eklenerek ortam sıcaklığında 2 saat süre ile kimyasal reaksiyonların gerçekleştirilmesi sağlanır ve pH 5 için titrasyon yapılır. Arazi koşullarındaki jeolojik farklılık dikkate alınarak, ihtiyaç duyulan örnekler temsili olarak alkalın içinde toplanır ve böylelikle potansiyel üretim belirlenir. Alkalın üretim sonuçları ile aynı örneklerde toplam kükürt içeriği potansiyel deneyi yapılabilir. Bu deney asit üretimi belirlemek için toplam kükürt, aynı zamanda örnekleri sülfat mineralleri içeren asit üretimi potansiyeli ABA benzeri kullanır. Coastech (1989) göre potansiyel üretim (NP) mevcut karbonat, daha az konsantre asit azalım tepkimesi hafif alkaline eğiliminde olmaktadır.

2.3 Kinetik Deneyleri Konu Alan Önceki Çalışmalar

Kinetik deneyler, statik deney sonuçlarından yararlanılarak yapılan ön değerlendirmeden yola çıkarak uygulanan ve zamana bağlı bozunma süreçlerini AMD oluşumu üzerindeki etkisini de dikkate alan yöntemlerdir. Bu deneyler, statik deneylerdeki belirsizlikleri azaltmak, elde edilen verileri doğrulamak, belirleyici reaksiyonları tanımlamak, asit üretme hızını tespit etmek ve drenaj suyu kalitesini belirlemek amacıyla yapılır. Kinetik esasların dikkate alındığı bu deney yöntemlerinde, uzun süre hava ve nem etkisine maruz kalmış kaya ve kazı çalışmaları ile cevher zenginleştirme çalışmaları sonrasında elde edilen pasa yığını örnekleri üzerindeki oksidasyon ve bozunma süreçlerinin doğal koşullarına benzer bir şekilde

simüle edilmeye çalışılır. Zaman parametresinin AMD oluşumu üzerindeki etkisinin doğal koşullara benzer bir şekilde dikkate alındığı bu yöntemler kullanılarak, asit üretiminin başlaması için ihtiyaç duyulan süre (lag time) ve kontrol tekniklerinin etkinliği konusunda da bir öngörü sağlanmaktadır. Ayrıca, bu kinetik deneyler sülfürlü mineral oksidasyon ve bu nedenle asit üretimi yanı sıra, drenaj su kalitesinin bir göstergesi oranı hakkında da bilgi verir. Kinetik deneyler potansiyel asit üretmek için farklı değişkenlerin etkisini değerlendirmek için kullanılabilir. Kömür ve sert kayaç madencilik çalışmaları ile bu çalışmalar sonucunda oluşan parçalanma ve atık malzemenin genel tane boyu dağılım grafikleri Lapakko (1993) tarafından araştırılmış ve araştırmacı tarafından varılan sonuçlar Şekil 2.1’de verilmiştir. Şekil 2.1’de verilen grafikler kullanılarak belirlenen D_{50} parametresinin atık, kömür madeni-yan kayaç ile sert kaya madenciliği-yan kayacı durumları için sırasıyla, yaklaşık olarak 0.06 mm, 0.8 mm ve 20 mm oldukları tespit edilmiştir. Söz konusu bu durum, kinetik esaslara dayalı AMD oluşum mekanizmasının araştırılmasında kullanılan malzemenin tane boyu değerlerinin hangi aralıkta değişmesi gerektiği konusunda ön bilgi sağlamaktadır. Yüzey alan büyüklüğü kadar yüzey alan sayısı da AMD oluşum hızını belirleyen faktörlerdir. Küçük tanelerden oluşan bir malzemenin daha fazla yüzey alanı oluşturacağından, daha hızlı bir şekilde AMD oluşum sürecine katılacaktır. Özellikle yığın veya atık boyutu bu noktada ayrıca önem taşımaktadır.



Şekil 2.1 Farklı madencilik çalışmalarındaki yan kayacın tane boyu değişim grafiği (Lapakko, 1993).

Günümüze değin sülfürlü mineraller bakımından zengin kaya birimlerinde yapılan madencilik çalışmaları sonucu AMD oluşumunun en doğru ve doğadaki bozunma süreçlerini gerçeğe en yakın bir şekilde laboratuvarında modellemek için birçok farklı araştırma yapılmış ve bu araştırmalarda çok sayıda amaca yönelik deney yöntemleri önerilmiştir. Bunlar; nem hücresi deneyi (Caruccio and Parizek, 1968; Sobek, et al., 1978; Lawrence, 1990; Brodie, et al., 1991; ASTM, 1996; White and Lapakko, 2000), Soxhlet ekstraktörü deneyi (Singleton and Lavkulich, 1978; Sobek et al., 1978; Sobek, et al., 1982; Renton, et al., 1984), British Columbia araştırma doğrulama deneyi (EPA, 1994), çalkalama deneyi (Filipek, et al., 1991; EPA, 1994) ve kinetik kolon deneyi (EPA, 2003) şeklinde sıralanılabilir. Kinetik deneylerin birbirine göreceli avantaj ve dez avantajları Çizelge 2.6'da verilmiştir. Ancak, söz konusu bu deneyler arasında kinetik kolon ve nem hücresi deneyleri doğal koşulları daha iyi temsil edici özellikleri nedeniyle araştırmalarda daha yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bradham ve Caruccio (1991), nem hücresinin kinetik kolon deneyine nazaran en önemli avantajı daha az miktardaki örnekler üzerinde daha göreceli olarak hızlı sonuçlanması (yaklaşık olarak deney süresi 20 ile 52 hafta arasında değişmektedir) olduğunu belirtmişlerdir. Diğer taraftan, kinetik kolon deneyinin gerçek saha koşullarını daha fazla temsil ettiği kabul edilir (Bradham and Caruccio, 1991). Nem hücresi ve bu çalışma kapsamında da kullanılan kinetik kolon deneylerinin daha doğal koşulları meydana gelen AMD oluşum sürecinin daha iyi temsil edici özellikleri dikkate alınarak, söz konusu bu deneylere ilişkin detaylı bilgilerin aşağıda alt bölüm şeklinde sunulmasının daha yararlı olacağı düşünülmüştür.

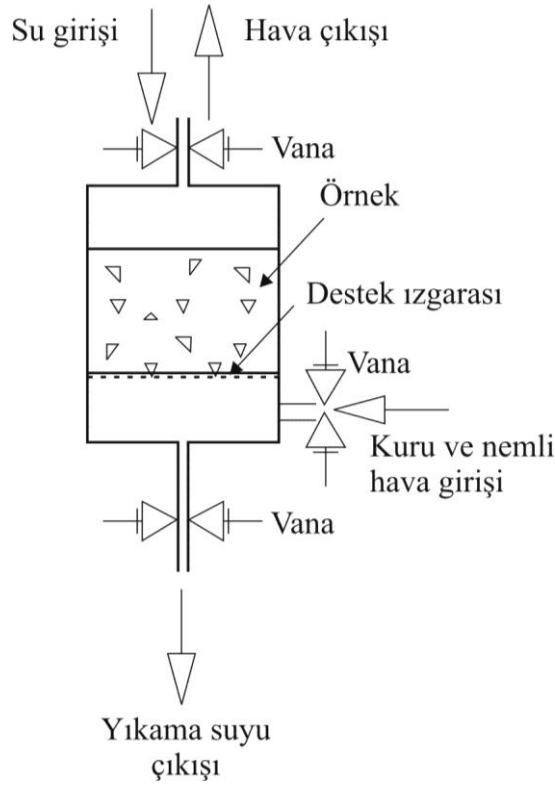
2.3.1 Nem hücresi deneyi

Bu deneyde kullanılan basitleştirilmiş nem hücre kesiti Şekil 2.2'de verilmiştir. Nem hücresi deney çalışması genelde sülfürlü mineral oksidasyonu için hazırlanmış olup, asit üretme potansiyeli olan örneklerde sonuç alınmaktadır. Çözülebilir sülfat mineralleri içeren örnekler ile önceden oksitlenmiş malzemeler, nem hücresi deneyi çalışmasından önce bir ön işleme tabi tutulması gerekmektedir. Nem hücresi deneyindeki bu ön aşama, asit üretimini engelleyecek veya geciktirecek minerallerin veya kimyasal bileşiklerin ortamdan uzaklaştırılması amaçlanmaktadır. Bu deney yönteminde, kullanılan cevher örneklerinin belli bir tane boyuna getirmek için herhangi bir kırma ve/veya öğütme işlemine tabi tutulması gerekmemektedir. Artık örnekleri genellikle doğal arazi koşullarında bulundukları gibi deneyleri gerçekleştirilmektedir (EPA, 2003).

Çizelge 2.6 Kinetik deney yöntemlerinin karşılaştırması (Lapakko, 1993).

Nem Hücresi (Sobek, et al., 1978)	Soxhlet Ekstraktörü (Singleton ve Lavkulich, 1978; Sullivan ve Sobek, 1982)	Kolon Deneyleri (Bruynesteyn ve Hackl, 1982; Hood ve Oertel, 1984)
Deney yönteminin özeti		
-2.38 mm partikül büyüklüğü üç gün kuru havaya maruz kalan 200 g örnek üç gün nemlendirilmiş hava ile yedi gün 200 ml durulanır. Maliyeti: 425-850 \$	Partikül büyüklüğü belirtilmemiş T=70 C (Singleton ve Lavkulich, 1978) T=25 C (Sullivan ve Sobek, 1982) saf su örnek üzerinden geçerek geri dönüştürülmüştür. Maliyeti: 212-425 \$	Değişken partikül büyüklüğü maden atık içeren sütunlarda veya kesikli birimlerde tekrarlı dolaşım ile çözümlenen liç uygulaması Maliyeti: ölçeğine bağlı
Avantaj ve dezavantajları		
AP ve NP modellemeleri iyi. ıslak /kuru ³ saha koşullarını modelleyebilme ve örneklerden olası birim asit oranını belirlenebilirliği orta kullanım kolaylığı. sonuçlar uzun süretilir. bazı özel donanım ¹ . orta yorumlanma kolaylığı ^{1,3} . büyük veri kümesi oluşması ³	Basit. kısa zamanda sonuç. AP ve NP arasında etkileşim değerlendirmesi. orta kullanım kolaylığı, özel ekipmana ¹ ihtiyaç duyar, yorumlama düzeyi orta ^{1,3} gelişimsel evre ve doğal süreçleri net değil ³	AP ve NP modellemesi. farklı kaya türlerin modellemeye etkisi belirlenebilmekte. ıslak/kuru model. farklı tane boyu ³ modelde kullanabilme zor yorumu. çok sayıda örnek için pratik değil ³ . örneklemeler büyük hacimli ² . çok sayıda veri oluşu. uzun zaman. düzensiz sızıntı suyu. uygulama. kanal durumunda sorun olası ^{2,3}
BC Research Confirmation (Duncan and Walden, 1975)	Reaktör Yığını (Halbert, et al., 1983)	Saha Deneyleri (Edgar ve Lapakko, 1985)
Yöntem		
-0.038 mm (-400 mesh) partikül büyüklüğü pH: 2.2-2.5. T:35C ⁰ de 15-30 g bakteri kullanılarak etkin çözüm Eğer pH artarsa örnekte asit yoktur. Eğer pH azalır ise uygulayıcı tarafından 1 / 2 orijinal kitle örnek iki sefer eklenir. Maliyet: 170-340 \$	-0.076 mm (200 mesh) partikül büyüklüğü ¹ örnek/su 200g/500 mL ¹ bulamaç ayarı yapılır. Maliyet: 425-850 \$	Alan ölçeğinde parçacık kullanımı. 800-1.300 ton yığın testi çizgisel akış ve su üzerine inşa yapılarak kaliteli veri toplanması Deney 1977 yılında başladı ve devam etmektedir Maliyet: İlk İnşaat pahalı olup. sonraki maliyeti karşılaştırma yapılacak durumdadır.
Avantaj ve Dezavantajları		
kullanımı kolay, düşük maliyet ve biyolojik liç potansiyeli değerlendirilebilmekte ³ orta derecede kullanım çok uzun zaman gerekme olup, bazı özel ekipman gerekli ¹ . eğer pH değişimi küçükse zor yorumlanması AP modeli için ilk adım değildir ve pH stabilitesinin ³ sağlanması uzun zaman alır	aynı anda birçok örneği incelemek mümkün ve nispeten basit donanımları ⁴ geniş örnekleme hataları ve sonuçta da hassasiyet eksikliği ⁴	gerçek çevre koşulları altında maden atık kullanır drenaj hacmi belirlemek için kullanılabilir azaltma yöntemleri test edilebilir ilk inşaat pahalı. uzun zaman

1:(Coastech 1989; Lapakko 1993). 2 : (Bradham and Caruccio 1990; Lapakko 1993). 3: (Ferguson and Erickson 1988; Lapakko 1993). 4:(Babij et al. 1980; Lapakko 1993)



Şekil 2.2 Basitleştirilmiş nem hücre kesiti (Lawrence, 1995).

Price (1997), deneylerde mevcut yan kayaçların sadece 2 mm'den küçük kısımlarının kullanılmasını önermektedir. Bu nedenle, karot örneklerini kapsayan araştırmalarda, örneklerin deneye uygun hale getirmek için kırma işlemine tabi tutulması gerekmektedir. Price (1997) yapılacak deneylerde kayaç ve cevher örnekleri için malzemenin %80'in 6 mm'den daha düşük tane boyuna sahip olmasını ve artıkların asit oluşturma kapasitelerinin araştırılmasında örneklerin %80'in 150 mikron'dan geçmesi gerektiğini vurgulamıştır. Karotların %80'inin 150 mikrona indirgenmesi, laboratuvarında kırılmasını ve öğütülmesini gerektirir ve bu da kullanılan alet ve kırma yöntemlerinden dolayı gerçeğinden çok farklı mineral özellikleri elde edilmesine neden olur. Bu nedenle kinetik deney çalışmasında kullanılacak örneklerin metalürjik deney çalışmalarından alınmış olmaları tercih edilmelidir. Nem hücresi ve kinetik kolon deneylerinde önemli bir diğer kriter, kayaç ve/veya cevher örneklerinin kırma ve öğütme işlemi sırasında tane boyu 2 mikrondan küçük olan kısmın örnek içerisindeki bulunma yüzdesi ve bu kısmın deneysel çalışmalardan ortamdaki su ile beraber sızıp ortamdaki uzaklaşmasının engellenmesidir. Bu nedenle deneysel çalışmalarda herhangi bir örnek kaybının yaşanmaması için, sistem ızgara ile desteklenmektedir. Genellikle uygulamada 22 mikron tel çaplı polipropilen keçe veya eşdeğerleri kullanılmakta, ancak bu tür malzemeler 2

mikrondan küçük tane boyuna sahip malzemeyi tutamamaktadır. 2 mikrondan daha küçük tane boyuna sahip malzemenin yüksek oranda bulunduğu örneklere, çözülmüş metaller belirlenmeden önce ve yaklaşık 0.45 mikron ilave ek bir filtre sistemiyle desteklenmesi gerekmektedir.

Buradaki önemli bir belirsizlik nem hücrelerine Thiobacillus Ferrooxidans gibi bakterilerin aşılınmış olması ihtimalidir. ASTM Nem Hücresi Dizaynı D5744-96 (ASTM, 2000a) nem hücrelerinde kullanım için Thiobacillus Ferrooxidans kültürü hazırlama talimatlarını ve kayaç örneğine aşılama bilgilerini vermektedir. Bununla birlikte sülfür gelişimi sadece Thiobacillus Ferrooxidans yerine bir bakteri birliği gerektirdiğinden ve Thiobacillus Ferrooxidans saha özellikli olduğundan laboratuvarında hazırlanmış bir Thiobacillus Ferrooxidans'ın yararı tartışma konusudur (EPA, 1994).

Yıkama işleminin başlangıç aşamasında, örneğin tamamen ıslatılması için hücrenin üstünden 750 ml/kg deiyonize su ilave edilir. İki saat sonra, (artık malzemelerde yapılan deneylerde 4 saat sonra) liç sıvısı toplanır ve tartılır (hacim belirlenmesi için) ve daha sonra pH, iletkenlik, asidite, alkalinite, sülfat ve çözülmüş metallerin oranlarının tespiti için gerekli görülen analizler gerçekleştirilir. Takip eden üç gün boyunca hücreye önceden belirlenmiş bir oranda kuru hava verilir. Daha sonra, üç gün hücreye yine önceden belirlenmiş bir değerde nemli hava verilir. Nem hücresi deneyinde kuru ve nemli hava çevrimleri ve değerleri belirli bir standartta veya arazi koşulları dikkate alınarak sisteme uygulanabilir. Deneye başladıktan yedi gün sonra 1 kg örnek için örnek 500 ml deiyonize suyla (iyon değişim reçinelerinden geçirilerek iyonik bileşenlerinden arındırılmış) yıkanılır ve 2 saat (artık için 4 saat) sonra liç sıvısı olarak toplanır. Yukarıdaki işlemler deney bitinceye kadar yedi günlük periyotlar halinde devam edilir.

2.3.2 Kinetik kolon deneyi

Kinetik kolon deneyi, statik deneylerde tespit edilemeyen, oksidasyona hızına bağlı olarak atmosferik koşullara maruz kalacak şekilde depolanmış veya su altında depolanmış olmasına rağmen atmosferik değişimlerden etkilenebilen yan kayaç, cevher ve artık gibi asit oluşturma potansiyeline sahip mineraller bakımından zengin malzemelerin kinetik davranışlarını belirlemek için gerçekleştirilir. Şekil 2.3'teki uygulamalarda görüldüğü gibi, kinetik kolon deneyleri boyutları önceden belirlenmiş bir silindir veya benzeri cihazın içinde atık veya cevher örneklerinin istiflenmesi ile yapılmaktadır. Bu deneyde ıslanma-kuruma çevrimleri su ekleyerek oluşturulur. Islanma kuruma çevrimlerinin kolon boyunca sağlanmasına dikkat edilir. Kinetik kolon deneylerinde, farklı zamanlarda (üç gün, birkaç gün, bir hafta veya

daha fazla süre için) alınacak su ve cevher örnekleri üzerinde alınacak ölçüm ile yapılacak deney ve analizlerle asit oluşumunun izlenmesi gerekmektedir.

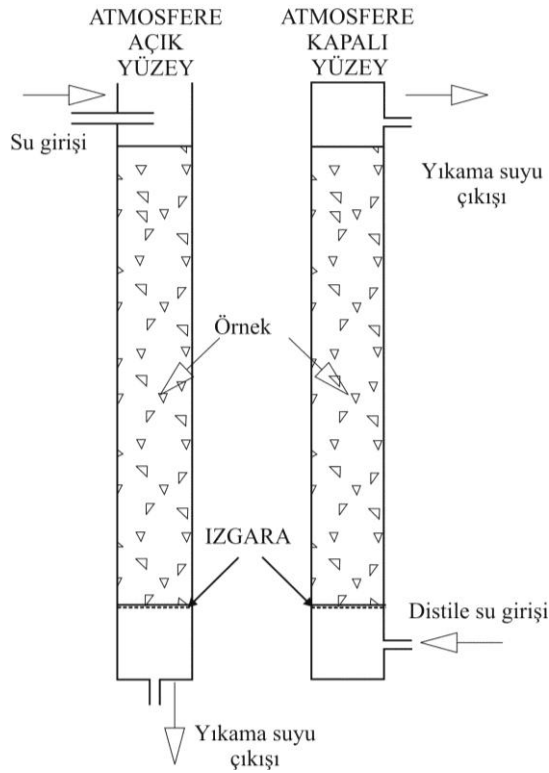


Şekil 2.3 Farklı boyutlardaki kinetik kolon deney görünüşleri.

Kinetik kolon deneylerinde, atmosfere açık ve kapalı olmak üzere iki ayrı sistem vardır (Şekil 2.4). Örneklerin kolon boyunca çeperlerde ara yüzü kolonda olan malzeme tortusunu önlemek için çalkalama, ön yıkama gibi bakım gerekir. Kolona su eklenir ve mevcut oksidasyon oranı, sülfat üretimi, metalin serbestleşme derecesini belirlemek için analiz ve diğer parametreler değerlendirilir. Araştırma sonuçları göstermektedir ki, kireçtaşı kolon deneylerinin daha iyi temsil için kullanılan malzemenin 0.5 cm çapında olması ve iyi yerleştirilmesi gerekir (Bradham and Caruccio, 1990). Bu deneylerin en önemli dezavantajları; deneyin uzun sürmesi, asit oluşum sürecinin sürekli belli aralıklarla takip edilmesi ve bu amaçlarda bazı ölçüm, analiz ve deneylerin gerçekleştirilmesi ve dolayısıyla yüksek maliyetlerde olması şeklinde sıralanılabilir.

Kinetik kolon deneyi madencilik çalışmalarında, asit maden drenajı potansiyeli belirlenmesinde kullanılan yeni bir deney olması nedeniyle, kullanılan kolon boyutları ve kolonlarda kullanılan malzemenin miktarı konusunda kabul gören bir standart bulunmamaktadır. Araştırmacılar genellikle kolonlarda 2 mm den küçük tane boyuna sahip örnekler kullanmışlardır. Ancak, Bradham ve Caruccio (1990), 0.5 cm'den daha iri tane boyuna

sahip örneklerin arazi koşullarını daha iyi temsil ettiğini belirtmişlerdir. Kolonlarda kullanılan örneklerin kütlesi oldukça geniş aralıkta değişmekte olup, yaklaşık olarak 10 kg ile 3000 kg (EPA, 2003) ve bazı durumlarda da bu miktarın 20 tona (Morin and Hutt, 1997) kadar çıktığı konu ile ilgili yapılan önceki çalışmalarda tespit edilmiştir.



Şekil 2.4 Atmosfere açık yüzey (sub-aerial) ve atmosfere kapalı yüzey (sub-aqueous) kolon çeşitlerinin basit görünümü (Lawrence, 1995).

2.4 AMD Kaynağında Önleme ve İyileştirmesine Yönelik Çözüm Teknikleri

Bozunma süreçleri ile asit oluşturma potansiyeline sahip mineraller bakımından zengin bir maden ocağında meydana gelen asit maden drenajı oluşumunda su ve ortamda bulunan göreceli oksijen miktarı en önemli etkindir. Sülfürlü minerallerde oksidasyon sürecinin başlaması için ortamda oksijen ve/veya su bulunması gerekir. Forstner ve Salomons (1988) tarafından da değinildiği gibi, su hem tepkime aracı hem de bozunma ürünlerinin taşınması ve çözücü gibi özellikleri bakımından AMD oluşum sürecinde önemli bir yer almaktadır. AMD oluşum sürecinde bir diğer neden ise, maden atıklarının karbonat mineralleri bakımından zengin kaya birimleri ile çevrilmesi ve ortamda artan alkalinite ile

beraber oluşan asidin nötrale olması sürecidir (Forstner and Salomons,1988). Başka bir neden ise, madencilik atıkları, atıkların arasında mekansal ilişki ve hidrolik rejimin fiziksel özelliklerini kapsamaktadır. Bu aşamada önemli olan bu fiziksel özellikler; tane büyüklüğü, fiziksel bozunma eğilimi ve geçirimsizlik şeklinde sıralanılabilir. AMD oluşum sürecine giren bir malzemenin tane büyüklüğü oksidasyona maruz kalan yüzey alan miktarını tanımlayan bir gösterge olması nedeniyle önemlidir. Tane boyutu daha küçük olan malzemenin daha fazla toplam yüzey alanına sahip olması nedeniyle malzeme sülfürlü mineral oksidasyonu için daha büyük potansiyel oluşturur. Hava koşulları, malzemenin yüzey alanındaki okside miktarını etkiler. AMD hem işletme sırasında okside yüzeyler boyunca hem de artık alanında görülebilmektedir. Oksitlenmiş yüzey alan artışı, fiziksel bozunma ve katmanlarının kırılması sonucu artık malzemenin geçirgenliği artar. Farklı artıkların istifleme sırası maden drenajı su kalitesini etkileyebilir. Pirit mineralleri bakımından zengin malzeme üzerinde tespit edilmiş sızıntı suyu, kalkerli malzemelerde alkaliniteye katkıda bulunarak yığının oksidasyon potansiyeli ve ortamdaki asitlik derecesini azaltacaktır (Forstner and Salomons, 1988).

Asit maden drenaj kalitesini hidrolik bir maden üretimi etkileyebilir. Atığın üzerine olası su baskını, oksijen transferini sınırlar. Dolayısıyla, doymuş bir bölgede önemli asit maden drenajı ortaya çıkamayabilir. Dalgalı bir su tablası, su tablasındaki düşüşler sırasında pirit mineralleri oksidasyona maruz kalır (Forstner and Salomons, 1988). Akış faktörleri, asit maden drenajının kalite ve miktarını etkileyebilir. Böyle bir seyreltme, yağış ve nötralizasyon gibi kimyasal süreçler gibi fiziksel işlemler, asit drenajı simile bir dere ile önceki akışı alanı kıyasla asit maden drenaj hasarı büyük olmadan önlenebilir (Forstner and Salomons, 1988). 1960'lı yıllarda özellikle kömür madenlerinin sorunu olarak düşünülen AMD oluşumu, işletmenin imkanları dâhilinde AMD belirtilerini yok etmeye yönelik olmuşken, günümüz madenciliğinde ise bu geçici çözümler yerine AMD kontrol, izleme süreci ve maden kapatıldıktan sonraki sürecin etkin yönetilmesi yönünde çalışmalara ağırlık verilmiştir. 1990 ve sonraki yıllardan günümüze kadar sorunu kontrol altına alabilme araştırmaları ön plana çıkmaktadır. AMD oluşumda önemli olan Asit üretim kaynağı sülfür, hava ve su olan üç temel bileşenden birini ya da birkaçını ortamdaki uzaklaştırarak asit üretimi kontrol altına almak mümkün olmaktadır. AMD oluşumunun önlenmesinde hangi tekniğin kullanılmasından çok, doğru ve uygulanabilir bir tekniğin kullanılması yapılacak mühendislik çalışmaları açısından önemlidir. Cevher, yan kayaç, atık miktarı ve mineralojik özelliklerin yanı sıra, ortam koşulları, olayın ekonomik boyutu önleme yönteminin belirlenmesinde etken olmaktadır (Güler, 2001). Koşullara özel çözümler getirmek çoğu zaman ekonomik

olabilmektedir. Kontrol teknikleri seçiminde yalnız ekonomi parametreleri değil, aynı zamanda seçilen tekniğin sürecin kontrollü yürütülmesine olanak vermelidir. Günümüze kadar AMD oluşumun önüne geçilmesi ve/veya kontrolünün sağlanması amacıyla birçok teknik geliştirilmiş ve önerilmiş olmakla birlikte, aşağıda sadece bu yöntemlerden en yaygın şekilde kullanılanlara değinilmiştir.

i) *Atık ayırma ve karıştırma:* Özellikle sülfürlü mineraller bakımından zengin cevherleşmenin bulunduğu yerlerde yapılan madencilik çalışmalarıyla karşılaşılacak AMD sorununun çözümü için, uygulanılabilecek yöntemlerden biri sülfürlü cevher minerallerinin ortamdaki kaldırılarak güvenli depolanmasıdır. Bu yöntem, atık yığının yeniden işlenmesini ve içindeki metali ayrılarak değerlendirilmesi gereksinimini doğurmaktadır. AMD oluşumun önlenmesinin bir diğer yöntemi ise karıştırmadır. Bu yöntemde, doğal koşulların izin vermesi durumunda, düşük pH değerini nötrlemek amacıyla yan kayanın karbonat kökenli olması durumunda asit üreten kayaç ile asidi nötralize eden yan kayanın karıştırılması esasına dayanır. Yan kayanın statik deneylerde NPR 4 büyük ise dahi asit nötralize edici özelliğinin belirlenmesi için ayrıca çalışma ve etüt yanı sıra yan kayanın hazırlık süreci yer almaktadır.

ii) *Bazik bir maddenin eklenmesi:* Ortamda oluşan asidin nötrleşmesini sağlayacak mineralleri içeren kayanın bulunmadığı durumlarda kireçtaşı, kireç, soda külü, yengeç kabuğu (kullanımı araştırma aşamasındadır) ve yumurta kabuğu (kullanımı araştırma aşamasındadır) gibi bazik malzemeler kullanılabilir. Bu yöntemle, asidik olan ortamın pH değeri 6.5 seviyelerine çıkararak, oluşan AMD'nin çevresel etkilerinin önüne geçilmesi sağlanmaktadır. Bu yöntemde göz önünde bulundurulması gereken en önemli durumu, kullanılacak bazik maddenin miktarının doğru belirlenmesidir.

iii) *Kuru örtme:* AMD oluşumun önlenmesi konusunda uygulanabilen bir diğer yöntem ise, AMD oluşumunda yer alan oksijenin sülfürlü mineraller ve su ile bir araya gelmesinin engellenmesidir. Oksijen ve suyun, asit üretme potansiyeline sahip kayalar ile temasının önlenmesi için toprak, kil ve/veya sentetik kaplama (jeomembran vb.) gibi malzemelerin bu kayaların üzerinin kapatılması amacıyla kullanılabilir. Diğer bir yöntem ise, AMD sürecine katılan suyun atık yığına ulaşması ve gözeneklerinde dolaşmasının önlenmesidir. Bu amaçla, yüzey suyunun atık yığına ulaşıp içine süzülmesini önlemek üzere drenaj kanalları vb. yapılar yapılmakta veya yığına ulaşan suyun hızla drene olması için önlemler alınmaktadır. Atık yığını geçirimsiz bir tabaka ile de (örneğin yeterli kalınlığa sahip bir kil tabakası ile ya da yalıtıcı bir yaygı ile kaplanması) ortama suyun ulaşması engellenebilir. Bazı durumlarda da atık yığını düzeltilip üzeri bitkisel toprakla kaplanmakta ve bitkilendirilerek

suyun bitkilerce tüketilmesi ve atık yığınının süzülmesi engellenmektedir. Bu durumda atık yığnında başlayan asitleşme tepkimesi ilerleyememekte ve kütlenin içindeki nötrleştirici bileşenlerin de sayesinde AMD oluşmamaktadır. AMD oluşumun önlenmesi kapsamında yapılan ilk çalışmalarda, artıkların düzenli bir şekilde yerleştirilip üzerlerinin örtecek şekilde suyla doldurulması denenmiştir (Güler, 2001). Bu durumda artığın bütün gözenekleri suyla dolana kadar işlem sürdürülmüş ve üzerleri suyla kaplanacağı için sürecin gereksinim duyduğu oksijen sağlanamayacağı düşünülmüştür. Ancak, sonraki yıllarda konu ile ilgili yapılan çalışmalarda, AMD için oksijen ihtiyacı sudaki çözünmüş oksijenden kullanılmaya başlanıldığı fark edilince su ile kapama yönteminden vazgeçilmiştir (Güler, 2001).

iv) Bakterili teknikler: AMD oluşum sürecinde özellikle beş ve altındaki pH değerlerinde bakteri etkisinin önemli oranda etkili olduğu bilinmektedir. Sülfürlü metal minerallerinin oksitlenmesini kolaylaştıran ve hızlandıran bakterilerin etkisinin azaltılması amacıyla son yıllarda anyonik sürfaktanların (yüzey aktiflerin) kullanılışı AMD için düşünülen önleyici tedbirlerden biridir (Güler, 2001). Pennsylvania’da yer alan bir kömür sahasının rehabilitesinde bu yöntem ilk kez kullanılarak, bol organik gereç içermesi nedeniyle kanalizasyon çamurları bakteri çeşitliliği sağlayarak oluşumu hızlandıran bakterilerin önüne geçerek başarılı olmuştur. Bakteri etkisi son çalışmalarda daha etkin bir yere sahiptir. Yapılan çalışmalar bakteri hızı belirlemenin dışında bakteri üretim miktarının sahayla uygun miktarda olması yönündedir. Saha koşullarına uygun kimyasal madde ilavesiyle, asit üretim tepkimelerini hızlandıran Thiobacillus Ferrooxidans türü bakterilerin sayısı azaltılması ile AMD hızının önüne geçilebilmektedir.

v) Pasif ve aktif arıtma yöntemleri: Pasif arıtma; suni bataklıklar, anoksik (oksijensiz) kireçtaşı drenleri, açık kireçtaşı kanalları, kireçtaşı havuzları, ardışık alkanite üretme sistemi yöntemin başlıca teknikleridir. Kısa süreli arıtmalarda daha yaygın kullanılmaktadır. Söz konusu sülfürlü mineral miktarı az ve etkinlik derecesi yüksek olduğunda kurulum maliyetleri açısından sürece dâhil edilebilen bir yöntemde biyolojik arıtma tesisi ile Mikro-organizmalar kullanılarak metallerin uzaklaştırılması prensibine dayanan bir uygulama tekniğidir.

Aktif arıtma, pasif arıtmadan çok daha önce geliştirilmiş bazik bir kimyasal ile pH nötrleştirme ve çöktürme metoduyla metallerin uzaklaştırılmasıdır. Bu amaçla; kireçtaşı, kalsiyum ve magnezyum oksitler, kömür külü, baca tozları ve çelik cürufu, fosfatlı kayalar, AMD çamuru, organik artıklar, vb gereçler kullanılabilir. Kimyasalların çözeltiye eklenmesiyle havalandırma işlemi ile Fe^{3+} iyonuna oksitlenme sağlanır. Çamur miktarının az

olması yöntemi daha başarılı kılarken çöktürme havuzlarında kimyasal sürecin kontrolündeki güçlük çekilmektedir.

2.5 Çalışmanın Yapıldığı Sahayla İlgili Önceki Çalışmalar

Bu çalışma Artvin, Murgul Damar bakır açık ocağında bulunam cevher ve yan kayaçlarında gerçekleştirilmiştir. Açık işletme ve yakın çevresinde günümüze kadar yapılmış önemli çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Damar açık ocağında kimyasal bozunma süreci ve asit maden drenajı üzerinde etkili parametrelerin belirlenmesine ilişkin bir çalışma yapılmamıştır. Ancak, çalışma alanı, Türkiye'nin en büyük bakır yatağı olması nedeniyle, uzun süre işletilmekte olan bu sahanın mühendislik açıdan incelenmesi birçok araştırmacının ilgisini çekmiştir. Bu doğrultuda söz konusu işletmede maden jeolojisine (Kahrer, 1958; Sawa, et al., 1970; Mado, 1972; Özgür and Schneider, 1988; Er vd.,1991; Dursun ve Yılmaz, 1991; Çamur, et al., 1994), rezervin belirlenmesine (Baytekin, 1978), şev duraylılığına (Nasuh, et al., 1993; Arıkan vd., 1997) ve dasitlerdeki süreksizliklerin makaslama dayanım parametrelerinin belirlenmesine (Çağlayan, 2000) yönelik çalışmalar yapılmıştır.

Er vd. (1991) ile Dursun ve Yılmaz (1991), Damar ve Çakmakkaya maden sahası yakın çevresinde maden jeolojisine yönelik olarak günümüze değin yapılan en geniş kapsamlı çalışmaları gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar, yaptıkları ayrıntılı jeolojik çalışmalar sonucunda; inceleme alanında tabandan tavana doğru cevherli dasitik tüf ve breşler, kloritli-serizitli dasitik tüfler, mor tüfler ve dasitlerin yer aldığını belirlemişlerdir. Cevherleşmenin dasitik volkanizma sonucunda oluştuğu ve kubbe şeklindeki dom yapıları tarafından kontrol edildiği belirtilen bu çalışmalarda, cevherleşme ve hidrotermal alterasyon arasında sıkı bir ilişkinin olduğu vurgulanmıştır. Arıkan vd. (1997) tarafından şev duraylılığı kapsamında 1:1000 ölçekli haritalar yapılmış olup, bazı şev duraysızlıklarına yol açan ve toprak zemin gibi davranan bozunmuş dasitler sağlam kaya kütesinden ayırtarak haritada belirtilmiştir.

Arıkan (2002) asidik volkanik kayaç malzemesine yönelik ve parametrelerle bir puanlama yaklaşımını esas alan yeni bir bozunma sınıflaması önermiştir. Araştırmacı, incelemiş olduğu asidik volkanik kayaçların tayin edilen indeks ve jeomekanik parametrelerinin bozunma dereceleri ile olan ilişkilerini araştırmış ve bunların bozunma derecesinin kestiriminde ayırtman özellik olarak kullanılabilirliklerini değerlendirmiştir. Araştırmacı, taze (bozunmamış) kayaç ile artık zemine doğru bozunma derecesini I- VI arasında numaralandırmıştır. Arıkan (2002) Damar

işletmesinde ana eklem setlerinin eğim/eğim yönü değerlerinin 56/327 ve 84/225 olduğunu arazi çalışmaları ile belirlemiştir.

Abdioğlu vd. (2009) Murgul sahasının alterasyon mineralojisi ve jeokimyasını çalışmışlardır. Sahanın jeolojisi konusunda ayrıntılı çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

2.6 Asit Maden Drenaj Oluşumunda Bozunmanın Önemi

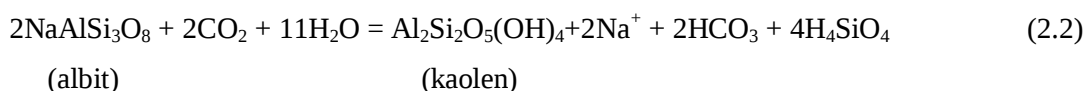
2.6.1 Mineral kayaç ekseninde bozunma

Yeryüzündeki kayaçların, içerdikleri süreksizlik yüzeyleri boyunca, fiziksel ve/veya kimyasal süreçlerle ayrışmasına, çözünmesine ve topraklaşmaya doğru olan değişim bozunma olarak tanımlanmaktadır. Bozunmaya uğrayan bir maddenin yapısı ve özellikleri önemli oranda değişim geçirmektedir. Kayaçlar farklı sıcaklık ve basınç koşullarında oluşmuş olup, bozunma süreçlerinin çoğu, kayaların atmosferik koşullar altında yeni denge durumuna geçmesinden kaynaklanmaktadır. Yüksek sıcaklık ve basınç koşullarında oluşan mineralleri içeren ultrabazik ve bazik kayaların granitik kayaçlara nazaran bozunmaya karşı daha az dayanım göstermesi bu davranışa bir örnektir. Bu çalışmanın gerçekleştirildiği Murgul Damar bakır açık ocağında karşılaşılan cevherleşmenin dasitik volkanizma sonucunda oluştuğu ve cevherleşme ile hidrotermal alterasyon arasında bir ilişkinin olduğu bölgede farklı amaçlarla çalışan bazı araştırmacılar (Er vd., 1991; Dursun ve Yılmaz,1991) tarafından daha önce belirtilmiştir. Bu nedenle bölgede mevcut cevherleşmenin oluşum koşulları ile (volkanizma) atmosferik koşulların karşılaştırılması durumunda cevher minerallerinin oldukça farklı koşullarda olduğu ve dolayısıyla doğal koşullarda bozunma süreçlerinin etkisi altında gözlenmektedir. Bölgede madencilik çalışmaları sonucu yapılan kazılarda söz konusu bu süreçleri daha da hızlandırmaktadır. Bozunma zonunun derinliği ve özelliği, kaya türüne, bozunmaya neden olan süreçlere, topoğrafik koşullara ve bozunmuş olan kısmın erozyonla veya başka bir faktörle ortamdan uzaklaştırılmasına bağlıdır. Bozunmuş olan kısmın erozyon, heyelan gibi yollarla taşınması durumunda, bozunmada etkin rol oynayan faktörler, bozunmamış taze kısımlar üzerinde daha fazla etkili olabilmektedir. Bu nedenle Murgul açık ocağında yapılan kazı çalışmaları AMD oluşumu ile sonuçlanan bozunma süreçlerinin daha derinlerdeki cevher mineralleri üzerinde etkili olmasına neden olmaktadır.

Bowen reaksiyon serisine göre; uygun koşulların oluşması durumunda mağmatik kayalarda meydana gelen bozunma sırasıyla, olivin ve kalsiyumca zengin minerallerden önce başlar daha sonrasında K-feldispat ve muskovit bozunur (Şekil 2.6). Daha düşük sıcaklık koşullarında oluşması nedeniyle kuvars bozunma süreçlerine karşı oldukça duraylı

kalabilmektedir. Bozunma reaksiyonları katı-sıvı sınırında yağmur suyu veya yer altı suyu ile gerçekleşir. Atmosferin bileşimindeki CO₂'ten dolayı yağmur sularının pH değerleri 5.7 ve özellikle volkanik birimlerin bulunduğu lokasyonlarda bu değer dördün altına kadar düşebilmekte ve dolayısıyla asidik bir ortam oluşturarak bozunmanın çok hızlı bir şekilde AMD oluşturmaya yönelik başlamasına neden olmaktadır.

Dursun ve Yılmaz (1991) Murgul Damar ocağında yoğun şekilde hidrotermal alterasyona uğrayan dasitik tüf ve breşler içerisinde silişleşme, killeşme ve kloritleşme gibi bozunma ve alterasyon ürünlerin bulunduğunu belirtmişlerdir. Cevherleşmenin gerçekleştiği bu tüf birimlerinde killeşmenin kayalarda bulunan feldspat mineralinin aşağıda verilen denklemlere uygun olarak bozunmasından ileri geldiği düşünülmektedir. Yüksek akış hızında Eşitlik 2.2’de verilen reaksiyon gerçekleşirken, düşük akış hızı ve H_4SiO_4 oranındaki artışta ise Eşitlik 2.3’te verilen kimyasal tepkimeler söz konusudur.



kimyasal bileşim ve mineralojiye sahip bir kayacın tropik iklimdeki kimyasal ve fiziksel bozunma süreci, kurak ve sıcak iklimlerdeki bozunma türünden ve hızından farklılık gösterir. Benzer şekilde, farklı litolojiye sahip kayaların bozunmaları ve bozunma dereceleri de aynı ortam koşullarında farklıdır.

Genel olarak kaya malzemelerinde iki çeşit etkin bozunma süreci etkili olmaktadır. Bunlardan biri kayacın kimyasal ve mineralojik yapısı değişmeden tanelerin ayrılması sürecidir ve fiziksel bozunma olarak tanımlanır. Diğeri ise, kayaç minerallerinin duraylı veya duraysız ikincil mineral ürünlerine ayrışması süreci olarak tanımlanan kimyasal bozunmadır (Fookes et al., 1988). Fiziksel ve kimyasal bozunma süreçleri genellikle beraber gerçekleşir. Bunlardan biri veya her ikisi de kayaç bozunmasında etkin olabilir. Fiziksel bozunma ile kayaç parçalanır, ufalanır, ikincil çatlaklar ve süreksizlikler yoğunlaşır. Kimyasal bozunma, özellikle fiziksel bozunma sonucu parçalanmış kayacın çatlakları ve süreksizlikleri boyunca gerçekleşir.

2.6.2.1 Fiziksel bozunma

Fiziksel bozunma kayaların herhangi bir kimyasal değişikliğe uğramaksızın, yüzeysel etkilerle küçük parçalara ayrılması ile gerçekleşir (Carrol, 1970). Kayaçlar mekanik olarak parçalanır, çatlaklar ve süreksizlikler yoğunlaşır. Fiziksel bozunmada temel faktör gerilimdir. Gerilim değişimi söz konusu olduğunda, kayaçlar bu değişikliğe uyum sağlamak için parçalanarak bozunurlar. Bazı fiziksel bozunma süreçlerinden kaynaklanan gerilim değerleri Çizelge 2.7’de verilmiştir. Yük kalkması (erozyon vb.), tektonik süreçler, ıslanma-kuruma, donma-çözünme, tuz kristalleşmesi, bitki kökleri, yeni kristal oluşumu ve sıcaklık değişimleri, fiziksel bozunmayı oluşturan başlıca etkenler olarak sayılabilir. Söz konusu bu fiziksel bozunma süreçlerine aşağıda kısaca değinilmiştir. Fiziksel bozunma; kütsel gevşeme, eklemlerin açılması, süreksizliklerin sayısındaki artış, fiziksel parçalanma ve ufalanma olarak gelişir. Fiziksel bozunma sonunda; hacim artışı, yüzey alan büyümesi, tane boyu küçülmesi görülür (Anon, 1995). Bu sürece etki eden parametreler aşağıda sırasıyla verilmiştir.

Çizelge 2.7 Fiziksel ayrışma süreçlerinin kayalara uyguladıkları gerilmeler (Ollier, 1984).

Fiziksel Ayrışma Süreçleri	Uygulanan Gerilme (MPa)
Donma (Max.-20°C’de)	200
Tuzların Kristallenmesi	2-20
Tuzların Hidratasyonu	100
Killerin Hacim Artışı	2

i) *Yük kalkması:* Erozyon, buzul erimeleri ve heyelan gibi süreçlerden dolayı kayaç üzerindeki yükün kalkması, süreksizliklerin açılmasına ve yeni eklemlerin oluşmasına neden olur. Yük kalkması sonucu gelişen süreksizlikler genellikle yeni oluşan topografyaya paralel olur ve yüzeyden derinlere doğru azalım gösterir. Ayrıca dik ve eğimli çatlaklar da kütleli gevşeme sonucu oluşabilir. Mekanik süreksizliklerin açılmasının veya oluşmasının su sızmalarının artmasını sağlamakta ve dolayısıyla bozunmanın ilerlediğini göstermektedir. Dolayısıyla daha önce yüksek gerilim altında kalan kayaçlarda erozyon sonucunda gerilim azalmasıyla orantılı olarak da bozunma derecesi yükselmektedir.

ii) *Tektonik süreçler:* Çeşitli tektonik faaliyetler sonucu kayaçlarda belli bir zon boyunca çatlaklar, parçalanmalar ve ufalamalar gelişir. Bu da kayaç içindeki süreksizliklerin yüzey alanlarının artmasına neden olur. Fay zonları boyunca mekanik olarak parçalanmış, ufalanan kayaçlar, su, hava ve benzeri faktörlerin etkisi nedeniyle daha hızlı kimyasal ve/veya fiziksel bozunmaya uğrarlar.

iii) *Donma – çözünme:* Eğer kayaçta bulunan süreksizliklerin arası su ile dolarsa ve sıcaklık 0°C ' nin altına düşerse, suyun hacminde %9 kadar bir artış meydana gelir. Bu yüzden süreksizlik yüzeylerine etkiyen çok büyük bir basınç artışı oluşur. Donan suyun erimesiyle ortamda bulunan basınç ortadan kalkmış olur. Bu şekilde uzun zaman tekrarlanan donma-çözünme süreçleri kayaçların parçalanmasına, ufalanmasına ve eğimli bölgelerde kaya düşmelerine neden olur. Donma-çözünme süreci yüksek dağlarda ve sıcaklık farklılıklarının çok değişken olduğu bölgelerde önemlidir. Donma-çözünme sürecinin etkisiyle herhangi bir kayaçta meydana gelen bozunma, o kayacın gözenekliliğine, geçirirliliğine ve eklemlerinin sıklığına bağlıdır.

iv) *Yeni kristallerin oluşumu:* Yağış suları veya diğer sular, kayaçta önceden oluşmuş olan süreksizlikler ve boşluklar boyunca süzülürler. Süzülme sırasında kayaçta bulunan bazı mineralleri eriterek bünyelerine alırlar. Daha sonra bu sular derinlere doğru hareket eder, Derinlere doğru basınç ve sıcaklık arttığı için bu sular buharlaşır ve içerdikleri mineral konsantrasyonu artar. Suyun kimyasına bağlı olarak çatlaklar boyunca kristal oluşumu meydana gelebilir. Kristalleşme sonucu, süreksizlik duvarlarını oluşturan kayaca bir basınç uygulanır. Eğer uygulanan basınç kayacın dayanımından fazla ise kayacı çatlatır ve fiziksel bozunmaya uğramasına neden olur.

v) *Bitkilerinin Büyümesi:* Bitki kökleri büyüme sonucu eklem ve çatlaklar içine sokulurlar ve çatlak çeperlerinde basınç oluşturarak genişlemelerini sağlar. Dolayısıyla hem kaya kütlelerinin parçalanmasına, hem de kimyasal bozunma için suyun kayacın içine doğru

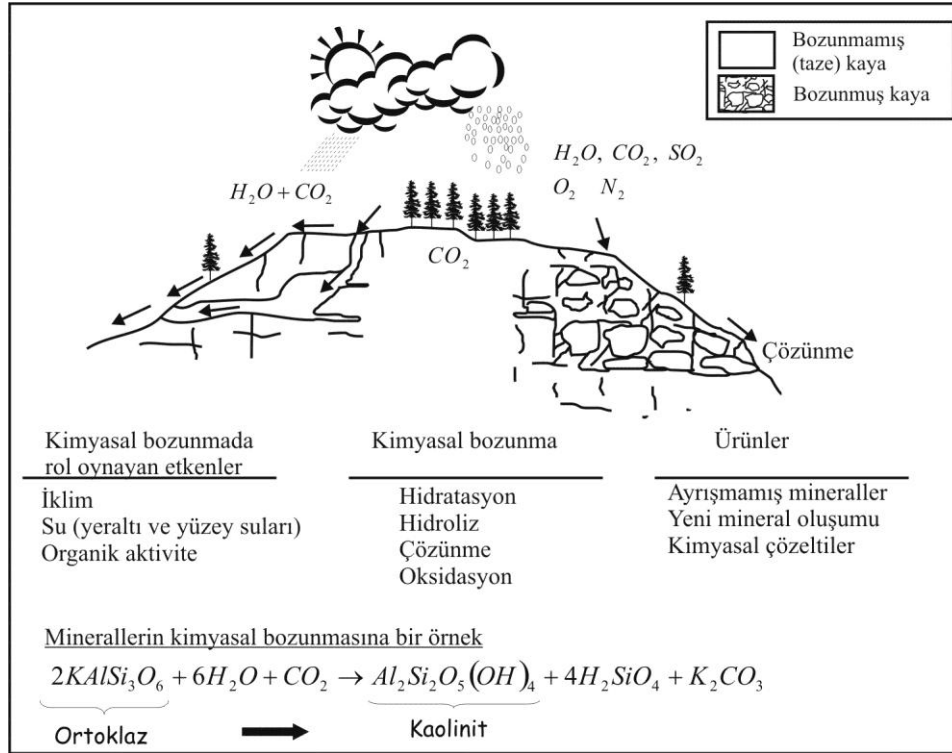
ilerlemesini sağlar. Ayrıca organik asitlerin gelişmesine olanak sağlayarak, kayaçların bozunmaya uğramasına neden olur.

vi) *Sıcaklık değişimi*: Su dışında doğada mevcut olan diğer malzemeler sıcaklık artmasıyla genişirken sıcaklığın düşmesiyle ise büzülmeye başlarlar. Isınma-soğuma sürecinin uzun sürelerde devam etmesi ve tekrarlanması sonucunda kayaçlarda çatlaklar yoğunlaşır ve kayaçlar parçalanıp ufalanırlar.

2.6.2.2 Kimyasal bozunma

Kimyasal bozunma, kayaçları oluşturan minerallerin kimyasal olaylar sonucunda ikincil minerallere dönüşmesi ve kayaç mineralojisinin değişmesi sürecidir. Kimyasal bozunmada en etkin faktörler; yağış suları, oksijen, karbondioksit ve organik asitler şeklinde sıralanılabilir (Şekil 2.5). Kimyasal bozunma süreci özellikle suyun varlığına bağlıdır. Ortamdaki suyun varlığı kadar, miktarı da bozunmanın şiddeti üzerinde etkilidir. Kimyasal bozunma süreçleri nemli ortamlarda ve alçak yükseltilerde daha hızlı gelişebilmektedir (Anon, 1995). Ayrıca herhangi bir kayacın kimyasal bozunmaya yatkınlığı; o kayacın mineralojik bileşimi, süreksizliklerin varlığı ve sıklığı, tane boyu, gözeneklilik ve geçirimsizliği ile yakından ilişkilidir. Minerallerin kimyasal bozunma süreçlerine vermiş oldukları tepkiler farklılık göstermektedir. Kayaç oluşturan minerallerden kuvars genellikle değişime uğramaması ve biyotit dilinim yüzeyleri boyunca renk değişiminin olması bu duruma örnek gösterilebilir. Serbest kalan demir oksit kayacın kahverengiye boyanmasına neden olur. Biyotit, bozunmanın ilk aşamalarında klorite ve diğer kil minerallerine dönüşür (Arıkan, 2002).

Doğada dış etkenler ve hidrotermal alterasyon olmak üzere iki ayrı kimyasal bozunma şekli gözlenmektedir. Dış etkenler; yüzey suları ve kayacın dayanımına bağlı olarak yüzeye yakın kısımlarda oluşan kimyasal bozunmadır. Farklı derinliklerde gerçekleşen ve magmatik faaliyetler sonucu derinlerde oluşan hidrotermal alterasyon ise ultrabazik kayaçların serpantinleşmesi, andezitlerin propilitleşmesi gibi olaylar bu sürece örnek olarak verilebilir. Alterasyon, çok büyük kayaç kütlelerini etkiler ve yüzeye yaklaştıkça etkisi azalır, biter veya görünmeyebilir. Kimyasal bozunma; kayaçlar üzerinde oksidasyon, hidrasyon, hidroliz ve çözünme süreçleri şeklinde gelişmektedir.



Şekil 2.5 Kimyasal bozunma süreçleri (Anon, 1995’den değiştirilerek alınmıştır).

i) *Oksidasyon*: Oksidasyon, oksijenin kayaç oluşturan bazı minerallere etkisiyle meydana gelen bir kimyasal bozunma sürecidir. Oksijen havada bulunabildiği gibi, sularda da çözülmüş halde bulunur. Oksidasyon, egzotermik kimyasal bir reaksiyon olup, bu süreçle oluşan kimyasal bozunma olivin, piroksen, hornblend ve biyotit gibi koyu renkli mineraller üzerinde daha etkili olurlar. Oksitlenmeye örnek olarak demir ve demir mineralleri verilebilir. İki değerlikli demir (Fe^{2+}), oksitlenme sonucu Fe^{3+} haline dönüşür ve hidroksil (OH^-) iyonlarını toplayarak demir hidroksiti ($Fe(OH)_3$) oluşturur. Pirit ve markazit, oksijen ve suyun etkisiyle önce demir sulfata ve sonra da limonite dönüşür. Piritin oksitlenme süreci sonucu limonitle birlikte sülfürik asit (H_2SO_4) ve dolayısıyla AMD oluşumu ile sonuçlanır. Pirit gibi minerallerin oksitlenmeleri sonucu oluşan sülfürik asit gibi asitli çözeltiler bazı minerallerin ortamdan uzaklaşmasına, dolayısıyla kayacın gözenekliliğin artmasına neden olurlar (Anon, 1995). Sülfür mineralleri bakımından zengin cevherleşmelerde, çözülmüş halde oksijen ve karbondioksit içeren suların etkisinde kalarak, yer altı su tablasının üst kesiminde oksit, hidroksit ve karbonat bileşimli cevher minerallerine dönüşmektedir. Aşağıda Eşitlik 2.6’da verilen kimyasal reaksiyonda oksijenin demirle birleşmesi sonucunda demir oksit meydana getirmesi oksidasyona bir örnek olarak verilebilir.



ii) *Hidratasyon*: Hidratasyon, minerallerin bünyelerine su alarak yeni minerallere dönüşmesi sürecidir. Anhidritin su alarak jipse dönüşmesi bu kimyasal bozunma türüne örnek olarak verilebilir. Bu kimyasal bozunma sonucu, yaklaşık 60% oranında bir hacimsel artış söz konusudur. Aşağıda Eşitlik 2.7 ve 2.8'deki verilen kimyasal tepkimeler bu kimyasal bozunma türüne örnek olarak verilmiştir.

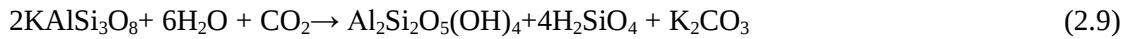


(Anhidrit) (Jips)



(limonit)

iii) *Hidroliz*: Suyun H^+ ve OH^- iyonları ile kayaç ve minerallerin bileşiminde bulunan elementler ve iyonlar arasındaki reaksiyondur. Suyun iyonlarına ayrılması, sıcaklığa, karbondioksit miktarına ve oksitlere bağlı olarak artar. Yüksek sıcaklıkta, asidik özellikteki su ile temas halinde bulunan silikatlı kayaçlardaki minerallere H^+ iyonlarının sızması sonucunda minerallerin yapısı bozulur. Feldispatlar kimyasal bozunması sonucu Eşitlik 2.9'da belirtildiği şekilde, kil minerallerine dönüşümü bu tür kimyasal bozunmaya tipik örnek oluşturmaktadır. Hidrolize uğrayan feldispat minerallerinin yayılması sonucu kayaç hacimsel olarak artış gösterir. Kimyasal bozunma sonucunda kayaçların hacmi, genellikle % 5-30 oranında artar.



Ortoklaz

Kaolinit

Hidroliz yoluyla kayaçların ayrışması için kayacın zaman zaman su ile doymuş olması yeterlidir. Çünkü hidroliz hareketi bir suyun daha önce dağılmış olan maddeleri uzaklaştırması sonucu ile etkisini gösterir (Arıkan, 2002). Hidrolizin önemli etkisi üç süreçte görülebilir. Birincisi çok yağışlı yerlerde SiO_2 süzülerek ortamdan uzaklaşması olup, buna da desilisifikasyon denir. İkincisi, nemli bölgelerde Ca, Mg, K, Na hidrolizin etkisiyle yıkanır ve ortamdan uzaklaşan mineraller nedeniyle (dealkalizasyon) asitli topraklar meydana gelir. Üçüncüsü ise, toprağın temellini de oluşturan killer meydana gelir (Arıkan, 2002).

iv) *Çözünme*: Kayaçların ve minerallerin çözünmesi de kimyasal bozunmanın bir türüdür. Suyun kayaçları çözebilirliği; suyun saflığına, sıcaklığına ve reaksiyon süresine

bağlıdır. Yağış ve yüzey suları, atmosfer tarafından zenginleştirilmiş oksijen, karbondioksit ve diğer maddeleri içerir. Bu sular yeraltına süzülürken topraktaki organik maddenin bozuşmasına neden olurlar ve organik maddelerden oluşan karbondioksiti absorbe ederek daha da zenginleşirler. Mineraller suda aynı derecede çözünme özelliğine sahip değildirler. Kaya tuzu, jips gibi minerallerden oluşan evaporitler ile kireçtaşı vb. karbonatlı kayalar suda çok kolay çözünmelerine karşın, andezit veya bunlara benzeyen magmatik kayalar çözünmezler. Çözünme süreci sonucunda, karbonatlı kayalarda oluşan erime boşlukları gibi, kayalarda gözenekli veya büyük boşluklu yapılar oluşur. Meydana gelen bu boşluklar, mühendislik projelerinde çözümleri büyük yatırımlara neden olurlar.

2.6.3 Bozunmayı denetleyen başlıca faktörler

Bozunmanın hızı ve derecesi; kayacın litolojisinin yanısıra, içerdiği süreksizlikler, yeraltı ve yerüstü suları, iklim, bitki örtüsü, topoğrafya ve zamana bağlı olarak değişim gösterir (Eşitlik 2.10).

$$B = f(TB, İ, T, KÖ, Z) \quad (2.10)$$

Burada; TB: tane büyüklüğü, İ: iklim, T: topoğrafya, KÖ: kayaç özellikleri ve Z: zamanı göstermektedir. Bu parametrelerin önem dereceleri, kısa mesafelerde değişen ortam şartlarına göre farklılıklar göstermektedir. Bozunmada bu faktörler, direnç azalması, boşlukların artmasına olanak sağlar. Bozunma sürecinin bir fonksiyonu olan bu parametreler aşağıda açıklanmıştır.

2.6.3.1 Tane büyüklüğü

Tane büyüklüğü, bozunmaya maruz kalacak yüzey alanını göstermesi bakımından bozunma süreçleri için önem taşımaktadır. Tane boyutu küçüldükçe yüzey alanı artar ve yüzey alanı arttıkça bozunmaya maruz kalacak alanı artar ve bu durum bozunma etkisinin artması ile sonuçlanmaktadır. Islanma-kuruma döngüleri gibi hızlandırıcı etkenler bozunma hızını yüzey alanı büyük olan malzemelerde daha yoğun miktarlarda ve kısa sürede gerçekleştirmektedir. Tane boyutu, kayaların bozunmasını denetleyen önemli bir faktördür. Bozunmanın hızı ince taneli kayalara göre, aynı mineralojik yapıya sahip iri taneli kayalarda daha azdır.

2.6.3.2 İklim

İklimsel koşullar, özellikle sıcaklık ve yağış, bozunmayı ve bozunma ürünlerini doğrudan etkiler (Fookes, et al., 1988). Kimyasal bozunmanın, kaya kütlesinin üzerinde etkili

olabilmesi için yağışın bol olması gerekir. Bozunma, sıcak ve sulu ortamlarda daha şiddetli olurken, sıcaklık ve yağışın düşüşü ile bozunmanın şiddetinde azalma gözlenmektedir. Dolayısıyla aynı kimyasal ve mineralojik özelliğe sahip bir kayacın nemli ve kurak iklimlerdeki bozunma dereceleri arasında farklılık olacaktır. Sanders ve Fookes (1970), bozunma süreçlerine ve bozunma ürünlerinin mühendislik davranışına göre dört değişik iklim kuşağı tanımlamışlardır. Bunlar; buzul ötesi, ılıman, kurak ve nemli tropikal zonlardır. Buzul ötesi ve kurak zonlarda fiziksel parçalanma ve kimyasal bozunma birlikte gelişir.

Bozunmanın türü ve şiddeti ile değişik iklim koşulları arasında bağlantı kurulabilir. Bazı iklimler değişik bozunma süreçleri için uygun ortamları oluştururken, bazıları bu süreçlerin oluşumunu sınırlar. Peltier (1950) yıllık yağış, ve sıcaklığın fiziksel ve kimyasal bozunmaya etkisini incelemiştir. Bu araştırmacı, iklim koşullarını morfojenik bölgeler halinde sınıflandırmış ve farklı iklimsel rejimlerdeki etkin bozunma süreçlerini belirtmiştir. Araştırmacının önerdiği yağış ve sıcaklık parametrelerine göre hazırlanmış iki diyagram karşılaştırıldığında, bozunma türlerinin değişik yağış, ve sıcaklık koşullarıyla olan ilişkisi ortaya çıkmaktadır. Peltier (1950) tarafından da belirtildiği gibi, sıcak ve nemli iklimlerde bozunma derecesi daha yüksek olurken, kuru ve soğuk iklimlerde ise daha düşük olmaktadır.

2.6.3.3 Topoğrafya

Towsend (1985) tarafından da belirtildiği gibi, topoğrafya, genellikle bölgedeki yüzey sularının akış hızını ve buna bağlı olarak yeraltısu seviyesini, drenajını, erozyonu ve yerel iklimi denetlemesi nedeniyle kayaçların bozunmasını önemli ölçüde etkiler. Dik yamaçlarda yüzey sularının akış hızı yüksek olacağı için, kaya kütlelerinden süzülen su miktarı da çok daha az olacaktır. Ayrıca erozyonun hızı da oldukça yüksek olduğundan, bu tür yamaçlarda fiziksel anlamda ufalanma kimyasal bozunmadan daha etkilidir. Bunun tersine, düzlük alanlarda yüzey sularının akış hızı ve erozyon oldukça azdır. Kaya kütlelerine süzülen yüzey sularının miktarı ise oldukça fazla olacağından, düzlük alanlarda kimyasal bozunma fiziksel bozunmadan daha etkilidir (Flint and Skinner, 1974).

Beavis (1985)'e göre kayaçların bozunması ile topoğrafya arasındaki ilişki konusunda güneydoğu Avustralya ve Hong Kong'daki granitik kütleler örnek verilebilir. Bu bölgelerdeki platolarda ve düz alanlarda bozunma sonucunda oluşan malzeme oldukça kalın ve yaygın olup, nispeten dik olan akarsu vadilerinde bozunmanın sık ve yaygın olmadığı belirtilmektedir.

2.6.3.4 Kaya kütlesinin ve kaya malzemesinin özellikleri

Kayaçların veya minerallerin oluşum koşullarıyla, bulundukları koşullar arasındaki fark ne kadar büyük olursa, o kadar hızlı bir bozunma gerçekleşir. Mağmadan ilk önce kristalleşen mineraller ve bu minerallerin oluşturduğu kayaçlar yüzey koşullarında çok çabuk, mağmadan en son kristalleşen mineraller ve bu minerallerin oluşturduğu kayaçlar ise daha yavaş, bozunmaya uğramaktadır. Bazı mineraller, diğer minerallere nazaran çözünmeye ve kimyasal bozunmaya karşı daha fazla direnç gösterirler (Price, 1995).

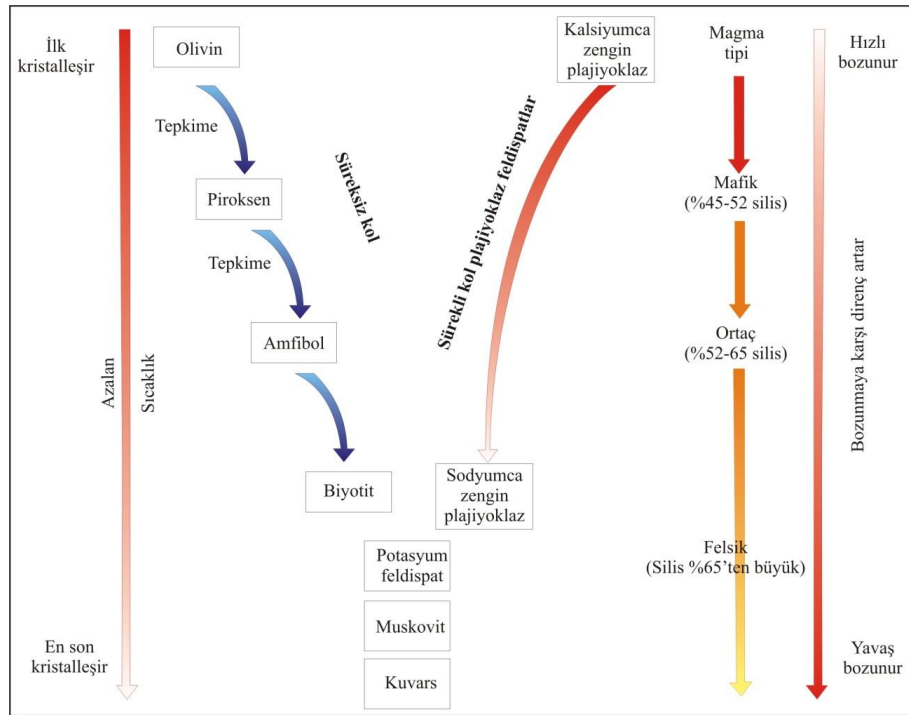
Parajenez oluşturan veya oluşturmayan mineral toplulukları üzerinde yapılan gözlemlere ve deneysel çalışmalardan elde edilen verilere göre, bir silikat eriyiğindeki kristalleşmenin Şekil 2.6'da belirtilen sıraya göre gelişmektedir (Shelby, 1993). Bowen reaksiyon serisine (Şekil 2.6) göre; olivinden kuvarsa doğru gidildikçe minerallerin fiziksel ve kimyasal bozunmaya karşı dirençleri artmakta, dolayısıyla bozunmanın derecesi değişmektedir.

Süreksizlik sıklığı arttığı zaman, süreksizlikler boyunca derinlere doğru süzülen suyun miktarı, dolayısıyla suyun neden olduğu kimyasal bozunmanın hızı ve derecesi artar. Ayrıca, süreksizlik sıklığındaki artış dayanımı da etkileyeceğinden, kayacın fiziksel bozunmaya karşı olan direnci de azalır (Arıkan, 2002). Kayaçların parçalanıp kırıklı bir yapı kazanmasına neden olan faylar, malzemenin yüzey alanını artırdıkları gibi, suyun oldukça derinlere süzülmesine de olanak sağlar. Parçalanmış malzemeleri içeren fay zonları boyunca bozunmanın oldukça hızlı geliştiği bilinmektedir. Dolayısıyla, yüzeyde görülen kimyasal bozunmanın derinlerde de gerçekleşmesine yol açar (Arıkan, 2002). Faylar ayrıca, hidrotermal alterasyona neden olan sıvıların yüzeye çıkmasına da katkıda bulunurlar. Kaya kütlesine ait özelliklerin yanı sıra, kaya malzemesine ait özellikler de bozunmanın hızını ve şiddetini etkiler. Tanelerin birbiriyle temas ettikleri dokanak yüzeyleri, dilinim yüzeyleri ve mikro çatlaklar suyun malzemenin iç kesimlerine süzülmesine, dolayısıyla bozunmasına neden olurlar (Arıkan, 2002). Tanelerin birbirlerine sıkıca kenetlendiği veya çimento ile bağlandığı kayaçlarda suyun veya diğer çözeltilerin bünyeye sızması çok güçtür. Yüksek poroziteye ve geçirgenliğe sahip olan kayaçlar bozunmaya karşı oldukça duyarlıdırlar (Arıkan, 2002). Bozunma sonucunda yumuşak ve yüksek geçirgenliğe sahip kayaçlarda IV sınıf (oldukça bozunmuş) olarak tanımlanan bozunma dereceleri gözlenirken, bazalt gibi düşük geçirgenliğe sahip kayaçlarda III Sınıf (orta derecede bozunmuş) bozunma dereceleriyle karşılaşılabilmektedir (Fookes, et al., 1971; Barton and Choubey, 1977; Arıkan, 2002). Çeşitli minerallerin veya kayaçların oluştukları koşullar ile günümüz etki altında bulundukları koşullar farklıdır. Bu farkın fazla oluşu, bozunmanın da hızlı şekilde gerçekleşebileceğini gösterir. Yüksek sıcaklıklarda oluşmuş mineraller veya kayaçlar,

daha düşük sıcaklıklarda oluşmuş mineraller veya kayalara göre yüzey koşullarında daha hızlı bozunmaya uğrarlar (Arıkan, 2002).

2.6.3.5 Zaman

Zaman, bozunmanın derinliği ve derecesi üzerinde etkili olan bir faktördür (Goodman, 1976). Zamana bağlı olarak kayacın bozunma derecesi artar. Bozunmanın gerçekleşmesi için gerekli olan zaman dilimi birçok faktörle irdelenir ki; topoğrafyaya, drenaja, ana kayaya, iklime ve bitki örtüsüne bağlı olarak değişir. Kayaç oluşturan birincil minerallerin bozunması ve bozunma ürünlerinin toprak zemine dönüşmeleri son derece yavaş gelişen bir süreçtir.



Şekil 2.6 Bowen reaksiyon serisi (Shelby, 1993'den).

3. ARAZİ ÇALIŞMASI

3.1 Çalışma Sahası

Bu çalışmada hedeflenen amaçları gerçekleştirmek için Artvin Murgul Eti Bakır A.Ş.'ne ait Damar açık ocak sahası seçilmiştir. Sülfürlü minerallerden oluşan cevher yatağını içeren ocakta yapılan arazi çalışmaları sonucunda, arazi karakteristiğini ortaya çıkarmak için deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere örnekler alınmıştır.

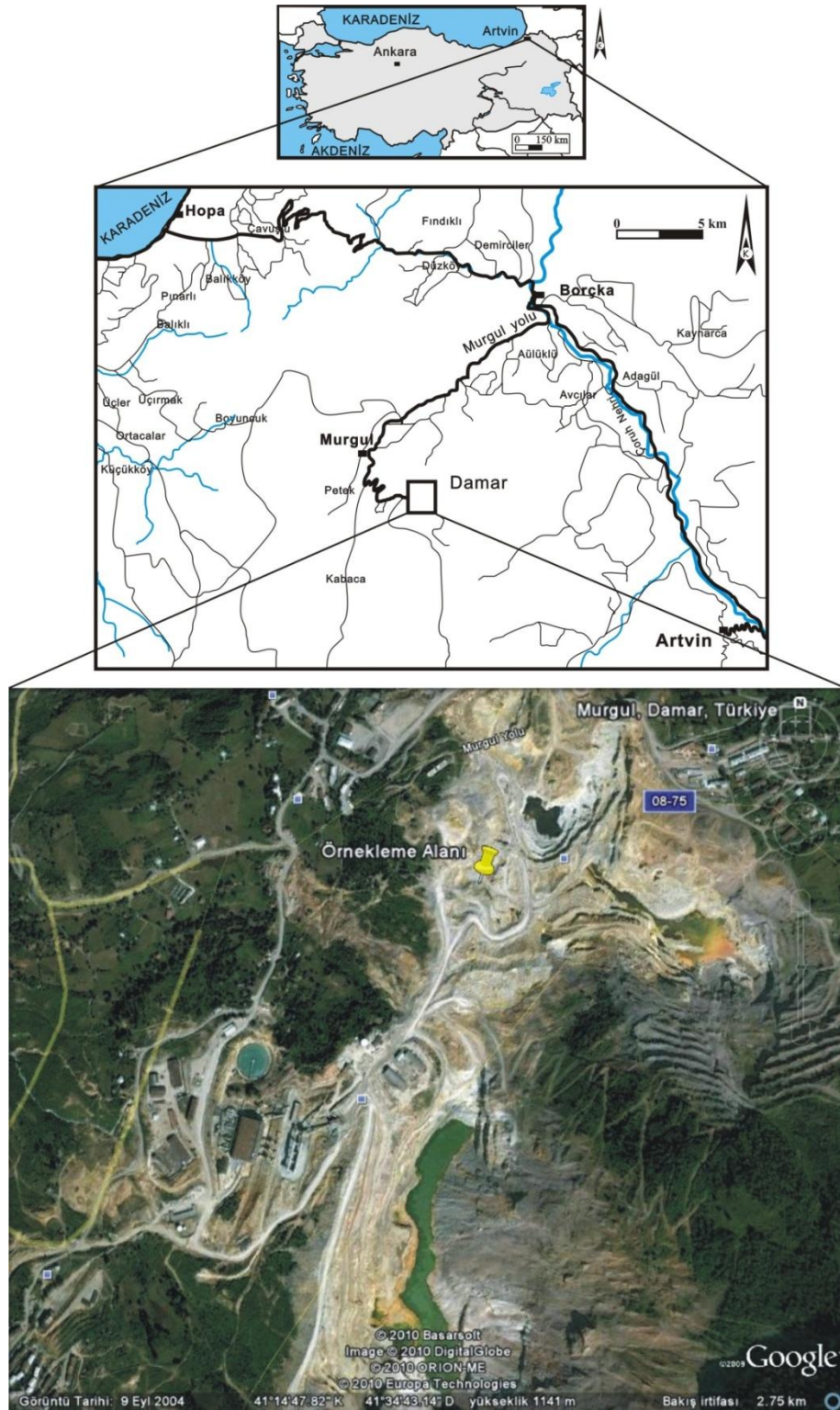
Özellikle Cu, Ag, Au, Pb, Zn, Fe sülfür mineralleri bakımında zengin olan çalışma sahası daha önce Kahrer (1958) tarafından incelenmiş ve bu araştırmacı tarafından yapılan çalışmada, cevher kütlesinin dik kesitli mantar şeklinde, uzunluğu 700 m, genişliği 500 m olan elipsoit biçiminde olduğu belirtilmiştir. Kahrer (1958) kalınlığı sahanın orta kesiminde yaklaşık 100 m derinlikte maden yatağının %2 Cu tenörlü ve toplam rezerv miktarının da 16 milyon ton olduğunu tespit etmiştir. Kahrer (1958), blister cevherin analizinde 125 g/t gümüş (Ag) ve 8-12 g/t altın (Au) tespit etmiştir.

Damar sahasının M.Ö. 2000 yıllarında işletildiği bilinmektedir. Bizans ve Cenevizliler zamanında galerilerle işletme yapılmıştır. Saha Osmanlılar zamanında 1898 yılından itibaren I.Dünya savaşı sonuna kadar da işletilmiştir. 1938 yılında Etibank tarafından tekrar üretime başlanmıştır. 1971 tarihinden itibaren Karadeniz Bakır İşletmeleri bünyesinde çalışmalarına devam eden açık işletme 2006 yılından itibaren Eti Bakır A.Ş.'ye devredilmiştir (www.etibakir.com.tr, 2011).

1945 yılından beri modern madencilik yöntemleriyle açık ocak işletme yöntemiyle maden üretimi yapılan sahada, yılda yaklaşık 3 milyon ton ham bakır cevheri (25 bin ton konsantre bakır) üretilmektedir. Ancak, sahada bugün itibarı ile çok düşük tenörlü (% 0.7 Cu ve ortalama 1-4 g/t altın içeren) yaklaşık 8 milyon ton cevher rezervi kalmıştır (www.etibakir.com.tr, 2011).

3.1.1 Coğrafi konum

Damar ocağı Doğu Karadeniz Bölgesi'nde Artvin iline bağlı Murgul ilçesinin sınırları içerisinde bulunmaktadır (Şekil 3.1). 1945 yılından bu yana açık ocak yöntemiyle yapılan cevher üretimi nedeniyle, bölgenin orijinal topografyası değişmiş durumdadır. Çalışma alanındaki en düşük kot 1080 m olup, en önemli yükselti 1696 m kottaki Karatepe'dir. Murgul ilçesi yerleşim alanı ise 500 m kotunda yer almaktadır.



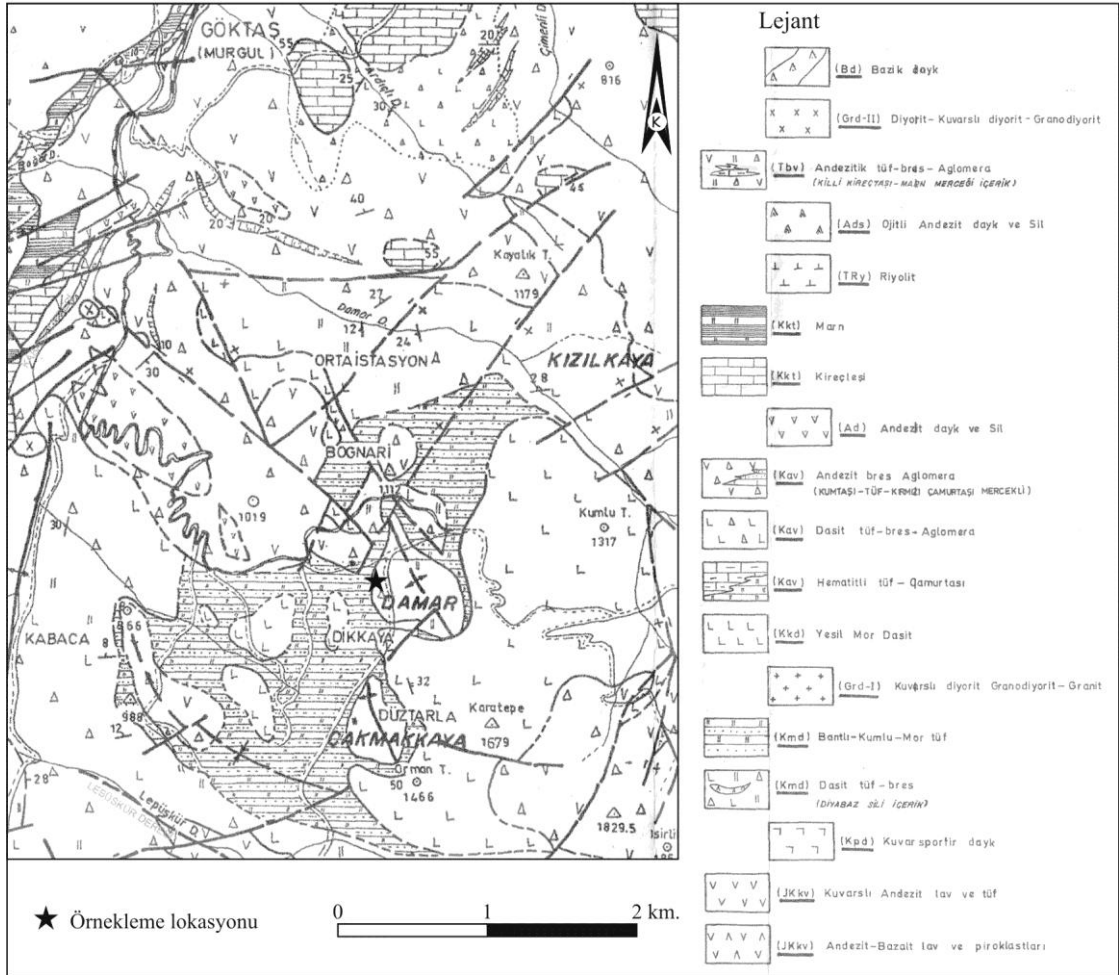
Şekil 3.1 Çalışma alanına ait yer bulduru haritası (çalışma bölgesinin yakın uydu görüntüsü 2011 tarihinde <http://maps.google.com>'dan yararlanılarak hazırlanmıştır).

Çalışma alanına en yakın akarsu kaynakları kuzeyde Kabaca deresi, batıda Lepiskür deresi, doğuda Aduca deresidir. Ayrıca çalışma alanı içinde birçok yerde düşük debili su kaynakları bulunmaktadır (Arıkan, 2002). Ulaşımın karayolu ile sağlandığı çalışma alanı Murgul'a 9.6 km, Hopa'ya 67 km, Ankara'ya 974 km uzaklıktadır. Damarköy beldesi 5000 nüfuslu olup, işletmeye en yakın yerleşim yeridir.

3.1.2 Jeolojik özellikler

Çalışma alanının içinde bulunduğu bölge volkanik faaliyetlerin etkisinde kalan bir jeolojik tarihe sahiptir. Çalışma alanının jeoloji haritası Şekil 3.2'de verilmiş olup, Damar işletmelerinin genelleştirilmiş stratigrafik dikme kesiti ise Şekil 3.3'te yer almaktadır. Kayaçların büyük bir bölümü asidik ve bazik karakterli olup, sıklıkla denizel volkanizma sonucunda oluşmuşlardır. İnceleme alanında yer alan maden sahası asidik volkanik kayaçlara bağlı olarak gelişmiştir. Damar açık ocağında karşılaşılan kayaçlar üzerinde hidrotermal alterasyonun etkileri oldukça fazladır (Dursun ve Yılmaz, 1991). Alterasyon, yatay ve düşey yönde yönelme gösterir. İşletmede, tabandan üste doğru dasitik tüf ve breşler (cevherli seviye), dasitik tüfler, mor tüfler ve dasitler yer alır. Bu birimlerin özelliklerine sırasıyla aşağıda yer verilmiştir. Murgul formasyonu olarak adlandırılan formasyonun üyesi olan dasitik tüf ve breşler Geç Kretase yaşlıdır. Dursun ve Yılmaz (1991) cevherleşmenin, bu formasyon içerisinde gelişmiş olduğunu belirtmişlerdir. Bu araştırmacılar, yoğun şekilde hidrotermal alterasyona uğrayan dasitik tüf ve breşler içerisinde silişleşme, killeşme ve kloritleşmenin gerçekleştiğini vurgulamışlardır.

Murgul formasyonunun diğer bir üyesi olan dasitik tüfler breşlerin üzerinde uyumlu olarak bulunur. Alttaki cevherli seviyeyi bir örtü şeklinde örten bu üyenin üzerinde gelişen hidrotermal alterasyonun etkileri serisitleşme, kloritleşme ve killeşme (illitleşme) şeklinde görülmektedir. Mor tüfler, dasitik tüfler ile dasitler arasında yer yer merccekler şeklinde bulunur. Murgul formasyonunun diğer bir üyesi olan bu birim, Geç Kretase yaşlıdır (Dursun ve Yılmaz, 1991). Kalınlıkları en fazla 5 m olan mor tüfler, renklerinden dolayı kolayca ayırt edilebilmektedir. Karatepe dasiti olarak isimlendirilen dasitler, soğuma sonucu oluşmuş altıgen şekilli sütunsal yapılara sahiptir. Bu kayaçlar hematitleşme nedeniyle mor renklidir. Cevherleşmeden uzaklaştıkça renkleri yeşile dönen dasitler, dasitik tüfler ile mor tüflerin üzerinde uyumlu olarak bulunur. Geç Kretase yaşlı olan dasitlerin kalınlığı yaklaşık 700 m'dir. Hidrotermal alterasyon sonucunda bu kayaçlarda genellikle hematitleşme, kloritleşme ve killeşme meydana gelmiştir (Dursun ve Yılmaz, 1991).



Şekil 3.2 Damar işletmesi ve yakın çevresinin jeoloji haritası (MTA,1991'den düzenlenerek alınmıştır).

ZAMAN	DEVİR	DEVRE	Formasyon	Kalınlık	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
M E S O Z O Y İ K	K R E T A S E	Üst Kretase	Karatepe	700 m		Porfiri Dasit Kolonsal soğuma çatlakları içeren, morumsu-bordo renkli hematitli, yer yer killeşmiş kayaç Mor tüf Dasitik tüf Kloritleşmiş, serisitleşmiş, killeşmiş (kaolenleşmiş), belirgin foliasyon yapıları içeren kayaç Jips merceği Masif ve ağsal cevherleşme Dasitik tüf-breş Kalkoprit ve çok az galen, çinkoblend cevherleşmesi içeren, silişleşmiş kayaç
			Murgul	5 m		
				30 m		
			Murgul			

Şekil 3.3 Damar işletmelerinin geliştirilmiş ölçeşiz stratigrafik dikme kesiti (Yazıcı ve Doksanbir, 1996).

Geç Kretase yaşlı felsik kayaçlarla ilişkili volkanojenik masif sülfür yatakları, Doğu Pontidler’de yaygın olarak bulunmaktadır (Yazıcı ve Doksanbir, 1996). Damar bölgesindeki en büyük yataklardan biri olan ve günümüzde aralıklı olarak üretime devam eden Murgul (Artvin) masif sülfür yatağı, çevresindeki mafik-felsik volkanitler yoğun olarak hidrotermal alterasyona uğramışlardır. Yazıcı ve Doksanbir (1996)’e göre, yörede, tabanda Jura-Erken Kretase yaşlı bazalt, andezit ve piroklastitleri bulunmaktadır. Bunların üzerine Senoniyen yaşlı felsik volkanitler gelmektedir. Cevherleşme bu volkanitlerin son evrelerinde oluşan yaklaşık 200–250 m kalınlıktaki dasitik piroklastitler içerisinde yerleşmiştir (Yazıcı ve Doksanbir, 1996). Masif sülfür merceğinin örtü kayaçlarını yer yer porfirik dasitler, çamurtaşı-kireçtaşı-kumtaşı-tüf ile başlayan ince bir tortul seri ve jipsli vitrik tüfler oluşturmaktadır. Bunlar Tersiyer yaşlı bazalt ve andezitleri tarafından örtülmüştür (Yazıcı ve Doksanbir, 1996). Dasitik tüf-breşler içerisinde yerleşmiş olan cevher merceği genellikle masif, kısmen ağsal ve saçınımlıdır. Bu maden

yatağında gözlenen önemli cevher mineralleri, kalkopirit, sfalerit, galen, tetrahedrit, bizmut, bizmutit, bornit, dijenit, kovellin, malakit ve azurit şeklinde gözlenmektedir (Yazıcı ve Doksanbir, 1996).

Yörede bulunan volkanitler yoğun olarak hidrotermal alterasyona maruz kalmışlardır. Tabanda bulunan bazalt, andezit ve piroklastitler genelde kloritleşmiş, daha az oranda epidotlaşmış, silisleşmiş ve killeşmiştir (Yazıcı ve Doksanbir, 1996). Cevhersiz dasitlerde serisitleşme ve yer yer silişleşme yaygın olarak görülürken, cevherin ana kayacını oluşturan dasitik tüf-breşler yoğun olarak silisleşmiş, serisitleşmiş ve kloritleşmiştir. Cevherleşmenin merkez kısımlarında silisleşme yoğun olarak gelişmiştir. Özellikle ağsal zon çevresinde, merkezden dışa doğru illitleşme, kloritleşme, simektitleşme-kaolenitleşme şeklinde bir alterasyon zonlanması görülür (Yazıcı ve Doksanbir, 1996). En yaygın görülen kil mineralleri illit, illit/simektit, klorit, simektit ve kaolenittir. Ankerit, dolomit ve daha az oranda kalsit ile temsil edilen karbonatlaşma, albitleşme ve limonitleşme yaygın görülen diğer alterasyonlardır. Cevherin örtü kayaçları hidrotermal alterasyondan daha az oranda etkilenmesine karşın porfirik dasitlerde ve jipsli vitrik tüflerde serisitleşme yaygındır (Yazıcı ve Doksanbir, 1996). Toleyitik-geçiş, kalkalkalen karakterli olan volkanitlerin tüketilmiş okyanus ortası sırtı bazaltına normalize iz element değişimlerine göre volkanitler büyük iyon yarıçaplı litofil elementler (K, Rb ve Ba) bakımından zenginleşmiş, Sr ve Ti bakımından ise tüketilmişlerdir. Volkanitlerin kondrite normalize nadir toprak element (NTE) dağılımları ağır nadir toprak elementler bakımında zenginleşme ile karakterize edilir (Abdioğlu vd., 2009). Murgul masif sülfür yatağı taban ve örtü kayaçlarında, cevhere yaklaştıkça Na'ca tüketilme, K ve Si'de zenginleşme, alterasyon ve klorit-karbonat-pirit artışlar belirgindir (Abdioğlu vd., 2009).

Volkanik breş arakatıklarına ve nadir kuvarsporfir sokulumlarına sahip iri taneli bir kuvarsporfir-tüf yer almaktadır. Bu kayaçlar şimdiye kadar «cevher ihtiva eden «dasit» veya «dasit I» diye adlandırılmıştır (Buser and Cvetic, 1972). Bazı yerlerde bu formasyonun üst kısmına laminar dokulu, ince taneli bir kuvarsporfir-tüf gelişmiştir. Kuvarsporfir-tüflerin üzerinde transgresif olarak bazaltik aglomeralar, volkanik breşler ve tüfler çökelmiştir. Bunlar sık sık dasit parçaları ve alt kısımda ayrıca granodiyorit çakılları ihtiva etmektedir (Buser and Cvetic, 1972). Bu piroklastik kayaçların içinde bir Üst Senonien mikrofaunası ihtiva eden kireçtaşı blokları görünmektedir. Yukarıya doğru kırmızımsı marnlı bir kireçtaşı horizonu takip etmekte olup, bunun içinde de bir Üst Senonien mikrofaunası bulunmaktadır. Tavanda albit-trakitik aglomeralarla tüfler yer almakta fakat bunlar, artık hiç bir dasit parçası içermemektedir (Buser and Cvetic, 1972). Bu piroklastikler (kalsit damarcıkları ve konkresyonları ihtiva eden)

albit-trakitten oluşan birçok dik filon ve damar katman ile kesilmiştir. Bazaltik ve trakitik piroklastitlerin içinden, bir baştan öbür başa bazalt ve dasit filonları geçmektedir. Şimdiye kadar bu iki aglomera-tüf horizonu «üst bazik seri» veya «split II» diye adlandırılmıştır (Buser and Cvetic, 1972).

Trakitik kayaçların üzerinde ihtiva eden kireçtaşı yataklanmıştır. Yer yer kireçtaşının, trakitik piroklastitleri lateral kenetlenmesi görülmektedir. Kalkerin üzerinde marn yer almakta ve bu marn kalker haline geçebilmektedir. Marn tabakalarının alt kısmında dasitik aglomera ve tüf ara katkıları; üst kısmında ise, riyoilitik aglomeralarla tüfler görülmektedir. Marnın içindeki dasitik aglomeralar, büyük dasit damarlarının adı geçen bazaltik ve trakitik aglomera formasyonları içinden yükselmesi sırasında oluşmuştur. Bu dasitlere şimdiye kadar «dasit II» adı verilmiştir (Buser and Cvetic, 1972). Bu, şimdiye kadar kabul edilenden daha genç yaşlı bir kayadır; Mestrihtiendeki marn sedimentasyonu devresinde oluşmuştur. Marnın tavanında, marn ve tüfit arakatkıları ihtiva eden aglomeralarla, hornblend-ojit-andezitik tüflerin meydana getirdiği kalın bir seri yer almaktadır. Bu serinin alt kısmında riyoilit-püskürük kayaçlar görülmektedir. Hornblend-ojit-andezitik piroklastitler, hornblend ile veya ojit ihtiva eden andezitler ve hornblend-ojit-andezitlerle, kısmen de hornblend-dasitlerle kesilmiştir (Buser and Cvetic, 1972). Dasit intruzyonları esnasında muhtemelen mikrogranodiyorit-plütonları da oluşmuştur. Çalışma alanının biraz doğusunda söz konusu piroklastitlerin içinde Paleosen-Eosen mikrofaunası bulunmuştur. Bu tabakalar tabandaki Mestrihtienin üzerinde erozyonun sebep olduğu diskordansla yer almaktadır. Hemen hemen, şimdiye kadar sözü edilen bütün formasyonların içinde en genç volkanitler olarak bazaltlar görülmektedir (Buser and Cvetic, 1972). Bunlar muhtemelen Pliyosende oluşmuştur. Mevcut taraça çakılları ve alüvyal akarsu tortulları Pleistosen ve Holosene dahil edilebilir. Volkanik kayaçlar çalışma alanında üç magmatik dönemde meydana gelmiştir (Buser and Cvetic, 1972). Her dönem bazik türlerle başlayıp, asitli türlerle sona ermektedir. Split-keratofir-porfir formasyonu birinci magmatik döneme aittir. İkinci magmatik dönem bazaltik piroklastitlerle başlamakta, trakitik piroklastitleri volkanitlere geçmekte, dasit ve riyoilit ile sona ermektedir (Buser and Cvetic, 1972). Üçüncü magmatik dönem hornblend-ojit-piroklastitler ve volkanitlerle başlamakta, fakat hornblend-dasit püskürmeleri ve granodiyorit ile sona ermektedir (Buser and Cvetic, 1972).

Volkanik safhalar için evvelki ve sonraki magmatik dönemler bakımından asitli türlerde görülen bir gecikme karakteristiktir. Böylece ikinci dönemin bazaltik aglomeraların alt kısmında, henüz dasit parçaları görülmektedir. Bunun gibi üçüncü dönemin hornblend-ojit-piroklastitlerinin alt kısmında ikinci magmatik dönemin son safhasının riyoilit püskürmeleri ve püskürük kayaçları tespit edilebilmektedir (Buser and Cvetic, 1972).

Volkanizmanın başlangıcında patlama safhasının ürünleri (aglomeralar, volkanik breşler ve tüfler) görülmektedir; bunları, akraba magmatik kayaların püskürmeleri takip etmektedir (Buser and Cvetic, 1972). Burada kırık tektoniğinin izleri kendini göstermektedir. Uzun bir mesafede (KD-GB ve KB-GD doğrultusunda) uzanan hemen hemen dikey durumdaki kırıklar, K-G veya D-B yönünde uzanan kırık hatlarından daha sıktır (Buser and Cvetic, 1972). Eski dislokasyonlar ekseriya birçok genç hareketle yenilenmiş olup, bunların doğrultu yönünden rekonstrüksiyonu ancak güçlkle mümkündür. Bu sahada yerkabuğu, kırık hatlarının etkisiyle birçok bölüme ayrılmış ve bu bölümler birbirlerinin karşısında değişik miktarlarda çökmüştür. Burada irili ufaklı senklinaller ve antiklinaller de oluşmuştur (Buser and Cvetic, 1972). Murgul-Hopa yöresinde büyükçe bir senklinall, küçük kıvrımlarla belirli bir teknelik (senklinoryum) halini almıştır. Kıvrım eksenleri NE-SW doğrultusunda uzanmakta ve KD ya dalımlıdır. Esas kıvrılma Geç Senomaniyenden (Danien) Paleosene kadar olan devrede meydana gelmiştir. Esas cevher mineralleri olarak pirit ve kalkopirit çoğunluktadır (Buser and Cvetic, 1972). Tali olarak da tetrahedrit, çinkoblend, galen, manyetopirit, ankerit ve barit görülmektedir. Kalkopiritin üzerinde ince kovellin ve kalkosin tabakaları bulunmaktadır. Malakit ve azürit nadirdir; kalkantit biraz daha sıktır ve iki cevherleşme şekli görülmektedir: Ya cevher emprenyasyonları ve filonları halinde, ya da (fazla ölçüde silisleşmiş) filon sistemlerinin ve emprenyasyonların meydana getirdiği yüzlerce metre (uzunluk ve kalınlıkta) cevherleşmiş zonlar halinde (stockwerk tipi) bulunmaktadır (Buser and Cvetic, 1972). Sadece bu cevherleşme şekilleri ekonomik yönden önemlidir. Cevher içeren, sekonder olarak silisleşmiş zonlar sabit bir KB-GD uzanım doğrultusuna sahiptir. Bunlar eski kırık hatlarına bağlıdır. Pirit her zamanki gibi emprenyasyonlar veya som cevher halinde görülmektedir. Kalkopirite çoğunlukla filonlarda ve stockwerk formlarında rastlanmakta birlikte Murgul yatağının üst kısmında masif cevher de teşkil etmektedir (Buser and Cvetic, 1972).

Bölgenin en önemli cevher yatakları subvolkanik-hidrotermal oluşumludur. Hidrotermal cevherleşme şekillerinin (filonlar, stockwerkler) dışında, piroklastitlerin içine yataklanmış olan küre şeklinde pirit, kalkopirit, çinkoblend ve galen oluşumlarına da rastlanmıştır (Buser and Cvetic, 1972). Bunlar, cevherleşmelerin kısmen de ekshalatif-sedimenter olarak çökelmiş olduklarını göstermektedir. Cevher oluşumu en aşağı dört jenetik safhada meydana gelmiştir. Birinci safhanın ekshalatif sedimenter safha olması mümkündür. İkinci safhada şiddetli silisleşme meydana gelmiş ve uzun, silisleşmiş zonlar oluşmuştur (Buser and Cvetic, 1972). Üçüncü safha şiddetli bir piritleşme getirmiş olup, bu piritleşme muhtemelen devam etmekte olan silisleşmeye bağlıdır. Dördüncü cevher oluşumu safhası ise, birçok «alt safhalara» ayrılmaktadır. Birinci de çinkoblend, manyetopirit ve sadece az miktarda kalkopirit çökelmiştir.

İkinci alt safhada tetrahedrit, galen ve ekonomik yönden önemli miktarlarda kalkopirit oluşmuştur (Buser and Cvetic, 1972). Ankerit ve barit son olarak meydana gelmiştir. Cevherlerin büyük kısmı Jura-Kretase yaşlı tabakaların içinde Geç Senoniende çökelmiştir ve birinci magmatik dönemin asitli son ürünlerine jenetik bakımdan bağlıdır. Fakat Paleosen-Eosen piroklastitlerinin içindeki cevher zuhurları yakın yöredeki hornblenddasitlere bağlı olup, post-vulkanik, hidrotermal serinin bir ürünüdür (Buser and Cvetic, 1972). En önemli cevher oluşumları kuvarsporfir tüflerine bağlıdır. Fakat zayıf cevherleşmelere—Jura-Kretase yaşlı spilit-tüften, Paleosen-Eosen yaşlı Piroklastitlere kadar (piroklastitler de dahil) olan—bütün diğer kayaların içinde de rastlanmaktadır (Buser and Cvetic, 1972).

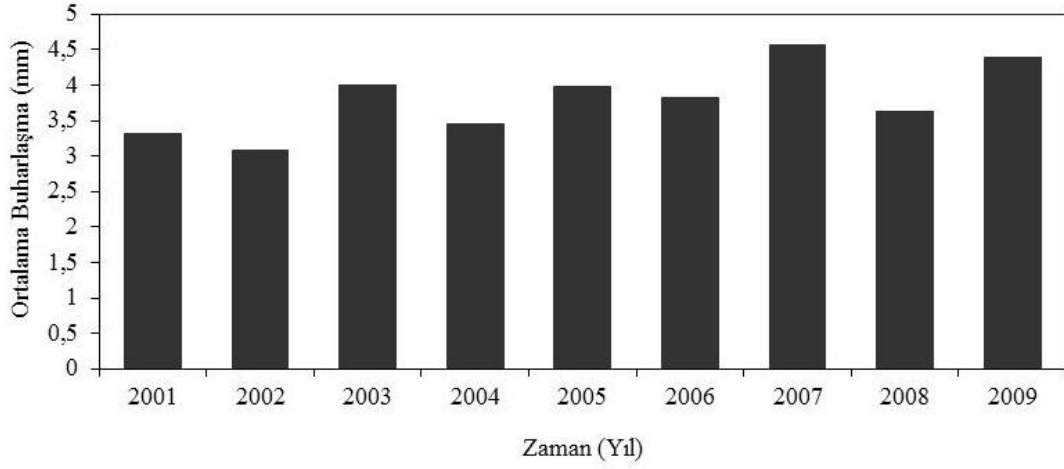
Damarköy yatağında yalnızca stockwork tipi cevher zonu gözlenmekte, stratiform cevher zonu ve jips oluşumları gözlenmemektedir (Buser and Cvetic, 1972). Stockwork tipi cevherleşmede, damarcıkların kalınlıkları 1 mm ile 15 cm arasında değişmekte olup, kalınlıkları ve tenörleri iç kısımlara doğru artmaktadır. Damarcıklarda yer yer kuvars, yer yer ise kalkopirit ve piritten oluşan sülfürlü mineraller hakim olmaktadır (Buser and Cvetic, 1972). Stratiform cevher zonunda yer yer masif, yer yer ise bantlı yapı hakim olup, kalınlığı 20 cm'ye kadar çıkabilmektedir. Jips merceğinin kalınlığı 10 m kadardır. Örtü tüfü, ince bantlı, alt seviyelerinde gri, üst seviyelerinde kırmızı renkli olup, mor tuf olarak da adlanmaktadır. Bu birim içinde öz şekilli ve iri kristaller halinde piritler yaygındır (Buser and Cvetic, 1972). Üzerine, kalınlığı oldukça fazla, Porfiri dasit birimi gelmektedir. Stockwork tipi cevherleşmenin yan kayacını oluşturan, breşleşmiş dasit tuf biriminden alınan örneklerde saçınımlar halinde, küçük boyutlu, yarı öz şekilli, yer yer parçalanmış pirit kristalleri gözlenmektedir. Bu örneklerde piritten başka sülfürlü mineral gözlenmemiştir (Buser and Cvetic, 1972). Stockwork tipi cevher damarcıklarından alınan örneklerde ana cevher minerali olarak; pirit ve kalkopirit, eser miktarlarda sfalerit, galenit tetrahedrit ve markasit, gang minerali olarak ise yalnızca kuvars gözlenmiştir. Özellikle kılcal çatlakların kesişim yerlerinde sülfürlü minerallerin zenginleşmesi artmaktadır (Buser and Cvetic, 1972). Stratiform cevher zonundan alınan örneklerde ise kırıntılı doku hakim olup, stockwork tipi cevherleşmeden veya su içine boşalan çözeltilerden itibaren çökelen cevher minerallerinin, ya sonraki patlamalar etkisiyle veya su altı akıntıları ve dalga hareketleri etkisiyle kırıntılı hale gelerek su tabanında tekrar çökdikleri anlaşılmaktadır. Cevher kırıntılarının şekli ve büyüklükleri oldukça değişken olup, stockwork tipi cevherleşmede gözlenen mineralleri içermektedirler (Buser and Cvetic, 1972).

3.1.3 İklimsel verilerin deneysel çalışmalara yansıtılması

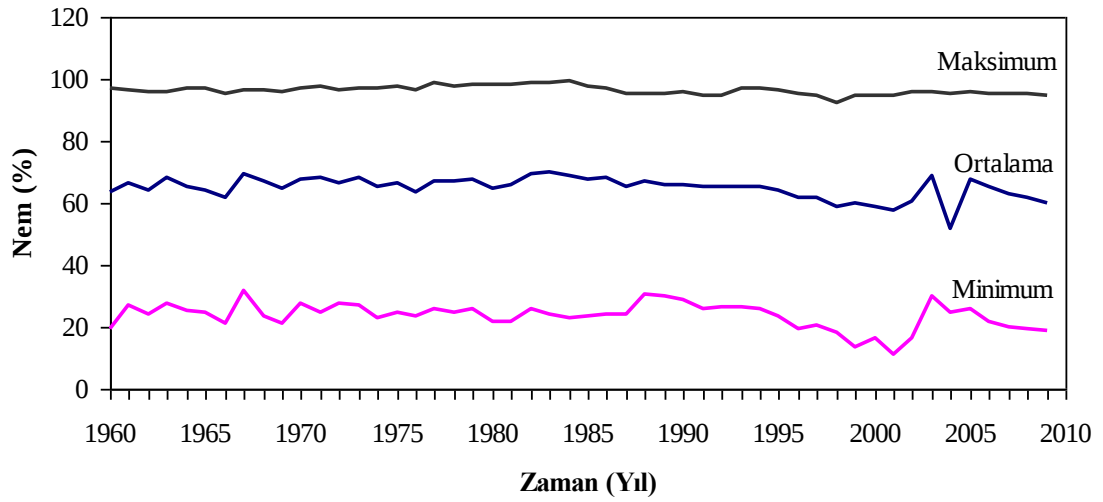
Çalışma alanı ve çevresinde Doğu Karadeniz ikliminin genel yapısı hüküm sürmekte olup yeryüzü şekillerinin özellikleri nedeniyle bölgelere göre çeşitlilik göstermektedir. Kıyı kesimlerinde ılık ve yağışlı bir iklim tipi egemendir. Buna karşın, il'in iç bölgelerine doğru, yüksek kesimlerde kışlar soğuk ve bol karlı, yazlar ise serin geçer. Çoruh vadisi'nin derin tabanında kıyıya oranla daha az yağışlı, kışları fazla sert olmayan bir iklim tipi vardır. Damar açık ocağının uzun döneme ait sıcaklık ve yağış dağılımlarının değerlendirilmesi için, en yakın meteoroloji istasyonu olan Artvin meteoroloji istasyonunun verileri kullanılmıştır. Bu istasyonun elli yıllık sıcaklık yağış buharlaşma ve nem değerlerinin maksimum, ortalama ve minimum değişimine ait frekans dağılımları ve istatistiksel değerlendirme sonuçları Şekil 3.4-3.9'da verilmiştir. Buna göre, ortalama sıcaklık 12.03°C olup, ortalama yıllık yağış miktarı 709.15 mm'dir. Ortalama yıllık nem ise % 64.88'dir. Buharlaşma 10 yıldır alınan veriler incelendiğinde ortalama 3.78 mm'dir. Elli yıllık sıcaklık verileri irdelendiğinde yıl içinde sıcaklık farkının 22°C kadar ulaştığı görülmektedir (Çizelge 3.1). İşletme sahası dışında bitki örtüsü çok yoğun gözlenmektedir. Çevrede çayırlar, meyve bahçeleri ve geniş ormanlık alanlar yer alır. Karaçam, gürgen, meşe, kestane gibi ağaçlar bu ormanlarda çokça bulunmaktadır.

Çizelge 3.1 Artvin Meteoroloji İstasyonu kayıtlarına göre elli yıllık maksimum, ortalama ve minimum sıcaklık ve nem ortalamalarının değerleri (DMİ, 2010).

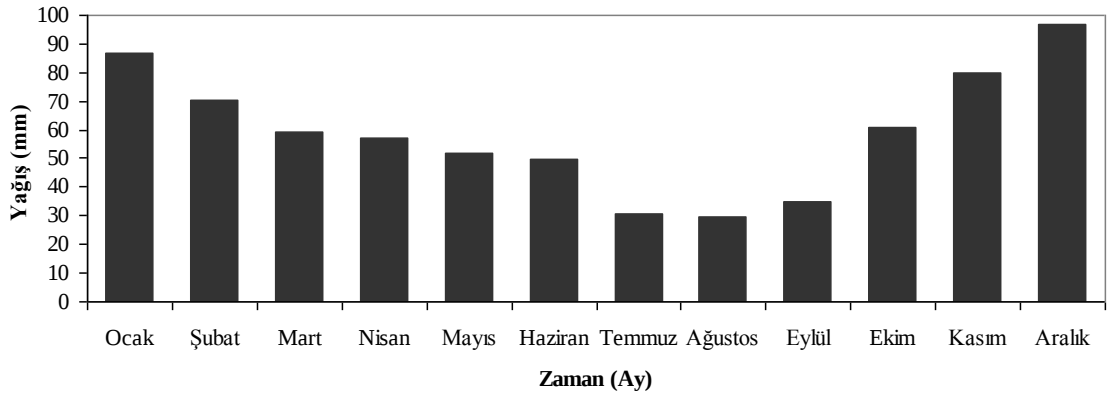
	Sıcaklık Ortalamaları ($^{\circ}\text{C}$)	Nem Ortalamaları (%)
Maksimum	25.305	98.233
Ortalama	12.035	64.880
Minimum	2.806	24.160



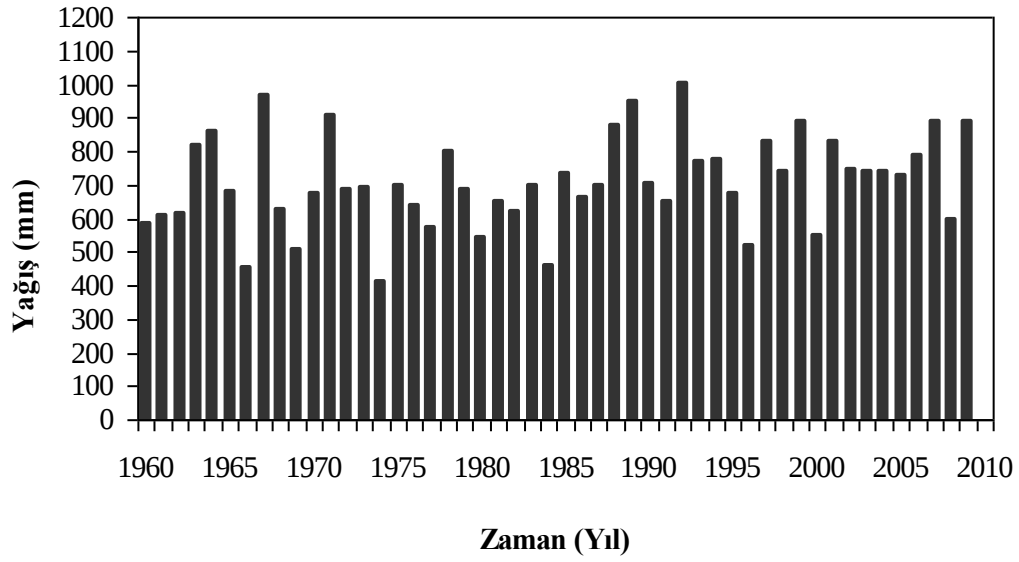
Şekil 3.4 Artvin Meteoroloji İstasyonu kayıtlarına göre uzun dönemi temsil eden yıllık ortalama buharlaşma histogramları (DMİ, 2010).



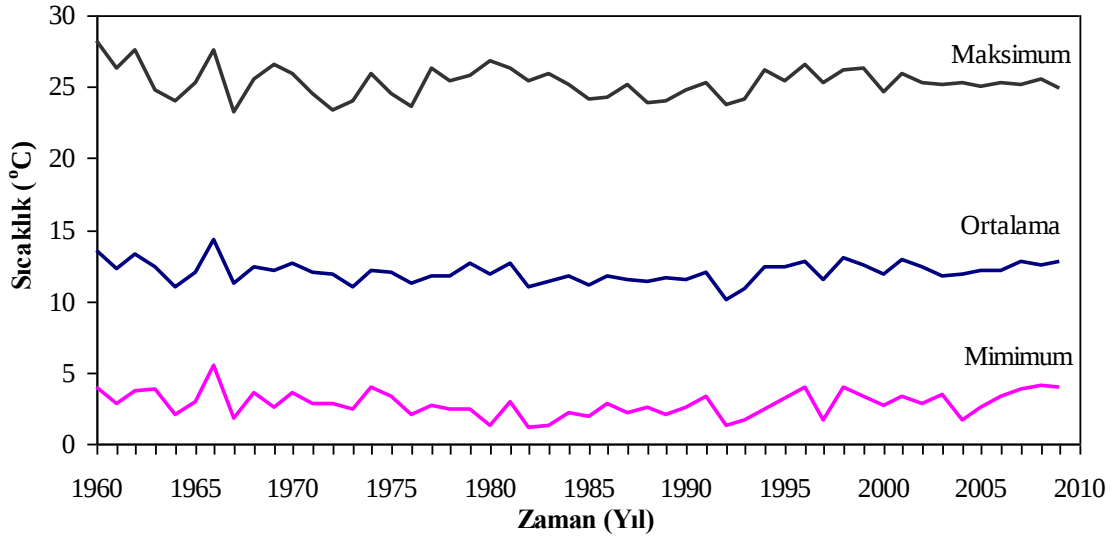
Şekil 3.5 Artvin Meteoroloji İstasyonu kayıtlarına göre uzun dönemi temsil eden yıllık nem değerlerinin maksimum, ortalama ve minimum değişim eğrileri (DMİ, 2010).



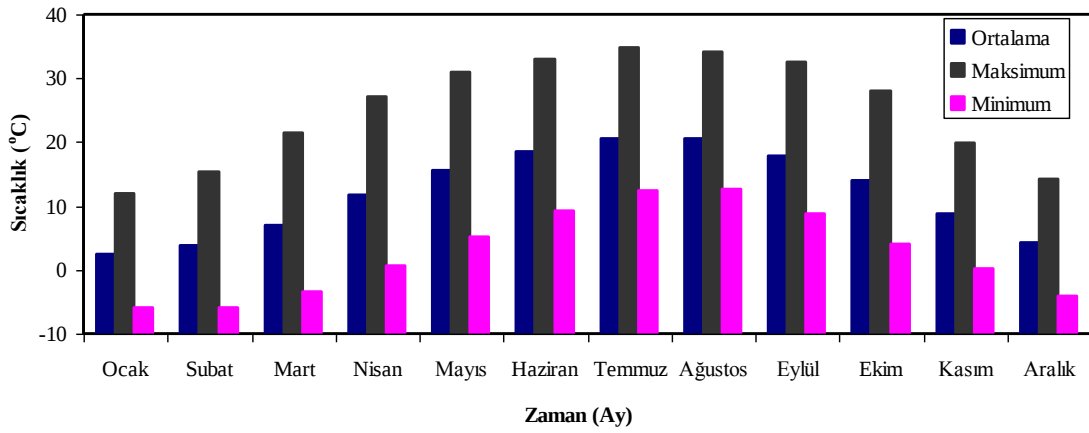
Şekil 3.6 Artvin Meteoroloji İstasyonu kayıtlarına göre son elli yılın verileri ile uzun dönemi temsil eden aylık ortalama yağış histogramları (DMİ, 2010).



Şekil 3.7 Artvin Meteoroloji İstasyonu kayıtlarına göre uzun dönemi temsil eden yıllık yağış histogramları (DMİ, 2010).



Şekil 3.8 Artvin Meteoroloji İstasyonu kayıtlarına göre uzun dönemi temsil eden yıllık sıcaklık değerlerinin maksimum, ortalama ve minimum değişim eğrileri (DMİ, 2010).



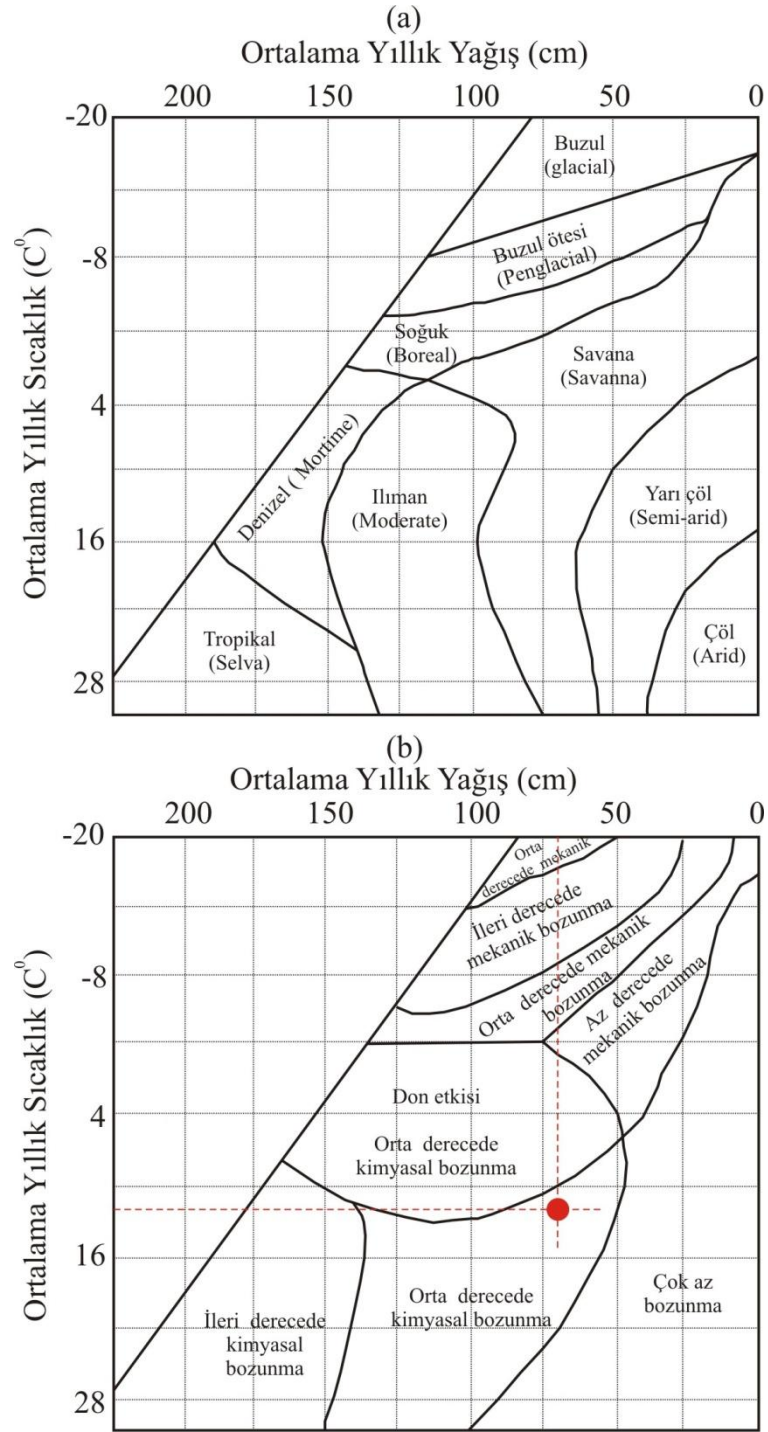
Şekil 3.9 Artvin Meteoroloji İstasyonu kayıtlarına göre son elli yıllık uzun dönemi temsil eden aylık sıcaklık değerlerinin maksimum, ortalama ve minimum değişim eğrileri (DMİ, 2010).

Devlet Meteoroloji İstasyonundan (DMİ) alınan son elli yılın (1960-2010) günlük değerleri analiz edilerek ortalama dolu gün sayısı, kar yağışlı gün sayısı, kar örtülü gün sayısı, yağışlı gün sayısı, sisli gün sayısına ait bilgiler Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2 Artvin Meteoroloji İstasyonu kayıtlarına göre son elli yılın verileri değerlendirilerek sayılı gün değerleri (dolulu, karlı, sisli, yağışlı) (DMİ, 2010).

Aylık dolu yağışlı günler sayısı ortalaması	1
Bir yıldaki dolu yağışlı gün sayısı	1
Aylık kar örtülü günler sayısı	11.54
Aylık kar yağışlı günler sayısı	6.39
Bir yıldaki karlı gün sayısı	17.93
Aylık sisli günler sayısı	2.65
Aylık Yağışın 0.1 mm. ve büyük olduğu günler sayısı	11.42
Bir yıldaki yağmurlu gün sayısı	136.6
Yıllık Yağış miktarı (cm)	70.9
Bir gündeki yağış (cm/gün)	6.21
Yıllık Yağış miktarı (kg/m ²)	193.51

Şekil 3.10'da verilen ve yağış ile sıcaklığı esas alan iki diyagram karşılaştırıldığında, bozunma türlerinin değişik sıcaklık ve yağış koşullarıyla olan ilişkileri ortaya çıkmaktadır. Bu diyagramlardan da görüldüğü gibi, sıcak ve nemli iklim koşullarında bozunmanın şiddeti daha yüksek olurken, kurak ve soğuk iklimlerde daha düşük olmaktadır. Artvin meteoroloji istasyonun verileri kullanılarak Damar açık ocağında uzun döneme ait sıcaklık ve yağış dağılımlarının değerlendirilmesi yapılmıştır. Buna göre, ortalama sıcaklık 12.03°C olup, ortalama yıllık yağış miktarı 70.9 cm'dir. Elli yıllık sıcaklık verileri irdelendiğinde yıl içinde sıcaklık farkının 22°C kadar ulaştığı görülmektedir. Şekil 3.10b'de 12°C ortalama sıcaklık ve 70.9 cm ortalama yağış değerleri işaretlenip kesiştirildiğinde, örneklemin gerçekleştirildiği kayaların üzerinde orta derecede kimyasal bozunmanın etkili olduğu görülmektedir.

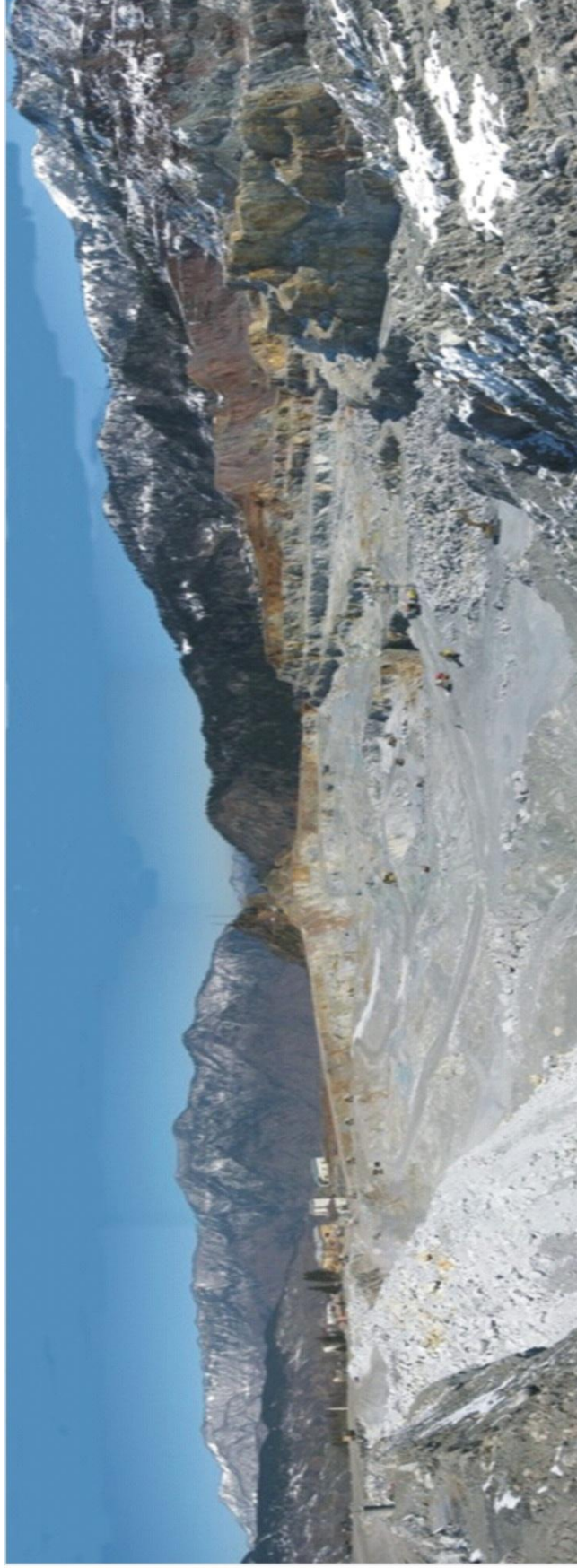


Şekil 3.10. Yıllık yağış-sıcaklık rejimlerine göre ayrılmış kuramsal morfojenik bölgeler: (a) iklimsel bölgeleri ayıran sınırlar ve (b) çeşitli bozunma türleri (Peltier, 1950; Dearman, et al., 1978'den).

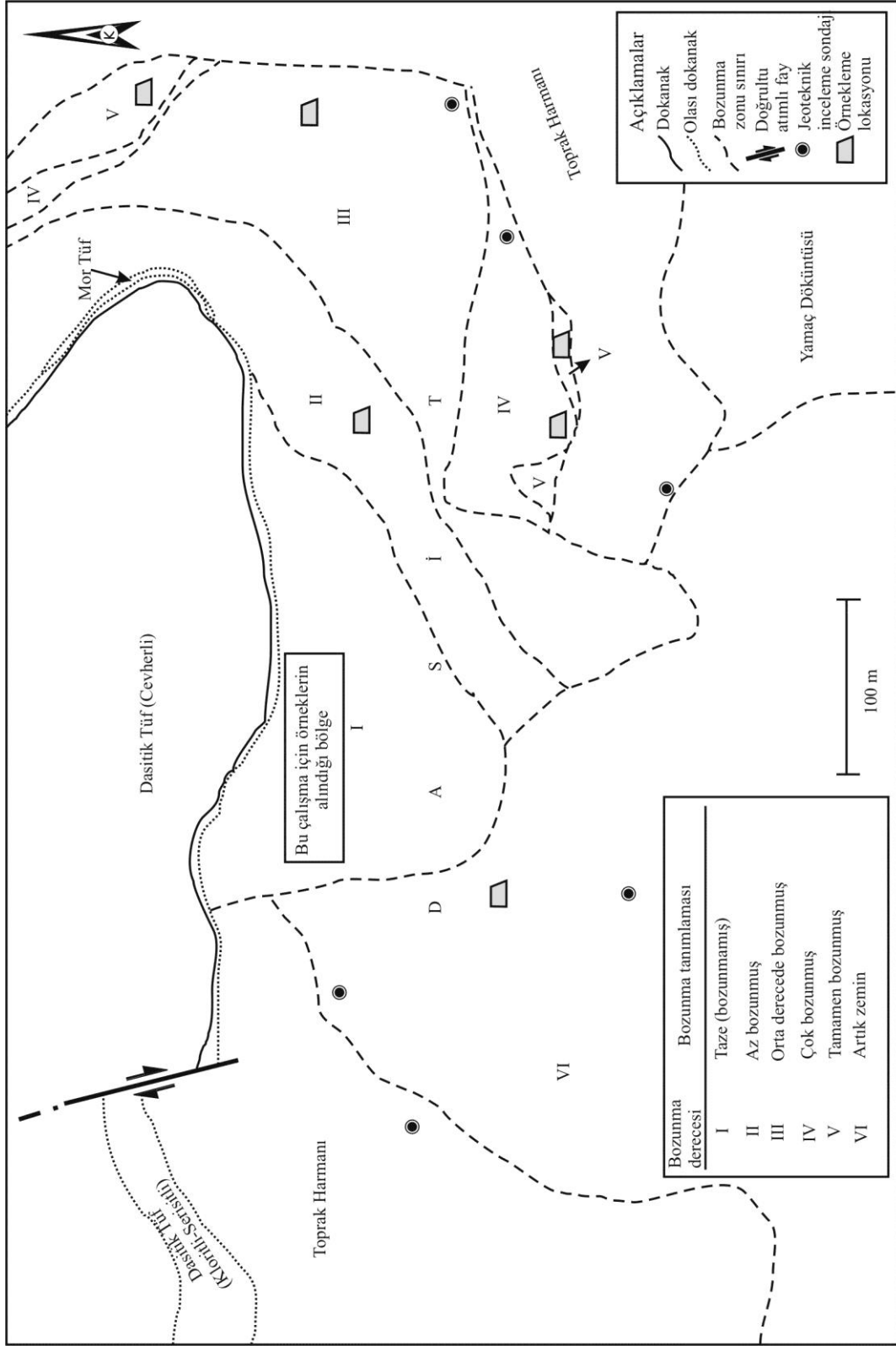
3.2 Örnekleme Çalışmaları

Laboratuvar deneylerinin yapılabilmesi için yer bulduru haritasında (Şekil 3.1 ve Şekil 3.12) gösterilen lokasyondan fiziksel bozunmaya maruz kalmamış taze yüzeylere sahip, cevher ve yan kayaçtan toplam 300 kg örnek alınmıştır. Bu örneklerin bir kısmı orijinal mineralojik bileşim ve özelliklerini belirlemek üzere, önemli bir kısmı kinetik kolon deneyi için farklı çap ve uzunlukta toplam yirmi dört kolonda, bir bölümü de ara evrelerin belirlenmesi için kolon içinden alınan örneğin yerine eklemek üzere kullanılmıştır. Örnekleme çalışmalarının yapıldığı alana ait Damar açık maden işletmesinin görünümü Şekil 3.11’ de verilmiştir.

Arıkan (2002), fiziksel bozunma süreçlerinin bölgede yüzeyleyen kayalar üzerindeki etkisini incelenmiştir. Şekil 3.12’de görülen bozunma derecesi haritasından, dasitlerin bozunması sonucu mühendislik özelliklerinde meydana gelen değişimler dikkate alınarak altı bozunma derecesi tanımlamıştır. Bu çalışmada alınan örnekler bozunma derecesi I olan taze bozunmamış kayaç grubuna girmektedir. Bu araştırma kapsamında yapılması planlanan deneysel çalışmalar bozunmamış kaya malzemesi üzerinde yapılmıştır. Bu nedenle örnekleme çalışmaları bölümünde belirtildiği gibi örnekler yeni kırılmış ve atmosferik koşullara yeni maruz kalmış kısımlarda gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.11. Örnekleme çalışmalarının yapıldığı Damar işletmesinin görünümü.



Şekil 3.12 Damar bakır işletmesindeki dasitler için bozunma dereceleri haritası ve farklı bozunma zonlarının dağılımı (Arıkan, 2002).

3.3 Hat Etüdü Çalışmaları ile Süreksizliklere İlişkin Özelliklerin Belirlenmesi

Çalışma alanında bulunan kaya kütlelerine ait süreksizlik özelliklerinin araştırılması ve bu süreksizlik özelliklerinin cevher damarlarını içeren kaya kütlelerinin bozunması ve sonrasında asit oluşumu üzerindeki etkinin ortaya konulması için, kazı çalışmalarının yapıldığı işletmede bulunan kaya şev aynalarında hat etüdü çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu hat etüdü çalışmalarıyla, kaya kütlelerinin süreksizlik sıklığı, devamlılığı, bozunma ve pürüzlülük özellikleri ve süreksizlik yönelimleri gibi özelliklere ilişkin ölçümler ve gözlemler yapılmıştır.

ISRM (1981), hat etüdü çalışmalarında 50 m, serit metrelerin kullanılmasını önermektedir. Ayrıca, Priest (1993), her ölçüm hattı boyunca 150-300 süreksizliğe ilişkin verilerin değerlendirmeye alınmasının daha yararlı olacağını ifade etmiştir. Arıkan (2002), mühendislik amaçlar için, volkanik kayaların bozunma özelliklerinin sınıflandırılması kapsamında gerçekleştirmiş olduğu çalışmada, Damar işletmesinde bulunan kaya kütlerinde hat etüdü çalışmaları gerçekleştirmiştir. Arıkan (2002), ISRM (1981) ve Priest (1993) tarafından önerilen süreksizliklere ilişkin ölçüm kriterlerini dikkate alarak, Damar işletmesinde bulunan dasitlerde gelişmiş egemen eklemlere ait veriyi kapsayan hat etüdü çalışması gerçekleştirmiştir. Bu çalışma kapsamında, süreksizliklere ilişkin verilerin toplanması için 50 m'lik şerit metreler açılarak 4 farklı lokasyonda hat etüdü çalışması gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.13). Arıkan (2002) tarafından gerçekleştirilen çalışmadan farklı olarak bu çalışmada, tamamen az bozunma gösteren taze şev aynalarının bulunduğu ve kazı çalışmalarının sürdürüldüğü veya henüz tamamlandığı yerler seçilmiştir. Dolayısıyla, laboratuvar deneyleri için henüz bozunma göstermeyen kaya birimlerinde örnekleme çalışmalarının yapılması sağlanmıştır. Hat etüdü çalışmalarının kısmen daha az eklem içeren ve taze yüzeylerde gerçekleştirilmesi ile Priest (1993) tarafından 50 m de 150-300 süreksizliğe ilişkin verinin alınması önerisinin dikkate alınması mümkün olmamıştır. Damar işletmesinde bulunan kaya kütlelerinde mevcut süreksizliklerin genel konumlarının değerlendirilmesi ve ana süreksizlik setlerinin belirlenmesi amacıyla hat etüdü çalışmalarında süreksizliklere ait eğim/eğim yönleri ölçülmüştür. Alınan bu veriler Diederichs ve Hoek (1989) tarafından geliştirilen bilgisayar yazımı (DIPS Versiyon 5.00) kullanılarak, süreksizlikler stereografik izdüşümü yöntemine göre değerlendirilmiştir. Arazide alınan toplam 89 süreksizliğin kutup noktaları dikkate alınarak yapılan analizlerde, iki ana süreksizlik seti tespit edilmiştir (Şekil 3.14). Söz konusu bu süreksizlik setlerinin eğim/eğim yönü değerleri sırasıyla 75/084 ve 76/190 olarak belirlenmiştir. Şekil 3.14'te de görüldüğü gibi, bu ana süreksizlik setleri yanı sıra, yeraltı suyu akışı ve dolayısıyla ortamdaki bozunma süreçleri üzerinde etkili olabilecek farklı konumlara sahip başka süreksizliklerde mevcuttur. Süreksizlik yüzeylerine ait süreksizlik aralığı dağılım histogramları değerlendirmelerinde,

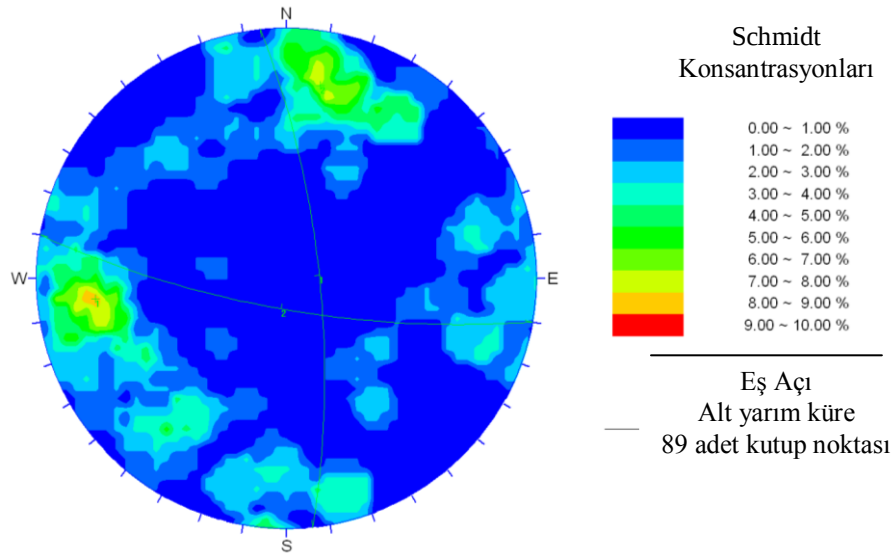
Statgraph (STSC Inc., 1991) paket programı kullanılmış olup, süreksizlik aralıklarının negatif eksponansiyel dağılım gösterdiğini tespit edilmiştir (Şekil 3.15). Çalışma bölgesinde asidik volkanik kayaların bozunma özelliklerinin sınıflandırılması amacıyla daha önce Arıkan (2002) tarafından da çalışılmış olup, araştırmacı farklı bozunma derecelerine sahip şev basamaklarında yapmış olduğu hat etüdü çalışmaları sonucu elde etmiş olduğu veriler üzerinde yapmış olduğu istatistiksel analizlerde; benzer şekilde dasitlerdeki süreksizlik aralıklarının negatif eksponansiyel dağılım gösterdiğini tespit etmiştir. Sık eklemlili kaya kütlelerinin süreksizlik aralığı parametresinin genellikle negatif eksponansiyel bir dağılıma modeli gösterdiği önceki araştırmacılar tarafından da belirtilmiştir (Priest and Hudson, 1976; Wallis and King, 1980; Baecher, 1983). Arıkan (2002), ISRM (1981) tarafından bozunma sınıflaması için önerilen abakları kullanarak buradaki süreksizlik yüzeylerini I (taze)'den IV (çok bozunmuş) kadar sınıflandırmış ve I. ve II. derecede bozunmaya uğrayan süreksizliklerin geniş aralıklı, III. ve IV. derecede bozunmaya sahip süreksizliklerin ise orta aralıklı olduğunu belirtmiştir.



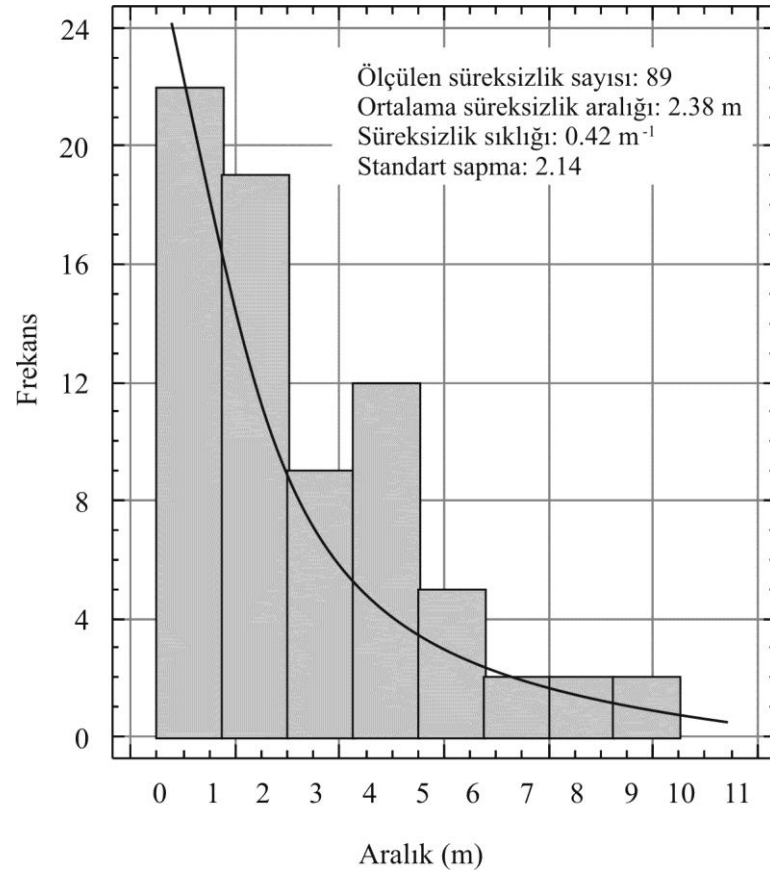
Şekil 3.13 Damar işletmesinde yeni kazılmış şev basamaklarında hat etüdü çalışmaları.

Hat etüdü çalışmaları sırasında, süreksizliklere ait devamlılık parametreleri de ölçülmüştür. Alınan ölçümler sonucunda devamlılıkları 1-12 m arasında değişen süreksizliklerin yanı sıra, süreksizliklerin önemli bir kısmının ise genel olarak devamlılıklarının 20 m'den daha büyük olduğu gözlenmiştir.

Süreksizliklere ilişkin pürüzlülük parametresinin belirlenmesinde profilometre veya ISRM (1981) tarafından önerilen görsel tanımlama ve karşılaştırmayı esas alan abak kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında pürüzlülüklerin ölçülmesinde profilometre kullanma olanağının olmaması nedeniyle, ISRM (1981) tarafından önerilen abak kullanılmıştır. Alınan ölçümlere göre, süreksizlik yüzeylerinin pürüzlülüğünün düz-az pürüzlü ile dalgalı-pürüzlü olarak tanımlanan koşullar arasında değiştiği tespit edilmiştir.



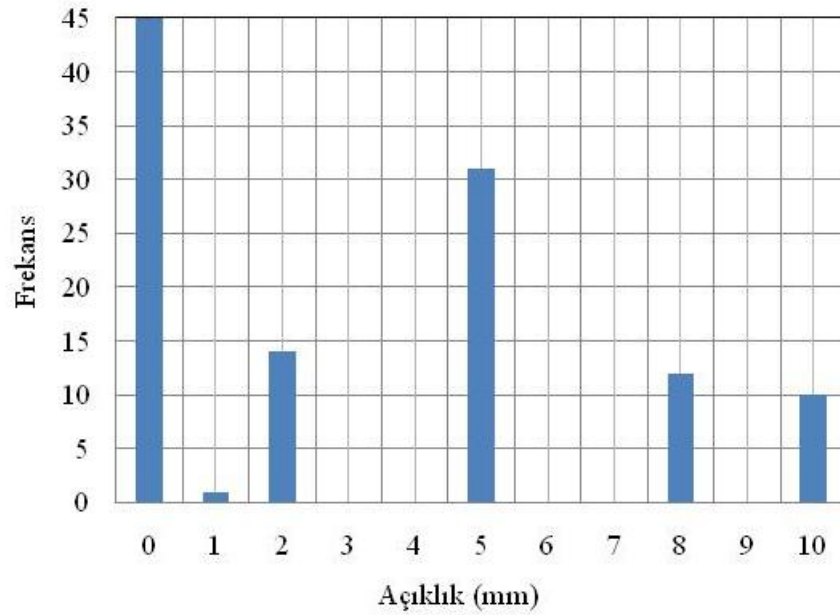
Şekil 3.14 Süreksizliklerin stereografik izdüşümü tekniği ile değerlendirilmesi.



Şekil 3.15 Çalışma sahasında yapılan ölçümlerden belirlenen süreksizlik aralığı dağılımı histogramı.

Yüzey ve yeraltı suyu akışı üzerinde etkili olması nedeniyle süreksizlik açıklığı bozunma süreçlerinde en etkin parametre olarak bilinmektedir. Süreksizlik açıklığının bozunma üzerindeki etkisi farklı kaya birimleri üzerinde çalışan önceki araştırmacılar (Tuğrul, 1997; Arıkan, 2002) tarafından da vurgulanmıştır. Arıkan (2002) Damar işletmelerindeki dasitlerde bozunmanın süreksizlikler boyunca başlayarak kayacın içine doğru ilerlemiş ve kayaç tamamen zemine dönüşünceye kadar devam etmiş olduğunu belirtmiştir. Arazi çalışmaları kapsamında, süreksizliklerin açıklıkları konusunda daha sağlıklı veri elde etmek için, zaman zaman aynı süreksizliğe ait birden fazla açıklık ölçümü alınmıştır. Toplamda, açıklık parametresi için 113 ölçüm alınmıştır. Ortalama açıklığın 3.4 mm olduğu bu kaya kütlelerinde, süreksizliklerin önemli bir kısmının kapalı olduğu ve açık olan süreksizliklerinde herhangi bir dolgu malzemesi tarafından doldurulmadığı tespit edilmiştir. Şekil 3.16'da da görüldüğü gibi süreksizlik açıklığı kapalıdan 10 mm'ye kadar değişim göstermektedir. Aynı bölgede ve kısmen daha üst kotlarda hat etüdü çalışması gerçekleştiren Arıkan (2002), taze ve az bozunmuş kayalarda gelişmiş süreksizlik yüzeyleri arasındaki açıklık yer yer 2 mm'den küçük ve ortalama 2-6 mm arasında

değiştiklerini vurgulamıştır. Bu çalışma kapsamında ölçülen açıklıkların ortalama değeri (3.4 mm) göz önünde bulundurulduğunda, elde edilen sonuçların Arıkan (2002) tarafından elde edilen sonuçlarla uyumlu olduğu gözlenmektedir.



Şekil 3.16 Damar işletmesindeki kaya kütlelerinin süreksizliklerin açıklık parametresi histogramları.

3.4 Foto Analiz Tekniğiyle Tane Boyu Dağılımının Belirlenmesi

Arazi çalışmaları sırasında, hat etüdü ve laboratuvarında yapılacak deneylerde kullanılmak üzere alınan örnekleme çalışmalarının yanı sıra, arazi koşullarında fiziksel ve kimyasal bozunma süreçlerine maruz kalan kaya malzemelerin tane boyu dağılımlarının tespiti için, görüntü analizi tekniğinden yararlanılması öngörülmüş ve bu amaçla farklı boyutlarda parçalanma gösteren kaya birimlerin fotoğrafları çekilmiştir. Bu analiz tekniği için, ocaktaki genel tane boyu dağılımının temsil edildiği düşünülen yerlerin görüntüleri belirli bir uzaklıktan, ölçekli ve ilgilenilen yüzeye mümkün olduğunca dik yönde çekilmiştir. Görüntü çekimleri, genel tane boylarının net gözlendiği mesafeden yapılmıştır. Söz konusu bu mesafeler örneklerin tane boyuna bağlı olarak değişmekte olup, makro çekimlerde genel olarak 10 ile 30 cm, diğer çekimlerde ise 1 m veya daha uzak mesafede alınmıştır. Görüntüyü alan kişiden kaynaklanacak gölgeden ve güneşin konumuna bağlı olarak kaya parçalarının kendi gölgelerinden kaçınılmıştır. Diğer bir ifadeyle, görüntüsü çekilen kısımda parçalanma sonucu oluşan tüm tane boyu

dağılımının net gözlenebileceği uzaklık seçilmiş ve gölgelerin en az olduğu güneş konumu dikkate alınmıştır.

Damar ocağındaki üretim çalışmaları sonucunda oluşan parçalanmış kaya malzemelerinin tane boyu dağılım belirlenmesinde, Split-Desktop3.0 bilgisayar programı kullanılmıştır. Özellikle parçalanmış kayaların tane boyu dağılımını belirlenmesi için geliştirilen bu dijital görüntü analiz programı, bir veya birden fazla dijital görüntüyü girdi parametresi olarak almakta, temel aldığı algoritmayı dikkate alarak, çıktı olarak ise hesaplanmış tane boyu dağılımı grafikleri sunmaktadır. Split-Desktop'ta açılan bir dijital görüntüden tane boyu dağılım eğrisini elde etmek için, sırasıyla, tane sınırlarının belirlenmesi, fotoğrafın ölçeklendirilmesi, program tarafından otomatik olarak belirlenen tane sınırlarında ihtiyaç duyulan düzeltmelerin uygulanması, ince tane boyu tahmini, analizin gerçekleştirilmesi ve çıktıların alınması gibi aşamalardan geçmesi gerekmektedir. Bilgisayar programının belirleyeceği en küçük tane boyutu çekilen görüntünün çözünürlüğü ve ölçeğine bağlıdır. Bu programda baz alınan algoritmanın henüz gerçek tane sınırlarını ve köşelerinin belirlenmesinde çok hassas olmaması nedeniyle, özellikle tane sınırlarının belirlenmesi kısmında çoğu zaman program tarafından otomatik olarak belirlenen sınırlara önemli oranlarda düzeltmelerin uygulanması gerekmektedir.

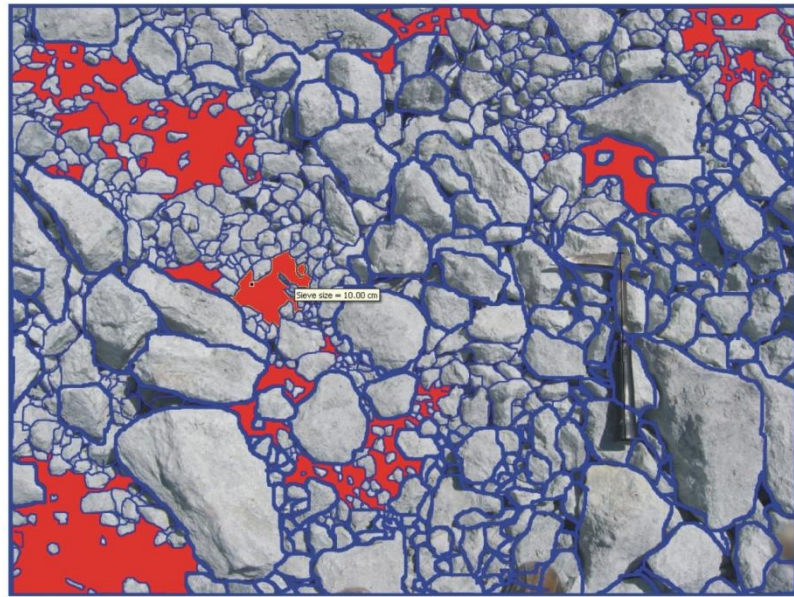
Tane boyu analizleri için, damar ocağının bir çok lokasyonda amaca uygun olarak çekilen fotoğraflar Split-Desktop 3.0 bilgisayar programında açılmış ve analizlerde tane sınırlarının belirlenmesinde daha hassas olmak için kısmi otomatik seçeneği kullanılmıştır. Diğer bir ifadeyle, fotoğraflar önce tam otomatik olarak taranmış ve sonrasında tane sınırlarının tam tespiti için önemli oranda düzeltme ve yeniden çizimler gerçekleştirilmiştir. Damar ocağındaki kayaç parçalarını temsil ettiği düşünülen tipik bir görüntü Şekil 3.17a' da verilmiş olup, bu görüntünün Split-Desktop3.0 bilgisayar programı kullanılarak belirlenen tane boyu sınırlarını Şekil 3.17b' de sunulmuştur.

Tane boyu analizlerinde, ince tane boyu malzeme hakkında daha güvenilir sonuçların alınması sağlamak için, bazı lokasyonlara detay görüntüler (makro çekimler) alınmıştır. Söz konusu bu detay görüntüler Şekil 3.18a' da, bu görüntülerin Split-Desktop 3.0 bilgisayar programı yardımıyla belirlenen tane boyu dağılım grafikleri ise Şekil 3.18b' de verilmiştir.

(a)



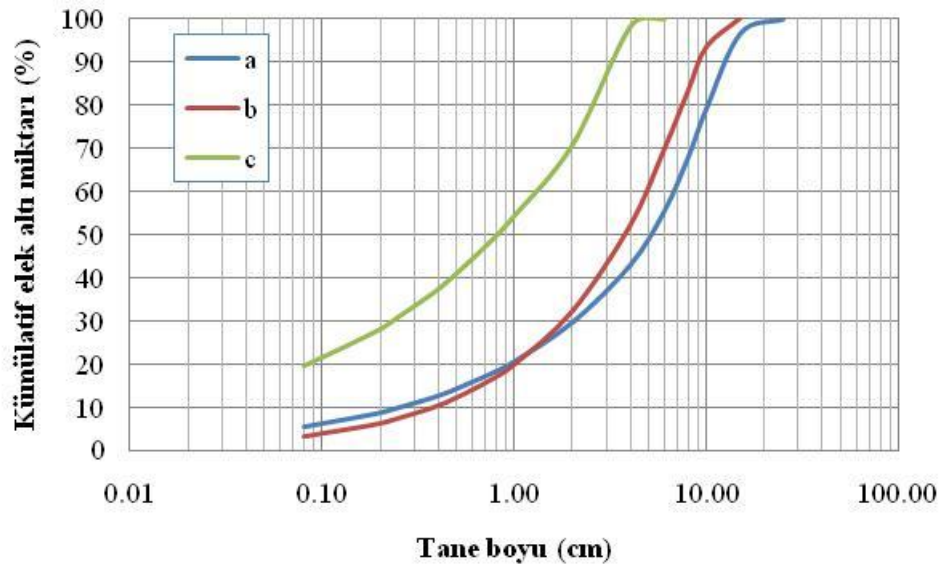
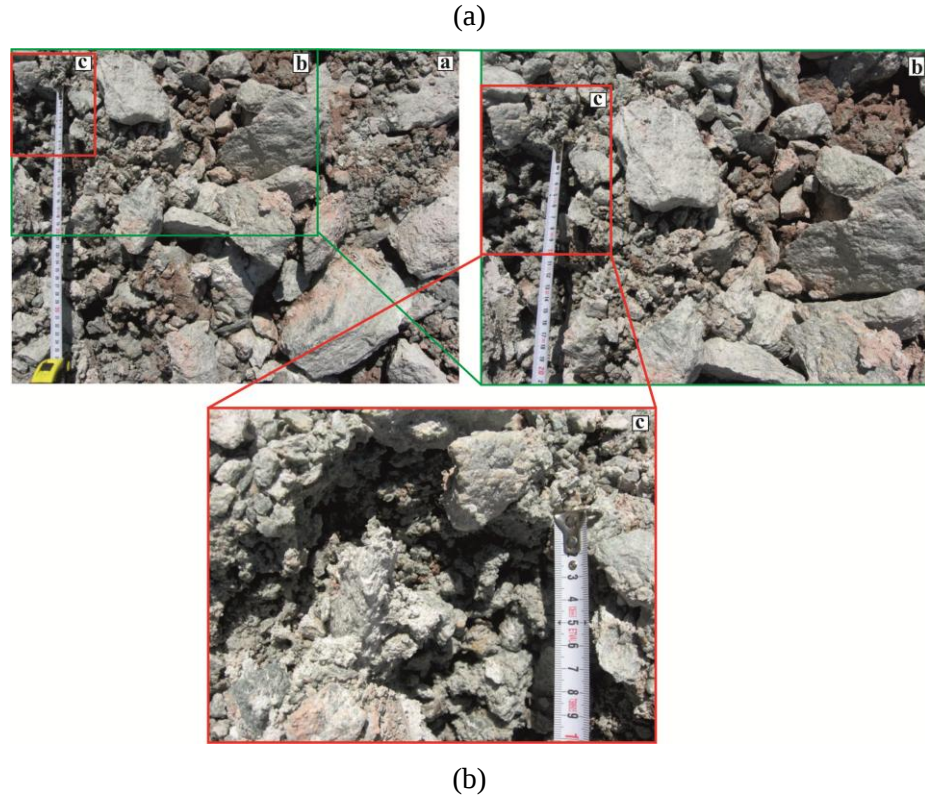
(b)



■ Kullanılan bilgisayar programı tarafından belirlenemeyecek kadar küçük tane boyuna sahip kaya parçaları

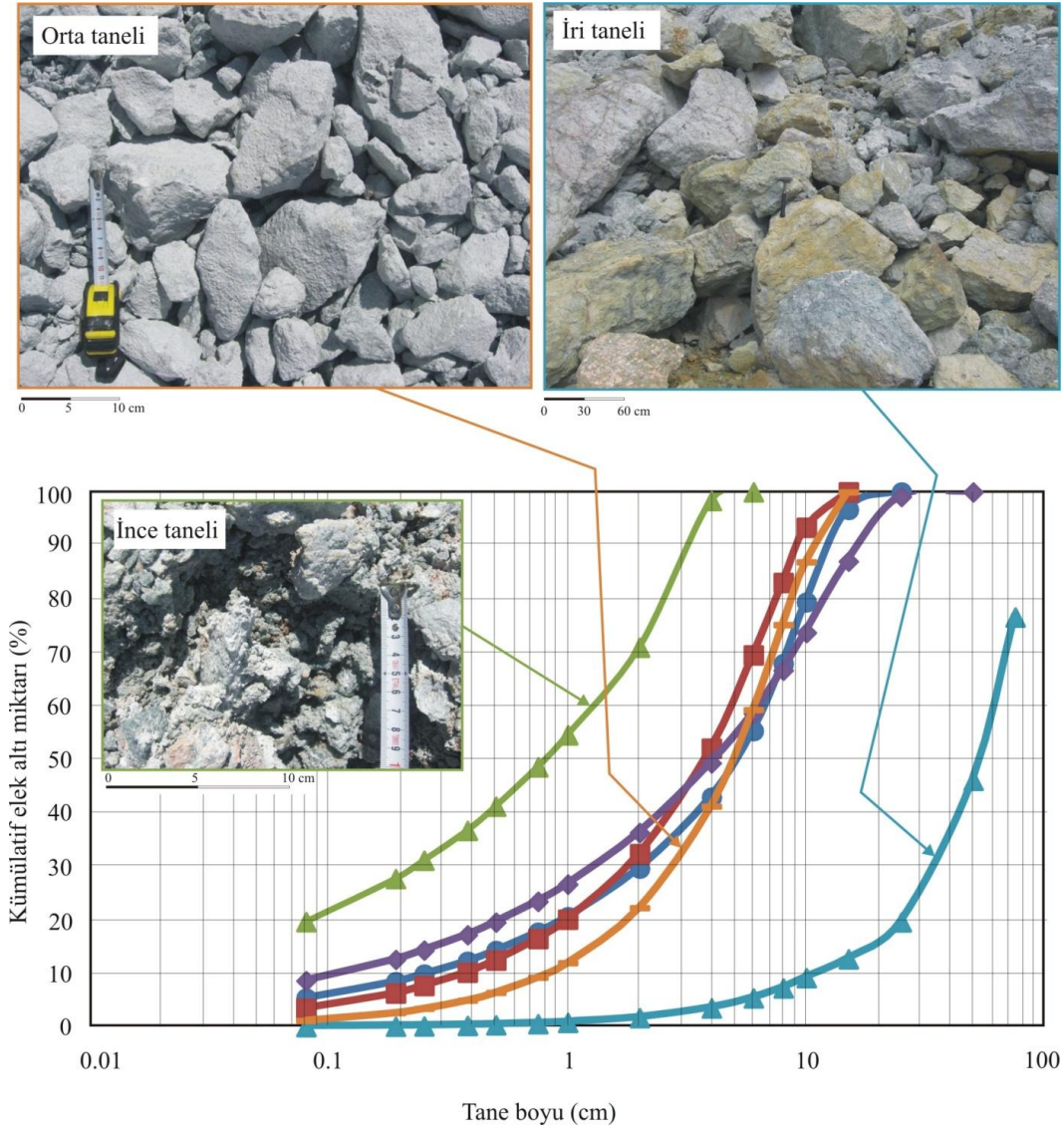
Şekil 3.17 a)Atmosferik koşullarda bozunma süreçlerine maruz kalan farklı tane boyuna sahip kayaç parçaları b) bu parçaların Split-Desktop3.0 bilgisayar programı kullanılarak sınırlarının saptanması ve tane boyu analizi.

Şekil 3.18'deki "a" ve "b" görüntüleri bölgedeki genel kaya malzemelerinin tane boyu dağılımı temsil ederken, detaylı alınan "c" görüntüsü ise Damar maden ocağında bulunan en küçük tane boyundaki malzemeyi göstermektedir.



Şekil 3.18 a)Tane boyu analizleri için alınan detaylı görüntüler, b) bu görüntülerde elde edilen tane boyu dağılım grafikleri.

Damar ocağındaki volkanik kayalardan doğal atmosferik koşullar altında bozunma süreçlerine maruz kalan ve AMD oluşumu üzerinde etkili olan kaya malzemelerinin tane boyu dağılım eğrileri değişkenlik göstermektedir (Şekil 3.19). Cevher içermediği kabul edilen yan kayaç malzemesi genel olarak iri bloklardan ibaret olup tane boyu değerleri yaklaşık olarak 15-75 cm arasında değişmektedir. AMD oluşumunda daha fazla etkili olduğu düşünülen kaya malzemeleri ise hemen hemen birbirine benzer tane boyu dağılım eğrilerine sahiptirler. Bu kaya paçalarının tane boyu değerleri 0.1 ile 15 cm arasında değişmektedir. Tane boyu dağılım grafikleri genel olarak benzerlik gösteren (0.1-15 cm) bu lokasyonlarda ince tane boyu malzemelerin tane boyu ölçümleri için alınan detaylı makro çekimlere ait görüntülerin analizlerinde ise tane boyu değerinin önemli bir kısmının 0.1 ile 4 cm arasında değiştiği saptanmıştır (Şekil 3.19). Şekil 3.19’da verilen ve arazideki koşulları temsil ettiği düşünülen iri, orta ve ince tane boyu sınıfına ait tane boyu dağılım eğrilerinin D_{30} , D_{50} ve D_{80} değerleri belirlenmiş ve Çizelge 3.3’te verilmiştir.



Şekil 3.19 Damar ocağındaki madencilik çalışmaları sonucunda kaya malzemelerinin meydana gelen parçalanma ve bu parçalanmaların Split-Desktop 3.0 bilgisayar program kullanılarak belirlenen tane boyu dağılım grafikleri.

Çizelge 3.3 Arazi koşullarında tespit edilen ve Şekil 3.19’da verilen iri, orta ve ince tane boyu dağılım eğrilerinin D_{30} , D_{50} ve D_{80} değerleri.

Tane boyu sınıfı	D_{30} (cm)	D_{50} (cm)	D_{80} (cm)
İri	34.0	54.00	75.00
Orta	2.70	5.00	8.80
İnce	0.24	0.80	2.50

4. KİNETİK KOLON DENEY DÜZENEGİ

Günümüze kadar, saha deneyleri, nem hücresi deneyi (White and Lapakko, 2000; ASTM, 2000a), Sokshlet ekstraksiyon yöntemi (Singleton and Lavkulich, 1987, Sobek, et al., 1978, Sobek, et al., 1982) British Columbia araştırma doğrulama yöntemi (EPA, 1994), çalkalama (Filipek, et al., 1987; EPA, 1994) ve kinetik kolon yöntemi (EPA, 2003) olmak üzere kinetik esasları dikkate alan bir çok yöntem AMD araştırmalarını gerçekleştirmek ve arazi koşullarını daha doğru laboratuvar koşullarına yansıtmak için geliştirilmiş ve önerilmiştir. Bu deney yöntemleri, AMD oluşumunu kontrol eden fiziksel, kimyasal ve biyolojik sistem ve süreçlerin dinamik unsurlarının tamamını kapsamaları nedeniyle “kinetik deneyler” olarak adlandırılmaktadır. Bazı arazi koşullarında gerçekleştirilen kinetik deneylerle AMD oluşum sürecindeki fiziksel, biyolojik ve kimyasal süreçler daha doğru bir şekilde belirlenmesine karşın, araştırmacılar ekonomik koşullar, zaman ile uygulanabilirlik parametrelerini dikkate alarak yukarıda değinilen deney yöntemlerini önermişlerdir. Hornberger ve Brady (1998), AMD tahmini için kinetik deneylerin en önemli hedefinin, kabul edilebilir doğruluk ve hassasiyette madencilik çalışmalarının yapılacağı kaya birimlerinden çevreye aktarılan atık sularının kalitesinin önceden tahmin edilebilir olması gerektiğini vurgulamışlardır. Bu araştırmacılar, kinetik deneylerin tasarım çalışmaları sırasında aşağıda verilen ana faktörlerin göz önünde bulundurulmasının, yapılacak AMD tahminleri açısından önemli olduğunu belirtmişlerdir:

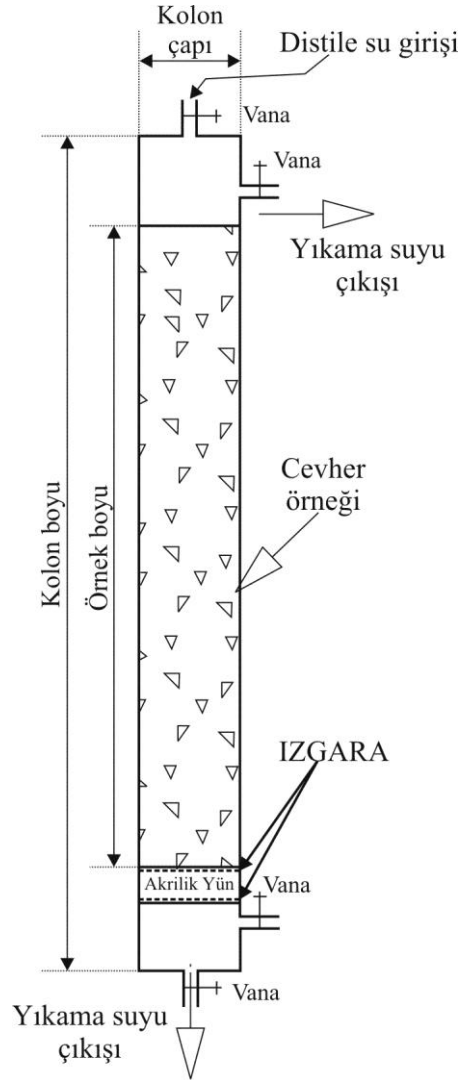
1. Kinetik deney düzeneğinin, büyüklüğü, şekli ve yapısı, basit ve uygulanabilir olmalıdır. Aynı anda birden çok örneği analiz edecek sayıda olmalıdır. Hazırlanan düzenek, sıvı ve gazların (örneğin oksijen ve karbondioksit) sistem içerisine girip çıkmasını sağlamalı ve dolayısıyla arazi koşullarındaki bozunma süreçlerini temsil ediyor olmalıdır.
2. Kinetik deney düzeneğinin boyutları, deneye tabi tutulacak örneklerin hacmi ve tane boyu dağılımıyla orantılı olmalıdır. Bu nedenle, örnek ve örneğin konulduğu hücre arasındaki olabilecek olumsuz etkileşimler (örneğin hava kabarcıkları) engellenmelidir. Örneğin, kolon şeklinde tasarlanan düzeneğin iç çapı kullanılan örneklerin en büyük tane boyundan en az birkaç kat daha büyük olmalıdır.
3. Kinetik deneyler için yapılacak örnekleme, AMD oluşum potansiyeli belirlenecek kaya birimlerinin fiziksel (örneğin, tane boyu dağılımı), kimyasal (örneğin mineralojik bileşimi) karakteristiklerini temsil etmelidir. Daha yüksek oranlardaki ince tane boyu, asit üretimi açısından kritik bir parametre olan bozunma süreçleri reaksiyonları için yüzey alanını arttırır.
4. Birden fazla litolojik birimler aynı kinetik deney düzeneğinde birleştirilmemelidir.

5. Sisteme giren su hacmi ile kinetik deneyler sırasında tüketilen su hacmi arasındaki fark atık su miktarını belirlemektedir. Bu su hacimleri, deneylere tabi tutulan kaya örneklerinin hacmi ile uygun bir şekilde orantılı olmalı ve yaklaşık olarak bölgedeki hidrolojik çevrimi (örneğin, yağış, yüzey suyu ve yer altı suyu miktarı) temsil etmelidir. Kullanılan örneklerin yüzey alanı ile atık su hacmi arasındaki oran kinetik deney tasarımı, performans ve yorumlanmasında en önemli parametre olabilir.
6. Kinetik deney süresince kaya örnekleri genel olarak tamamen suya doymuş durumda olmamalıdır. Diğer bir ifadeyle ortam yarı doymuş olmalı, kuruma ve ıslanma çevrimleri sağlanmalı ve boşluklara zamana bağlı olarak hem su hem de hava girişinin sağlanması gerekmektedir.
7. Kinetik deney düzeneğinde biyolojik bozunma süreçlerini sağlayan demir-oksit bakterileri göreceli olarak yaygın bir şekilde bulunmalıdır.
8. AMD oluşumunun tahmininde kullanılacak ideal kinetik deney: a) montajı ve çalıştırılması pratik, b) yaygın bir şekilde kullanımını ve kabul görmesini sağlamak için kısa süreli ve ucuz olması, ve c) madencilik çalışmaları sırasında oluşan fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçleri temsil etmesi gerekmektedir.

Bu çalışma kapsamında, çalışma alanı olarak seçilmiş sahayı en doğru şekilde temsil edici boyutların belirlenmesi ve AMD oluşumu sırasında meydana gelen fiziksel, kimyasal ve biyolojik bozunma süreçlerinin laboratuvar koşullarında hazırlanan örneklerle yansıtılması için yukarıda verilen ve Hornberger ve Brady (1998) tarafından önerilen kriterler dikkate alınarak kinetik kolon tasarım çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında hedeflenen amaçlar doğrultusunda gerçekleştirilen kinetik kolon tasarım çalışmalarına ilişkin detaylar aşağıdaki alt bölümlerde sunulmuştur.

4.1 Kolonların Tasarımı ve Kullanılan Malzemeler

Araştırma kapsamında kullanılan kinetik kolon düzeneği özel olarak tasarlanmıştır. Kolonlarda çalışma mekanizması ve platform tasarımı yoğun çalışmalar sonrası; ekonomik, her türlü tane boyuna ve malzemenin kullanılmasına izin veren, açık ve kapalı sistemlerden oluşmakta olup, pompa ihtiyacı olmadan damlama yapılabilen ve ayrıca ek filtrasyon gerektirmeyen şekilde tasarlanmıştır. Doğal koşullardaki bozunma süreçleri dikkate alınarak tasarlanan bu kolonların teknik çizimi Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1 Bu çalışma kapsamında kullanılan kolon geometrisi.

Kolonlar, bozunma süreçlerine maruz bırakılan malzemelerdeki değişimi izleyebilmek için şeffaf fiberglastan yapılmıştır (Şekil 4.2a). Kolonlarda kullanılan boru, musluk, vana gibi aparatlar kimyasal etkilere dayanıklı malzemelerden üretilmiştir. İlk deney düzeneğinin hazırlık çalışmaları sırasında filtre sisteminde cam yününün kullanılması planlanmıştır. Minnesota Üniversitesi Doğal Kaynaklar Bölümü ve US Bureau of Mines tarafından yapılan çalışmada cam yününün asidi nötrleyici ve pH arttırıcı bir özelliğe sahip olduğu ve söz konusu bu mekanizma uluslararası yapılan bir çok araştırmada benzer sonuçlar elde edilmiştir (EPA, 1994). Bu nedenle, bu tez kapsamında cam yünü yerine, hazırlanan kolonlarda akrilik elyaf, elekler arasına yerleştirilerek kinetik kolon deneyine başlanılmasının yapılan araştırmalarda elde edilecek verilerin güvenilirliği açısından daha yararlı olacağı öngörülmüştür. Bu nedenle, kolonlardan çıkan süzüntünün ince tane boyunda malzeme (partikül) içermemesi için, 0.05 μm

açıklıklı pleksiglas filtre kullanılmıştır (Şekil 4.2b ve Şekil 4.2c). Kolonların içinde bulunan malzemenin taşınması amacıyla alt üniteye 0.5 μm açıklıklı pleksiglas filtre ile iki filtre arasında akrilik elyaf kullanılmıştır. Filtreler arasında akrilik elyaf kullanımı ile bu konudaki son gelişmeler düzeneğe yansıtılmıştır.

Kinetik kolon deneyleri için toplamda 24 ayrı ve farklı boy/çap oranına sahip kolonlar tasarlanmıştır. Araziden alınan cevher örneklerinin tane boyu, maden zenginleştirme yöntemleri ve uluslararası platformda yapılan çalışmalarda olduğu üzere orta tane boyu (-3.35 mm) ve ince tane boyu (-0.625 mm) ayrılarak asit maden drenaj oluşumuna etkisinin incelenmesi planmış ve bu plan doğrultusunda kinetik kolon deneyleri için farklı platformlar hazırlanmıştır. Her düzeneğe ait kolonların (çap/uzunluk) bilgileri Çizelge 4.1’de verilmiş olup, aynı boy/çap oranına sahip kolonlar ise tekrar düzenlenerek Çizelge 4.2’de özetlenmiştir. Bu çizelgelerde kullanılan toplam 24 adet kolonların numaralandırma 11’den itibaren başlatılmıştır. Kolon boyutlarının belirlenmesinde önceden uluslararası çalışmaların sonuçları dikkate alınarak belirlenmiş örneklerin tane boyu dağılımı ile laboratuvar olanakları göz önünde bulundurulmuştur.

Şekil 4.2’de de görüldüğü gibi, hazırlanan kolonlar tekerlekleri sabitlenebilen ahşap platform üzerine oturtulmuştur. Kolon düzenek platformları istenilen yere rahatlıkla çekilebilir ve çekildikleri yerde sabitlenebilir özelliktedir. Kolon düzeneğinin üst kısmından kolonlara su akış sağlayan su hazne platformu yer almaktadır. Her kolona ait 2 L kapasiteli bir su haznesi bulunmaktadır. Suyun kolonlara beslemesi damla damla (tıpkı serumun damara gidişi gibi) olarak sağlanmıştır. Kinetik kolon deneyleri sırasında pH değeri 8.1 olan distile su kullanılmıştır. Ayrıca, tasarlanan bu sistemde su akış debisi ölçülebilmektedir.

(a)



(b)



(c)



Şekil 4.2 a) Kinetik kolon düzeneklerinin görünümü, b) filtre ızgaralarında önce kullanılan cam yünü ve yerini alan akrilik yün malzemelerinin görünümü, c) kolon filtre haznesi.

Çizelge 4.1 Farklı tane boyuna ait kinetik kolon düzeneklerine ait fiziksel bilgiler.

Orta (-3.35 mm altı tane boyu malzeme) (Platform No:2)					İnce (-0.625 mm altı tane boyu malzeme) (Platform No:3)				
<i>Kolon Numarası</i>	<i>Boy (cm)</i>	<i>Çap (cm)</i>	<i>Boy/Çap Oranı</i>	<i>Hacim (cm³)</i>	<i>Kolon Numarası</i>	<i>Boy (cm)</i>	<i>Çap (cm)</i>	<i>Boy/Çap Oranı</i>	<i>Hacim (cm³)</i>
11	72	7	10.29	2769.48	23	72	7	10.29	2769.48
12	56	7	8	2154.04	24	56	7	8	2154.04
13	72	6	12	2034.72	25	72	6	12	2034.72
14	48	6	8	1356.48	26	48	6	8	1356.48
15	60	5	12	1177.50	27	60	5	12	1177.50
16	40	5	8	785.00	28	40	5	8	785.00
17	48	4	12	602.88	29	48	4	12	602.88
18	32	4	8	401.92	30	32	4	8	401.92
19	36	3	12	254.34	31	36	3	12	254.34
20	24	3	8	169.56	32	24	3	8	169.56
21	24	2	12	75.36	33	24	2	12	75.36
22	16	2	8	50.24	34	16	2	8	50.24
Toplam Hacim (cm ³)				12333	Toplam Hacim (cm ³)				12333
Toplam Kolon Sayısı				12 Adet	Toplam Kolon Sayısı				12 Adet

Çizelge 4.2 Aynı boy/çap oranına sahip kolonlar.

Orta (-3.35 mm altı tane boyu malzeme) (Platform No:2)				İnce (-0.625 mm altı tane boyu malzeme) (Platform No:3)			
Boy/Çap Oranı	Kolon Numarası	Boy (cm)	Çap (cm)	Boy/Çap Oranı	Kolon Numarası	Boy (cm)	Çap (cm)
12.00	13	72	6	12.00	25	72	6
	15	60	5		27	60	5
	17	48	4		29	48	4
	19	36	3		31	36	3
	21	24	2		33	24	2
10.29	11	72	7	10.29	23	72	7
8.00	12	56	7	8.00	24	56	7
	14	48	6		26	48	6
	16	40	5		28	40	5
	18	32	4		30	32	4
	20	24	3		32	24	3
	22	16	2		34	16	2

4.2 Kolonların Fiziksel Özellikleri

Tasarlanan kinetik kolon deney düzenekleri, atmosfere açık yüzeyli ve atmosfere kapalı yüzey olmak üzere iki sistemde tasarlanmıştır. Böylelikle açık ocak madenciliği ve kapalı ocak madenciliğini yansıtır model oluşturulmuştur. Aynı çapa ait kolonlar önce uzun sonra kısa olmak üzere açık ve kapalı işletme sistemi bir arada olan daha derin madencilik modelinin de yapılmasına olanak tanımıştır. Böylelikle uzun kolondan gelen su istenirse kısa kolonda tesisat yardımıyla geçişi sağlanabilecektir. Ayrıca tesisat hattı ve hava geçiş vanaları sayesinde istenirse bakteri aşılmasına imkan verebilmektedir. Ayrıca, 2 L hacme sahip her bir kolonun su haznesi ile doğal akıştan faydalanılmış olup böylelikle izotropik pompa ihtiyacı ve masrafı doğmamıştır. Sistem istenmesi durumunda artık malzemesinin kinetik davranışını belirlemek üzere de çalıştırılabilir konumda yapılmıştır. Bu çalışma açık ocak madenciliğine uygun olarak atmosfer açık sistemde, farklı tane boyunda gerçekleştirilmiştir. Tane boyunun değişimi, asit maden drenaj hızının değişimi hakkında önemli bir göstergedir. Bununla birlikte, yapılan araştırmalar, kolon içindeki kireçtaşı örneği üst tane boyutunun $2\text{ cm} > \text{nominal boyut} > 0,5\text{ cm}$

aralığında olması saha koşullarının daha iyi temsil ettiği yönündedir (Bradham and Caruccio, 1990).

Kolonlara ait su haznelerinde başlangıçta her birine 1500 ml saf su konulmuştur. Yağış sonrası elde edilen süzüntü sular her biri kendi kolonuna ait su haznesine yeniden eklenmiştir. Yağış yapıldıktan sonra kolon iki gün kurumaya bırakılmıştır. Böylelikle hafta da iki gün yağış ve her yağış sonrası kuruma yapılarak su çevrimi sağlanmıştır. Kolonlarda su haznelerinde bulunan su miktarındaki değişim ve ekleme nedeni; üç haftada bir su analizleri için alınan her bir kolon için 500 ml su miktarı, aylık değişim gösteren buharlaşma sonucu suda azalma, yağmurlama sonrası kapatılan vanalarda akış dururken bağlantı elemanları ve kolon içinde kalan az bir miktarda kaybedilen su, pH ve iletkenlik (Ec) ölçümleri sırasında kullanılan su miktarı sebebiyle oluşan kayıplar ile altta yer alan çözeltinin yukarıda yer alan su haznelerine geri boşaltma sırasında yaşanan su kayıpları olarak açıklanabilmektedir. Bahsedilen su miktarlarında azalmanın başlıca sebebi buharlaşmadır. Asit maden drenaj laboratuvarının buharlaşma miktarı mevsim koşulları gereği her ay belirlenmiştir. Laboratuvardaki buharlaşma miktarı, aylık buharlaşma ölçüm verilerinin ortalaması %18.76 olarak belirlenmiştir. Çalışma alanında ise buharlaşma miktarı, Artvin ili DMI son 50 yıllık verileri tüm aylar dikkate alındığında buharlaşmanın % 2.70 ila % 21.54 arasında değiştiği gözlenmiştir. Aynı meteorolojik kayıtlar incelendiğinde, bölgede örneklerin doğal koşullarda yılda ortalama 11 gün karlı gün koşullarında kaldığı tespit edilmiştir. Bölgede var olan bu koşullar dikkate alınarak kinetik kolon deneyleri için hazırlanan modelde karlı gün çalışmaları yapılmıştır. Bu nedenle, Ankara'da yağan kar dondurucuda bekletilerek daha sonra bu amaçlar doğrultusunda kolonlarda kullanılmıştır (Şekil 4.3). Kolonlardaki karların erimesi sonrası kolon altından elde edilen kar suları, su haznelerine geri besleme yapılmamıştır. Böylelikle su haznelerindeki su kalitesini etkilenmemesi sağlanmıştır. Yirmi günlük periyotlarda su analizleri yapılarak ağır metal değişimleri saptanmıştır. Ayrıca üç ayda bir mineralojik çalışmalar ve bozunma derecelerinin belirlenmesi için kolonlardan malzemedan örnek alınarak mineralojik çalışmalar yapılmıştır.



Şekil 4.3 Kolonlara karlı gün sayısı uygulaması

Kinetik kolon deneyinde kolonlara uygulanacak yağış miktarları kolon çapları ve bölgedeki yağış koşulları gözetilerek hesaplanmış ve düzeneğe yansıtılmıştır (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3 İklimsel yağışa bağlı olarak her bir kolona uygulanan yağış miktarı.

	Kolon çapı						
	2 cm	3 cm	4 cm	5 cm	6 cm	7 cm	9 cm
Kolon birim kesiti cm^2 ($3.14 \cdot r \cdot r$)	3.14	7.065	12.56	19.625	28.26	38.465	63.585
Toplam Yıllık Yağış Miktarı (kg/cm^2) ((Yıllık Yağış Miktarı (kg/m^2)*Kolon Birim Kesiti)/1000)	0.06076	0.13671	0.2430	0.37976	0.54686	0.744336	1.23043
Bir Gündeki Yağış Miktarı (kg/cm^2) ((Toplam yıllık yağış miktarı (kg/cm^2)/(Bir yıldaki yağmurlu gün sayısı/2))	0.0890	0.2002	0.3559	0.556	0.8007	1.0898	1.8015
Düzenekte Kullanılacak Miktar (ml)	89	200	356	556	801	1090	1802

Çizelge 3.2 ve Çizelge 4.3 açıklamak üzere kolonlara gelecek olan yağış miktarının detaylı izahına beş cm çapındaki bir kolona yağması gereken miktarın belirlenmesi örnek verilirse,

Kolon kesit alanı ($A = \pi r^2$, $r = 2.5 \text{ cm}$) $A = 19,625 \text{ cm}^2$ dir.

Buradan,

$$19,625 \text{ cm}^2 * (1/100^2) = 0,0019625 \text{ m}^2 \text{ bulunur.}$$

Toplam yıllık yağış miktarı Çizelge 3.2’de yer aldığı üzere 1 m^2 için $193,51 \text{ kg}$ ’dır.

Beş cm çapındaki kolon için yıllık yağış miktarı;

$$193,51 \text{ kg/m}^2 * 0.0019625 \text{ m}^2 = 0.37976 \text{ kg} \text{ elde edilir.}$$

Elde edilen değer Çizelge 3.2’de de belirtildiği üzere 136.6 gün/ yıl yağıştır.

$$0.37976 \text{ (kg)/yıl} / 136.6 \text{ (gün/yıl)} = 0.00278 \text{ (kg/gün)} \text{ elde edilir.}$$

Bu araştırma kapsamında laboratuvar çalışması sahadaki yüzyıl, 6 aylık zaman diliminde ifade edildiğinden;

$$0.00278 \text{ (kg/gün)} * (100 * 2) = 0.556 \text{ kg} \text{ bulunur.}$$

Bir yıldaki yağış miktarını ml çevirmek için; su için 1 kg , 1000 ml olduğundan,

$$0.556 \text{ kg} * 1000 = 556 \text{ ml} \text{ dir.}$$

Lawrance kinetik kolon deneyleri için önerdiği yağışlama periyodu, 750 ml/kg veya sabit 2000 ml şeklindedir. Her bir kolona ait malzeme miktarına göre hesaplamalar Çizelge 4.4’te verilmiştir. Çizelge 4.4’te yer alan altı çizili yağış miktarları en az yağış miktarına ve meteorolojik yağış verisine sahip olmaları nedeniyle laboratuvar da yağış verisi olarak kullanılmıştır. Yağış sonrası iki gün kolonlar kurumaya bırakılmaktadır. Böylelikle üç günde ıslanma-kuruma döngüsü tamamlanmaktadır. Haftada toplamda iki döngü yapılmıştır.

Çizelge 4.4 Yağış verilerinin değerlendirilmesi.

Tane Boyu	Kolon no.	Kolon Çapı (cm)	Örnek ağırlığı (kg)	Lawrance yağış miktarı 750 (ml/kg) için	Lawrance yağış 2000 (ml)	Meteorolojik yağış verileri (ml)
Orta tane cevher örneği	11	7	5.337	4002.75	2000	<u>1090</u>
	12	7	4.350	3262.50	2000	<u>1090</u>
	13	6	4.175	3131.25	2000	<u>801</u>
	14	6	2.341	1755.75	2000	<u>801</u>
	15	5	2.182	1636.50	2000	<u>556</u>
	16	5	1.393	1044.75	2000	<u>556</u>
	17	4	1.090	817.50	2000	<u>356</u>
	18	4	0.690	517.50	2000	<u>356</u>
	19	3	0.537	402.75	2000	<u>200</u>
	20	3	0.323	242.25	2000	<u>200</u>
	21	2	0.141	105.75	2000	<u>89</u>
	22	2	0.097	<u>72.75</u>	2000	89
İnce tane cevher örneği	23	7	4.711	3533.25	2000	<u>1090</u>
	24	7	3.669	2751.75	2000	<u>1090</u>
	25	6	3.348	2511.00	2000	<u>801</u>
	26	6	2.330	1747.50	2000	<u>801</u>
	27	5	1.933	1449.75	2000	<u>556</u>
	28	5	1.274	955.50	2000	<u>556</u>
	29	4	1.042	781.50	2000	<u>356</u>
	30	4	0.711	533.25	2000	<u>356</u>
	31	3	0.417	312.75	2000	<u>200</u>
	32	3	0.302	226.50	2000	<u>200</u>
	33	2	0.117	<u>87.75</u>	2000	89
	34	2	0.093	<u>69.75</u>	2000	89

Kolon deneylerinin yapıldığı asit maden drenaj laboratuvarında ki buharlaşma yüzdesi, arazi koşulları limitlerinde kalmaktadır. Kinetik deneyler için hazırlanan kolonlara konulacak su miktarı, DMİ'nin bölgedeki son 50 yıllık verileri ve kolonların boyutları dikkate alınarak belirlenmiş ve Çizelge 4.5'te verilmiştir. Farklı tane boyunda hazırlanan örneklerde AMD oluşumu için ihtiyaç duyulan su miktarı, ıslanma ve sonrasında kuruma aşamasının sağlanması amacıyla haftada iki gün olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.5 Artvin’de bulunan DMİ’nin istasyonda kaydedilen son 50 yıllık veriler dikkate alınarak kolonlardan alınan su miktarı.

Kolon numarası	Kullanılan su miktarı (ml)
13, 14, 25 ve 26	801.00
15, 16, 27 ve 28	556.00
17, 18, 29 ve 30	356.00
19, 20, 31 ve 32	200.00
11, 12, 23 ve 24	1090.00
21	89.00
22	72.75
33	87.75
34	69.75

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Son yıllarda gerçekleştirilen madencilik çalışmalarının projelendirme aşamasında, asit maden drenajı (AMD) potansiyelinin tanımlanıp belirlenmesi, bir maden ocağının ekonomik bir şekilde işletilmesinin mümkün olup olmayacağı konusunda göz önünde bulundurulması gereken en önemli parametrelerinden birini oluşturmaktadır. Günümüzdeki madencilik çalışmalarının ekonomik değerlendirmelerinde dikkate alınan asit maden drenajı potansiyelinin belirlenmesi ve ayrıca bu çalışmanın amacı doğrultusunda asit maden drenajı konusunda geçerli, tutarlı yaklaşım elde edilmesi için yoğun bir laboratuvar çalışması yapılmıştır. Deneysel çalışmalar için önceden arazi çalışmaları ve örneklemeler için Artvin ilinin Murgul ilçesine yakın bulunan Damar bölgesi seçilmiş olup burada bulunan yan kayaç ve bakır cevheri içeren kaya malzemelerinde örneklemeler gerçekleştirilmiştir.

Doğal koşullarda fiziksel bozunma ve kimyasal bozunma birlikte gerçekleşmekte olup, fiziksel bozunma süreçleri kimyasal bozunma süreçlerinin etki alanını arttırmaktadır. Yüzey alanı ne kadar geniş olursa bozunmaya uğrayacak kaya yüzeyi o kadar artacağından bozunma daha hızlı gerçekleşecektir. Hem bozunma hızı ve miktarı konusundaki söz konusu bu durum, hem de ocakta bozunmaya uğraması beklenen kaya malzemelerinin farklı tane boyuna sahip olması ve dolayısıyla farklı yüzey alanlarına sahip olması olgusu dikkate alınarak, arazide alınan örneklerin farklı tane boyuna sahip olmalarını sağlamak için kırma ve öğütme işlemine tabi tutulmuştur. Dolayısıyla, farklı tane boyuna sahip ve aynı zamanda farklı yüzey alanlarına sahip örneklerle kolon deneyleri uygulanmıştır.

Bu çalışmada gerçekleştirilen laboratuvar deneyleri ve bu deneyler için seçilen örnek türü Çizelge 5.1’de verilmiştir. Alınan örneklerin jeokimyasal, mineralojik, fiziksel özelliklerinin kolon deneyi öncesi durumlarını belirlemek üzere farklı tane boyutlardaki örnekler üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Mineralojik ve kimyasal değişimin belirlenmesi amacıyla kolon deneyine tabi tutulmuş örneklerden periyodik zamanlı (iki ayda bir) örnekler alınarak amaca yönelik analizleri gerçekleştirilmiştir. Sülfürlü ve asit nötrleştirme minerallerinin özellikleri (tipi, miktarı, dağılımı, doku, tane boyu, boşluk hacmi, boşluk suyu, gözeneklilik, geçirgenlik, sıkışma ve ayrışma dereceleri) ayrıntılı olarak analiz edilmiştir. Seçilen örneklerin tanımlanması için XRD, XRF analizlerinin yanı sıra, BET (Brunauer, Emmett and Teller) yöntemi ile yüzey alanı tayini, gözenek hacmi ve gözenek boyut dağılımı ölçümleri ile lazerli tane iriliği dağılımı belirlenmiştir. İklim (sıcaklık değişimi, buharlaşma, yağış, nem, karlı gün sayısı) ve topografya etkisi saha koşulları göz önünde bulundurularak deneysel çalışmalara yön verilmiştir. Kolon deneylerinden üç günde bir kolondan geçen suyun

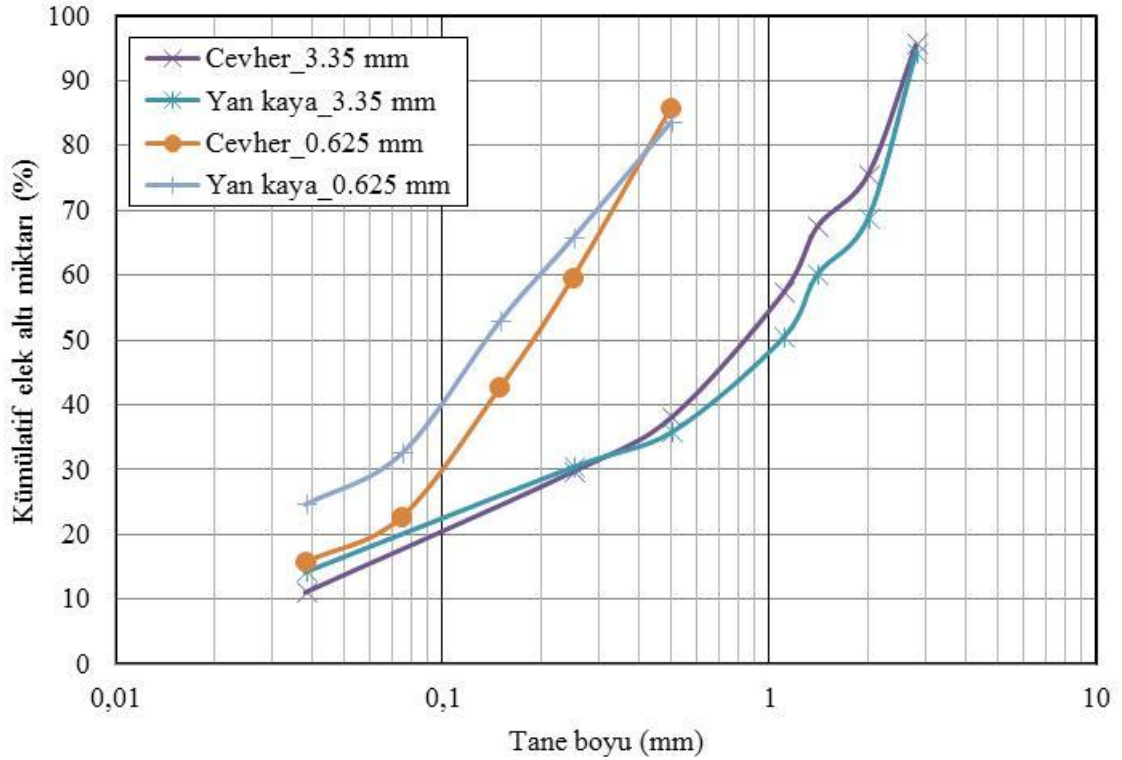
beslemesi yapılarak yağış sonrası iki gün kurumaya bırakılması ve her yedi günde pH, sıcaklık, iletkenlik, ölçümü yapılmıştır. Yirmi bir günde bir alınan su örneklerinin analizi sonucunda ağır metallerin, nitrit, nitrat durumunun yanı sıra, pH, iletkenlik, alkalinite, Fe^{3+} , Fe^{2+} , Al^{3+} , Mn^{2+} , Ca^{2+} , SO_4^{2-} , H_2CO_3 , HCO_3^- zamana göre değişiminin yanı sıra Statik deneyler ile Asit Üretme Potansiyeli (AÜP), Net Asit Üretme Potansiyeli (NAÜP), Nötürleşme Potansiyeli (NP), Asitleşme Potansiyeli (AP), Net Nötürleşme Potansiyeli (NNP) belirlenmiştir. Yukarıda özetle değinilen deneysel çalışmalar ve bu çalışmalar sonucunda elde edilen parametrelere ilişkin detaylı değerlendirmeler aşağıda sunulmuştur.

Çizelge 5.1 Tez kapsamında hedeflenen amaçlara ulaşılması amacıyla gerçekleştirilen laboratuvar çalışmaları yöntemi ve deney amaçları.

Laboratuvar Çalışmaları Yöntemi			
Yapısal unsurların belirlenmesi	Statik deneyler	Kinetik kolon deney sürecinde yapılan çalışmalar	
Mineralojik ve petrografik analizler •XRD •XRF •Cevher mikroskobu •MLA Fiziksel özellikler •Birim hacim ağırlık •Porozite •Ağırlıkça su emme	1.Asit baz hesabı 2.Modifiye asit-baz hesabı 3.prEN 15875 •Asit potansiyeli •Nötürleşme potansiyeli •Nötürleşme potansiyeli oranı	Örnek hazırlama •Kırma ve öğütme •Yaş eleme ve filtrasyon •Yüzey alanı ve gözeneklilik • Fe^{2+} , Fe^{3+} , C ve toplam S •Örnek yerleştirme •Mineralojik ve kimyasal analizler için alınan yaş örneklerin yerine hesaplanan miktarda kuru örneğin kolonlara eklenmesi	Kinetik kolon deneyleri •Geçirimsizliğin belirlenmesi •pH ve elektriksel iletkenlik ölç. •Buharlaşma •Kolonlardaki fiziksel değişimler •Mineralojik analizler •Kimyasal analizler
Kullanılan örnek türü	Deney türü	Deney	Deneyin amacı
Katı	Fiziksel Özelliklerin Belirlenmesi	Tane boyu dağılımı Tane yüzey alanı Nem içeriği Yoğunluk ve birim hacim ağırlık Gözeneklilik Permeabilite	Deneye tabi tutulan örneklerin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi, saha koşullarını tanımlamak için dinamik deney tasarımı, kestirim kriterleri ve modelleme etkili olabilen bağımsız değişkenlerin belirlenmesi.
	Kimyasal	Metal iyonlarının (Fe, Cu, Pb, vs.) ve S, SO_4 tespiti için yapılacak deneyler	AMD potansiyel tayini ve oksidasyon derecesi belirlenmesi.
	Mineralojik	Tam mineralojik analiz, kristal yapı, birincil ve ikincil minerallerin tespiti, dağılımı ve dokusu	Asit üreten alkalın mineraller ve oksidasyon ürünlerinin tayini
Sıvı	Kimyasal	Metal iyonları (Fe, Cu, Pb, vs.), S, SO_4 , Alkalinite	Su kalitesinin tayini, çevre yönetmelikleriyle değerlendirme ve istatistik değerlendirme kullanılması

5.1 Örnek Hazırlama ve Elek Analizi

Arazi çalışmaları sırasında, laboratuarda yapılan deneylerde kullanılmak üzere 150 kg cevher ve 150 kg yan kayaçtan örnek alınmış ve alınan bu örnekler için ihtiyaç duyulan koruma tedbirleri alındıktan sonra Maden Tetkik ve Arama (MTA) Genel Müdürlüğü laboratuvarlarına gönderilmiştir. Kolonlarda kullanılan örneklerin -3.35 mm (orta tane boyu) ve -0.625 mm (ince tane boyu) olmak üzere farklı tane boyunda hazırlanması amacıyla aynı kurumun laboratuvarlarında bulunan çeneli kırıcı kullanılmıştır. Başlangıç aşamasında, bu çeneli kırıcıdan alınan kırılmış malzeme -25 mm pilot tipi eleme makinesi kullanılarak alınan bütün örnekler elenmiştir. Elek üstünde kalan örnekler benzer şekilde tekrar çeneli kırıcıya beslenmiş ve tüm örneklerin tane boyları -25 mm'den daha küçük olacak şekilde hazırlanmıştır. Tane boyu 25 mm den daha küçük olan bu örneklerden 30 kg bölme aracıyla örnekleme standardına göre alınarak, kalan örnekler laboratuvar tipi konik kırıcı ve merdaneli kırıcı kullanılarak tane boyu -3.35 mm olacak şekilde kırılmıştır. Bölme aracı ile 30 kg kadar ayrılan örnek merdaneli kırıcı ve kurvazatör yardımı ile ince kırma yapılarak -0.625 mm boyutuna getirilmiştir. Kinetik kolon deneylerinde kullanılmak üzere orta (-3.35mm) ve ince (-0.625 mm) tane boyuna sahip 30 kg'lık farklı boyutlarda cevher örnekleri hazırlanmıştır. Hazırlanan bu örneklerin tane boyu dağılım eğrilerinin belirlenmesi amacıyla yaş elek analizi gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 5.1'de verilmiştir. Sedimater petroloji çalışmalarında özellikle ortamda, medyan standart sapma gibi istatistiksel parametreler tane boyut dağılım eğrilerinin tanımlanmasında sıklıkla kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra mühendislik çalışmalarında daha çok örneklerde bulunan tane çaplarının değişim aralığı ve tane boyu dağılım eğrisi üzerinde belirlenen belirli tane çaplarına karşılık gelen eşdeğer geçen yüzde olan "D" kavramı kullanılmaktadır. Örneğin D_{50} , örneklerin ağırlıkça geçen %50'si D_{50} çapından daha küçük olduğu şeklinde yorumlanmaktadır. Şekil 5.1'de cevher örnekleri için verilen tane boyu dağılım eğrileri kullanılarak bu örneklerin D_{30} , D_{50} ve D_{80} parametreleri belirlenmiş ve Çizelge 5.2'de verilmiştir. Cevher ve yan kayaç örneklerinin arazi koşullarında göstermiş oldukları doğal tane boyu değerleri foto analiz yöntemiyle belirlenmiş ve önceki bölümlerde bu konunun ayrıntısına değinilmiştir. Kırılan ve öğütülen örneklerden konileme ve dörtleme yöntemiyle örnekler alınarak kimyasal analizleri gerçekleştirilmiştir. Statik ve özel bazı deneylerde kullanılmak üzere daha ince tane boyuna sahip örnekler halkalı değirmende öğütülerek hazırlanmıştır.



Şekil 5.1 Orta ve ince boyutta hazırlanan cevher ve yan kaya örneklerinin tane boyu dağılım grafikleri.

Çizelge 5.2 Cevher ve yan kaya örneklerinin D_{30} , D_{50} ve D_{80} değerleri.

Tane boyu tanımı	Örnek türü	D_{30} (mm)	D_{50} (mm)	D_{80} (mm)
Orta (-3.35 mm)	Cevher	0.25	0.87	2.18
	Yan kaya	0.25	1.09	2.35
İnce (-0.625 mm)	Cevher	0.10	0.19	0.44
	Yan kaya	0.06	0.14	0.45

5.2 Cevher ve Yan Kaya'nın Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesine Yönelik Deneyler

Çalışma kapsamında kullanılan örneklerin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yoğunluk (d), birim hacim ağırlık (γ), gözeneklilik (n), ağırlıkça su emme (A_w) ve boşluk oranı (e) gibi fiziksel özelliklerinin belirlenmesine yönelik deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler sonucundan cevher ve yan kayanın fiziksel özellikleri belirlenmiş olup, bu özelliklerin değişim aralıkları ve istatistiksel değerlendirme sonuçları Çizelge 5.3'te verilmiştir. Kinetik kolon

deneyinde, kolonlarda bulunan örnek yoğunluğunun çalışma sahasındaki yoğunluğu temsil etmesini sağlamak amacıyla yoğunluk değerlerine ihtiyaç duyulmuştur. Ayrıca, ağırlıkça su emme parametresi; bozunma sonucu kolonlarda bulunan örneklerdeki değişimin saptanması için yapılan mineralojik ve kimyasal analizlerde kullanılmak üzere kolonların içinden alınan yaş örnek miktarı ile yerine konulan kuru örnek miktarı belirleme hesaplarında kullanılmıştır.

Çizelge 5.3 Cevher ve yan kayanın fiziksel özelliklerinin değişim aralıkları ve istatistiksel değerlendirme sonuçları.

Parametreler	Malzemenin türü	Deney sayısı	Değişim aralığı		Aritmetik ortalama	Standart hata	Standart sapma
			En Düşük	En Yüksek			
Birim hacim ağırlık, (kN/m ³)	Cevher	10	27.09	38.54	32.33	1.385	4.38
	Yan kaya	10	16.66	36.70	25.16	1.537	4.86
Porozite, n (%)	Cevher	10	1.01	2.68	1.84	0.196	0.62
	Yan kaya	10	0.03	9.03	4.51	0.784	2.48
Ağırlıkça su emme, A _w (%)	Cevher	10	0.27	0.92	0.59	0.079	0.25
	Yan kaya	10	0.01	3.72	1.77	0.310	0.98
Boşluk oranı, e	Cevher	10	0.010	0.027	0.0188	0.002	0.0064
	Yan kaya	10	0.0003	0.0993	0.04786	0.009	0.027

5.2.1 Yüzey alanı ve mikro gözeneklilik deneyi

Sülfür mineralleri bakımından zengin cevherli kayalarındaki AMD oluşumu ve bu oluşumun miktarı, oluşum üzerinde etkin olan süreçleri (özellikle kimyasal bozunma süreçlerinin) tane yüzey alanıyla doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle farklı tane boylarında hazırlanan ve kinetik kolon deneylerine tabi tutulan malzemelerin yüzey alanlarının belirlenmesi, bu deneyler sonrasında elde edilecek sonuçların daha doğru bir şekilde yorumlanması açısından oldukça önem taşımaktadır. Bu gereksinimler doğrultusunda kinetik kolon deneyleri için farklı tane boyunda hazırlanan örneklerin yüzey alanları ve mikrogözeneklilik özelliklerinin tespiti için deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, tanelerin söz konusu fiziksel özelliklerin saptanması için yüzey alanı ve gözenek boyu analiz cihazı (surface area and pore size analyzer, Nova 2200e Quantachrome Instruments) kullanılmıştır (Şekil 5.2). Bu deneyler için 0.2-0.5 g örnek hazırlanır ve cihazın haznesine konulur. Hücre tartılarak ve sıvı azot kabını önceden belirlenen seviyeye kadar gaz ile doldurularak azot kabı bölmesine yerleştirilir. İstenilen analiz, basınç sensörleri, pH, bağıl basınç grafiği, adsorpsiyon ve desorpsiyon parametreleri dikkate alınarak çizilmektedir. Dengedeki adsorbans basıncı doygunluğa yaklaşır, gözenekler tamamen adsorbant ile dolar. Adsorbant'ın yoğunluğu

bilinmesi halinde örnekteki gözenekleri dolmuş olanlardan toplam gözenek hacmi bulunur. Şayet bu basamak tersinirse adsorpsiyon prosesinde bilinen miktarda gazın geri çekilmesi işlemide bir basamaktır ve buna da desorpsiyon işlemi denir.



Şekil 5.2 Örneklerin yüzey alanı ve mikro gözeneklilik belirlenmesinde kullanılan “yüzey alanı ve gözenek boyu analiz cihazı” görünümü.

Yüzey alanı ve gözenekliliğin belirlenmesinde, kaya türünün bilinmesi (örneğin magmatik, metamorfik veya sedimanter kaya) gerekmektedir. Her kaya türü ve kayayı oluşturan mineral türü için, ayrı ayrı sıcaklık ve deney süresi önceden tanımlanmaktadır. Dolayısıyla, bu çalışmada kullanılan sülfür mineralleri bakımından zengin farklı tane boyuna sahip tuf örnekleri deneylerinin yapılacağı sıcaklık ve deney süresinin belirlenmesi konusunda kapsamlı bir literatür araştırması yapılmıştır. Bu örneklerin daha önce ısı işlem görmemeleri dikkate alınarak, yüzey alanı ve gözenekliliğin belirlenmesinde cihazın 320 °C sıcaklık 20 saat süre ile çalışması gerektiği öngörülmüştür. Doyma basıncına kadar gazın donmadan kalması gerektiğinden işlem süresi ve sıcaklığı çok önemlidir.

Farklı tane boylarında hazırlanan cevher ve yan kaya örnekleri yüzey alanı ve mikro gözeneklilik özellikleri için deneye tabi tutulmuştur. Hazırlanan örnekler üzerinde gerçekleştirilen bu deneylerde elde edilen sonuçlar Çizelge 5.4’te verilmiştir.

Çizelge 5.4 Farklı tane boyunda hazırlanan cevher ve yan kayaç örneklerinin yüzey alanı ve mikro gözeneklilik özelliklerine ilişkin analiz sonuçları.

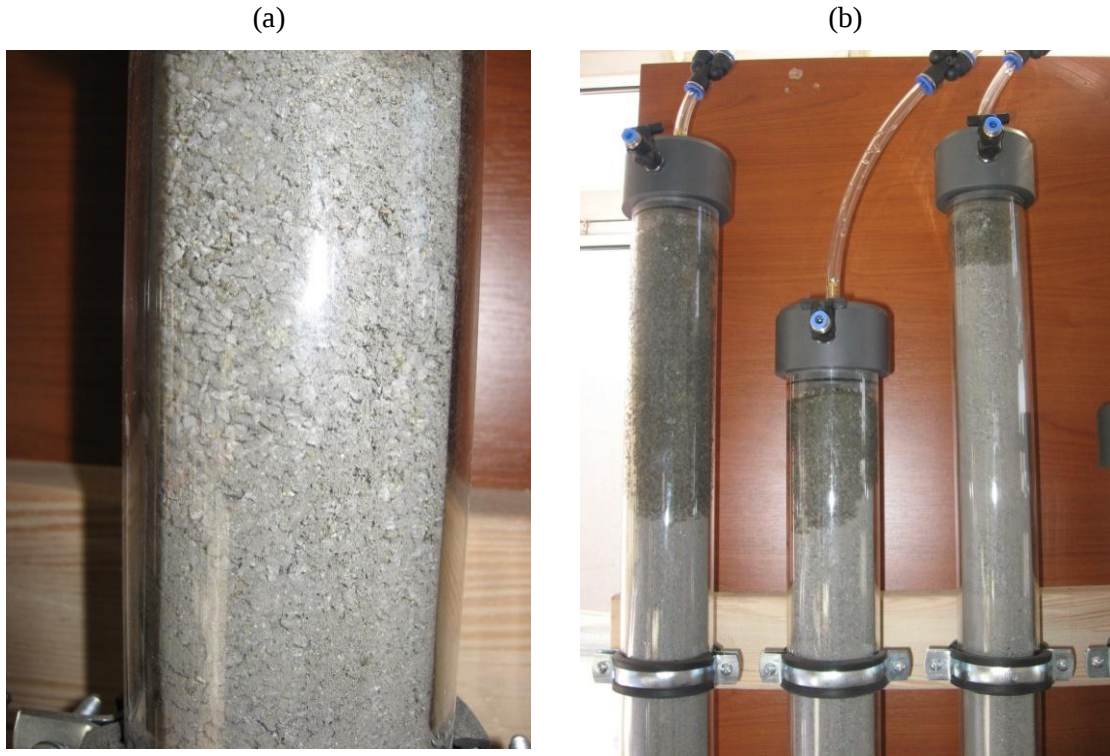
	Örnek türü	Yüzey alanı (m ² /g)	Gözenek yarı çapı	
			BJH adsorpsiyon	BJH desorpsiyon
-3.35 mm	Cevher	0.9844	48.87 A°	15.859 A°
	Yan kaya	0.137	0.010μ	0.002 μ
-0.625 mm	Cevher	1.238	67.94 A°	22.638 A°
	Yan kaya	0.193	0.008 μ	0.002 μ

5.2.2 Örneklerin hidrolik iletkenlik özelliklerinin belirlenmesi

Kinetik kolon deneylerinde suyun kolon içerisindeki ilerleme özellikleri, diğer bir ifadeyle hidrolik iletkenlik parametreleri kolonlara konulan örneklerde meydana gelecek bozunma süreçleri ve bu süreçlerin etki dercesi ile doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle, sabit seviyeli permeabilite deney sistemi esas alınarak, farklı boy ve çaplarda imal edilen kolon düzeneklerine konulan örneklerin hidrolik iletkenlik katsayıları (K) belirlenmiştir. Örneklerin permeabilite deney öncesi kuru ve ortama su verilmesi sonrası doygun koşullara geçmeden önceki koşulları Şekil 5.3'te verilmiştir. Bu deneyler için örneklerdeki yapı ve dokunun bozunmasını önlemek için ortama su verme çalışması suyun örnek içerisindeki ilerlemesi kontrol edilerek gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.3b). Kolonlara konulan cevher örneklerin tamamen doygun koşulu sağlandıktan sonra sabit seviyeli permeabilite deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler sonrasında cevher örneklerin hidrolik iletkenlik katsayısı (K) değerleri aşağıda verilen eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır. ASTM D2434 (2000b) standarda uygun olarak gerçekleştirilen deney sonuçları Çizelge 5.5'te verilmiştir. Çizelge 5.5'te de görüldüğü gibi, aynı boy ve çapa sahip kolonların, içermiş oldukları malzemenin tane boyundaki farklılıktan dolayı, farklı hidrolik iletkenlik katsayısı değerlerine sahip oldukları tespit edilmiştir.

$$K = \frac{Q * \Delta L}{A * \Delta H} \quad (5.1)$$

Burada; “Q” birim zamanda boşalan su hacmi, “ΔL” suyun geçtiği örneğin boyu, “A” akım doğrultusuna dik kolonların kesit alanı ve “ΔH” hidrolik yüküdür.



Şekil 5.3 Kinetik kolon deneyinin başlatılması aşamaları ve sabit seviyeli permeabilite deneyi:
a) kuru örnek ve b) örneklere su verme aşaması.

Bu çalışmada öğütülerek farklı tane boyunda hazırlanan örneklerin doğal pekişmemiş örneklerle karşılaştırılmak için, Freeze ve Cherry (1979) tarafından çimentolanmamış çökeller için önermiş olduğu hidrolik iletkenlik değerlerinin değişim aralıkları ve USBR (1974) tarafından önerilen geçirgenlik derecesi değerleri (Çizelge 5.6) kullanılmıştır. Çizelge 5.6 dikkate alınarak yapılan karşılaştırmalar sonucunda bu örneklerinin tamamının doğal kum örnekleri ile genel olarak benzer hidrolik iletkenlik değerlerine sahip oldukları tespit edilmiştir. Ayrıca, hazırlanan kolonların geçirimsizlik derecelerinin belirlenmesi için USBR (1974) tarafından önerilen yaklaşım (Çizelge 5.6) göz önünde bulundurulmuş ve kinetik kolon deneyi için hazırlanan bütün örneklerin iyi drenaj özelliğine sahip oldukları tespit edilmiştir.

Çizelge 5.5 AMD deneylerinde kullanılan kolonların boyutları ve sabit seviyeli permeabilite deneyleri ile belirlenen hidrolik iletkenlik katsayısı (K) değerleri.

Tane boyu	Kolon no	Boy (cm)	Çap (cm)	Boy/Çap oranı	K (cm/s)	Geçirimlilik derecesi (USBR, 1974)
Orta tane boyu (-3.35 mm)	11	72	7	10.28	0.0038	İyi drenaj
	12	56	7	8	0.0065	İyi drenaj
	13	72	6	12	0.0028	İyi drenaj
	14	48	6	8	0.0306	İyi drenaj
	15	60	5	12	0.0202	İyi drenaj
	16	40	5	8	0.0198	İyi drenaj
	17	48	4	12	0.0160	İyi drenaj
	18	32	4	8	0.0087	İyi drenaj
	19	36	3	12	0.0085	İyi drenaj
	20	24	3	8	0.0107	İyi drenaj
	21	24	2	12	0.0042	İyi drenaj
	22	16	2	8	0.0192	İyi drenaj
İnce tane boyu (-0.625 mm)	23	72	7	10.28	0.0046	İyi drenaj
	24	56	7	8	0.0049	İyi drenaj
	25	72	6	12	0.0017	İyi drenaj
	26	48	6	8	0.0085	İyi drenaj
	27	60	5	12	0.0129	İyi drenaj
	28	40	5	8	0.0134	İyi drenaj
	29	48	4	12	0.0100	İyi drenaj
	30	32	4	8	0.0096	İyi drenaj
	31	36	3	12	0.0157	İyi drenaj
	32	24	3	8	0.0159	İyi drenaj
	33	24	2	12	0.0231	İyi drenaj
	34	16	2	8	0.0192	İyi drenaj

Çizelge 5.6 Farklı malzemeler için önerilen hidrolik iletkenlik değerlerinin değişim aralığı (Freeze and Cherry, 1979) ve geçirgenlik derecesi (USBR, 1974).

Freeze and Cherry (1979)		USBR (1974)	
K (cm/s)	Çimentolanmamış çökel	K (cm/s)	Geçirimlilik derecesi
10^{-1} - 10^{-2}	Çakıl	1 - 10^{-2}	Aşırı derecede geçirimli
10^{-5} - 1	Kum	1 - 10^{-4}	İyi drenaj
10^{-7} - 10^{-3}	Silt	10^{-4} - 10^{-6}	Zayıf drenaj
10^{-10} - 10^{-7}	Kil	$>10^{-6}$	Geçirimsiz

5.3 Mineralojik ve Kimyasal Analizler

Sülfür mineralleri bakımından zengin yataklarda yapılan madencilik çalışmaları sonucu oluşan AMD potansiyeli, atmosferik süreçlerin uygunluğunun yanı sıra, işletilen kaya malzemesinin mineralojik ve kimyasal bileşimiyle doğrudan ilişkilidir. Bu çalışmada alınan örneklerin AMD oluşum potansiyelinin değerlendirmesi için aşağıda maddeler halinde verilen hedefler doğrultusunda Çizelge 5.7’de verilen mineralojik ve kimyasal analizler gerçekleştirilmiştir.

- 1) Yan kayaç ve kinetik kolon deneyleri için örneklenen cevherin deneylere başlamadan önce doğal mineralojik ve kimyasal bileşiminin belirlenmesi,
- 2) Kinetik kolon deneyleri sırasında zamana bağlı olarak alınan su örneklerinin bileşiminin tespiti için kimyasal analizlerin gerçekleştirilmesi,
- 3) Kinetik kolon deneylerinin başlaması sonrasında, belirli aralıklarda kolonlarda örneklerin alınması, mineralojik bileşiminin tespiti ve dolayısıyla meydana gelen kimyasal bozunma süreçlerinin ortaya konulması,
- 4) Deney bitimi sonrası örneklerde meydana gelen mineralojik değişim ve örneklerin içerisinde bulunduğu suyun kimyasal bileşiminde meydana gelen değişimin tespiti ve elde edilen sonuçların seçilen örneklerin AMD potansiyelinin belirlenmesinde kullanılması şeklinde sıralanabilir.

5.3.1 Mineralojik analizler

Mineralojik analiz çalışmaları kapsamında, X-Işınlı kırınım (XRD) analizleri, Cevher mikroskobu çalışmaları (Doğal örneklerin cevher mikroskobisi inceleme sonuçları ve Kolonlardan alınan örneklerin cevher mikroskobisi inceleme sonuçları), Mineral serbestleşme derecesi analizleri (MLA) yapılmış olup, ayrıntılı olarak aşağıda verilmiştir.

5.3.1.1 X-ışınları kırınım (XRD) analizleri

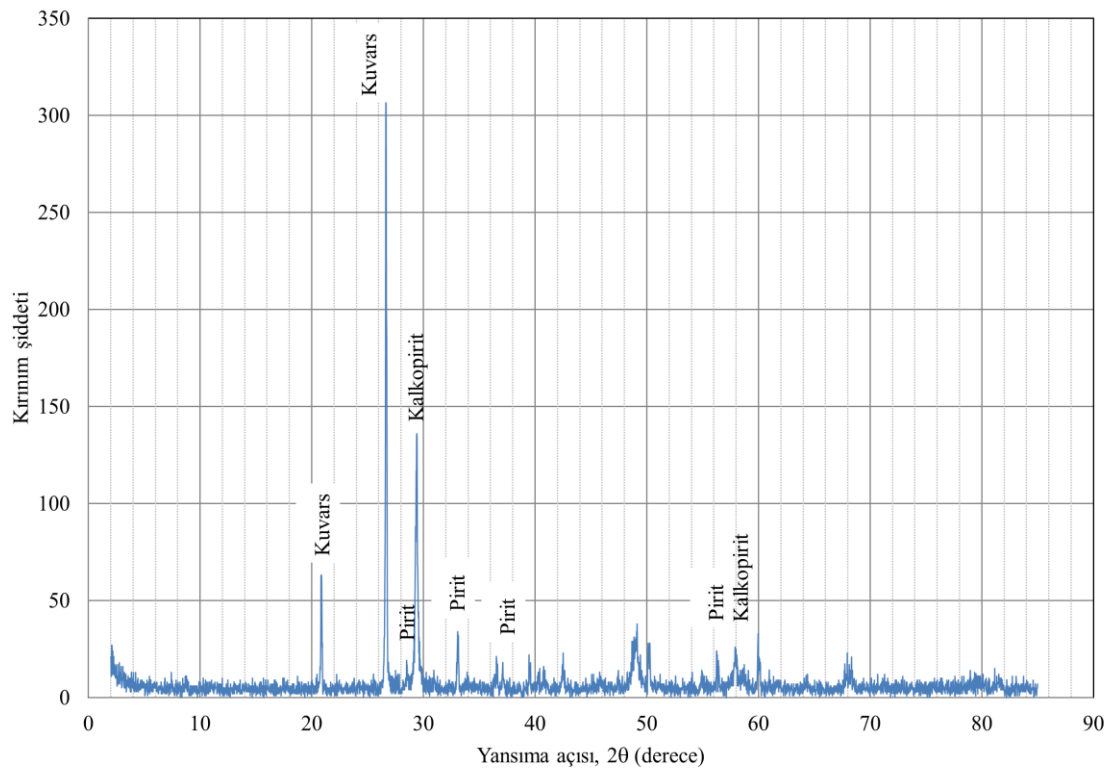
Bu çalışmada, inceleme alanından alınan örneklerin mineralojik bileşimlerinin tespiti ve kinetik kolon deneyine maruz bırakılan örneklerde meydana gelen kimyasal bozunma sonucu minerallerde zamana bağlı meydana gelen değişimin açıklığa kavuşturulması amacıyla X-ışınları kırınımı analizleri gerçekleştirilmiştir. X-ışınları kırınım analizleri için MTA Genel Müdürlüğü ve Dumlupınar Üniversitesi Seramik Mühendisliği Bölümü laboratuvar imkanlarından yararlanılmıştır. XRD analizleri 2°-70° tarama aralığında ve 0.02°/dak. tarama hızında Cu X Işın tüplü Rigaku DMAX III C kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu analizlerde sadece X-Işınlı kırınımı analizlerinin tüm kayaç aşamasını kapsamaktadır. X-

Işınlari kırınımı analizlerinin ilk aşaması olan tüm kayaç analizleri, doğal cevher ve yan kayaçtan alınan örnekler üzerinde gerçekleştirilmiş olup, elde edilen piklerin temsil ettiği mineralleri belirlemek için ASTM (1972)'nin kartotekslerinden yararlanılmıştır. Yapılan analizlere göre; örneklerin önemli bir kısmının kuvars, kalkopirit ve pirit mineralleri bakımından oldukça zengin olduğu tespit edilmiştir. X-ışınları kırınım analizleri sonucunda elde edilen kırınım desenlerinin (piklerin) tipik bir örneği Şekil 5.4'te verilmiştir. Doğal örneklerin yanı sıra, kinetik kolon deneyine tabii tutulan örneklerdeki kimyasal bozunma sürecinin kontrolü için belirli aralıklarda her bir kinetik kolon deneyinde alınan örnekler üzerinde XRD analizleri gerçekleştirilmiştir. Kolonlarda farklı zamanlarda alınan bu örnekler üzerinde yapılan XRD analizleri sonucunda örneklerde belirlenen mineraller Çizelge 5.8'de verilmiştir.

Çizelge 5.7 Mineralojik ve kimyasal analiz amaçlı yapılan deneysel çalışmalar ve kullanılan örnekler.

Analiz türü	Kullanılan örnekler
XRD	- Doğal örnekler - Deney sürecinin belirli aralıklarında alınan ve kimyasal bozunmaya uğrayan örnekler - Deney sonu örnekler
Cevher mikroskobu	- Doğal örnekler - Deney sürecinin belirli aralıklarında alınan ve kimyasal bozunmaya uğrayan örnekler
MLA	Doğal örnekler
XRF	- Doğal örnekler - Deney sürecinin belirli aralıklarında alınan ve kimyasal bozunmaya uğrayan örnekler - Deney sonu örnekler
Kimyasal analizler	- Toplam demir, karbon ve sülfür konsantrasyonlarının belirlenmesi için doğal örnekler - Deney sürecinin belirli aralıklarında kinetik kolon deneyine maruz bırakılan örneklerden drene olmuş su örnekleri

XRD: X-ışınları kırınım analizi, XRF: X-ray fluorescence, MLA: Mineral serbestleşme derecesi analizi



Şekil 5.4 X-ışınları kırınımı analizlerinde elde edilen tipik bir difraktogram örneği (-3.35 mm tane boyuna sahip cevher örneğine aittir).

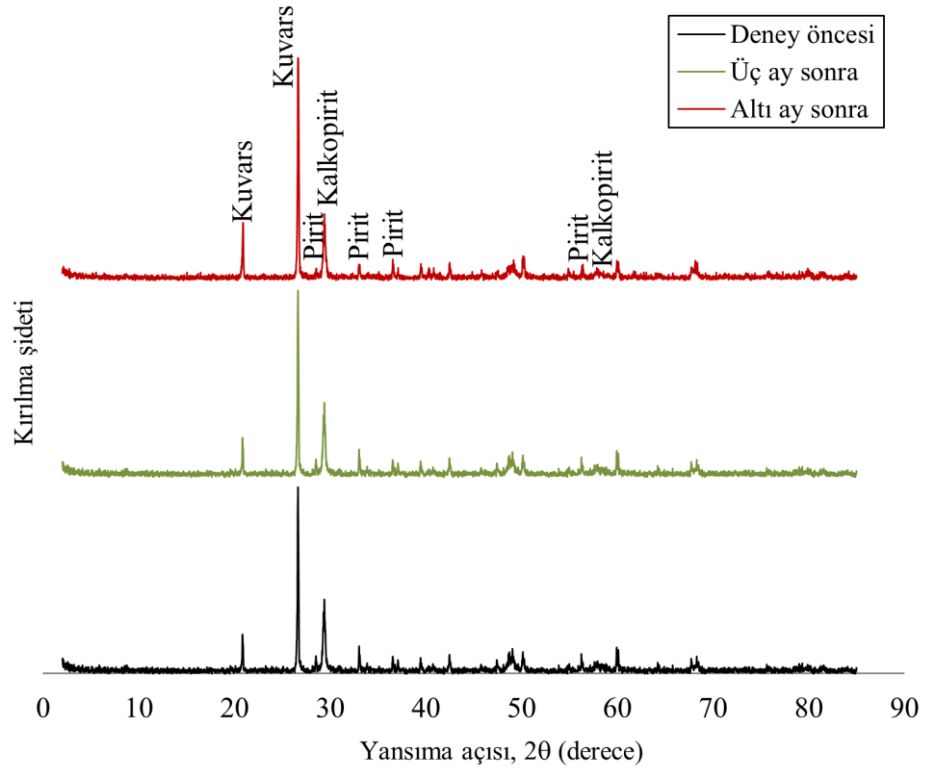
Çizelge 5.8 Kinetik kolon deneyleri sürecinde belli aralıklarla alınan örneklerde yapılan XRD analizleri sonucu belirlenen mineraller.

Kolon No	X-Işınları kırınım (XRD) analizleri (-3.35 mm tane boyu)			
	Deney öncesi (31/01/2011)	Üç ay sonra (16/05/2011)	Altı ay sonra (24/10/2011)	Deney sonrası (28/05/2012)
11	kuvars, kalkopirit, pirit	kuvars, kalkopirit, pirit, kalsit, muskovit, dolomit	kuvars, kalkopirit, pirit, kalsit	kuvars, kalkopirit, amorfor madde, pirit, çok az mika
12	kuvars, kalkopirit, pirit	kuvars, kalkopirit, pirit, galen, dolomit	kuvars, kalkopirit, pirit, çok az muskovit	kuvars, kalkopirit, pirit
13	kuvars, kalkopirit, pirit	kuvars, kalkopirit, pirit, muskovit	kuvars, kalkopirit, pirit	kuvars, kalkopirit, pirit
14	kuvars kalkopirit pirit	kuvars, kalkopirit, pirit	kuvars, kalkopirit, pirit, çok az muskovit	kuvars, kalkopirit, pirit
15	kuvars, kalkopirit, pirit	kuvars, kalkopirit, pirit	kuvars, kalkopirit, pirit, çok az muskovit, hematit	kuvars, kalkopirit, pirit, amorfor madde, çok az mika
16	kuvars, kalkopirit, pirit	kuvars, kalkopirit, pirit	kuvars, kalkopirit, pirit, ankerit	kuvars, kalkopirit, pirit, çok az mika
17	kuvars, kalkopirit, pirit	kuvars, kalkopirit, pirit	kuvars, kalkopirit, pirit, dolomit	kuvars, kalkopirit, pirit, çok az mika
18	kuvars, kalkopirit, pirit	kuvars, kalkopirit, pirit, dolomit	kuvars, kalkopirit, pirit, dolomit	kuvars, kalkopirit, pirit
19	kuvars, kalkopirit, pirit	kuvars, kalkopirit, pirit, muskovit, galen	kuvars, kalkopirit, pirit, dolomit	kuvars, kalkopirit, pirit, amorfor madde, çok az mika
21	kuvars, kalkopirit, pirit	kuvars, kalkopirit, pirit, çok az muskovit	kuvars, kalkopirit, pirit	kuvars, kalkopirit, pirit
22	kuvars, kalkopirit, pirit	kuvars, kalkopirit, pirit, çok az muskovit	kuvars, kalkopirit, pirit	kuvars, kalkopirit, pirit

Çizelge 5.8 Devam.

Kolon No	X-Işınları kırınım (XRD) analizleri (-0.625 mm tane boyu)	
	Deney öncesi (05/09/2011)	Deney sonrası (28/05/2012)
23	kuvars, kalkopirit, pirit	kuvars, kalkopirit, pirit, amorf madde
24	kuvars, kalkopirit, pirit	kuvars, kalkopirit, pirit
26	kuvars, kalkopirit, pirit	kuvars, kalkopirit, pirit
28	kuvars, kalkopirit, pirit	kuvars, kalkopirit, pirit, çok az mika
29	kuvars, kalkopirit, pirit	kuvars, kalkopirit, pirit, çok az mika
30	kuvars, kalkopirit, pirit	kuvars, kalkopirit, pirit, çok az mika
32	kuvars, kalkopirit, pirit	kuvars, kalkopirit, pirit, amorf madde

Günümüze kadar, XRD analizleri ile elde edilen grafiklerden minerallerin yüzdesinin belirlenmesi amacıyla piklerin boy, çap veya bu piklerin altında kalan alanı dikkate alan bir çok yöntem önerilmiştir. Gündoğdu (1982) tarafından önerilen ve XRD analizleri sonucu elde edilen piklerin boylarının dikkate alan yöntem buna örnek olarak verilebilir. Ancak, X-ışınları kırınım analizleri sonucunda elde edilen piklerin farklı yöntemlere göre yüzdelерinin belirlenmesi yarı-nicel bir değerlendirme olup, incelenen malzemelerin gerçek mineral yüzdelерini göstermemektedir. X-ışınları kırınım analizlerinde elde edilen sonuçların değerlendirmesi sonrasında, kinetik kolon deneyi sırasında meydana gelen AMD ve ilgili bozunma süreçleri sonucu oluşan yeni minerallerin belirlenmesinde yararlanılabilecek kadar hassas sonuçlar vermediği tespit edilmiştir. Ayrıca, bozunma süreçleri sonucu oluşan yeni bozunma minerallerinin miktarının diğer minerallere oranla oldukça düşük olması nedeniyle söz konusu mineral piklerinin kırınım şiddeti değerlerinin incelenmesine olanak sağlayacak seviyede olmadığı saptanmıştır. Ancak, farklı zamanlarda alınan örnekler üzerinde elde edilen X-ışınları kırınım grafiklerinin kırınım şiddeti piklerinin deney öncesi örneklerde elde edilen pikler ile karşılaştırıldığında, göreceli olarak bazı minerallerin mikarında artış ve bazı minerallerin miktarında ise azalmanın söz konusu olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.5).



Şekil 5.5 Kinetik kolon deney öncesi, deney başladıktan üç ve altı ay sonra alınan örnekler üzerinde gerçekleştirilen X-ışınları kırınımı analizlerinde elde edilen tipik bir difraktogram örneklerinin karşılaştırılması (11 no.lu kolon).

Şekil 5.5'te verilen karşılaştırma dikkatli bir şekilde incelendiğinde, kuvars minerallerini temsil eden piklerin kırınım şiddeti değerlerinde belli oranlarda kinetik kolon deney süresine bağlı olarak artmanın, kalkopirit ve pirit minerallerine ait piklerde ise azalmanın olduğu gözlenmektedir. Ancak söz konusu bu değişimin çıplak gözle fark edilmesi oldukça güç olmaktadır. Dolayısıyla kinetik kolon deneyi sürecinde örneklerde meydana gelen bu değişimin farklı bir yöntemle sayısal olarak saptanmasının konu ile ilgili gelecekte yapılacak çalışmalar açısından yararlı olacağı düşünülmüştür.

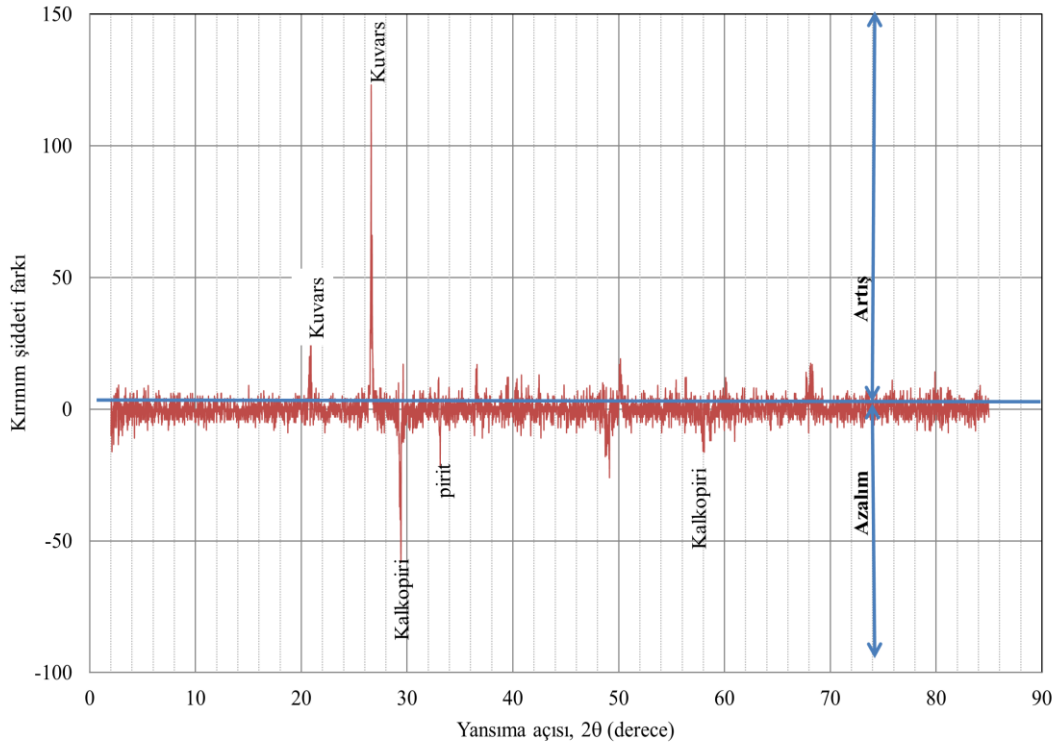
Kinetik kolon deneyi sırasındaki bozunma süreçleri ile bazı minerallerin bulunma oranlarında meydana gelen değişimin sayısal bir yöntem ile tespiti için, deney öncesi ve deney sırasında farklı zamanlarda kolonlardan alınan örnekler üzerinde yapılan X-ışınları kırınım analizleri sonucu elde edilen pikler doğrudan karşılaştırılmıştır. Bu amaçla, deney öncesi ve deney sırasında belli aralıklarla alınan örnekler üzerinde yapılan X-ışınları kırınım analizlerinden yararlanılarak ortamdaki minerallerin genel oranlarında meydana gelen değişim incelenmiştir. Bütün X-ışınları kırınım analizlerinde tarama hızı eşit (0.02 °/dak.) olarak

alınmış ve dolayısıyla her aşamada benzer yansıma açısı değerleri için kırınım şiddeti okumaları yapılarak, bu çalışma kapsamında aşağıda Eşitlik 5.2’de verilen kırınma şiddeti farkı (XRD_{fark}) kavramı önerilmiştir. Kinetik kolon deneyi sırasında örneklerde meydana gelen değişiminin sayısal olarak gözlenmesi için yapılan değerlendirmelerde bu kavramdan yararlanılmıştır.

$$XRD_{fark} = XRD_{son} - XRD_{ilk} \quad (5.2)$$

Burada, XRD_{son} kinetik kolon deneylerine başladıktan sonra belli aralıklarla alınan örneklerin X-ışınları kırınım analizleri sonucu belirlenen kırınım şiddeti değerleri ve XRD_{ilk} deney öncesi örneklerden elde edilen kırınım şiddeti değerleridir.

Eşitlik 5.2 kullanılarak kolonlar için kırınım şiddeti farkı değerleri belirlenmiş ve bu değerlerin ilgili yansıma açısı değerlerine bağlı değişim grafikleri hazırlanmıştır (Şekil 5.6). Kırınım şiddeti farkının pozitif değerlerde tespit edilmesi mineral oranlarında göreceli olarak meydana gelen artışı gösterirken, negatif değerlerde olması ise ilgili mineralin kinetik kolon deneyi süresi içerisinde bozunmaya uğradığını ve dolayısıyla asit oluşum sürecine katılması ile mineral miktarında başlangıç koşullarına oranla azalım meydana geldiğini göstermektedir. Farklı mineralleri temsil eden XRD piklerindeki bu bağıl artış ve azalım kısımları Şekil 5.6’da gösterilmiştir. Bu şekilde de açıkça görüldüğü üzere kinetik kolon deneyleri sırasında kuvars minerallerine ait piklerde artış gözlenirken, pirit ve kalkopirit gibi AMD oluşumu açısından önemli olan sülfürlü minerallerin piklerinde de azalım söz konusudur.



Şekil 5.6 Kinetik deneylere tabii tutulan örneklerin altı ay sonraki XRD analizlerinden elde edilen kırınım şiddeti değerlerinin deney öncesi değerlerden çıkarılması sonucu elde edilen grafik (11 no.lu kolon).

5.3.1.2 Cevher mikroskobu çalışmaları

Örneklerin cevher mikroskobu çalışmalarında, polarizan mikroskop kullanılmıştır. Bu mikroskop, cevher mineralleri ve bu minerallerdeki yapı ve dokunun tespiti için sıklıkla kullanılmaktadır. Bu mikroskop için alınan örneklerin laboratuvarında incekesitleri hazırlanır ve gerekli parlatma işlemine tabi tutularak incelemeye hazır hale getirilir. Çalışmalar sırasında minerallerde gözlenen yapı ve dokunun kaydının sağlanması için mikroskobun oküleri üzerine fotoğraf makinaları eklenir ve böylece örneklerin fiziksel özelliklerinin görüntüleri istenen formatta yapılır. Bu çalışma kapsamında alınan örneklerdeki cevher mineralleri ve bu minerallerin göstermiş olduğu yapı ve dokunun tanımlanması için doğal örnekler üzerinde cevher mikroskobu çalışmaları yapılmıştır. Ayrıca, 11 Mart 2011 tarihinde kinetik kolon deneyine tabi tutulan orta tane boyuna (-3.35 mm tane boyuna) sahip örneklerde de sırasıyla 16 Mayıs 2011 ve 24 Ekim 2011 tarihlerinde cevher mikroskobu çalışmaları yapılmıştır (Şekil 5.7). Doğal örnek, ve bozunma sonrası kolonlardan alınan örnekler üzerinde yapılan çalışmaların ayrıntılı raporlar (MTA, 2012a ve b) hazırlanmış olup, aşağıda özet olarak verilmiştir.



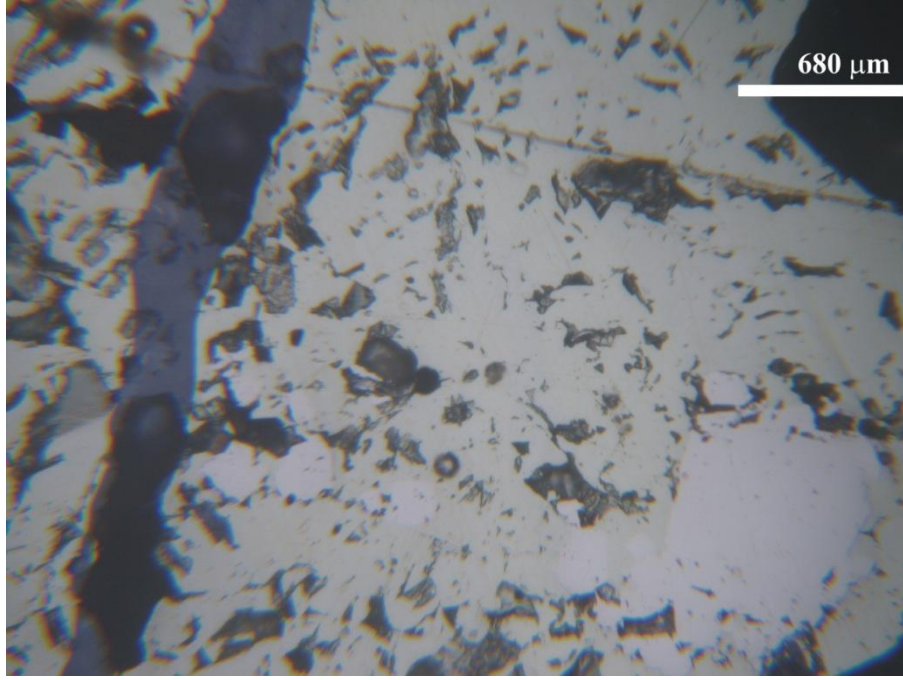
Şekil 5.7 Mineralojik bileşim ve bozunma sonrası örneklerde meydana gelen değişim belirlenmesi amacıyla kolonlardan periyodik örnek alımı.

Doğal örnekler üzerinde gerçekleştirilen cevher mikroskobisi inceleme sonuçları:

Doğal ve bozunmaya uğramamış örnek üzerinde yapılan cevher minerallerinin incelenmesi sonucu örnekte sırasıyla kalkopirit, pirit, sfalerit, fahlers, galenit ve eser miktarda tellür ile limonit (götüt türü) mineralleri izlenmiştir. Kalkopiritler; genellikle kataklastik dokulu olup, yer yer kırılmış ve uzamış iri taneler halinde izlenmekle birlikte daha az oranda yarı-öz şekilli taneler halinde de gözlenmektedir. Kalkopiritlerin tane boyutları yer yer oldukça iri taneler halinde ve bazen de oldukça ufak taneler halindedir. Kalkopiritlerden sonra yaygın halde, yer yer öz –yarı öz şekilli taneler halinde yer yer de kataklastik dokulu irili ufaklı taneler halinde pirit mineralleri gözlenmiştir. Sfaleritler oldukça az oranda izlenmekte olup, bir kaç adet olarak rastlanan iri taneli sfalerit içinde oldukça ince taneli pirit ayrılımları saptanmıştır (MTA, 2012a).

İri taneli kataklastik dokulu sfalerit ve kalkopirit kenetli halde ve bazen de oldukça ufak taneli sfaleritler kalkopiritler içinde kapanım halinde gözlenmektedir. Öz şekilli halde ufak taneli piritler mineralleri de iri taneli kalkopiritler içinde kapanımlar halinde yer almaktadır. İri taneli piritlerin kataklastik boşlukları ve kırıklıklarına ince damarlar halinde kalkopirit minerallerinin yerleşmiş oldukları izlenmektedir. Bu kataklastik sınırlardaki aralıklara yer yer ufak taneli sfalerit mineralleri de yer almaktadır. Fahlers (tetraedrit) mineralleri sfaleritlere göre daha az oranda mevcut olup, iri taneli kataklastik kalkopiritlerin kenarları boyunca ve aralarındaki boşluklara yerleşmiş halde gözlenmektedir. Bir kaç adet ufak tane halinde kataklastik dokulu galenit minerali izlenmiş olup, yer yer kalkopiritlerle kenetli halde oldukları gözlenmiştir. Bir kaç adet tellür tanesi kalkopirit içinde kapanım halinde izlenmiştir. Bakteri piritler en son olarak oluşmuş minerallerdir. Galenit ve fahlers minerallerine ait ufak tanelerin

kalkopiritlerin etrafını çevreledikleri ve aralarındaki boşluklara yerleşmiş oldukları gözlenmiştir. Eser oranda bir kaç adet limonit minerali (götüt türü) izlenmiş olup kataklastik dokulu piritlerden dönüşmüş olabilecekleri düşünülmektedir (MTA, 2012a).



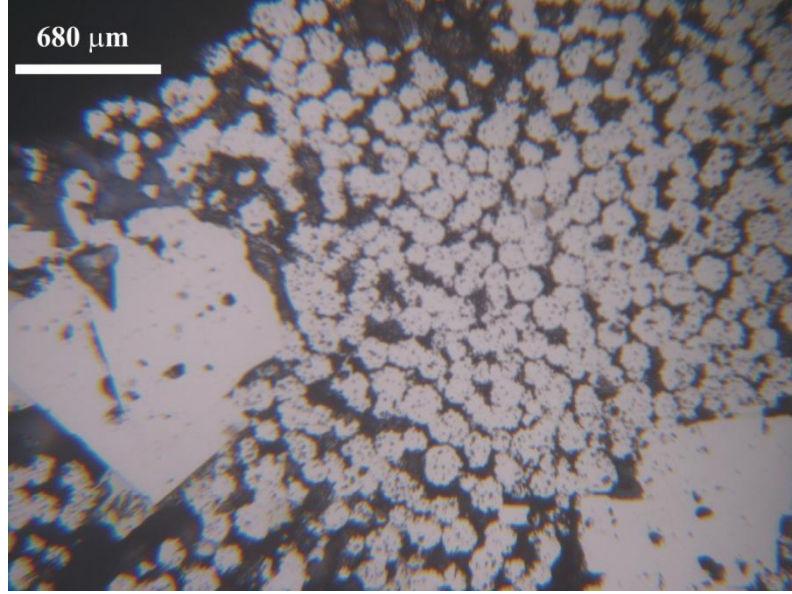
Şekil 5.8 Sfalerit boşluğunu öz şekilli pirit doldurmuştur (kataklastizma) görünümü.

Kolonlardan alınan örnekler üzerinde gerçekleştirilen cevher mikroskobisi inceleme sonuçları: 16 Mayıs 2011 tarihinde kolonlardan alınan örnekler yukarıda değinilen doğal örnek gibi olup farklı olarak iri taneli bir kaç adet kalkopirit tanesinin etrafında ve içinde limonit boyamaları gözlenmiştir. Piritlerin bir kısmında kuş gözü dokusuna benzer dokular izlenmektedir. Çok ufak taneli galenitlerin etrafında oldukça ince taneli halde anglezit-seruzit olabileceği düşünülen dönüşümler mevcuttur. Ayrıca gang minerali olarak az oranda siderit-ankerit olabileceği düşünülen demir karbonat mineralleri izlenmiştir. Örneklerin kinetik kolon deneyi sırasında maruz kaldığı ıslanma-kuruma süreçleri nedeniyle cevher mikroskopisi incelemeleri ile belirlenmiş olan cevher mineral parajenezi içerisinde yeralan piritlerin yansıyan ışık altındaki rutin renklerinde ışık sarısı yerine beyaza yakın bir renk tonu gösterdikleri ve rutin renklerinde bir açılma meydana geldiği gözlenmiştir. Bazı örneklerde bozunma minerali olan limonit boyamalarına daha yaygın bir şekilde rastlanmaktadır (MTA, 2012b).

Kolonlarda 24 Ekim 2011 tarihinde benzer şekilde cevher mikroskobu çalışmaları için örnekleme çalışmaları yapılmıştır. Yapılan cevher minerallerinin incelenmesi sonucu örneklerde

sırasıyla kalkopirit, pirit, sfalerit, fahlers ve eser oranda galenit ile limonit (götit türü) mineralleri gözlenmiştir. Kalkopiritler, genellikle kataklastik dokulu olup, yer yer kırılmış ve uzamış iri taneler halinde izlenmekle birlikte daha az oranda yarı-öz şekilli taneler halinde de gözlenmektedir. Kalkopiritlerin tane boyutları yer yer oldukça iri taneler halinde ve bazen de oldukça ufak taneler halindedir. Kalkopiritlerden sonra yaygın halde, bazen öz –yarı öz şekilli taneler halinde bazen de kataklastik dokulu irili ufaklı taneler halinde pirit mineralleri gözlenmiştir. Sfaleritler oldukça az oranda izlenmekte olup, bir kaç adet olarak rastlanan iri taneli sfalerit içinde oldukça ince taneli pirit ayrılımları mevcuttur. İri taneli kataklastik dokulu sfalerit ve kalkopirit kenetli halde ve bazen de oldukça ufak taneli sfaleritler kalkopiritler içinde kapanım halinde gözlenmektedir. Öz şekilli halde ufak taneli pirit mineralleri de iri taneli kalkopiritler içinde kapanımlar halinde yer almaktadır. İri taneli piritlerin kataklastik boşlukları ve kırıklıklarına ince damarlar halinde kalkopirit minerallerinin yerleşmiş oldukları izlenmektedir. Bu kataklastik sınırlardaki aralıklara yer yer ufak taneli sfalerit mineralleri de yer almaktadır. Fahlers (tetraedrit) mineralleri sfaleritlere göre daha az oranda mevcut olup, iri taneli kataklastik kalkopiritlerin kenarları boyunca ve aralarındaki boşluklara yerleşmiş halde gözlenmektedir. Bir kaç adet ufak tane halinde kataklastik dokulu galenit minerali izlenmiş olup, diğer galenit tanelerinin yer yer kalkopiritlerle kenetli halde oldukları gözlenmiştir. Ayrıca, bir örnekte kalkopirit tanelerinin aralarındaki boşluklarda az oranda galenit mineralleri izlenmiştir. En son olarak oluştukları düşünülen bakteri piritlerin fahlers minerallerinin etrafını çevreledikleri ve aralarındaki boşluklara yerleşmiş oldukları gözlenmiştir. Eser oranda bir kaç adet limonit minerali (götit) izlenmiş olup kataklastik dokulu piritlerden dönüşmüş olabilecekleri düşünülmektedir. Pirit ve kalkopiritlerin kenarları ve serbest haldeki tanelerin aralarındaki limonit boyamalarının yanısıra kalkopiritlerin içerisinde de yer yer limonit boyamaları izlenmiştir. Ayrıca bir örnekte de cevher mineralleri arasındaki gang içerisinde siderit-ankerit türünde demir karbonat olabileceği düşünülen bazı taneler ve etrafları boyunca limonit boyamaları ile limonit mineralleri izlenmiştir. Benzer şekilde örneklerin ıslanma kuruma işlemlerine tabi tutulmuş olması nedeniyle cevher mikroskopisi incelemeleri ile belirlenmiş olan cevher mineral parajenezi içerisinde yeralan piritlerin yansıyan ışık altındaki rutin renklerinde ışık sarısı yerine beyaza yakın bir renk tonu gösterdikleri ve rutin renklerinde bir açılma meydana geldiği gözlenmiştir. Bazı örneklerde iri taneli bir kaç adet kalkopirit tanesinin etrafında limonit boyamaları gözlenmiştir. Bir başka kolonda alınan örnekte ise az miktarda oranda çok ince taneli hematit mineralleri gözlenmiştir. Manyetin hematite dönüşümü sırasında oluşan mahemit minerali de belirlenmiştir. Piritlerde kuş gözü (genellikle pirotinden pirit dönüşümü öncesi oluşan ara üründe gözlenen doku çeşidi) dokusuna benzer dokular

gözlenmiştir (MTA, 2012b). Bakteri etkisinin görüldüğü bakteri pirit oluşumu kolonlarda belirlenmiştir (Şekil 5.9).



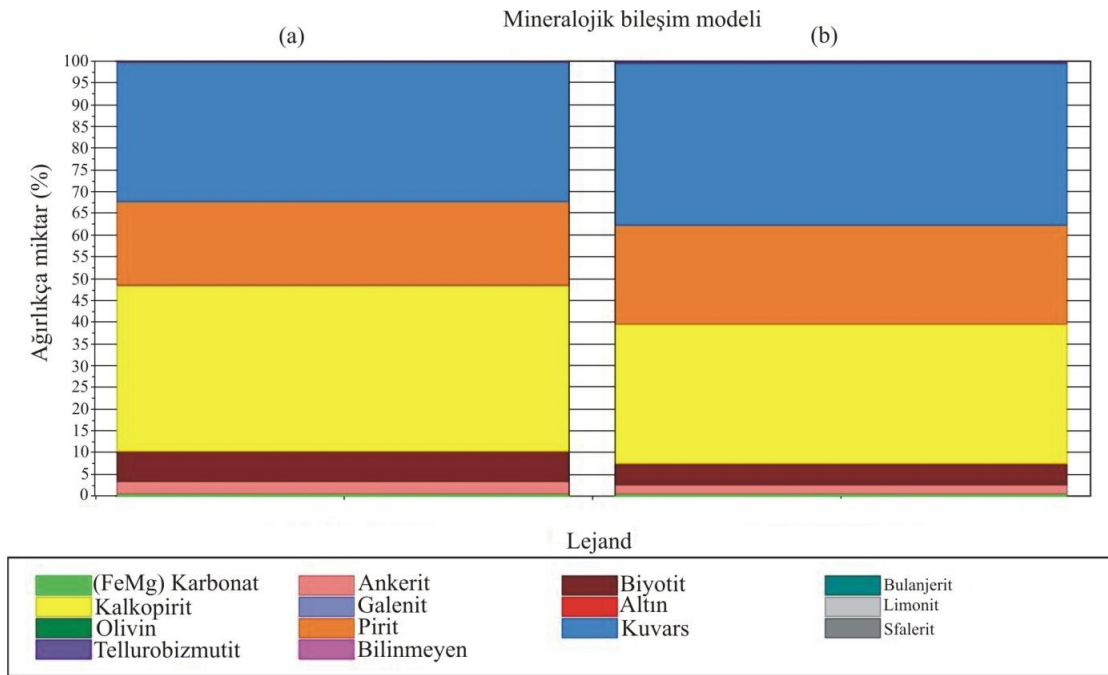
Şekil 5.9 Bakteri piriti görünümü (Kolon12).

5.3.1.3 Mineral serbestleşme derecesi analizleri (MLA)

Kinetik kolon deneylerinde kullanılan örnekleri oluşturan minerallerin kinetik çözünme sürecinin detaylandırılması için mineral serbestleşme derecesi analizlerinin (MLA) yapılmasına ihtiyaç duyulmuştur. Bu nedenle, 3.35 mm ve 0.625 mm en büyük tane boyuna sahip iki ayrı örnek hazırlanmış, MTA Genel Müdürlüğü Mineraloji-Petrografi laboratuvarlarında MLA analizleri gerçekleştirilmiştir. Örneklerin serbestleşme derecesi analizleri ile kantitatif model mineralojik analizleri, FEI Quanta 400 MK2 model taramalı elektron mikroskobu üzerinde çalışan JKTECH-MLA Suit2008 System yazılımı ve EDEX Genesis XM 4i model EDS dedektörü ile yapılmıştır (MTA, 2012c).

Orta (-3.35 mm) ve ince (-0.625 mm) tane boyuna sahip örneklerden sırasıyla 335.4 ve 232.7 g cevher örnekleri, otomatik rotary riffler cihazında çeyreklenecek, 5.6 ve 3.4 gramlık temsili örnekler hazırlanmıştır. Temsili örnekler 30 milimetrelik soğuk kalıba alındıktan sonra yüzeyi parlatılmış ve ilk önce alttan-üstten aydınlatmalı polarizan mikroskopla ön mineralojik incelemeler gerçekleştirilmiş ve daha sonra örnek yüzeyi karbonla kaplanarak MLA sistemde

kantitatif mineralojik ve serbestleşme derecesi analizleri yapılmıştır. Yapılan bu analizlerde orta tane boyu için başlıca % 38 kalkopirit, % 32.5 kuvars, %19.5 pirit, % 6.5 biyotit, %3 ankerit ve % 0.5 diğer mineralleri tespit edilmiştir. Ayrıca, ince tane boyu örneklerde yapılan analizlerde sırasıyla, % 37.5 kuvars, % 32 kalkopirit, %23 pirit, % 4.75 biyotit, %2.25 ankerit ve % 0.5 diğer mineralleri saptanmıştır (Şekil 5.10). Şekil 5.10 da verilen bu analiz sonuçlarına göre, orta ve ince tane boyu cevher örneklerinde sırasıyla % 57.5 ve % 55 oranında önemli sülfür mineralleri (pirit ve kalkopirit) bakımından zengin oldukları belirlenmiştir. Üstten aydınlatmalı polarizan mikroskopda yapılan incelemelerde ince tane boyuna sahip örneklerde belirlenmiş olan başlıca cevher mineralleri, daha iri tane boyuna sahip (-3.35 mm) örneğin mineral bileşimi ile aynı olduğu tespit edilmiş ve dolayısıyla detay mineralojik incelemeler sadece orta tane boyuna (-3.35 mm) sahip örnekler üzerinde cevher mikroskobisi kullanılarak yapılmıştır. Ayrıca, orta tane boyundaki cevher fraksiyonunun bu örnekte olması cevher mikroskobisi çalışmalarının daha sağlıklı sonuç vermesini sağlamaktadır.



Şekil 5.10 MLA analiz yöntemi kullanılarak, a) orta tane boyu (-3.35 mm) ve b) ince tane boyu (-0.625 mm) örneklerde belirlenen kantitatif mineralojik bileşim.

İki farklı tane boyu dağılım eğrisine sahip örneklerin cevher mineralojisi ve mineral serbestleşme derecesi analizleri yapılmış olup, örneğe ait kantitatif model mineralojik analiz değerleri, mineral serbestleşme derecesi değerleri ve parçacık parametrelerine ait değerler

dikkate alınarak örneklerin mineralojik bileşimi tanımlanmıştır. MLA analiz sonuçları değerlendirilirken; model mineralojik bileşim, hesaplanmış teorik elementsel içerik, elementsel dağılım ve ilgi konusu cevher mineralleri için oluşturulan mineral kenetlenme tabloları dikkate alınmıştır (MTA, 2012c). Örneklerle ait sayısal değer tabloları oluşturulurken, üstten aydınlatmalı polarizan mikroskop da tanımlaması yapılmış olan sülfürlü cevher mineralleri dikkate alınmıştır (MTA, 2012c). En büyük tane boyu -3.35 mm olan örnekler üzerinde yapılan detaylı mineralojik çalışmalar ve bu çalışmalarda elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Üstten aydınlatmalı polarizan mikroskop altında yapılan incelemelerde belirlenmiş olan başlıca cevher mineralleri çoktan aza doğru; pirit (FeS_2), kalkopirit (CuFeS_2), sfalerit (ZnS), fahlerz [tennantit/ $(\text{Cu,Fe})_{12}\text{As}_4\text{Si}_{13}$ - tetrahedrit/ $(\text{Cu,Fe})_{12}\text{Sb}_4\text{Si}_{13}$] ve bizmut mineralleri şeklinde sıralanır. Bunlara eşlik eden diğer cevher mineralleri örnek içerisinde oldukça seyrek gözlenmiş olup, bornit (Cu_5FeS_4), arsenopirit (FeAsS), galenit (PbS), limonit (FeOOH), rutil (TiO_2) şeklinde sıralanmaktadır. Polarizan mikroskop altında tanımlanmış olan cevher mineralleri haricindeki diğer tüm mineraller, MLA sistem ile yapılan analizler esnasında, elektron mikroskobu yardımıyla mikrokimyasal analiz sonuçlarına ve EDS spektrum desenlerine göre tanımlanmıştır. Cevher örneklerinde belirlenen bu minerallere ilişkin detay bilgiler aşağıda sunulmuştur:

Pirit: Pirit mineralleri örnekte en bol bulunan cevher mineralidir. Özşekilsiz olarak gözlenebildikleri gibi özşekilli beşgen-altıgen formlarda da gözlenirler. Tane boyları 30-1000 mikron aralığında değişmekte olup, ortalama 350 mikron civarındadır. Bünyelerinde tane boyu 5 mikron veya daha küçük olan kalkopirit mineralleri yaygın gözlenmekle birlikte, nadiren violarit (FeNi_2S_4) kapanmaları bulunma olasılığı da mevcuttur. Pirit mineralleri içinde seyrek galenit ve sfalerit mineralleri gözlenmiş olmakla birlikte, bunlar mineral içi çatlak ve oyuklar içerisine enjeksiyonlar şeklinde sokulmuş daha genç fazlardır. Nadirde olsa, bazı cevher parçacıklarında ganglar ile kenetli bakteri pirit formlarının özşekilli pirit formları ile birlikte bulunduğu gözlenmiştir. En yaygın ikili kenetlenmeyi kalkopirit mineralleri ile yaparlar (MTA, 2012c).

Kalkopirit: Kalkopirit örnekte piritten sonra en yaygın gözlenen cevher mineralidir. Özşekilsiz mineraller şeklinde gözlenirler. Tane boyları 10-2000 mikron aralığında değişmekte olup, ortalama 350 mikron civarındadır. Kalkopirit mineralleri pirit ve sfalerit ile sıkça ikili kenetlenme yaparlar. İri taneli bazı kalkopirit minerallerinin pirit minerallerinin etrafını kuşattığı gözlenmiştir. Ortalama 30 mikron büyüklüğündeki pirit kapanımları kalkopirit

mineralleri içerisinde sıkça gözlenir. Yer yer kalkopirit-pirit-sfalerit üçlü kenetli parçacıklarına da rastlanmıştır (MTA, 2012c).

Sfalerit: Sfalerit örnek içerisinde pirit ve kalkopirit ile kıyasla hem daha seyrek gözlenen hem de daha az oranda gözlenen bir cevher mineralidir. Tane boyu 10-300 mikron aralığında değişmekte olup, genellikle çok küçük taneler şeklinde ve kalkopiritle kenetli olarak gözlenirler. Ortalama tane boyu 60 mikron civarındadır. Ancak kalkopirit içinde çatlak dolgusu şeklinde bulunan sfalerit mineralleri ile serbest halde bulunan bazı tanelerin nispeten daha iri tane boyunda oldukları gözlenmiştir. Bu tip iri taneli serbest sfalerit mineralleri içerisinde submikroskobik kalkopirit kapanımları görmek mümkündür (MTA, 2012c).

Galenit: Galenit, örnek içerisinde çok seyrek gözlenen bir cevher mineralidir. 100 mikron veya daha küçük birkaç özşekilsiz mineral şeklinde, sfalerit mineralleri ile kenetli halde gözlenmiştir. Çok seyrek de olsa, sfalerit-kalkopirit-galenit üçlü kenetli paçacıkları gözlenmiştir (MTA, 2012c).

Fahlerz: Fahlerz, örnek içerisinde çok seyrek gözlenen bir diğer cevher mineral olup, genellikle özşekilsiz mineraller şeklindedir. Tane boyu 50-100 mikron aralığında değişmektedir. Kalkopirit ile yapmış olduğu ikili kenetlenmelere sıkça, sfalerit ile yapmış olduğu ikili kenetlenmelere seyrek rastlanır. Nadiren pirit-kalkopirit-fahlerz üçlü kenetli parçacıklarına rastlanmıştır. MLA çalışmaları esnasında bu minerallere rastlanmamıştır. Ancak çok az da olsa Bulanjerit ($Pb_5Sb_4S_{11}$) minerali EDS nokta analizleri ile tanımlanabilmiştir (MTA, 2012c).

Bizmut mineralleri: Bizmut mineralleri, örnek içerisinde serbest mineraller şeklinde çok seyrek gözlenirler. Genellikle kalkopirit veya pirit mineralleri içerisinde 20-30 mikronluk kapanımlar şeklinde bulunurlar. Tane boyu 300 mikrona ulaşabilen bazı iri taneli bizmut minerallerinde deformasyona bağlı mikro ondülasyonlar gözlenir. MLA çalışmaları sırasında, elementsel içeriklerine göre bunların Tellurobizmutit (Bi_2Te_3) türü mineraller olduğu belirlenmiştir (MTA, 2012c).

Bornit: Bornit, örnek içerisinde kalkozin ve kovellin ile kenetli durumda son derece nadir gözlenmiştir ve muhtemelen kalkopirit mineralinin dönüşüm ürünüdür. MLA analizleri esnasında belirlenememiştir (MTA, 2012c).

Arsenopirit: Arsenopirit, örnek içerisinde son derece nadir gözlenmiş olan bir mineraldir. Özşekilsiz mineraller şeklinde, 40-70 mikron tane boyu aralığında ve pirit-kalkopirit-arsenopirit üçlü kenetli parçacığı şeklinde gözlenmiştir. MLA analizleri esnasında belirlenememiştir (MTA, 2012c).

Limonit: Limonit, örnekte 150-200 mikron boyutlarında ve özşekilsiz serbest taneler şeklinde son derece nadir gözlenmiştir (MTA, 2012c).

Rutil: Rutil örnek içerisinde son derece nadir olarak serbest gözlenmiş olan bir diğer cevher mineralidir. 100 mikron civarında tane boyu ölçümü alınmıştır (MTA, 2012c).

Yukarıda sıralanmış olan minerallere ek olarak, üstten aydınlatmalı polarizan mikroskop altında tanımlanamamış olan ancak MLA çalışmaları esnasında tanımlanmış olan bir başka mineral bileşen daha tanımlanmış olup, sahip olduğu elementsel içeriğe göre (Fe,Mg) karbonat adlandırması yapılmıştır. Bu mineralin Fe (%19.10), Mg (%13.75), Mn (%0.82), C (%20.19), O (%45.43) gibi elementlerden oluştuğu tespit edilmiştir (MTA, 2012c).

5.3.2 Kimyasal analizler

Kimyasal analizler kapsamında; X-ışınları floresans (XRF) analizleri ile toplam demir, Fe^{2+} , Fe^{3+} , Karbon (C) ve Sulfür (S) konsantrasyonları belirleme çalışmaları yapılmış olup, aşağıda ayrıntılı olarak verilmiştir.

5.3.2.1 X-ışınları floresans (XRF) analizleri

X-ışınları Floresans (XRF) spektroskopisi malzemelerin element bileşimlerini belirlemede kullanılan önemli yöntemlerden biri olması nedeniyle son yıllarda yerbilimciler tarafından sıklıkla kullanılmaktadır. Yıkıcı olmayan bir analiz tekniği olan XRF, katı, toz ve sıvı örneklerin kimyasal analizlerini (majör element analizleri) kısa bir sürede ve hasas bir şekilde sonuçlandırmak için kullanılır. XRF analizleri, atomların yüksek enerjili bir radyasyonla (X-ışınları ile) uyarılması ve bu yüksek enerji girişi ile yakın yörüngelerdeki elektronların daha yüksek enerji düzeyine çıkarılması prensibi ile çalışır. X-ışınları ile uyarılan elektronlar ilk enerji düzeylerine döndüklerinde kazanmış oldukları fazla enerjiyi 0.1 ile 50 Å arasında değişen dalga boyuna sahip floresans ışına olarak da bilinen ikincil X ışınlar şeklinde geri yansıtırlar. Elementlerin verdiği bu ışımaların dalga boyu her element için farklı olup, söz konusu elementin tanımlanması için kullanılmaktadır. Geri yansıyan X-ışınlarının dalga boylarının tespit edilmesiyle elementin cinsi (nitel değerlendirmesi), X-ışınların yoğunluklarının ölçülmesiyle o elementin örnek içerisindeki miktarı (nicel, bulunma miktarı) belirlenir. XRF cihazından alınan ölçümlerdeki hassaslık ve doğruluk derecesi göz önünde bulundurularak, söz konusu bu analiz yönteminin kolonlarda meydana gelen kimyasal değişimin ayrıca hızlı ve ucuz bir şekilde tespit edilmesi açısından önemli olacağı düşünülmüş ve bu amaçla MTA Genel

Müdürlüğünde bulunan %98 doğrulukta ± 3 rölatif hata payına sahip XRF Philips Acsos model kullanılmıştır.

XRF analizleri için kolonlardan alınan örnekler (Şekil 5.11) dörtleme yöntemi ile vizyon kaplara alınmış ve 105 °C’de etüvde üç saat süre ile bekletilmiştir. Daha sonra etüvden alınan bu örnekler soğuması için desikatöre aktarılmış ve oda sıcaklığında bir saat bekletildikten sonra tartılarak kütleleri kaydedilmiştir. Bu kuru örnekten 3 g alınarak 0,9 g selüloze konularak karışım hazırlanmıştır.

XRF analizleri için başlangıç olarak cevher örneklerinin bozunmadan önceki kimyasal bileşiminin tespiti hedeflenmiş ve bu doğrultuda hazırlanan cevher örnekleri kolonlara konulmadan XRF analizleri gerçekleştirilmiştir. Doğal cevher örneklerinden yedi adet ve yankayaç örnekleri üzerinden dört adet olmak üzere toplam on bir örnek üzerinde XRF deneyi yapılmıştır. Elde edilen sonuçların ortalamaları alınarak Çizelge 5.9’da sunulmuştur. Bu çizelge incelendiğinde cevher örneklerinin özellikle sırasıyla SiO₂ (% 45.82), SO₃ (% 18.55), Fe₂O₃ (% 14.37) ve CuO (% 9.6) bakımından zengin olduğu görülmektedir.



Şekil 5.11 Bozunma süreçlerine maruz bırakılan kolonlardan kimyasal analizleri ve mineral bozunmasını belirlemek için örnek alımı.

Çizelge 5.9 Yan kaya ve cevhere ait doğal örneklerin XRF analizleri.

Bileşim (%)	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	SO ₃	CuO	LOI
Yankaya	0.12	0.81	6.89	79.17	0.05	1.89	0.16	0.17	<0.01	2.5	5.38	<0.01	2.85
Cevher	<0.01	0.75	3.65	45.82	0.01	0.67	0.60	0.04	<0.01	14.37	18.55	9.6	5.9

Çizelge 5.9’da da görüldüğü gibi, XRF analiz sonuçlarının değerlendirmesinde meydana gelen bu ateşte kayıp parametresi uçucu maddelerin miktarının anlaşılması ve değerlendirmeye alınması açısından oldukça önem teşkil etmektedir.

Yüksek sıcaklıklarda yapılan analizler sırasında örneğin kütlesinde meydana gelen azalmanın tayini için “ateşte kayıp” (LOI) analiz yöntemi yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Dean, 1974; Bengtsson and Enell, 1986). Örnekler üzerinde yapılan XRF ölçümleri sırasında meydana gelen ateşte kayıp parametresinin tespiti için fırında kurutulmuş örneklerden yaklaşık 1 g alınarak tartılmış ve daha sonra porselen kaplara konularak 1050°C’lik sıcaklıkta yakılmıştır. Reaksiyon sonrası meydana gelen ağırlık kaybı, yakma işlemi öncesi ve sonrası ağırlıklarının ölçülmesi ve aşağıda verilen Eşitlik 5.3 kullanılarak belirlenmiştir.

$$LOI_{1050} = \frac{W_{105} - W_{1050}}{W_{105}} * 100 \quad (5.3)$$

Burada; LOI₁₀₅₀ ateşte kayıp (1050°C’de), W₁₀₅ 105°C’de kurutulmuş örnek ağırlığı ve W₁₀₅₀ 1050°C’de yakılmış örnek ağırlığıdır.

XRF analizleri doğal örneklerin yanı sıra kinetik kolon deneyine tabi tutulan cevherden örneklerinden belli aralıklarla alınan örnekler üzerinde de gerçekleştirilmiştir. Bu analizler sonucunda elde edilen sonuçlara ilişkin ayrıntılı istatistiksel değerlendirmeler ve analizler Bölüm 6’da verilmiştir.

5.3.2.2 Toplam demir, Fe²⁺, karbon ve sülfür konsantrasyonlarının belirlenmesi

XRF analizleri yardımıyla sadece demir oksitlerin yüzde miktarı belirlenebilmektedir. Ancak, sülfürlü minerallerin mineralojik özellikleri yanı sıra Fe²⁺ ve Fe³⁺ arasındaki denge durumu da AMD oluşum sürecinin değerlendirmesi açısından oldukça önem taşımaktadır. Örneğin pirit mineralinin su ve oksijen ile göstermiş olduğu reaksiyon sonucu oluşan Fe²⁺ oksijen ve hidrojen ile tepkimeye girer ve tepkime ürünü güçlü bir oksitleyici olan Fe³⁺ oluşur ve bu oluşum daha fazla miktarda pirit mineralinin oksitlenmesine neden olur. Bu kimyasal reaksiyonlar sonucunda Fe³⁺ hidrolize uğrayarak Fe(OH)₃ şeklinde çöker. Singer ve Strumm

(1970) Fe^{2+} 'nin Fe^{3+} 'e yükseltgenmesinin AMD oluşum hızını azaltan bir unsur olduğunu belirtmişlerdir. Ancak, daha sonraki yıllarda AMD hızı üzerindeki çözünmüş oksijen ve Fe^{3+} etkisini konu alan çalışmalarda (Wiersma and Rimstidt, 1984; McKibben and Barnes, 1986) ise, piritin oksitlenme hızının Fe^{3+} miktarının artmasıyla paralel olarak arttığını ve Fe^{2+} ve H^+ iyon konsantrasyonları ile negatif bir ilişki sunduğunu belirtmişlerdir. Toplam demir ICP (Inductively Coupled Plasma) cihazıyla belirlenmiş olup, Fe^{2+} yaş metot ile titrasyonla belirlenmiştir. Toplam demir miktarından Fe^{2+} çıkartılarak Fe^{3+} miktarı tespit edilmiştir. Karbon (C) ve sülfür (S) analizleri Leco cihazında yapılmıştır. Önceki çalışmalarda elde edilen bu sonuçlar göz önünde bulundurularak, kinetik kolon deneyleri için kullanılan örneklerin Fe^{2+} , Fe^{3+} karbon (C) ve sülfür (S) konsantrasyonlarının belirlenmesi yapılarak istatistiksel olarak yorumlanmıştır.

Örneklerin toplam demir oranının belirlenmesi: Örneklerin toplam demir (Fe^{2+} ve Fe^{3+}) konsantrasyonlarının belirlenmesi çalışmalarında “indüktif eşleşmiş plazma kütle spektrometre” (ICP-MS, Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometer) kullanılmıştır. ICP-MS, kimyasal bileşimi belirlenmek istenen örneklerin hızlı, ucuz, hassas ve doğru biçimde, niteliksel, niceliksel ya da yarı-niceliksel olarak element içeriğinin ölçülmesine olanak sağlayan bir ileri teknoloji analiz yöntemidir. Kinetik kolon deneylerinde kullanılan ve farklı tane boyuna sahip örneklerin toplam demir oranları belirlenmeden önce, doğal koşullardaki cevher ve yan kayacın eser element ve toplam demir konsantrasyonları hakkında ön bilgiye sahip olmak amacıyla, temsili örnekler üzerinde kantitatif eser element ve toplam demir analizleri yapılmıştır. Bu ilk aşamda doğal cevher ve yan kayaç örneklerinde elde edilen sonuçlar Çizelge 5.10’da verilmiştir.

Çizelge 5.10 Doğal cevher ve yan kaya örneklerin bulunan eser element ve toplam demir değerleri.

Element miktarı (ppm)	Co	Cd	Ni	Mo	Mn	Sr	Pb	Cr	Cu	Zn	Fe
Yan kaya	7	<5	<10	7	96	24	258	30	258	500	160000
Cevher	10	10	12	75	141	14	140	33	797	1000	103000

Doğal cevher ve yan kayaç örneklerinin yanı sıra, özellikle kinetik kolon deney sonuçlarının daha sağlıklı bir şekilde yorumlamak amacıyla, orta (3.35 mm) ve ince (0.625 mm) tane boyu dağılımına sahip örnekler ICP ölçümleri için kullanılmıştır. Örneklerin tane boyunun söz konusu iyonların konsantrasyonları üzerindeki etkisinin de tespiti için, alınan bu örnekler farklı açıklığa sahip elek seti kullanılarak eleme işleminde geçirilmiş ve eleklerin üstünde kalan

örneklerin toplam demir konsantrasyonlarının belirlenmesi işleminde kullanılmıştır. Bu işlemler için, 3 g ile 10.7 g arasında değişen toplam 24 farklı tane boyuna sahip örnekler hazırlanmış ve çözme için kral suyuna (3 birim HCl + 1 birim HNO₃) konulmuştur. Örneklerin çözme işleminde yüzeylerinin kapatacak miktarlarda kral suyunun eklenmesine dikkat edilmiştir. Kral suyuna konulan örnekler oda sıcaklığında 36 saat bekletilmiş daha sonra 2 saat 105°C sıcak yüzeyde (hot-plate) çözünme miktarının artırılması için ısıtılmıştır. Sıcak yüzey üzerinde yapılan ısıtma işlemi sonrasında örneklerin süzme işlemine geçilmiştir. Bu aşamada örnek ağırlıkları büyük olanlar için 500 ml balon joje, yaklaşık 3 g ağırlıkta olan örnek için ise 250 ml balon joje kullanılmıştır. Süzme işleminde 125 mm çap 84 g/m² yoğunluğa sahip filtre kağıtları kullanılmıştır. Süzme sonucu elde edilen sıvı, Optima 2100 DV ICP cihazında analiz edilmiştir. ICP cihazı ile her bir örnekten yedi ayrı noktadan okuma alınmakta ve bu yedi farklı okumanın aritmetik ortalaması ile örneğin toplam demir içeriği temsil edilmektedir. Yirmidört farklı örnek için alınan bu aritmetik ortalama değerlerin değişim aralıkları ve istatistiksel değerlendirme sonuçları Çizelge 5.11’de sunulmuştur.

Örneklerin Fe²⁺ oranının belirlenmesi: Örneklerin toplam demir oranının belirlenmesi aşaması sonrası, örneklerde mevcut ve oksitleyici etkisi olduğu düşünülen Fe³⁺ iyon oranının tespiti için Fe²⁺ oranının belirlenmesine yönelik laboratuvar çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar kapsamında titrimetrik metod kullanılmış olup, bu işlem için kütlesi 20 gr civarında örnek alınarak 10 ml %25 H₂SO₄ ile 5 ml HF yardımıyla çözelti hazırlanmıştır (Şekil 5.12a). Aşağıda verilen Eşitlik 5.4 ve 5.5 kullanılarak farklı tane boyuna sahip örneklerin Fe²⁺ ve Fe³⁺ konsantrasyonları tespit edilmiş ve Çizelge 5.11’de verilmiştir.

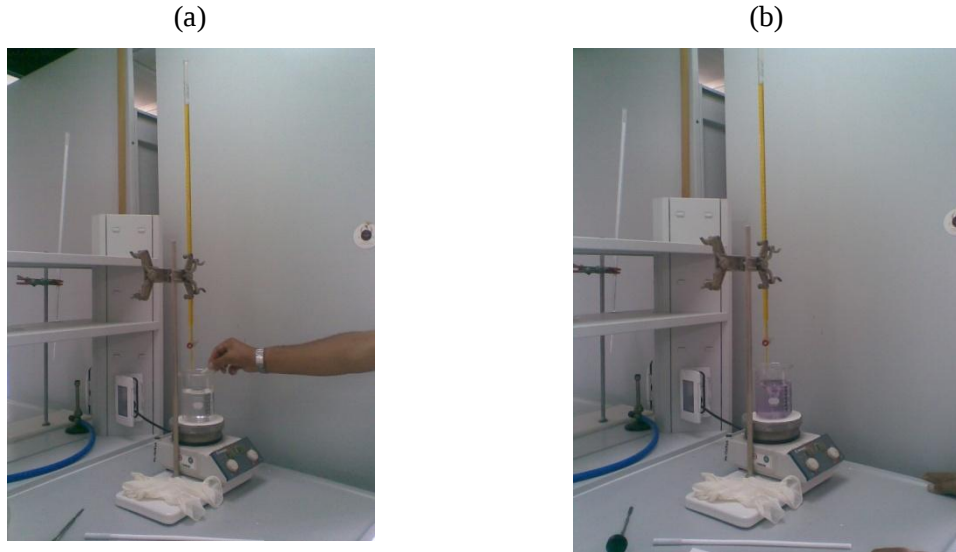
$$Fe^{2+} (\%) = \frac{W_{krom} * 0.5585}{W_{örnek}} \quad (5.4)$$

Burada; W_{krom} kullanılan kromun kütlesini (g) ve $W_{örnek}$ deneyde kullanılan örnek miktarını (g) göstermektedir.

$$Toplam demir (Fe) (\%) = Fe^{2+} + Fe^{3+} \quad (5.5)$$

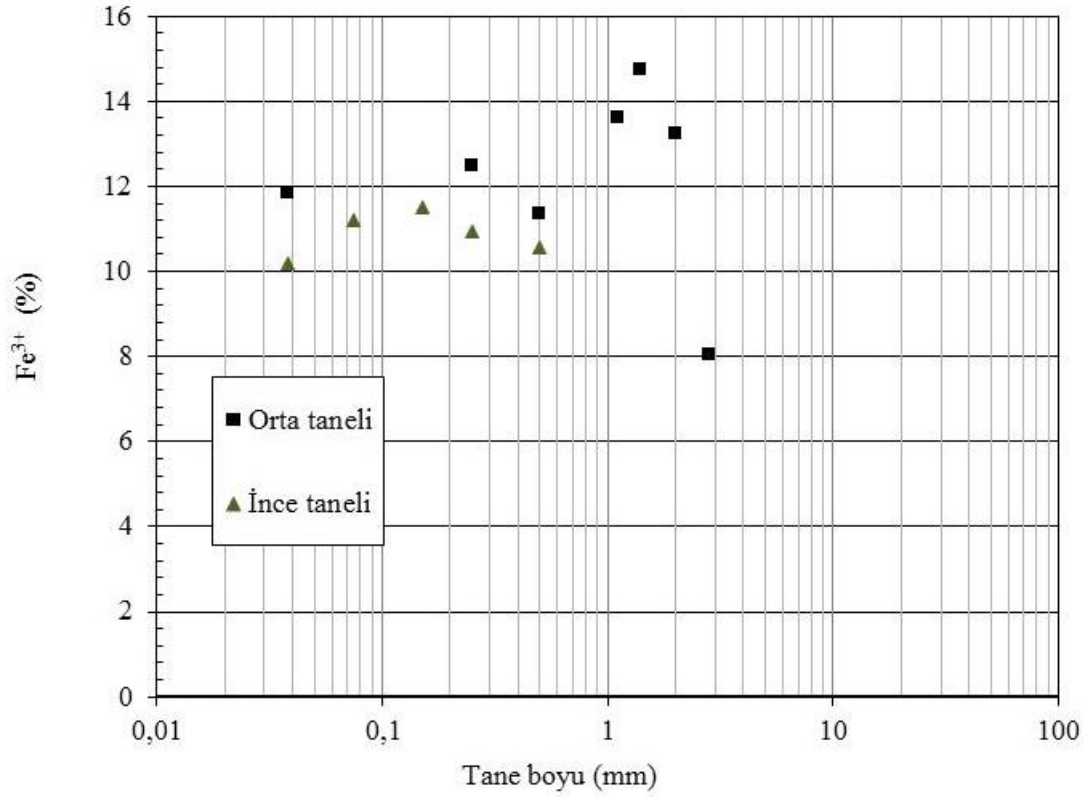
Çizelge 5.11 Farklı tane boyuna sahip doğal cevher örneklerinden elde edilen Fe^{2+} , Fe^{3+} , C ve S' ün değişim aralıkları ve istatistiksel değerlendirme sonuçları.

Tane boyu	Element	Değişim Aralığı (%)		Aritmetik Ortalama	Standart Hata	Standart Sapma
		En Düşük	En Yüksek			
Orta (-3.35 mm)	Fe^{2+}	0.15	0.50	0.26	0.05	0.13
	Fe^{3+}	8.05	14.75	11.69	0.82	2.31
	C	0.02	1.13	0.42	0.12	0.33
	S	4.99	17.90	11.46	1.59	4.49
İnce (-0.625 mm)	Fe^{2+}	0.10	0.55	0.29	0.07	0.16
	Fe^{3+}	10.2	11.65	11.00	0.23	0.56
	C	0.25	0.64	0.41	0.06	0.14
	S	13.17	16.26	14.60	0.54	1.32



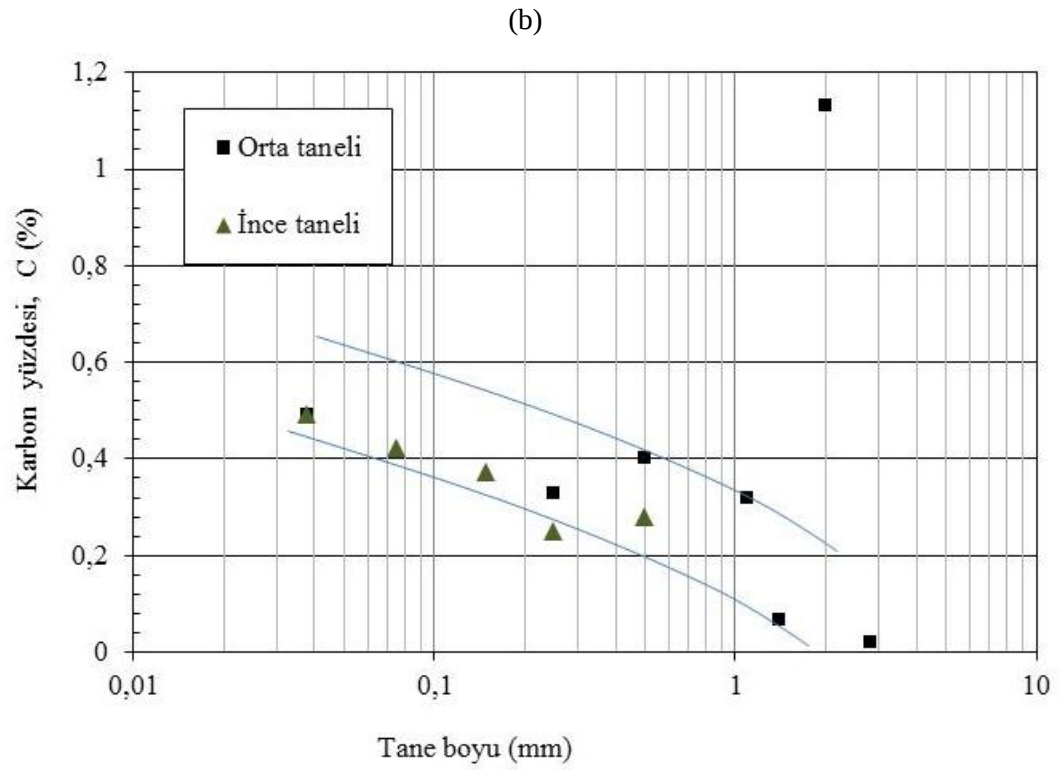
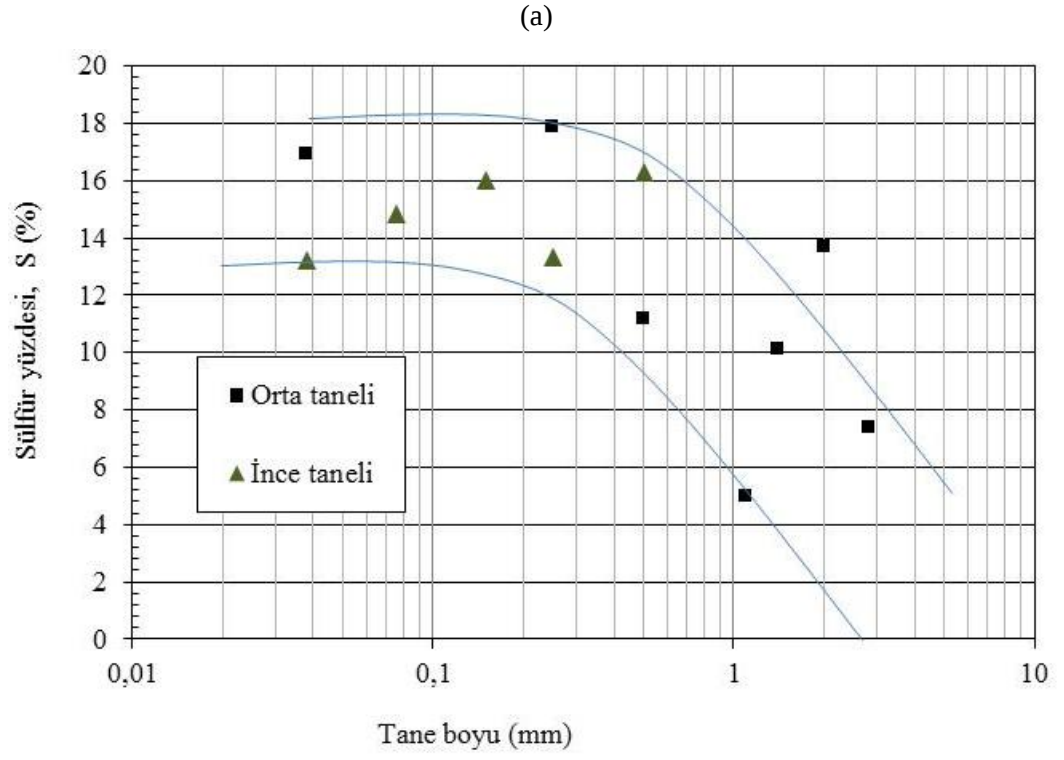
Şekil 5.12 Fe^{2+} miktarının belirlenmesinde kullanılan yaş yöntemin uygulanışı: (a) kromat dökülmeden önce (b) kromat döküldükten sonra.

Kinetik kolon deneyleri için farklı tane boyuna sahip örnekler kullanılmış olup, kullanılan örneklerin tane boyu ile Fe^{3+} arasındaki ilişki araştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda genel olarak örneklerin tane boyu arttıkça Fe^{3+} oranlarında genel bir azalış göstermediği saptanmıştır (Şekil 5.13).



Şekil 5.13 Fe³⁺ yüzdesinin tane boyuna bağlı değişimi.

Örneklerin sülfür ve karbon oranlarının belirlenmesi: Tane boyunun sülfür değerlerindeki değişimi üzerindeki etkisinin tespiti için örnekler öğütme işlemine tabi tutulmamıştır. Leco cihazında yapılan analizler için 0.07- 0.1 gr arasında değişen kütlelere sahip örnekler kullanılmıştır. Hazırlanan bu örnekler bu cihazda 1300 °C de yakma işlemine tabi tutulmuş ve sonrasında ihtiyaç duyulan okumalar alınmıştır. Her bir örneğin sülfür ve karbon içeriğinin tespiti yaklaşık 1 dakika sürmektedir. Sistemin hassas terazi ile bağlantılı olması nedeniyle örneklerin tartılarının yüzde değerleri işlem okuması sırasında görülmektedir. Yapılan analizler sonucunda elde edilen karbon (C) ve sülfürün (S) değişim aralıkları ve istatistiksel değerlendirme sonuçları Çizelge 5.11’de verilmiştir. Tane boyuna bağlı olarak örneklerde sülfür ve karbon oranlarında meydana gelen değişim Şekil 5.14’te verilmiştir. Analizlerde kullanılan cihazın örnek haznesinin belli tane boyundan büyük örnekleri alamaması nedeniyle özellikle yaklaşık 2.8 mm ve üzeri açıklığa sahip eleklerde tutulan örneklerin sülfür ve karbon analizleri gerçekleştirilememiştir.



Şekil 5.14 Doğal örneklerde (a) sülfür yüzdesinin tane boyutuna bağlı değişimi, (b) karbon yüzdesinin tane boyutuna bağlı değişimi.

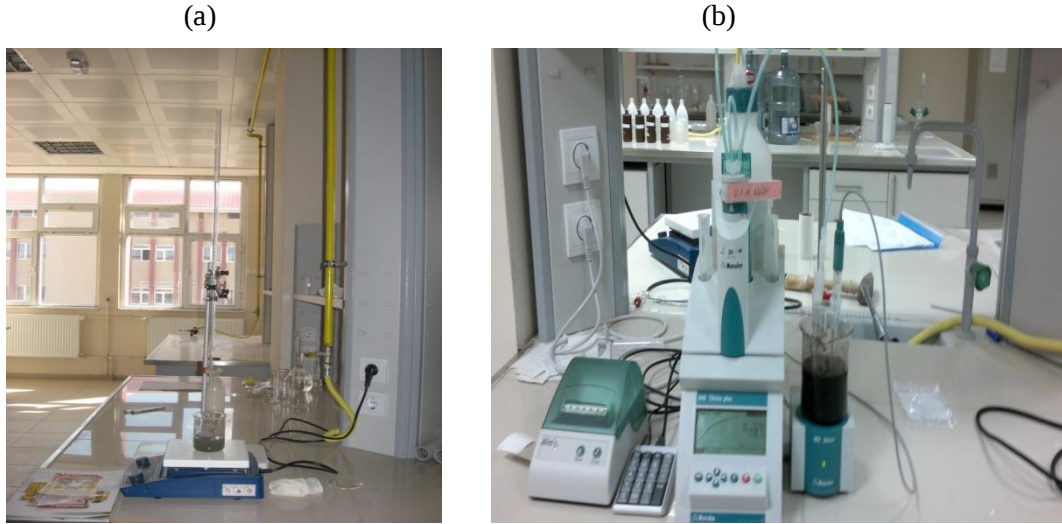
5.4 Statik Deneyler

Önceki çalışmalarda elde edilen sonuçlar dikkate alınarak, bu çalışma kapsamında, kinetik kolon deneylerinin yanı sıra statik deneylerin de seçilen örneklerin asit oluşturma potansiyelleri değerlendirilmesinde kullanılmasının yararlı olacağı düşünülmüştür. Dolayısıyla AMD araştırmalarında yaygın olarak kullanılan “Asit baz hesabı deneyi (Sobek, et. al., 1978)”, “Yeniden düzenlenen asit-baz hesabı deneyi (Coastech, 1989)” ve “prEN 15875 kodlu deney” olmak üzere, üç farklı statik deney bu çalışma kapsamında alınan örnekler üzerinde gerçekleştirilmiştir. prEN 15875 kodlu statik deney (atık karakterizasyonu - sülfidik atıkların asit potansiyelinin ve nötralizasyon potansiyelinin belirlenmesi için önerilen statik deney) dışındaki diğer iki deneyin AMD çalışmalarında yaygın olarak kullanılması ve deney yöntemlerinin konu ile ilgilenen araştırmacılar tarafından iyi bilinmesi nedeniyle söz konusu bu deneylerin detaylarının burada aktarılmasının gerekli olmadığı düşünülmüştür. Bu nedenle, sadece prEN 15875 kodlu statik deneyin yöntemi ve detayları aşağıda özetlenmiştir.

Avrupa Birliği standardı olarak kabul edilen prEN 15875 kodlu deneyde kuru örnek kullanılmaktadır. Deneylerde kullanılan örneklerin nem içeriklerini belirlemek ve bu deneylerde kullanılan kuru örneklerin sağlanması için örnekler etüvde 105 °C’de 24 saat bekletildikten sonra soğuması için desikatörde 30 dakika bekletilmiştir. Kuru örneklerden yaklaşık 2 ± 0.1 g alınarak üzerine 90 ml $\pm$ 5 ml saf su eklenmiştir. Daha sonra örnekler 20 °C $\pm$ 5 °C sıcaklıkta 15 dakika süresince çalkalanmış ve pH ölçülmüştür. Önceden deney için hazırlanan standart çizelgeden ne kadar HCl’nin kullanılacağı karbonat oranına göre belirlenmiş ve deneyin başlangıç noktası (t=0) oluşturulmuştur. Hazırlanan bu çözeltinin 22 saat $\pm$ 15dk karıştırıcıda kaldıktan sonra pH değerinin 2.0-2.5 aralığında olması gerekmektedir. pH değerinin tanımlanan bu aralıkta olmaması durumunda tekrardan belirlenecek miktarda HCl eklenerek deney sürecine devam edilir ve toplam HCl belirlenir. Örneklerin pH değerinin istenen aralıkta olması sağlandıktan sonra 24 saat $\pm$ 15 dakika saf su eklemesi ile çözelti 125 ml’ye tamamlanmıştır. Çözeltinin pH 8.3 olması için 0.1 molar NaOH eklemesi yapılmış ve toplamda kullanılan NaOH hacmi belirlenmiştir. Statik deney sırasında örneklerin deneylere hazırlanma aşamasında uygulanan titrasyondan bir görünüm Şekil 5.15’te verilmiştir.

Cevher ve yankayaçtan alınan dörder adet örnek üzerinde üç farklı statik deney uygulanması gerçekleştirilmiştir. Elde edilen verilerin aritmetik ortalamaları alınarak cevher ve yan kayaca ait “Asitleşme Potansiyeli” (AP), “Nötrleşme Potansiyeli” (NP) ve “Nötrleşme Potansiyeli Oranı” (NPR) parametreleri hesaplanmıştır (Çizelge 5.12). Çizelge 5.12’de verilen

parametreler aşağıda verilen ve EPA (1994) tarafından önerilen eşitlikler kullanılarak belirlenmiştir.



Şekil 5.15 Statik deney aşamaları: a) örneklerin asitle muamelesi sonrası çalkalaması, b) çözeltiye uygulanan titrasyondan bir görünüm.

$$AP = 31.25 * \%S \quad (5.6)$$

$$S(T) = \%S (SO_4) + \%S (S^{2-})$$

Burada; AP asit potansiyeli ($kg CaCO_3/t$), $(\%)S(T)$ belirlenen toplam kükürt miktarıdır. Leco cihazında belirlenen toplam Sülfür $\%S (T)$ değeri veya Sülfid sülfür $(\%)S^{2-}$ değerinden AP hesaplanır. Bu çalışmada AP , $\%S$ değeri kullanılarak hesaplanmıştır.

$$NP = \frac{c(HCl) * V_A(HCl) - c(NaOH) * V_B(NaOH)}{M_d} \quad (5.7)$$

Burada; NP nötrleştirme potansiyeli ($molH^+/kg$), $c(HCl)$ kullanılan HCl 'nin derişimi (mol/l), $V_A(HCl)$ eklenen HCl nin hacmi ($V_{A,t} = 0 + V_{A,t} = 22 \text{ ml}$), $c(NaOH)$ kullanılan $NaOH$ 'ın derişimi (mol/l), $V_B(NaOH)$ geri titrasoyonda kullanılan $NaOH$ 'ın hacmi (ml) ve M_d ise deneyde kullanılan örneğin kuru kütlesini göstermektedir. M_d , deney sırasında alınan $2.00 \pm 0.1 \text{ g}$ yaş örnek, örneğin nem içeriğide dikkate alınarak kuru kütlesi Eşitlik 5.7'de kullanılmaktadır.

Eşitlik 5.7'de verilen bağıntı tekrar düzenlenerek aşağıda Eşitlik 5.8'de verilen bağıntı elde edilmekte ve bu eşitlik yardımıyla nötrleştirme potansiyeli $kg CaCO_3/t$ cinsinde hesaplanmaktadır. Nötrleştirme potansiyeli oranı (NPR) ise Eşitlik 5.9 kullanılarak

belirlenmektedir. Net nötralizasyon potansiyeli (NNP) negatif olan, sülfür minerali içerikli materyal muhtemelen bir asit drenaj kaynağıdır. Eğer sülfür içeriği çok düşük ise karbonat olmayan kaynaklı alkalilik varsa, istisnalar mümkündür.

$$NP = 50 * \frac{c(HCl) * V_A(HCl) - c(NaOH) * V_B(NaOH)}{M_d} \quad (5.8)$$

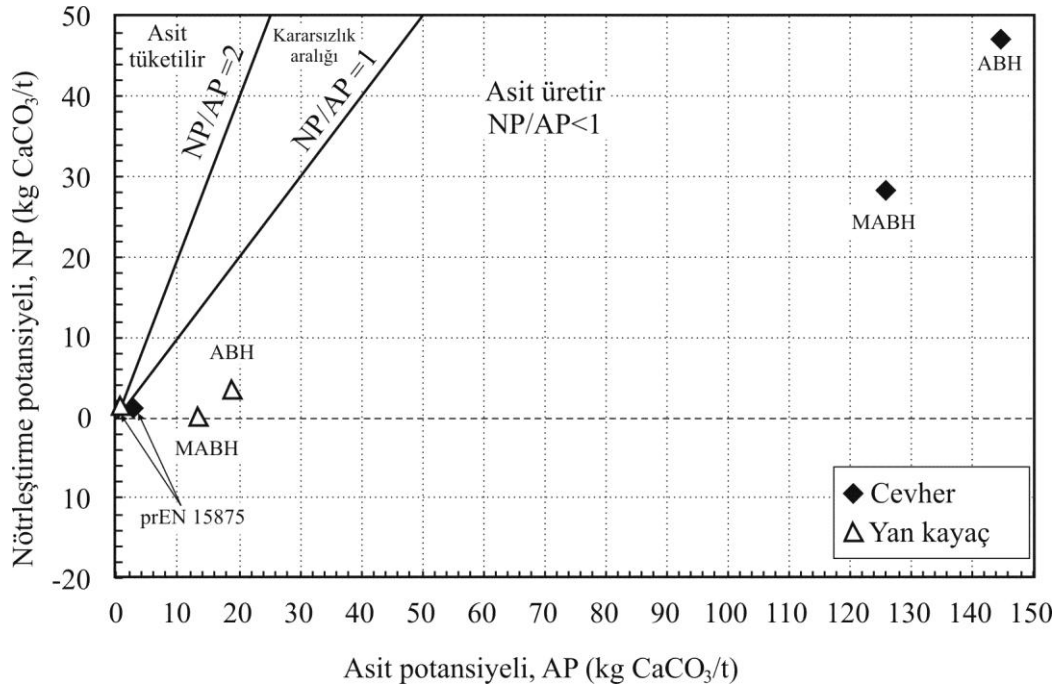
$$NPR = \frac{NP}{AP} \quad (5.9)$$

Çizelge 5.12 Cevher ve yan kaya örneklerine ait “asit potansiyeli” (AP), “nötrleştirme potansiyeli” (NP) ve “net nötralizasyon potansiyeli” (NPR) değerleri.

Örnek türü	Karbonat Oranı (CR)	Toplam Sülfür w(S)	ABH			MABH			prEN 15875*		
			NP	AP	NPR	NP	AP	NPR	NP	AP	NPR
Cevher	1.1	11.2	47.16	144.6	0.33	28.75	125.77	0.23	2.98	7	0.214
Yan kaya	0.25	2.00	3.17	18.67	0.17	2.001	13.34	0.15	0.174	1.25	0.139

ABH: Asit baz hesabı deneyi (Sobek, et al., 1978); MABH: Modifiye asit-baz hesabı deneyi (Lawrance and Wang, 1997); *: atık karakterizasyonu - sülfidik atıkların asit potansiyelinin ve nötralizasyon potansiyelinin belirlenmesi için önerilen statik deney

Çizelge 5.12’de verilen ve üç farklı statik deney sonucunda elde edilen veriler kullanılarak asit ve nötralizasyon potansiyel karşılaştırılmıştır (Şekil 5.16). Şekil 5.16’da da görüleceği gibi hem cevher hemde yan kaya örneklerinin net nötralizasyon potansiyelinin verileri asit oluşturan kısımda yer almaktadır. Cevher örneklerinin asit üretim potansiyeli değerleri, asit tüketim potansiyeli değerlerinin yaklaşık olarak 7 ile 48 katı arasında değişmektedir. Yan kayacın statik deney sürecinde asit potansiyeli (AP) düşük seviyede kalması ve sülfür miktarında da az olması nedeniyle kinetik kolon deneyine tabi tutulmaması sonucuna varılmıştır. Ancak, cevher örneklerinin asit oluşturma özelliğinin yüksek olmasından dolayı, bu örnekler üzerinde farklı tane boylarında kinetik kolon deneyinin yapılması gerektiği ortaya çıkmıştır.



Şekil 5.16 NPR değerinin Robertson ve Broughton (1992) tarafından önerilen grafik üzerindeki dağılımı.

Uygulaması kolay, hızlı sonuca ulaşabilme ve düşük maliyetli olan statik deneyler, cevherli bir kayacın asit üretilip üretilmeyeceği ve üretilen asitin ortamda tüketilip tüketilemeyeceği konusunda ön değerlendirme amaçlı kullanılan deneylerdir. Ancak, Lapakko (2002)'ya göre bu deneyler, örneklerin asit üretme ve nötrleştirme özelliklerini değerlendirirken, minerallerin varlığı ve çözünme hızları arasındaki farkları ve meteorolojik değerlendirmeyi dikkate almamaktadır. Bunun yanı sıra, bozunma süreçleri içerisinde mikroorganizma etkisi de genellikle bu deneylerde gözlenmemektedir. Statik deneylerde gözlenen bu sınırlamalar göz önünde bulundurularak, örneklerin AMD değerlendirmesinin kinetik kolon deneyleri temel alınarak araştırılması, bu oluşum sırasında meydana gelen bütün süreçlerin dikkate alınması ve laboratuarda yapılan simülasyon çalışmalarının arazide koşulları daha yakın bir şekilde temsil etmesi açısından yararlı olacağı düşünülmektedir.

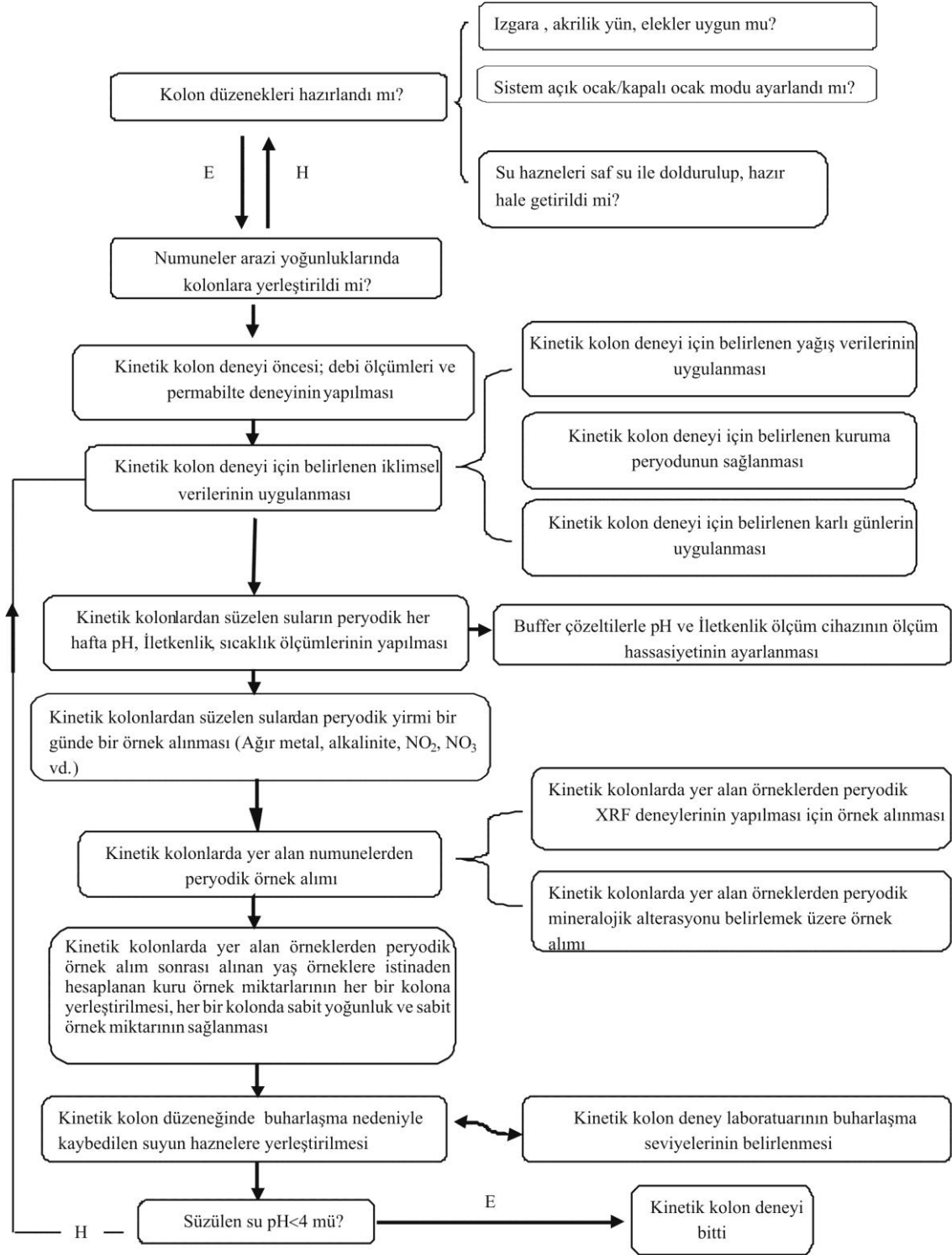
5.5 Kinetik Kolon Deneyi

Asit maden drenajı potansiyeli belirlenmesinde kullanılan yeni bir deney olması nedeniyle, kinetik kolon deneylerinde kullanılan kolonların boyutları ile bu kolonlara konulan örneklerin tane boyu ve miktarı konusunda kabul görülen bir görüş bulunmamaktadır.

Dolayısıyla, asit maden drenajı potansiyeli belirlenmesi oldukça önemli olan ve doğal koşulları gerçeğe daha yakın olan bu deney sistemindeki söz konusu bu sınırlamanın aşılması için, çalışma kapsamında kullanılacak kolonların değişen boy/çap oranlarında olacak şekilde hazırlanması öngörülmüştür. Bu sayede, farklı boy/çap ölçülerine sahip kolonlarda yapılan deney sonuçlarının analizleri ve değerlendirmesi sonucunda doğal koşulları en iyi yansıtan kolon boyutların belirlenmesi hedeflenmiştir. Tane boyunun AMD potansiyeli üzerindeki etkisinin araştırılması amacıyla da arazi çalışmaları sırasında alınan örnekler öğütülerek farklı tane boyunda hazırlanmıştır. Orta tane (-3.35 mm) için on iki adet ve ince tane (-0.625 mm) için ise on iki adet olmak üzere toplamda yirmi dört adet kolon kullanılmıştır. Çalışma bölgesi olarak seçilen sahanın asit maden drenajı potansiyeli araştırılmasından etkili olan doğal koşulların tam tanımlanması ve deneyler sırasında ihtiyaç duyulan suyun miktarının belirlenmesi için örnekleme yerine yakın farklı istasyonlarda alınan meteorolojik veriler kullanılarak yapılan analizler sonucunda elde edilen sonuçlar kinetik kolon deneyleri sırasında göz önünde bulundurulmuştur.

Farklı boy ve çaplarda tasarlanan ve Bölüm 4'te ayrıntısı sunulan kolonlara orta (-3.35 mm) ve ince (-0.625 mm) tane boyuna sahip kırılmış cevher örnekleri konulduktan sonra, kolonlara saf su eklenerek deney süreci başlatılmıştır. Kinetik kolon deneyinin uygulama aşamaları Şekil 5.17'de verilmiştir. Deneyler başlatıldıktan sonra, belli aralıklarda ortamdan alınan su örnekleri üzerinde pH ve iletkenlik ölçümleri ile kimyasal analizler gerçekleştirilmiştir. Kinetik kolon deney sürecinde gerçekleştirilen bu ölçüm ve analizlere aşağıda ayrı bölümlerde değinilmiştir.

Cevher örneklerinin zamana bağlı olarak mineralojik ve kimyasal analizler ile değişimin tespiti için kolonlardan numune alınmıştır. İlk örnek alımında, kolonların üst noktasından 2 cm aşağıdan numune alınmıştır. Zamana bağlı olarak cevher örneklerinde meydana gelen mineralojik ve kimyasal değişimin belirlenmesi için her defasında örnek alımı daha önceki alınan örnek yerinin altındaki sıkı malzemeden alınmasına dikkat edilmiştir. Diğer bir ifadeyle, örneklemlerde yaklaşık bir önceki alınan örnek noktasından 2 cm daha aşağısı seçilmiştir. Her örneklemede yaklaşık 30 g cevher örneği alınmıştır. Bu durum kolon boyunca gerçekleşmiş olup, zamana bağlı olarak cevher örneklerinin bileşiminde meydana gelen değişim, başlangıç bileşimi ile karşılaştırılarak tespit edilmiştir.



Şekil 5.17 Kinetik kolon deneyinin uygulama şeması.

5.5.1 pH ve elektriksel iletkenlik (Ec) ölçümleri

Kinetik kolon deneylerine tabi tutulan örneklerin bulundukları ortamdaki suyun asidik olup olmadığını kontrol etmenin en hızlı ve ucuz yöntemi pH ölçülmesiyle sağlanabilir. pH bir sıvının ve/veya çözeltinin asidik veya bazlık derecesini gösteren ve hidrojen iyonun aktivitesini esas alan bir ölçü birimidir. AMD oluşum sürecine maruz kalan bir açık ocakta ortamda bulunan suların pH değerleri oldukça düşük değerlere (yaklaşık olarak 2 veya daha düşük) düşmektedir. Nordstrom (1982), düşük pH (<4.5) değerlerinde, Fe^{3+} oksijene nazaran piritin daha hızlı oksitlenmesine ve dolayısıyla bozunmasına neden olduğunu belirtmiştir.

Bozunma süreçleri sonucu ortamdaki karbonat ve karbondioksit konsantrasyonunun da ortamda bulunan suyun pH değeri üzerinde önemli bir etkisi vardır. Yüksek konsantrasyonda bikarbonatın bulunması yüksek pH (alkalin sular), düşük konsantrasyonlarda ise genellikle düşük pH (asitli sular) oluşturur. pH değişiklikleri su kimyasının yönlerini değiştirerek, dolaylı olarak sudaki yaşam formlarını önemli oranda etkilemektedir. Düşük pH değerindeki akım, alt sedimanlarda mevcut ağır metallerin serbest bırakılmasını hızlandırmaktadır. Dolayısıyla, ortamda Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} gibi katyonların oranında artış meydana gelmekte ve buda suyun sertliğini arttırmaktadır. Asit maden drenajı süreçleri sonucu serbest hale gelen Fe^{2+} 'nin suyun sertliğini arttırılması buna bir örnek olarak verilebilir.

AMD oluşum sürecinde ortamda bulunan suların pH değerleri bozunma süreçlerinin etkisi ve hızına bağlı olarak belli oranlarda azalım gösterirken, bu suların iletkenlik özellikleri de artış göstermektedir. Bir çok araştırmacı (Grande vd., 2005a ve b; Liew ve Sheppard, 2001; Dogan, 1999; Younger vd., 2002; Kwong ve Lawrence, 1998; Younger, 1997) AMD ortamlarındaki pH ve iletkenlik arasında doğrudan bir ilişkinin olmadığını vurgulamışlardır. Ancak son yıllarda Grande vd. (2010) tarafından yapılan bir çalışmada bir çok araştırmacı pH ve iletkenlik arasındaki yüksek negatif korelasyon katsayısına sahip bir ilişkinin mevcut olduğunu vurgulamışlardır.

Sulu bir çözeltinin elektrik taşıyabilme özelliği iletkenlik olarak tanımlanmakta olup, ortamdaki iyonların toplam ve bağlı konsantrasyonlarına, hareketliliğine, değerliklerine ve ortamın sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. Diğer bir ifadeyle, iyonların derişimi, çözünmüş tuz konsantrasyonu ve sıcaklığının artışı ile suların elektriksel iletkenlikleri de artar. Belli sıcaklığa sahip suyun elektrik akımını iletme özelliğini yansıtan bu parametre, genel olarak $\mu S/cm$ (micro-siemens/cm) veya $\mu mho/cm$ (micro-mho/cm) birimi ile ifade edilmektedir. İletkenlik, iyon miktarıyla doğru orantılı olmasına rağmen, klorür, sülfat, kalsiyum, magnezyum

gibi iyonlar için aynı durum söz konusu değildir. Bir çok asit, baz ve tuz çözeltileri iyi iletken özelliğine sahiptirler. Dolayısıyla, AMD oluşum süreci içerisinde ortamdaki suyun iletkenliği asit maden drenajı ile suya salınan ağır metal iyonları ile etkilenmekte olup, elektriksel iletkenlik ölçümleri sudaki toplam iyon derişimi hakkında önemli bilgiler sunmaktadır. Yeni distile edilmiş su 0.5 ile 2 $\mu\text{mho/cm}$ arasında değişen özgül iletkenlik değerlerine sahiptir. Birkaç hafta beklemeden sonra bu değer 2 ila 4 $\mu\text{mho/cm}$ gibi değerlere yükselmektedir. Bu artış ortam CO_2 'nin distile suda absorblanması ile meydana gelir. İçme suları genellikle 50 ila 1500 $\mu\text{mho/cm}$ aralığında özgül iletkenlik değerlerine sahiptir. Sudaki sıcaklığın her 1°C artmasıyla bu suyun iletkenlik parametresi yaklaşık %1.9 civarında artış göstermektedir. İletkenlik üzerindeki etkisinin yanı sıra, su sıcaklığı aynı zamanda ortamdaki çözünmüş oksijen miktarı üzerinde de etkilidir. Bir sudaki çözünür oksijen miktarı, su sıcaklığı ve atmosferik basınç gibi fiziksel faktörlere bağlıdır. Sabit bir atmosferik basınçta, düşük sıcaklıktaki su yüksek sıcaklıktaki sudan daha yüksek çözünmüş oksijen seviyesi üretir ve dolayısıyla AMD oluşumu üzerinde daha fazla etkili olmaktadır. Bazı kirleticiler, asit maden drenajı gibi, doğrudan kimyasal talepleri gereği, sudan oksijen tüketir. Nitrat (NO_3^{-1}) ve amonyum (NH_4^{+1}), sülfat (SO_4^{2-}) sülfid (SO_3^{2-}), demir (Fe^{+2}) ve ferrik (Fe^{+3}) iyonları yükseltgenme-indirgenme reaksiyonları sonucu çözünmüş oksijeni tüketmektedir. Çözünmüş oksijen miktarı balık ve diğer suda yaşayan canlılar için genellikle 5 ppm civarında olmalıdır.

Yukarıda özet olarak verilen ve asit maden drenajı oluşumun tanımlanmasında ve belirlenmesinde önemli birer parametre olan pH ve iletkenlik parametreleri kinetik kolon deneylerine tabi tutulan örnekler üzerinde haftada bir aralıklarda ölçülmüştür. Ortam sıcaklığının iletkenlik ve AMD oluşum süreci üzerindeki etkisi göz önünde bulundurularak, iletkenlik ölçümleri sırasında cihazın kalibrasyonunda 25°C 'lik sıcaklık dikkate alınmış ve kolonlarda alınan örneklerin sabit bir sıcaklıkta ölçümleri alınmıştır. Her hafta alınan pH ve iletkenlik ölçümleri sonuçları Ek 1'de verilmiş olup, bu sonuçların AMD değerlendirmeleri için önemi, bu konuda yapılan detaylı analiz sonuçları, kolonlarda alınan pH ve iletkenlik değerlerinin zamana bağlı olarak değişimine ilişkin grafikler Bölüm 6'da sunulmuştur.

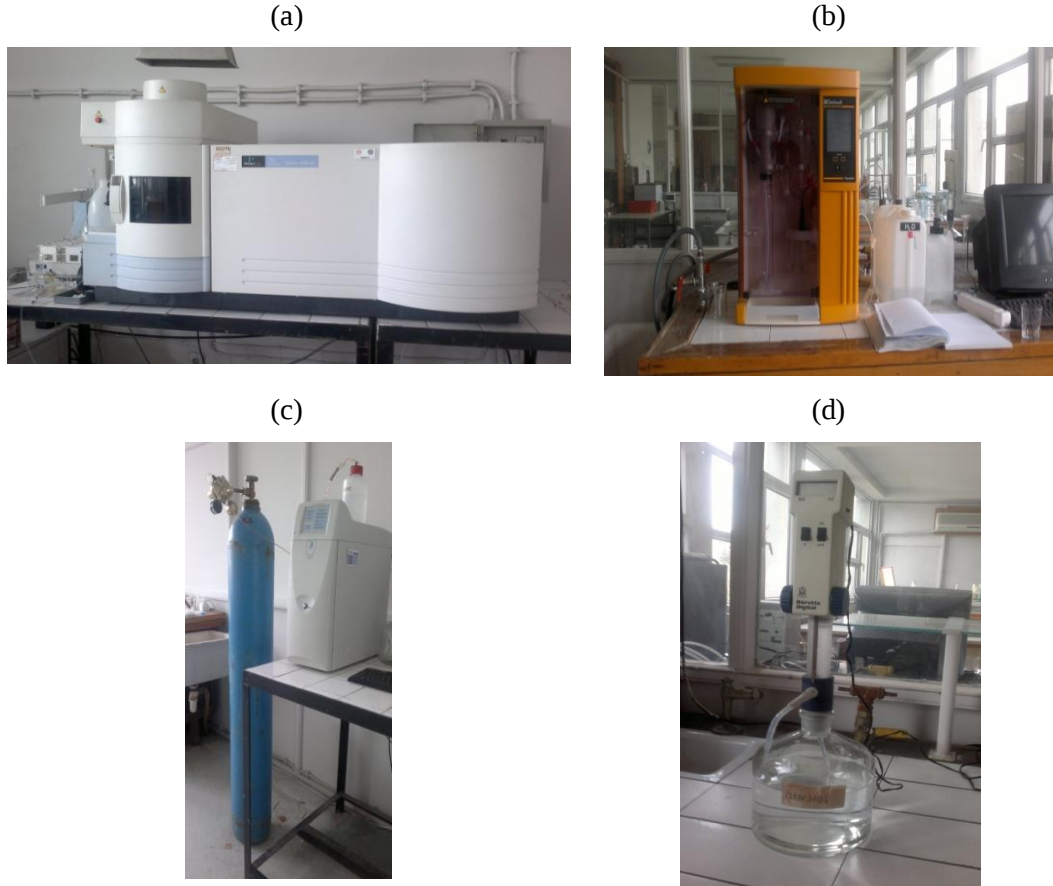
5.5.2 Kinetik kolon deneyleri sırasında elde edilen su örneklerinin kimyasal analizleri

Kinetik kolon deney düzeneklerinde bulunan toplam otuz dört kolonda periyodik değişimin ve kimyasal reaksiyonun belirlenmesi amacıyla yağış sonrası süzülen sulardan yirmibir gün arayla 500 ml örnekler alınarak (Şekil 5.18), sırasıyla herbir kolonun zamana bağlı olarak; K, Na, Ca, Mg, NH_4 , Li, B, SiO_2 , Fe, Mn, Pb, Zn, Cd, Cu, Ni, Cr, Co, Mo, Sr, Ba, CO_3 , HCO_3 , Cl, SO_4 , F, NO_2 , NO_3 , Br, Alkalinite ve PO_4 değişimleri incelenmiştir. Kolonlardan

alınan su miktarının meteorolojik kayıtlardan belirlenen maksimum yağış miktarını aşmaması ve ayrıca, kimyasal analizler için yeterli miktarının alınmasına dikkat edilmiştir. Kimyasal analizlerin bir kısmı için ICP-OES (indüktif eşleşmiş plazma optik emisyon spektrometre) cihazı kullanılmıştır. Bu cihazda bakılan elementler için su örneğinin $\text{pH} < 3$ olması gerekmektedir. Bu nedenle 500 ml'den 100 ml su örneği alınarak ve içine pH 'ın istenen seviyeye inmesi için yeteri miktarda (yaklaşık beş damla kadar) HNO_3 ilave edilerek K, Na, Ca, Mg, Li, B, SiO_2 , Fe, Mn, Pb, Zn, Cd, Cu, Ni, Cr, Co, Mo, Sr, Ba konsantrasyonları ise ICP yöntemle belirlenmiştir. Kalan 400 ml su örnekleri herhangi bir işleme tabi tutulmadan NH_4 distilasyon- titrasyon, CO_3 ve HCO_3 volumetri, Cl, SO_4 , F, NO_2 , NO_3 , Br, PO_4 , Nitrat, Amonyum ve sülfat değerlerinin belirlenmesinde iyon kronometre kullanılmıştır (Şekil 5.19).



Şekil 5.18 Kimyasal analizler için süzülen sudan alınan örnekler.



Şekil 5.19 Su analizleri için kullanılan cihazlar: a) ICP-OES cihazı b) azot tespit cihazı, c) iyon kronometre, d) otomatik titratör.

Yukarıda sıralanan elementlerin yanısıra, alkalite değerleri de hesaplanmıştır. Suyun içerdiği OH^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- iyonları suyun alkalitesini (bazlığını) oluşturur. Alkalite, p-Alk (phenolphthalein) ve m-Alk (metil oranj) değerleri ile belirlenir, p ve m değerlerinden yola çıkılarak suyun içerdiği OH^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- iyonlarının miktarları hesaplanır. p-Alkalite = $\text{OH}^- + \frac{1}{2} (\text{CO}_3^{2-})$ iken, m-Alkalite = $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^- + \text{OH}^-$ 'dir. $\text{pH} < 4.2$ ise m-alkalite = 0 ve $\text{pH} < 8.2$ ise p- alkalite = 0 olur. OH^- iyonları sadece $\text{pH} > 10.2$ üzerinde oluşur, $\text{pH} > 10.2$ ise ortamda sadece OH^- ve CO_3^{2-} iyonları bulunmaktadır. Yirmibir gün de bir alınan tüm kimyasal analiz sonuçları Ek 2'de verilmiş olup, konuya ilişkin ayrıntılı değerlendirme ve analizler Bölüm 6'da verilmiştir.

5.6 Kinetik Kolon Deneyleri Sırasında Gözlenen Fiziksel Değişimler

Kinetik kolon deneyleri sırasında kolonlara konulan örneklerde gözlenen fiziksel değişimler sırasıyla aşağıda verilmiştir.

i) Örneklerin çökmesi: Farklı tane boyuna sahip örnekler arazi koşullarındaki doğal yoğunlukları göz önünde bulundurularak kolonlara konulmuştur. Ancak, zamanla ortama su aktarılması ve muhtemel meydana gelen bozunma süreçleri sonucu tanelerin kontak noktalarındaki dayanım kaybı sonucu, örneklerin daha yoğun duruma geçtiği, özellikle ince tane boyuna sahip tanelerin gözenekleri (boşlukları) doldurduğu ve dolayısıyla sekizinci haftadan itibaren kolon içerisinde örneklerin sinmeye başladığı tespit edilmiştir. Bu örneklerin daha yoğun bir duruma geçmeleri nedeniyle, kolon boyunca çözünmüş oksijen miktarı sürkilyasyonu azalmış ve kısmi pH yükselmeleri kaydedilmiştir. Kolonlarda meydana gelen çökeltide aşağıda verilen Eşitlik 5.10 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Azalma\ Yüzdesi\ (AY) = \frac{Kolon\ Uzunluğu(h_{ku}) - Numune\ Uzunluğu(h_{nu})}{Kolon\ Uzunluğu(h_{ku})} * 100 \quad (5.10)$$

Eşitlik 5.10 kullanıldığında, meydana gelen çökeltmenin örneklerin tane boyu değerleri azaldıkça arttığı gözlenmiştir. En yüksek oranda çökeltme -0,625 mm tane boyuna sahip cevher örneklerinin bulunduğu kolonlarda yaklaşık olarak % 2.5 olarak tespit edilmiştir. Bununla birlikte, kolon boy/çap oranı artıkça gözeneklilik miktarında artış olacağı düşünülmüş ve örneklerin çökeltmesinin artış gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 5.20a).

ii) Kolonlarda kabarcık oluşumu: Kinetik kolon deneyi boyunca yağış sonrası uzun süreli kabarcıkların kısmi olarak görüldüğü tespit edilmiştir. Cevherin çok miktarda sülfür içermesi ve az miktarda oluşan hidrofobik yapı nedeniyle suyun yüzey gerilimi düştüğü için suyla beraber giren hava kolon içersisinde kabarcık oluşumuna neden olmaktadır. Kolonlarda oluşan kabarcıkların yoğunluğunun belirlenmesi, kinetik kolon deneyi sonuçlarının doğru yorumlanması açısından katkı sunacağı düşünülmüştür. Bu nedenle, her kolonda oluşan kabarcıkların yoğunluklarını tespit etmek için, kolonların üç ayrı noktasında kabarcık sayımı ölçümü yapılmıştır. Bu ölçüm noktaları; kolonların üst kesiminden itibaren 2 cm aşağıda, orta kısmında ve en alt kısımdan 2 cm yukarıda olacak şekilde belirlenmiştir. Kabarcık sayımında, 2x2 cm lik kare şeklindeki kesikli kağıt kullanılmış ve bu kağıdın içine düşen kabarcık miktarı sayılmıştır. Üç ayrı noktada yapılan sayımların aritmetik ortalaması alınmıştır. Yapılan bu sayımlarda, kolonların üstten alt kesimlerine doğru kabarcık miktarının azaldığı belirlenmiştir. Bunun nedeninin üst yüzeyden gelen durağanlaşan yıkama suyu ile alt malzemenin üzerindeki

ağırlık olduğu ve dolayısıyla hava miktarının azalması olduğu düşünülmüştür. Orta tane boyu örneklerin kullanıldığı kolonlarda kabarcıkların daha yoğun olduğu tespit edilmiştir. Bu tane boyuna sahip örneklerin konulduğu kolonlardan boy/çap oranı 12 kolonda toplam 4 kabarcık tespit edilmiş olup, bu kolonun kabarcık sayısı/ alan oranı 1 (4 kabarcık/4 cm²) olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, boy/çap oranı azaldıkça bu oranın azaldığı belirlenmiştir. Bu oranın küçük olması kolonun tüm kesitinin ıslandığını göstermektedir. Kinetik kolon deneyi sırasında, Lawrance ve Wang (1996) 'nın kolonun yüzeyinin tümünün ıslanması gerektiği uyarısının sağlandığı belirlenmiştir (Şekil 5.20b).

iii) Tuzlanma: Asit maden drenajının bir çevresel tahribatı da oluşan tuzluluktur. Bu durum ise iletkenlik seviyesi artan nispeten daha düşük pH larda tuz sorunu doğmaktadır. Bu durum Şekil 5.20c'de de görüldüğü üzere, kolon alt kapak üzerinde oluşmuştur. Muhtemel yağış sırasında suyun çıkmak için alt kapağı zorlaması sonucunda alt kapak kolon etrafında tuzlanma oluşturmuştur. Tuzlanma tane boyu değişmeksizin kolonlarda görülen doğal koşullar gereği bir sorun oluşmuştur. Tuzlanmanın dışarı yansımaması için mümkün olduğunca ince taneli platformun yapım aşamasında alt kapaklara onks taktırılarak ayrıca bir tıkaçlama yapılmıştır (Şekil 5.20c).

iv) Renk değişimi: Tüm kolonlarda ıslanma-kuruma çevrimleri etkisiyle mineralojik değişimin başlangıcında gözle görülür nitelikte olan cevherdeki renk değişimi tüm kolonlarda gözlenmiştir. Renk değişimi sırasında haleler şeklinde kahveden koyu yeşile bir geçiş tespit edilmiştir. Bu tespit ile kolon içerisindeki örneklerden ziyade yüzeyinde olan değişimler takip edilebilmiştir (Şekil 5.20d).

v) Tane boyundaki değişim: Kolonların içerisinde yer alan cevher örneklerinde -3,35 mm ve -0,625 mm tane boyutu olmak üzere, iki ayrı tane boyuna sahip örnekler bu çalışmada kullanılmıştır. Kinetik kolon deney sürecinde ıslanma kuruma döngüsüne tabi tutulan örneklerde tane boyutunda azalmaların meydana gelmesi beklenmiştir. Ancak, sistemde kimyasal bozunma süreçlerinin fiziksel bozunma süreçlerinden daha etkin olması nedeniyle, arazi koşullarına benzer şekilde (Şekil 2.4b) deneye maruz bırakılan örneklerde kimyasal bozunmanın daha etkin olduğu yapılan tane boyu dağılım analizlerindeki deney öncesi ve deney sonrası tane boyu dağılım grafiklerinin karşılaştırılmasıyla da anlaşılmıştır (Şekil 5.21). Şekil 5.21'de de görüldüğü gibi deney sonrasındaki aynı örneklerin tane boyu dağılım grafiklerinin daha iri tane boyuna sahip olduğu saptanmıştır. Söz konusu bu durumun deney sırasında meydana gelen kimyasal bozunma ve sonrasında oluşan kil tane boyu malzemenin sıvanımından kaynaklanan taneler arası topaklaşma etkisi gösterdiği sonucuna varılmıştır. Kinetik kolon

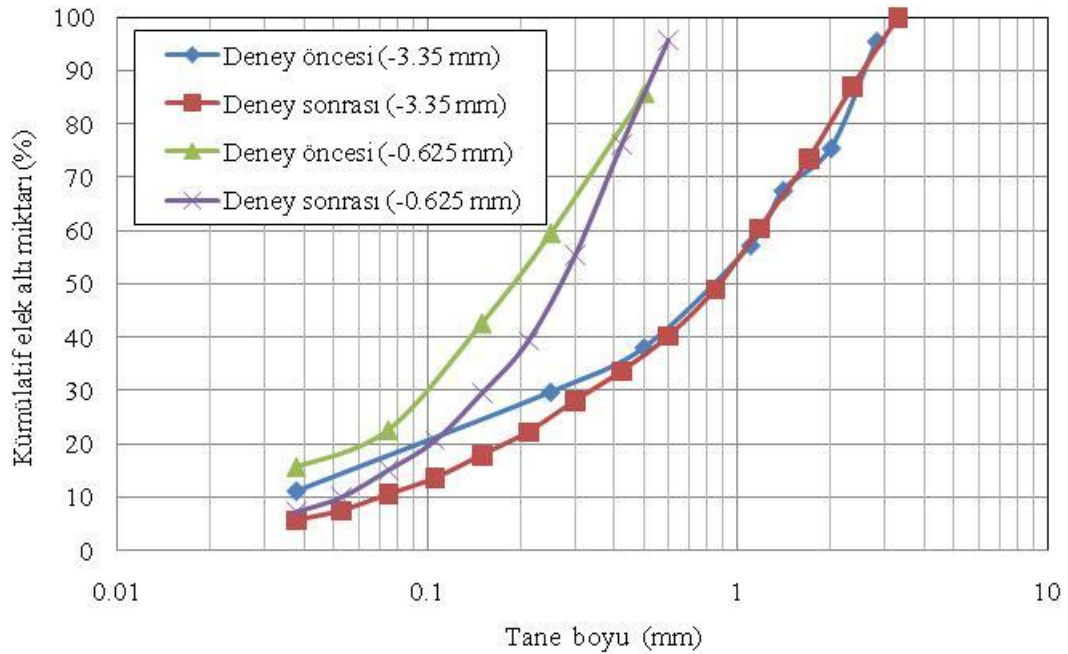
deneyi sırasında tane boyu dağılım grafiklerinde meydana gelen bu değişim deney öncesi ve deney sonrası D_{30} , D_{50} ve D_{80} parametresi değerlerinden de anlaşılmaktadır (Çizelge 5.13).



Şekil 5.20 Kinetik kolon deneyi sırasında gözlenen fiziksel değişim örnekleri: a) örneklerin çökmesi, b) kolonlarda kabarcık oluşumu, c) tuzlanma, d) renk değişimi.

Asit üreteceği düşünülen malzemenin (sülfürlü mineraller) tane boyutu küçüldükçe yüzey alanının artacağı ve daha fazla pirit yüzeyinin oksijen ve su ile temas edeceği düşünülerek tane boyutunun AMD oluşumuna etkilerinin araştırıldığı deneylerde en ince boyut olarak malzemedeki piritin serbestleşme boyutu olan -0.625 mm tane boyutu kullanılmıştır. Ancak bu boyuttaki malzeme içerisinde su geçirildikten sonra malzeme orta boyutlu malzemeye göre daha kompakt bir davranış göstermiş ve uygun havalandırma koşulları arazi koşullarındaki

malzeme yoğunluğu referans alınması nedeniyle sağlanamamıştır. Ayrıca ince boyutlu malzemelerde yüzeyden iyon aktarımının güçleşmesinin de bu oluşumu yavaşlatıcı bir etkisinin olduğu düşünülmektedir. Havalandırma koşullarının uygun olduğu durumda tane boyutunun küçülmesinin AMD oluşumunu hızlandırdığı görülmüştür. Hava, içerdiği oksijen nedeniyle AMD tepkimelerinin ilerlemesi açısından son derece önemlidir. Hava miktarının AMD tepkimelerinin ilerlemesine etkisinin araştırıldığı deneyler göstermektedir ki, tepkimeler için gerekli oksijen, piritin çok az miktarda havayla temas etmesi durumunda bile sağlanabilmektedir. Ortamda hava olmaması durumunda ise gerekli oksijen, suda çözünmüş olan oksijenden temin edilmektedir (EPA, 2003).



Şekil 5.21 Kinetik kolon deneyi öncesi ve sonrasındaki örneklerin tane boyu dağılım grafikleri.

AMD üreteceği düşünülen malzemenin kalınlığının artması, drenaj sıvısının daha fazla malzeme ile daha uzun süre teması anlamına gelmektedir ki bu durumda bu sıvının asiditesi artmakta ve çözünmüş Fe^{3+} iyonundaki artış daha fazla ağır metalin iyon haline geçmesine olanak tanımaktadır. AMD tepkimelerinin oluşum hızına etki eden diğer bir önemli etkenin bilindiği bakterilerin, uygun sıcaklık ve pH koşullarında bakterilerin kendiliğinden sisteme girmeleri, üremeleri ve bu tepkimelere etki etmeleri mümkündür. Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen kinetik kolon deneyi sırasında ortama dışarıdan bakteri eklemesi yapılmamıştır. Bunun yanısıra bakterilerin üremesini engellemek için herhangi bir sterilizasyon çalışması da

uygulanmamıştır. Bu çalışmada, kinetik kolon deney sürecinde sistem tamamıyla doğal koşullarında sürdürülmüştür.

Çizelge 5.13 Kinetik kolon deneyi öncesi ve sonrasındaki cevher örneklerinin tane boyu dağılım grafiklerinden belirlenen D_{30} , D_{50} ve D_{80} parametresi değerleri.

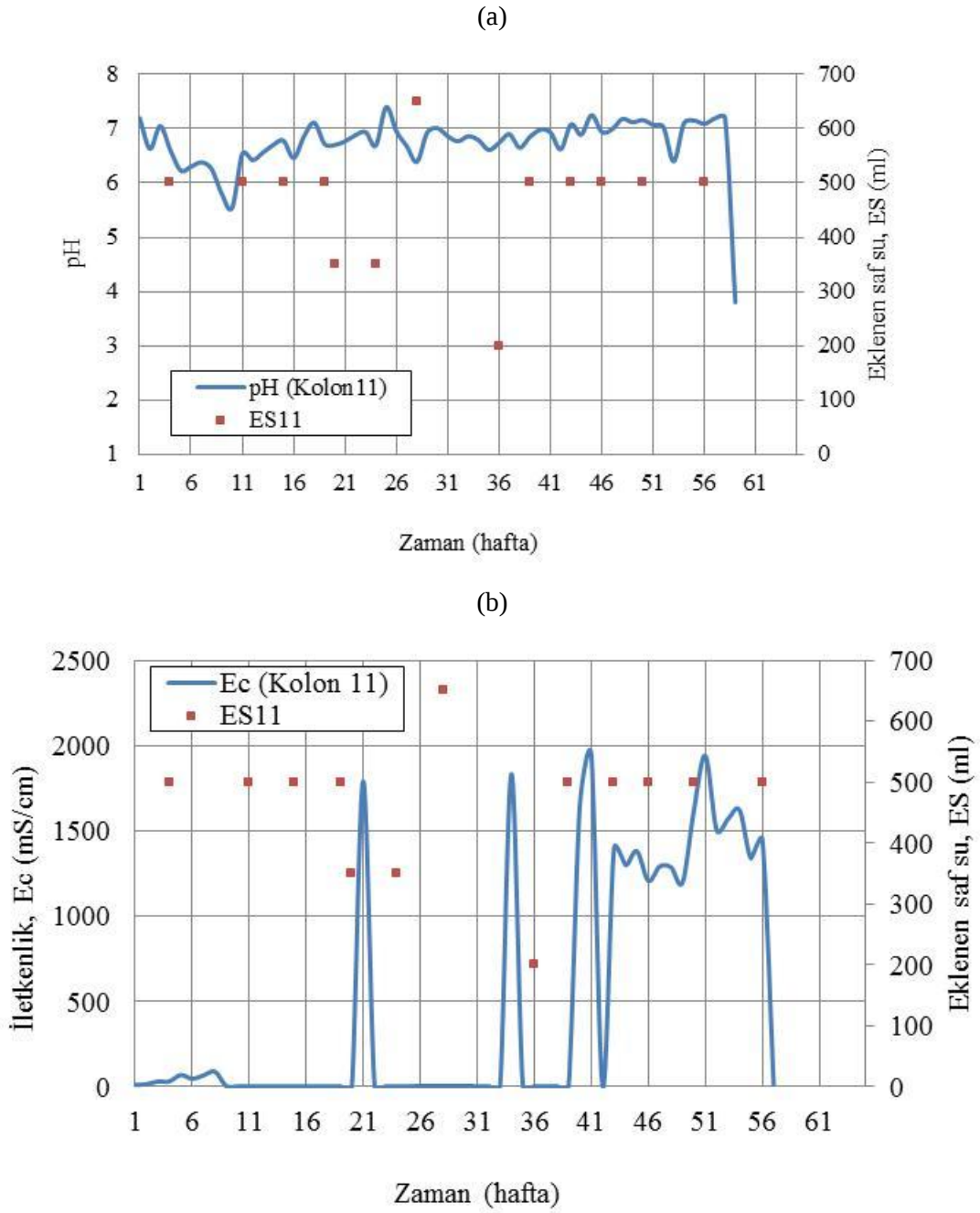
Tane boyu tanımı		D_{30} (mm)	D_{50} (mm)	D_{80} (mm)
Orta (-3.35 mm)	Deney öncesi	0.25	0.87	2.18
	Deney sonrası	0.34	0.90	2.00
İnce (-0.625 mm)	Deney öncesi	0.10	0.19	0.44
	Deney sonrası	0.16	0.27	0.46

6. KİNETİK KOLON DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

AMD hemen oluşan bir süreç olmayıp, ortam koşullarının uygun olması durumunda, bir zaman dönemi boyunca gelişmektedir. Dolayısıyla, bir bölgenin muhtemel asit üretim potansiyelinin değerlendirilmesi ve/veya tahmini, ekonomik ve çevresel koşullar açısından oldukça önemlidir. Robertson ve Broughton (1992) asit oluşum hızını kontrol eden koşulları: a) sülfürlü minerallerin varlığı, su ve oksijen, b) kimyasal reaksiyonlarda katalizör etkisi oluşturan *Thiobacillus ferrooxidans* gibi bakterilerin bulunması ve faaliyeti ve c) ortamın pH ve sıcaklığı şeklinde sıralamışlardır. Broughton ve Robertson (1992) işletilmesi planlanan yeni bir maden ocağının AMD potansiyelinin tahmininde sırasıyla jeoloji ve mineralojinin gözden geçirilmesi, maden kaya sınıflaması ve örnekleme, jeokimyasal statik deneyler, jeokimyasal kinetik deneyler, kontrol ölçümlerinin modellenmesi ve etkilerinin değerlendirilmesi şeklinde olmak üzere altı ayrı aşamada gerçekleştirilmesi gerektiğini vurgulamışlardır. Bu çalışma kapsamında, yukarıda değinilen aşamalar yapılmış ve alınan örnekler üzerinde öncelikle tanımlama ve sınıflamaya yönelik deneyler yapılarak AMD potansiyelinin ön değerlendirmesi için statik deneyler gerçekleştirilmiştir. Statik deneyler sonrası alınan örnekler farklı tane boyunda hazırlanarak ve farklı boy/çap oranına sahip kolonlar kullanılarak kinetik kolon deneyleri yapılmıştır. Kinetik kolon deneyleri sırasında zamana bağlı olarak pH ve iletkenlik ölçümleri ile kimyasal analizler gerçekleştirilmiştir. pH ve iletkenlik ortamdan alınan su örnekleri üzerinde gerçekleştirilirken, kimyasal analizler kimyasal bileşimi ve dolayısıyla meydana gelen bozunma derecesinin tespiti için ise hem su örnekleri hem de alınan cevher örnekleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kinetik kolon deneyleri sırasında gerçekleştirilen bütün bu deney sonuçlarına ilişkin değerlendirmelere aşağıda sırasıyla değinilmiştir.

6.1 pH ve Elektriksel İletkenlik (Ec) Değerlerinin Zamana Bağlı Değişimi

Kinetik kolon deneyleri sırasında, deneye tabi tutulan örneklerin içinden alınan suyun asit seviyesi ve kalitesinin ölçümünde, hızlı ve ekonomik olmaları nedeniyle pH ve iletkenlik deneyleri yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında kinetik kolon deneyleri sırasında belli aralıklarla alınan su örneklerinin pH ve iletkenlik ölçümleri alınmış olup, 11 no.lu kolon için alınan pH ve Ec ölçümlerin zamana bağlı Şekil 6.1’de verilmiştir. Orta ve ince tane boyuna sahip diğer kolonlarda elde edilen benzer ölçümlerin zamana bağlı değişim grafikleri ise hazırlanarak Ek 3’te sunulmuştur.



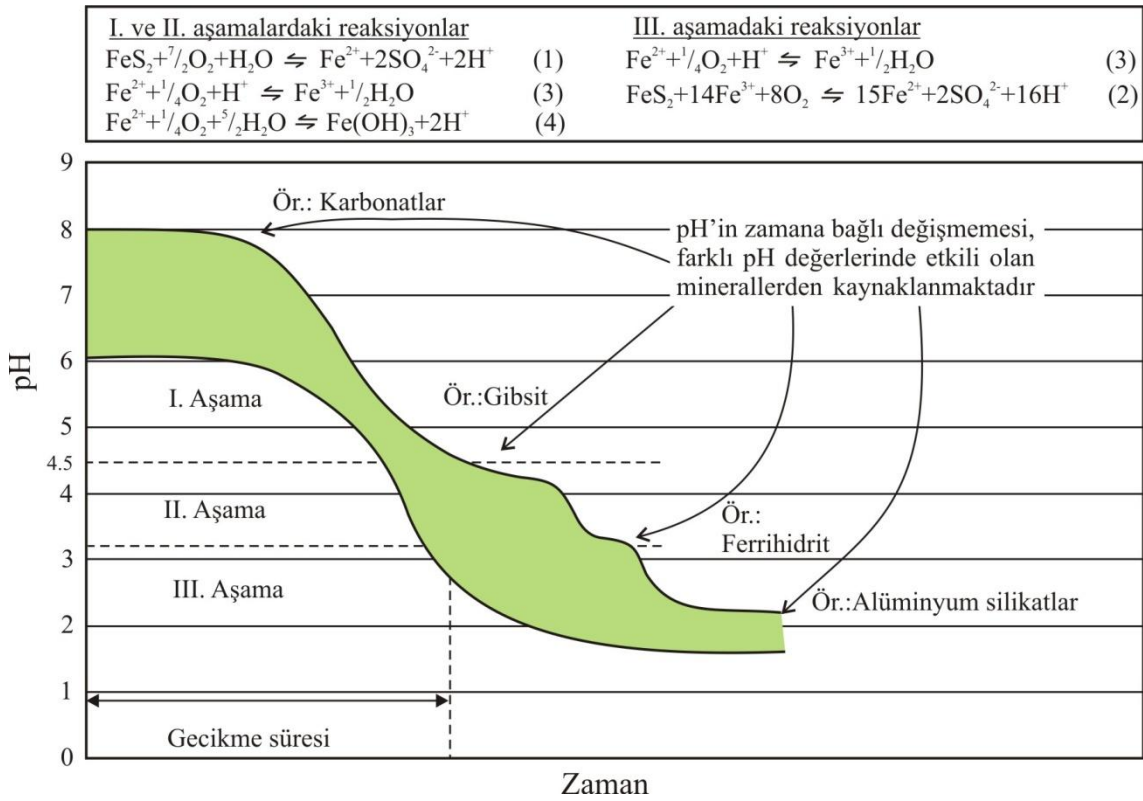
Robertson ve Broughton (1992), pH değerlerinin 5.5'in altına düşmesiyle birlikte ortamın diğer parametrelerde daha hızlı değişimin meydana geldiğini ve dolayısıyla söz konusu bu seviyenin altındaki pH değerlerde, iletkenlik ve redoks potansiyelinin arttığını, yüksek asitlik ve çözülmüş metal seviyeleri daha belirgin hale geldiğini vurgulamışlardır. Sapsford vd. (2008) yapmış oldukları çalışmada, asit oluşturma potansiyelinin değerlendirmesinde pH 4.5 sınır değeri olarak kullanmışlardır. Bu araştırmacılar, pH > 4.5 olması durumunda herhangi bir asit

oluşumuyla karşılaşılamayacağını, ancak $\text{pH} < 4.5$ ise örneklerin asit oluşturma potansiyeline sahip olduğunu belirtmişlerdir. Önceki çalışmalarda yapılan bu değerlendirmeler ile bu çalışma kapsamında elde edilen pH-zaman grafikleri dikkate alınarak, kinetik kolon deneyine maruz bırakılan örneklerdeki AMD'nın gerçekleştiğine karar vermek için sınır pH değerinin dört olarak alınmasının daha yararlı olacağı düşünülmüştür. Söz konusu bu öneriye, grafiklerde pH değerlerinin 4.5'a kadar düşmesine rağmen, bazı kolonlar (16, 17, 26 ve 29 no.lu kolonlar) için tekrar yükselmesi gerçeği dikkate alınarak ulaşılmıştır. Bu nedenle, kinetik kolon deneylerinde alınan bütün pH değerlerinin ≤ 4 olması durumunda kolonlarda AMD oluştuğu sonucuna varılmış ve ilgili kinetik kolon deneyi tamamlanarak son ölçümleri alınmıştır.

Kinetik kolon deneyleri bölgede etkin olan iklim koşulları ve kolonların çapları dikkate alınarak önceden belirlenen miktarlarda ve pH 8.1 olan saf su kullanılarak başlatılmıştır. Ayrıca, belli zaman aralıklarında sistemi dengede tutmak ve dolayısıyla bölgede meydana gelen yağışın modellenmesi için deney süresi boyunca ve aynı şekilde kolon yüzey alanları dikkate alınarak önceden belirlenen miktarlarda kolonlara saf su eklenmiştir. Değerlendirmelerde saf suyun ölçülen pH ve iletkenlik ölçümleri üzerindeki etkisinin tanımlanması için Şekil 6.1'deki grafikleri üzerinde saf suların eklenme zamanı ve miktarı da gösterilmiştir.

Kinetik kolon deneylerinin başlangıç aşamasında, ortama aktarılan suda çözülmesi halinde bulunan oksijen nedeniyle asit oluşumu nötr pH seviyelerinde kimyasal süreçlerle başlamaktadır. Ferguson ve Morin (1991) tarafından da belirtildiği gibi, kinetik deneylerde asit üretim hızının bu pH aralıklarında yorumlanması oldukça güç olmaktadır. Nötr pH seviyelerinde kimyasal oksidasyon ile başlayan birincil asit oluşum hızı nispeten düşük olup, oluşan asit ise ortamdaki örneklerde mevcut alkalinite ile pH seviyesinin nötr değerlere yakın tutmak için hızlı bir şekilde nötralize olmaktadır (Robertson and Broughton, 1992). Şekil 6.1'de de açıkça görüldüğü gibi, kinetik kolon deney süresinin tamamı göz önünde bulundurulduğunda pH değerleri uzun zaman sonra azalımı göstermektedir. Ancak, haftalık ölçümler dikkate alındığında ise, pH değerlerinin düzensiz olarak azalıp yükseldiği tespit edilmiştir. Sülfür mineralleri bakımından zengin kayaların asit oluşturma fiziksel, kimyasal ve biyolojik faktörlerin kombinasyonuna bağlı olan oldukça karmaşık bir süreçtir. Kinetik kolon deneyleri sırasında su, hem ortama eklenen saf sudan, hem de deneyin ilk aşamalarında mevcut bazı minerallerin çözünmesi sonucu nötralize olmaktadır. Bu nötralizasyon sonucunda ortamın pH değerlerinin zamana bağlı değişimi bazen sabit kalmakta ve bazen de yükselmektedir. Broughton ve Robertson (1992) pirit minerallerinde meydana gelen fiziksel, kimyasal ve biyolojik bozunma sonucu ortamın pH değerlerinin zamana bağlı değişimindeki bu durumu Şekil 6.2'de özetlemişlerdir. Bu araştırmacılar, AMD oluşumu sırasında bazı minerallerin çözünmesini pH

değerlerinin belli sınırlarda tutma konusunda tampon görevini yaptığını vurgulamışlardır. Jambor (2003), Blowes et al. (2003) ve BCAMDTF (1989) göre farklı pH değerliklerinde tampon görevini yapan yaygın mineraller Çizelge 6.1’de verilmiştir. Çizelge 6.1’de verilen mineraller gibi nötrleştirme potansiyeline sahip minerallerin çözülmesi ve ortama saf suyun eklenmesiyle pH değerlerinin zamana bağlı değişimleri düzensiz bir şekilde elde edilmiştir. Önceki araştırmacılar tarafından vurgulanan ve Çizelge 6.1’de verilen mineral çözümlerinin yanı sıra, kolonlarda oluşan asidin (örneğin H_2SO_4), biyolojik süreçlerin başlangıç aşamasında, pirit gibi sülfürlü mineraller ile reaksiyonu sonucu ferik demir [$Fe_2(SO_4)_3$] oluşumu ile sonuçlanmaktadır. Söz konusu bu reaksiyon ile ortamda oluşan asidin tüketilmesi ile pH değerleri yükselmektedir (Soleimani, et al., 2011).



Şekil 6.2 pH değerlerinin zamana bağlı değişimi (Broughton and Robertson, 1992).

Çizelge 6.1 AMD oluşum sürecinde tampon görevi yapan yaygın mineraller (Jambor, 2003; Blowes, et al., 2003; BCAMDTF, 1989).

Mineraller	Kimyasal bileşimi	pH
Kalsit, aragonit	CaCO_3	5.5 – 6.9
Siderit	FeCO_3	5.1 – 6.0
Malahit	$\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$	5.1 – 6.0
Gibsit	$\text{Al}(\text{OH})_3$	3.7 – 4.3
Limonit/götit	$\text{FeO}(\text{OH})$	3.0 – 3.7
Ferrihidrit	$\text{Fe}(\text{OH})_3$	2.8 – 3.0
Jarosit	$\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$	1.7 – 2.0

Nötralizasyon açısından önemli olan bu temel minerallerin tüketilmesi sonucu, pH değerleri azalmaya başlamaktadır. Yaklaşık pH'ın 4.5'tan düşük değerinde, biyolojik oksidasyon asit oluşum sürecini önemli oranda hızlandırmaktadır (Robertson ve Broughton, 1992). Bu çalışma kapsamında ölçülen pH değerlerinde de görüldüğü gibi, kinetik kolon deney süresi için asit üretimi ve üretilen asidin ortamda mevcut olan mineraller tarafından tüketilmesi bazen uzun zaman alabilmektedir. Robertson ve Broughton (1992) AMD oluşum sürecinde ortamın pH değerlerindeki değişimin düşüp yükselmesinden kaynaklanan gecikmenin haftalar, aylar veya yıllar alabileceğini belirtmişlerdir. Önceki çalışmalarda gecikme zamanı olarak tanımlanan durumun detaylı bir şekilde ele alınmasının kinetik kolon deneyleri sırasında meydana gelen AMD oluşum hızının bağlı olduğu parametrelerin saptanması açısından önemli olabileceği öngörülmüştür. Bu çalışma kapsamında kinetik kolon deneyleri sırasında alınan pH ölçümlerinin dördün altına düşünceye kadar geçen süre “gecikme zamanı” olarak tanımlanmış ve bu parametre aşağıda verilen değerlendirmeler ve analizlerde göz önünde bulundurulmuştur.

Bozunma için uygun koşulların oluşması durumunda, sülfürlü minerallerinin oksidasyon hızlarının oksidasyona maruz kalan sülfür minerallerinin toplam yüzey alanları ile doğrudan orantılı olduğu bilinmektedir. Söz konusu bu durum göz önünde bulundurularak, bu çalışma kapsamında arazi ve laboratuvar çalışmaları önceden planmış ve dolayısıyla yüzey alanı ile tane boyu arasındaki negatif ilişki de dikkate alınarak kinetik kolon deneyleri farklı tane boyunda gerçekleştirilmiştir. Robertson ve Broughton (1992), tane boyu parametresinin aşağıda belirtilen durumlar için deneye tabi tutulan örneklerin fiziksel ve kimyasal koşulları açısından önemli bir parametre olduğunu belirtmişlerdir:

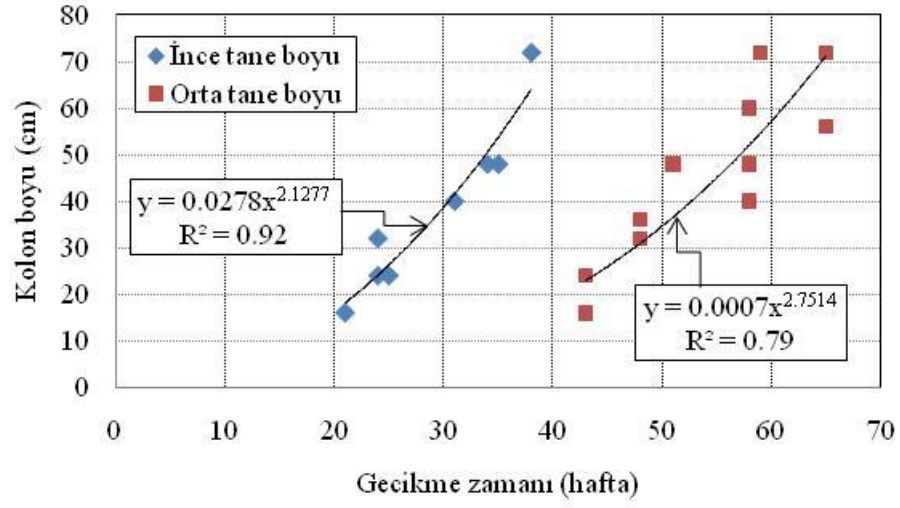
- İnce taneli malzemelerde, asit üreten ve alkali malzeme birbirine daha çok yakın bulunmakta, dolayısıyla alkali malzeme etkili bir şekilde pH koşullarını ve böylece asit üretim oranını kontrol edebilmektedir.
- Hava ve oksijen iri taneli malzemelerde daha rahat hareket etmektedir.
- Nem tutma kapasitesi, dolayısıyla kimyasal depolama kapasitesi ve filtreleme özellikleri ince ve iri taneli malzemeler arasında farklıdır.

Yukarıda belirtilen durumlar dikkate alınarak gecikme zamanı parametresi, bu çalışma kapsamında farklı tane boyları için hazırlanan kolonlara aktarılan örnekler üzerinde gerçekleştirilen kinetik kolon deneyleri için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Orta (-3.35 mm) ve ince (-0.625 mm) tane boyuna sahip örnekler üzerinde gerçekleştirilen kinetik kolon deneylerindeki ölçülen pH değerlerinin zamana bağlı değişimi dikkate alınarak belirlenen gecikme zamanı parametresi değerleri Çizelge 6.2’de verilmiştir. Çizelge 6.2’de verilen gecikme zamanı parametresinin kinetik kolon deneylerinde kullanılan kolonların boy, çap, boy/çap oranı ve kolon hacmi gibi parametreler ile ilişkisi basit regresyon analiz yöntemleri (doğrusal, üssel, geometrik ve logaritmik) kullanılarak araştırılmıştır. İstatistiksel değerlendirmelerde; Statgraph (STSC Inc., 1991) ve Microsoft Excel programları kullanılmış, ayrıca F-testleri yapılarak elde edilen ilişkilerin istatistiksel olarak anlamlılıkları sınanmıştır. Yapılan bütün analizler sonucunda, orta (-3.35 mm) ve ince (-0.625 mm) tane boyuna sahip örnekler için yapılan analizlerde gecikme zamanının boy/çap oranı parametresi dışındaki yukarıda belirtilen diğer tüm parametreler ile istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler verdiği tespit edilmiştir (Şekil 6.3, 6.4 ve 6.5). Söz konusu bu istatistiksel analizlerde kullanılan kolon boyu, çapı ve hacmi parametresinin sırasıyla 10 ile 72 cm, 2 ile 7 cm ve 50 ile 2800 cm³ arasında değişmektedir. Bu çalışma kapsamında önerilen bu eşitliklerin uygulamalarda kullanılması durumunda, bu tez çalışmasında kullanılan kolon boyutlarına ilişkin parametrelerin değişim aralıklarının göz önünde bulundurulması önerilmektedir.

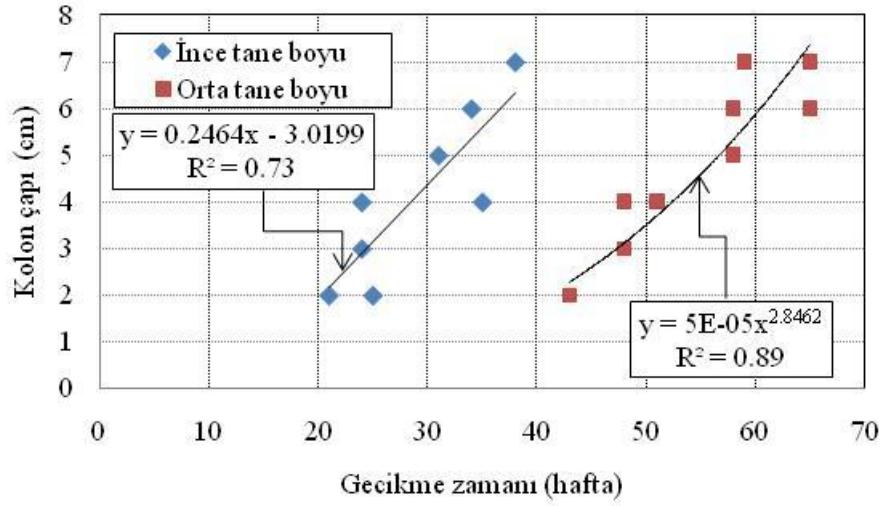
Çizelge 6.2 Kolon boyutları ve pH değerlerinin zamana bağlı değişimi dikkate alınarak belirlenen gecikme zamanı parametresi değerleri.

Tane boyu	Kolon Numarası	Boy (cm)	Çap (cm)	Boy/Çap Oranı	Hacim (cm ³)	Gecikme süresi (hafta)
Orta tane cevher örneği (-3.35 mm)	11	72	7	10.28	2769.48	59
	12	56	7	8	2154.04	65
	13	72	6	12	2034.72	65
	14	48	6	8	1356.48	58
	15	60	5	12	1177.50	58
	16	40	5	8	785.00	58
	17	48	4	12	602.88	51
	18	32	4	8	401.92	48
	19	36	3	12	254.34	48
	20	24	3	8	169.56	*
	21	24	2	12	75.36	43
	22	16	2	8	50.24	43
İnce tane cevher örneği (-0.625 mm)	23	72	7	10.28	2769.48	38
	24	56	7	8	2154.04	*
	25	72	6	12	2034.72	*
	26	48	6	8	1356.48	34
	27	60	5	12	1177.5	*
	28	40	5	8	785.00	31
	29	48	4	12	602.88	35
	30	32	4	8	401.92	24
	31	36	3	12	254.34	*
	32	24	3	8	169.56	24
	33	24	2	12	75.36	25
	34	16	2	8	50.24	21

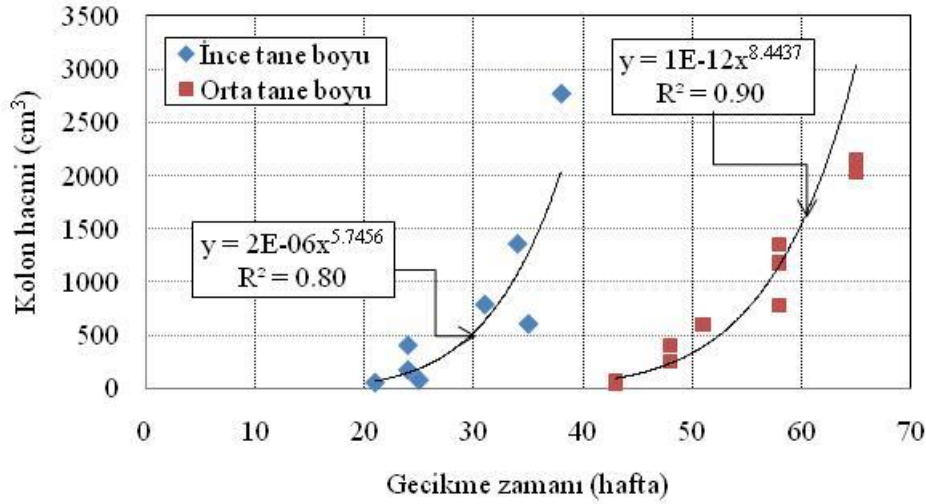
*: kolonda meydana gelen hasarlar nedeniyle deney tamamlanamadı



Şekil 6.3 Gecikme zamanı ile kolon boyu arasındaki ilişkiler.



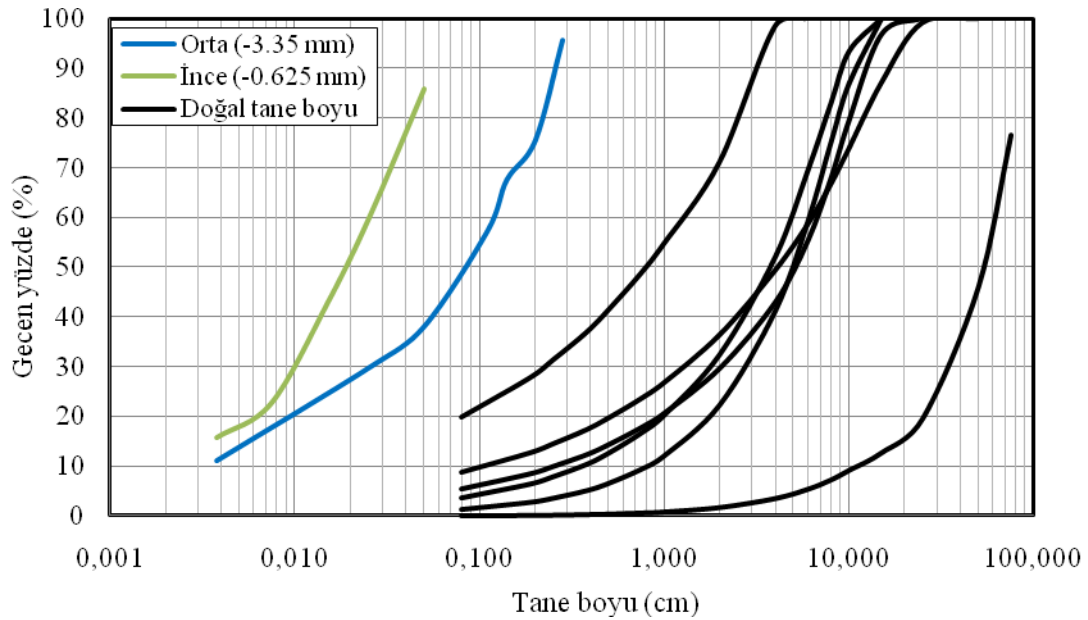
Şekil 6.4 Gecikme zamanı ile kolon çapı arasındaki ilişkiler.



Şekil 6.5 Gecikme zamanı ile kolon hacmi arasındaki ilişki.

Gecikme zamanı parametresi hem ince hem de orta tane boyu örneklerde kolon boyu, çapı ve hacmindeki artışa bağlı olarak artmaktadır. Bu durum seçilen kolonların boyutlarına paralel olarak kinetik kolon deneyinin de daha uzun süreceğini göstermektedir. Benzer sonuçlara önceki çalışmalarda da ulaşılmıştır. García et al. (2005) bir atık göletindeki piritin davranışını konu alan araştırmalarında, boyut faktörünün asit oluşumu üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Bu araştırmacılar, farklı boyutlarda tasarladıkları kolonların içine uzunlukları 33 ve 66 cm olacak şekilde hazırladıkları sırasıyla 700 g ve 1400 g örnekler üzerinde kinetik deneyler gerçekleştirilmişlerdir. García et al. (2005) tasarladıkları kolonlar üzerinde gerçekleştirdikleri deneylerde, kolonlara konulan örnek boylarındaki azalmaya karşın bozunmanın arttığını saptamışlardır. Diğer bir ifadeyle, kolon boyu ile AMD oluşum hızı ve miktarı arasında ters bir ilişkinin mevcut olduğunu belirtmişlerdir. Doepper ve Drake (1991), sülfür içeren malzemelerin sülfürik asit oluşturma olasılığını belirleyen iki ana parametrenin, oksijenin ve katı taneleri çevreleyen ancak tamamen ortamı doymun hale getirmeyen suyun varlığı olduğunu vurgulamışlardır. Dolayısıyla, eğer kolon boyu arttırılırsa, ortamdaki suyun drene olması daha uzun zaman alacağından, deneye maruz bırakılan örnekler daha uzun süre tamamen suyla doymun halde olacak ve bu durum karşısında taneler arasındaki boşluklardan oksijen ilerlemesini daha zor olacaktır (García, et al., 2005). Bu nedenle, bu çalışma kapsamında farklı boyutlardaki kolonlarda gerçekleştirilen kinetik kolon deneylerinde daha büyük boyuttaki kolonlarda asit oluşumunun (pH değerlerinin dördün altına düşmesi) daha uzun zaman aldığı tespit edilmiştir.

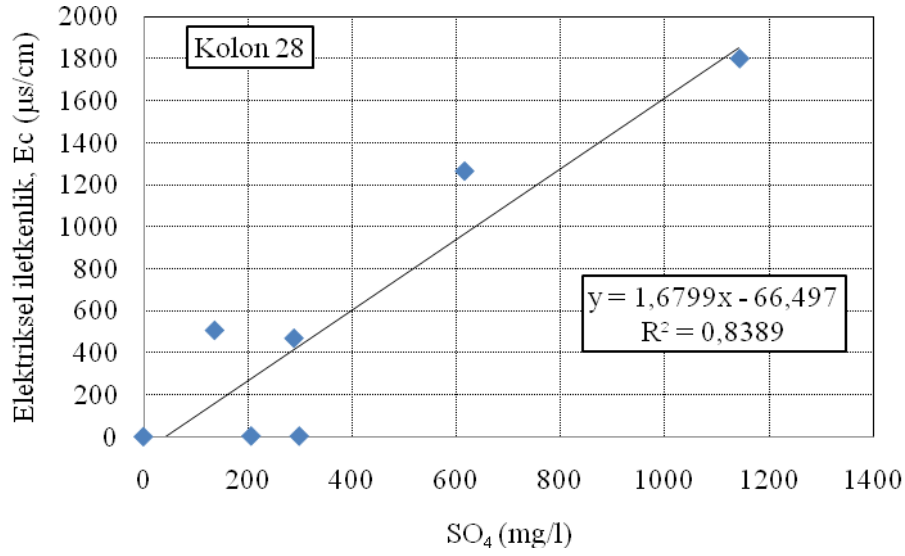
Kinetik kolon deney sürecinde alınan pH değerlerinin değerlendirilmesi ile elde edilen bir diğer önemli sonuç ise tane boyu parametresinin asit oluşumu üzerindeki etkisinin oldukça önemli seviyelerde olmasıdır. Şekil 6.3, 6.4 ve 6.5’de de açıkça görüldüğü gibi, ince tane boyuna sahip örneklerde gerçekleştirilen kinetik kolon deneylerinde asit oluşumu daha kısa süre içerisinde gerçekleşmektedir. Orta tane boyuna sahip örneklerde AMD oluşumu kolonların boyutlarına bağlı olarak yaklaşık 43-65 hafta arasında başlarken, ince tane boyuna sahip örneklerde bu süreç yaklaşık olarak 21 ile 38 hafta arasında gerçekleşmektedir. Maksimum ve minimum değerler dikkate alındığında, orta tane boyuna sahip örneklerdeki asit oluşumu, ince tane boyuna sahip örneklere nazaran yaklaşık 22-27 hafta sonra başlamaktadır. Çalışma bölgesindeki madencilik çalışmaları sonucunda kaya malzemelerinde meydana gelen parçalanma ile oluşan doğal örnekler ile kinetik kolon deneyinde kullanılan örneklerin karşılaştırmalı tane boyu dağılım grafikleri Şekil 6.6’da verilmiştir. Tane boyu dağılım eğrilerinin AMD oluşum süreci üzerindeki etkisi göz önünde bulundurulduğunda, doğal koşullarda AMD oluşumunun daha uzun zaman alacağı öngörülmektedir.



Şekil 6.6 Damar ocağındaki madencilik çalışmaları sonucunda kaya malzemelerinin meydana gelen parçalanma ile oluşan doğal örnekler ile kinetik kolon deneyinde kullanılan örneklerin karşılaştırmalı tane boyu dağılımları.

Günümüze kadar yapılan çalışmalarda (Grande, et al., 2005a ve b; Liew and Sheppard, 2001; Dogan, 1999; Younger, et al., 2002; Kwong and Lawrence, 1998; Younger, 1997) vurgulandığı gibi, asit maden drenajı oluşum sürecinde pH değerleri azalırken, ortamın elektriksel iletkenlik (Ec) özellikleri de artış göstermektedir. Ec, AMD oluşum süreçleri sonucu ortama aktarılan “toplam çözünmüş madde miktarı (TDS) ve toplam iyon konsantrasyonundaki artışa paralel olarak artmaktadır. Bu çalışma kapsamında farklı boy ve çap ölçülerine sahip kolonlarda ve farklı tane boyunda hazırlanan örnekler üzerinde gerçekleştirilen kinetik kolon deneylerinde elde edilen Ec değerinin yaklaşık olarak 0.3 ile 1990 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında bir değişime sahip olduğu saptanmıştır. Şekil 6.1’de de görüldüğü gibi, zamana bağlı olarak pH verilerinde genel bir azalım gözlenirken, Ec verilerinin oldukça düzensiz ve zaman parametresinden bağımsız bir dağılıma sahip olduğu tespit edilmiştir.

Asit Maden Drenajı ile bitki türleri arasındaki ilişki konusunda çalışmalar gerçekleştiren Sheoran (2006), elektriksel iletkenlik verilerinin sülfat konsantrasyonu ile genellikle iyi korelasyona sahip olduğunu belirtmişlerdir. Bu araştırmacı tarafından ulaşılan sonuçlar göz önünde bulundurularak, orta ve ince tane boyu örneklerinin konulduğu farklı boy ve çaplardaki bütün kolonlarda farklı zamanlarda elde edilen elektriksel iletkenlik ile sülfat konsantrasyonu parametreleri karşılaştırılmıştır. Yapılan istatistiksel analizler sonucunda Sheoran (2006) tarafından vurgulanan ve istatistiksel olarak anlamlı sonuçlar bu çalışma kapsamında kullanılan kolonların önemli bir kısmı için elde edilememiştir. Ancak, sadece 22, 28 ve 30 no.lu kolonlarda yapılan analizlerde istatistiksel olarak anlamlı korelasyon katsayılarına sahip pozitif doğrusal ilişki elde edilmiştir. İnce tane boyu cevher örneklerinin kullanıldığı 28 no.lu kolondan belirlenen elektriksel iletkenlik (Ec) ile SO_4 konsantrasyonu arasındaki ilişki örnek olması açısından Şekil 6.7’de verilmiştir. Elektriksel iletkenlik parametresi ayrıca kimyasal analiz sonucu elde edilen birçok element ve bileşik (K, Na, Ca, Mg, Mn, Toplam_{Ca,Mg,Mn}, NH_4 , Li, B, SiO_2 , Fe, Pb, Zn, Cd, Cu, Ni, Cr, Co, Mo, Sr, Ba, CO_3 , HCO_3 , Cl, F, NO_2 , NO_3 , Br, PO_4) konsantrasyonu değerleri ile karşılaştırılmış ancak istatistiksel olarak anlamlı herhangi bir bağıntı elde edilememiştir.



Şekil 6.7 İnce tane boyuna sahip örneklerin kullanıldığı 28 no.lu kolondan belirlenen elektriksel iletkenlik ve SO₄ konsantrasyonu değerleri arasındaki ilişki.

6.2 Kinetik Kolon Deneyleri Sırasında Alınan Su Örneklerinin Kimyasal Analizlerine İlişkin Değerlendirmeler

Asit oluşum sürecinde ortamdan uzaklaşan elementler ile oksidasyon ve nötralizasyona neden olan elementlerin tespiti ve kinetik kolon deneyindeki bozunma süreçlerinin kontrolü, ortamdan drene olan suların kimyasal analizleri ile yapılmaktadır. Bu çalışma kapsamında, kinetik kolon deneyi ile asit oluşum sürecine maruz bırakılan orta ve ince tane boyuna sahip örneklerin bulunduğu kolonlardan drene olan suyun kimyasal analizlerde K, Na, Ca, Mg, NH₄, Li, B, SiO₂, Fe, Mn, Pb, Zn, Cd, Cu, Ni, Cr, Co, Mo, Sr, Ba, CO₃, HCO₃, Cl, SO₄, F, NO₂, NO₃, Br ve PO₄ konsantrasyonları belirlenmiş ve Ek 2’de verilmiştir.

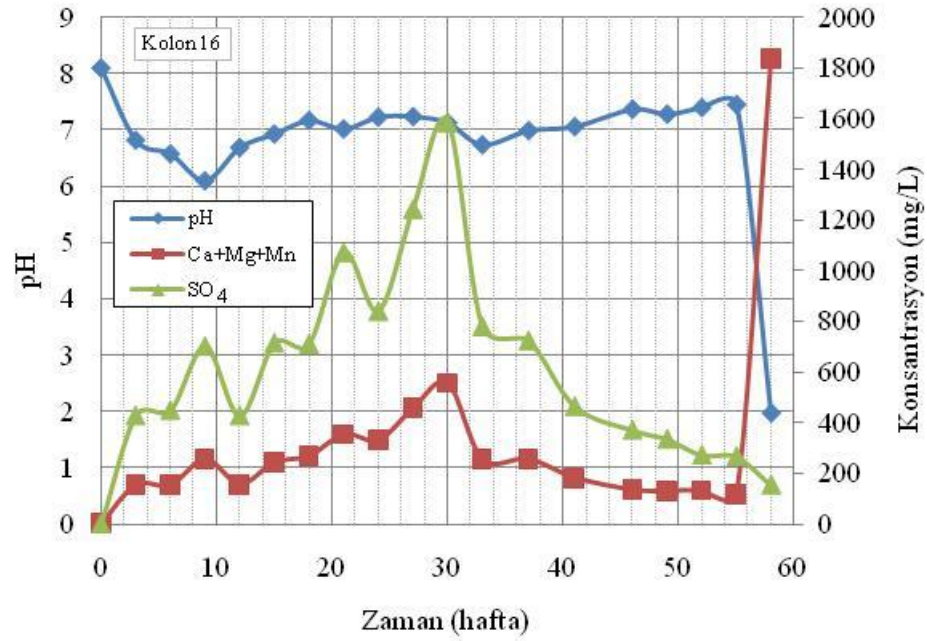
Kimyasal analizler sonucunda elde edilen element ve bileşik konsantrasyonlarının zamana bağlı değişimi incelendiğinde, gerek kinetik kolon deneyinde kullanılan örneklerin mineralojik bileşimleri ve gerekse çok az miktarda bu örnekler içerisinde bulunmaları nedeniyle, bazı element ve bileşiklerin zamana bağlı değişimi tez çalışmasında hedeflenen amaçlarda yararlanılabilecek kadar önemli sonuçlar vermediği tespit edilmiştir. Söz konusu bu element ve bileşikler genel olarak NH₄, Li, SiO₂, Fe, Mn, Pb, Zn, Cd, Cu, Ni, Cr, Co, Mo, Ba, CO₃²⁻, F, NO₂, NO₃, Br ve PO₄³⁻ şeklinde sıralanabilir. Dolayısıyla detay analiz ve değerlendirmelerde bu element ve bileşiklerin konsantrasyonlarında meydana gelen değişim dikkate alınmadan çalışmalar sürdürülmüştür.

Süzülen suyun pH değerleri de dikkate alınarak yapılan analizlerde, özellikle K, Na, SO_4 ve karbonat minerallerinin oluşumunda yer alan elementlerin (Ca+Mg+Mn) zamana bağlı değişim grafiklerinin birbirleriyle oldukça uyumluluk gösterdikleri tespit edilmiştir. Diğer bir ifadeyle, bu konsantrasyonlarındaki azalım ve artışlar aynı zamanda gerçekleşmektedir. Kinetik kolon deneyinin başlangıç aşamasında pH değerlerinin düşmesine bağlı olarak bu bileşik ve elementlerin konsantrasyonlarında belli haftalara kadar önemli oranda artış meydana gelmektedir. Söz konusu bu artışın son bulunduğu haftalar Çizelge 6.3'te özetlenmiş olup, yaklaşık 10 ile 33 hafta arasında değişmektedir. Ancak daha sonra, zamana bağlı olarak düşüş göstermektedir. Ortamın pH değerlerinin 5'in altına düşmesi ile birlikte ortam koşulları asidik olmakta ve bu durum ile beraber bazı minerallerin çözünmelerinde meydana gelen artışa bağlı olarak toplam Ca+Mg+Mn konsantrasyonu ile K ve Na elementlerinin konsantrasyonlarında önemli oranda tekrar artış meydana gelmektedir. Sodyum ve potasyum elementlerinin kinetik kolon deneyi sırasındaki kimyasal bozunma süreçleri ile örneklerde mevcut silikatlı minerallerin çözünmesinden meydana geldiği düşünülmektedir. Kinetik kolon deneyi sırasında süzülen sulardan alınan ölçümler ile belirlenen tipik pH, SO_4 ve toplam Ca+Mg+Mn ile K ve Na konsantrasyonlarının zamana bağlı değişim grafiklerinden örnek olması açısından 16 no.lu kolon için Şekil 6.8'de verilmiştir.

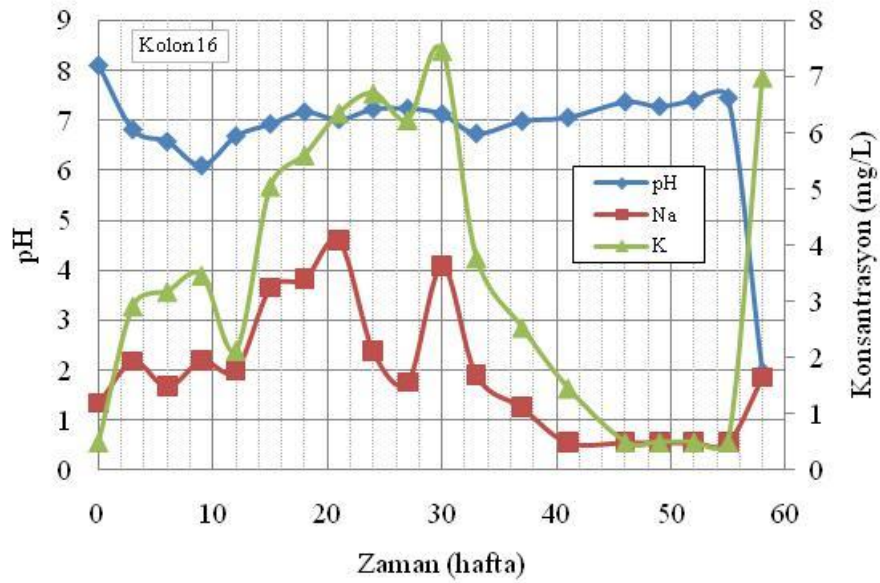
Çizelge 6.3 Süzülen sulardan belirlenen K, Na, SO_4 ve Ca+Mg+Mn konsantrasyonlarında meydana gelen artışın son bulunduğu zaman.

Kolon no.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	21	22	23	26	28	29	30	32
Zaman (hafta)	14	10	15	30	24	30	30	30	18	33	18	13	17	18	14	14	14

(a)



(b)

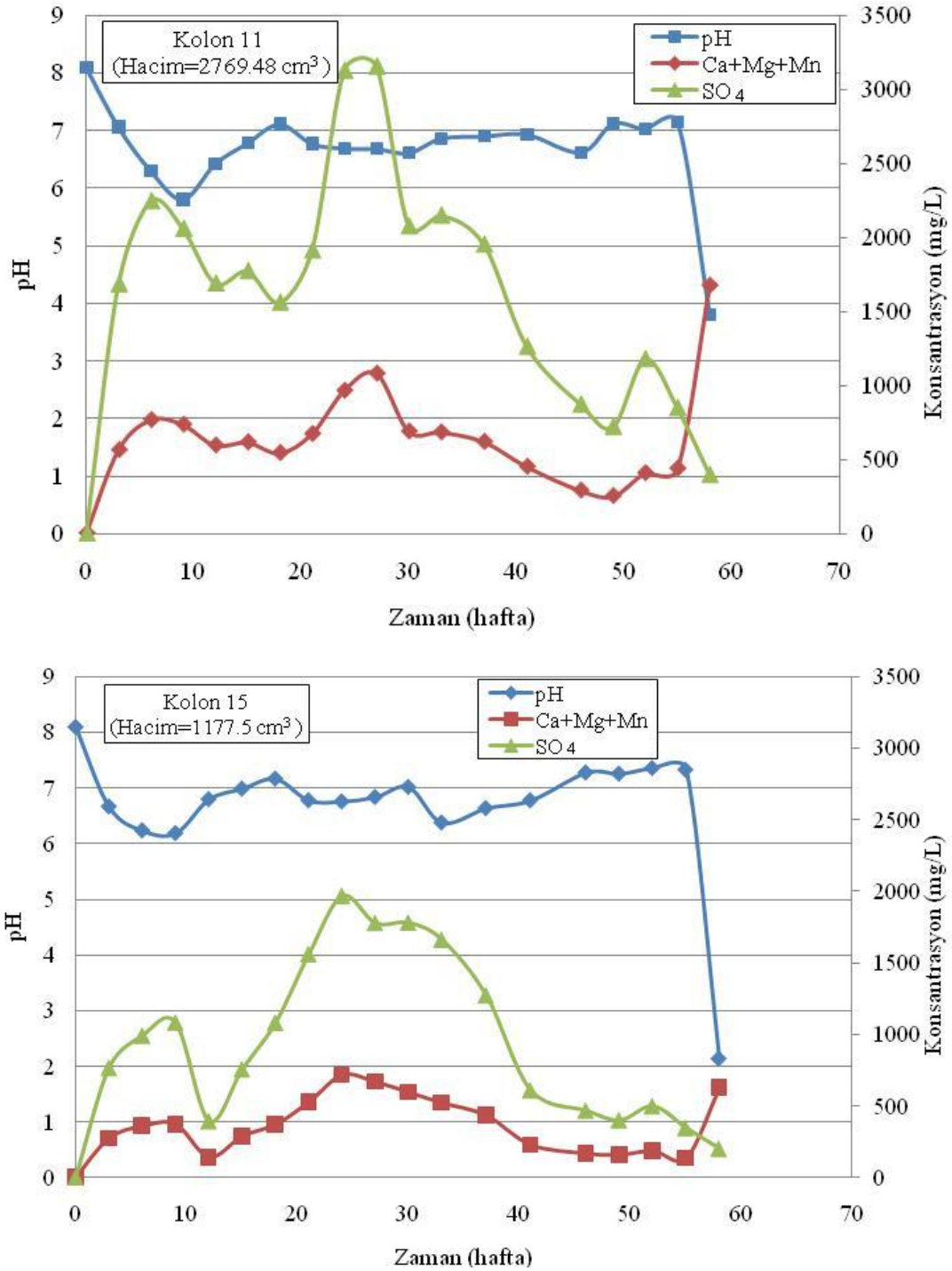


Şekil 6.8 Kinetik kolon deneyinin 16 no.lu kolonundan alınan ölçümler: a) pH, SO₄ ve toplam Ca+Mg+Mn değerlerinin zamana bağlı değişimi, b) pH, K ve Na konsantrasyonlarının değişim grafikleri.

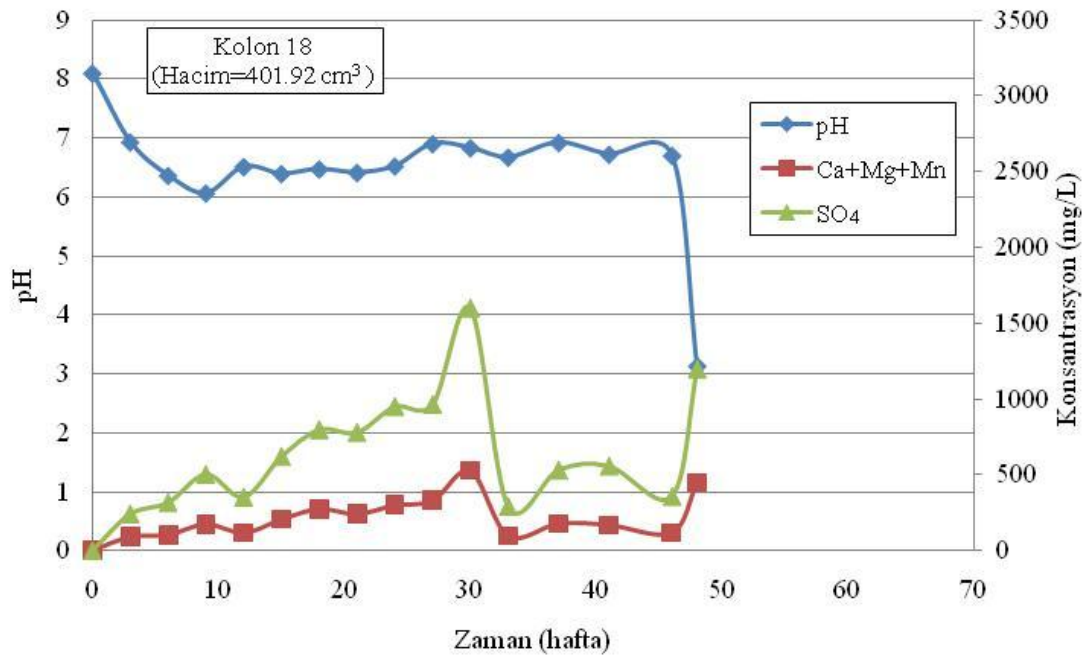
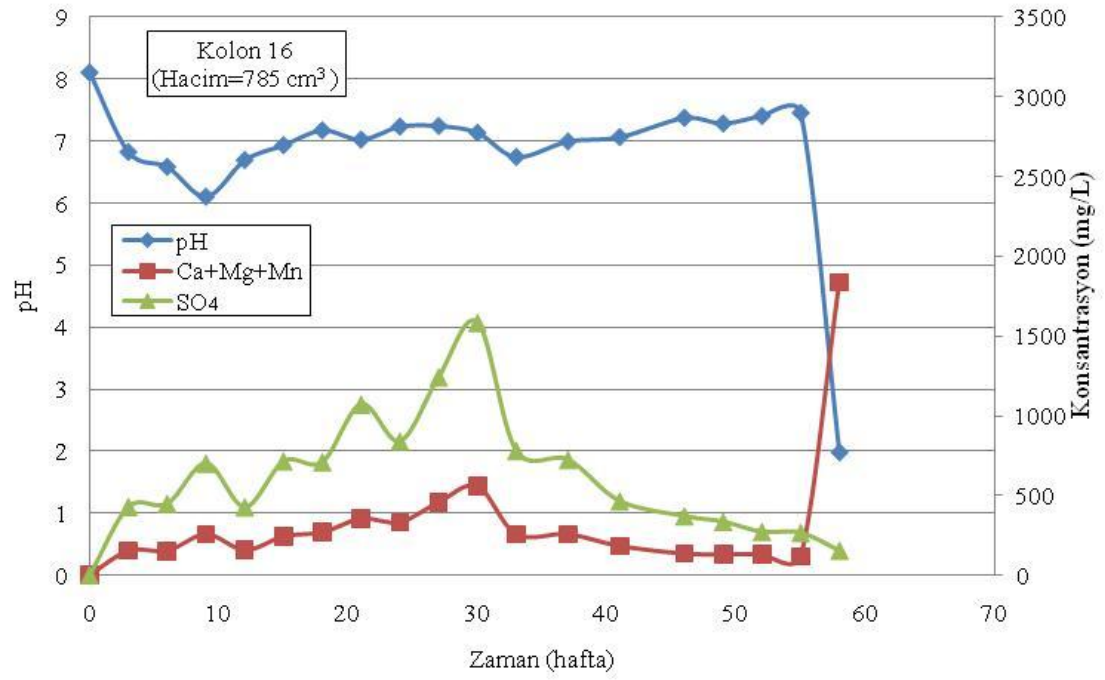
Önceki çalışmalarda da (Scharer, et al., 1991; Robertson and Broughton, 1992; Cruz, et al., 2001; Benzaazoua, et al., 2004; García, et al., 2005) vurgulandığı gibi, Ca, Mg ve Mn elementlerinin toplam konsantrasyonları ortamda bulunan ana karbonat minerallerinin çözülmesini temsil ederken, sülfat (SO_4) konsantrasyonu ise ana oksitlenme ürünlerini göstermektedir. Karbonat minerallerinde yaygın bulunan Ca, Mg ve Mn elementleri, sülfürlü minerallerin (örneğin, pirit, kakopirit vb.) oksitlenmesi ile ortamın asidik olmasına paralel olarak çözülmeaktadır. Kinetik kolon deney süresinde, bu elementlerin varlığı nötralizasyon etkisi göstermekte ve dolayısıyla ortamın pH değerlerinin bazik değerlere doğru yükselmesini sağlamaktadır. Bu nedenle, birçok araştırmacı için Ca+Mg+Mn konsantrasyonu ile sülfat (SO_4) konsantrasyonu arasındaki ilişki asit oluşum sürecinin değerlendirmesi açısından önemli parametreler olarak göz önünde bulundurulmuştur. Örneğin, Benzaazoua et al. (2004), hazırlamış oldukları nem hücresi ve kinetik kolon düzeneklerindeki AMD oluşum sürecini yorumlanmasında, Ca+Mg+Mn ile sülfat (SO_4) konsantrasyonu arasındaki ilişkilerden önemli oranda yararlanmışlardır. AMD oluşum sürecinin analizinde önceki çalışmalarda temel alınan bu ölçütler, bu çalışma kapsamında da göz önünde bulundurulmuş ve analizlerde özellikle pH, Ca+Mg+Mn ve sülfat (SO_4) konsantrasyonlarındaki zamana bağlı değişim dikkate alınmıştır.

Orta (3.35 mm) ve ince (0.625 mm) tane boyuna sahip örnekler kullanılarak gerçekleştirilen kinetik kolon deneylerinden belirlenen bütün pH, Ca+Mg+Mn ve sülfat (SO_4) konsantrasyonları her bir kolon için zamana bağlı olarak grafikleri çizilerek ayrı ayrı incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda başlangıç aşamasında pH değerlerinde meydana gelen düşüşe ters orantılı olarak sülfat ve Ca+Mg+Mn konsantrasyonlarının arttığı ve sonrasında pH değerlerinde meydana gelen dalgalanmalara paralel olarak sülfat ve bu elementlerin konsantrasyonlarında da dalgalanmaların mevcut olduğu tespit edilmiştir. Ancak, belli bir zaman sonra her iki parametrenin de konsantrasyonunda azalım olmaktadır. Deney sonuna doğru pH değerinin 5.5'in altına düşmesiyle, Ca+Mg+Mn konsantrasyonu ani olarak artış göstermektedir. Söz konusu bu değişimin ortamın ani bir şekilde asidik olması sonucu Ca, Mg ve Mn içeren minerallerin ani çözülmesinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Kinetik kolon deneylerine tabi tutulan bütün kolonlardaki belirlenen Ca+Mg+Mn ve sülfat (SO_4) oranları aynı anda artmakta ve azalmaktadır. Kolonlardaki boyut etkisinin, ölçülen kümülatif sülfat ve toplam Ca+Mg+Mn konsantrasyonları üzerindeki etkisinin belirlenmesi amacıyla, hazırlanan zaman-element ve bileşik konsantrasyonun değişim grafiklerinin dikey eksen (y eksen) en yüksek değeri (3500 mg/L değerinde) sabit tutularak, söz konusu bu parametrelerdeki zamana bağlı değişimler tekrar incelenmiştir. Yapılan bu analizler sonucunda rastgele seçilen

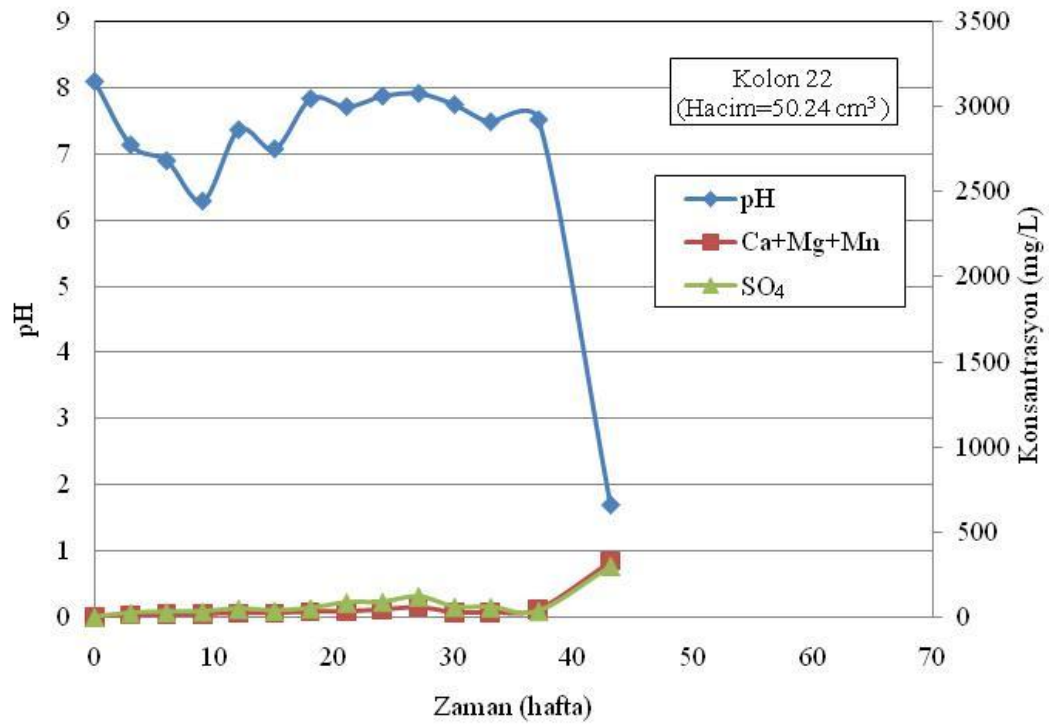
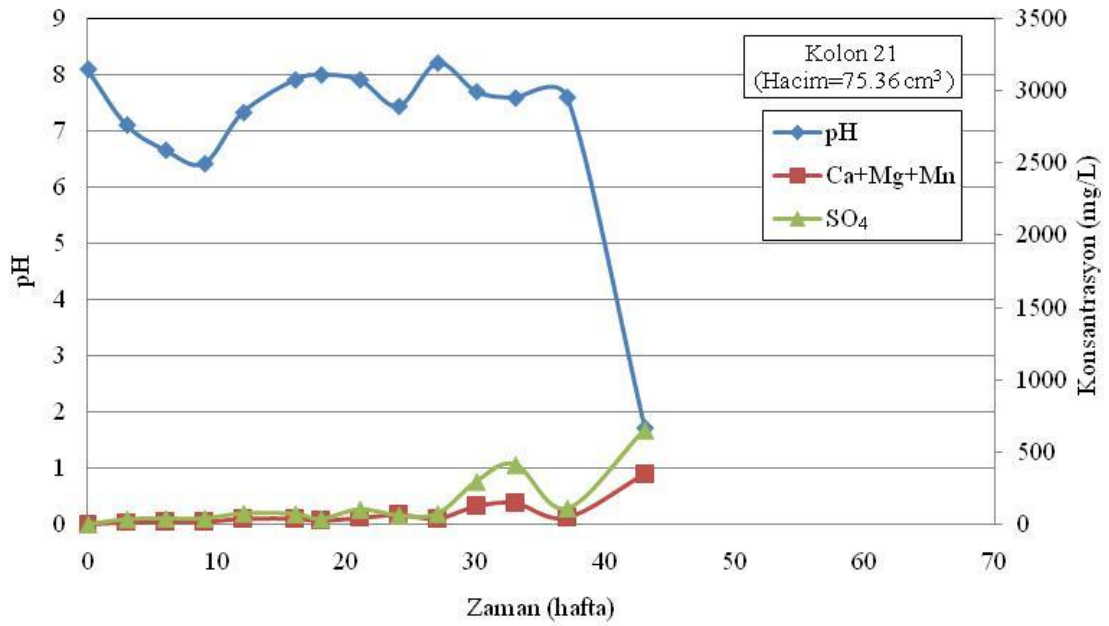
farklı kolonlardan elde edilen grafikler hacimce en yüksek kolondan en düşük kolona doğru sıralanmış ve elde edilen grafikler Şekil 6.9'da sunulmuştur.



Şekil 6. 9 Farklı hacimlere sahip kolonlar için pH, SO₄ ve Ca+Mg+Mn değerlerinin zamana bağlı değişim grafikleri.



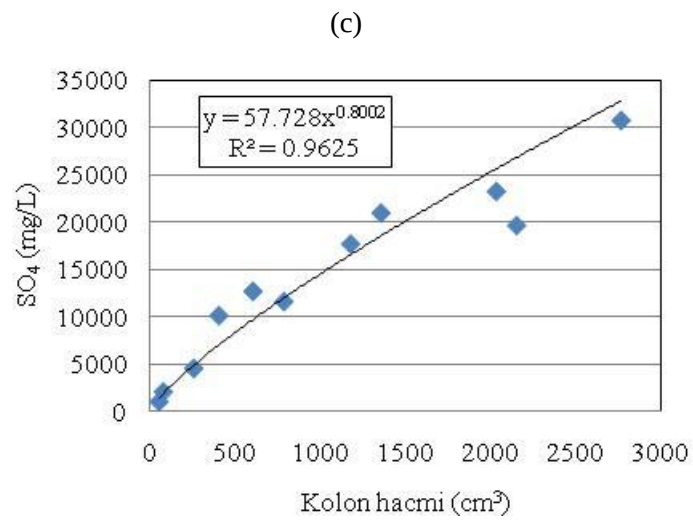
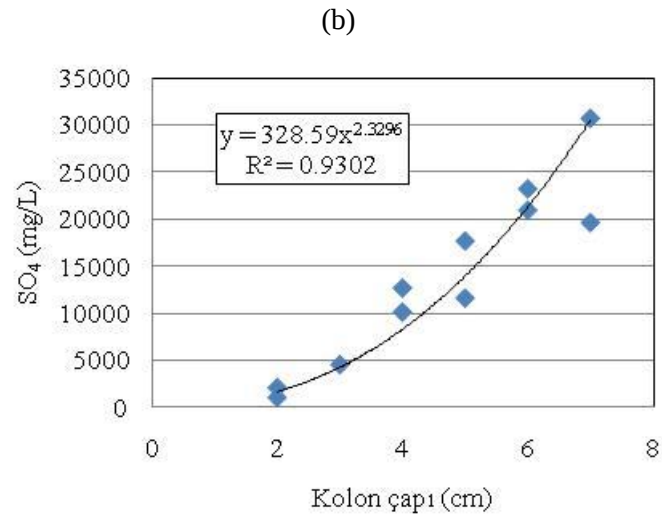
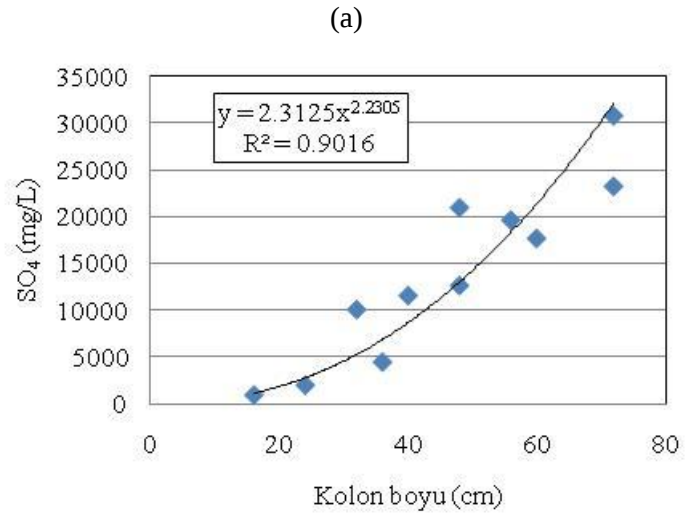
Şekil 6. 9 Devam ediyor.



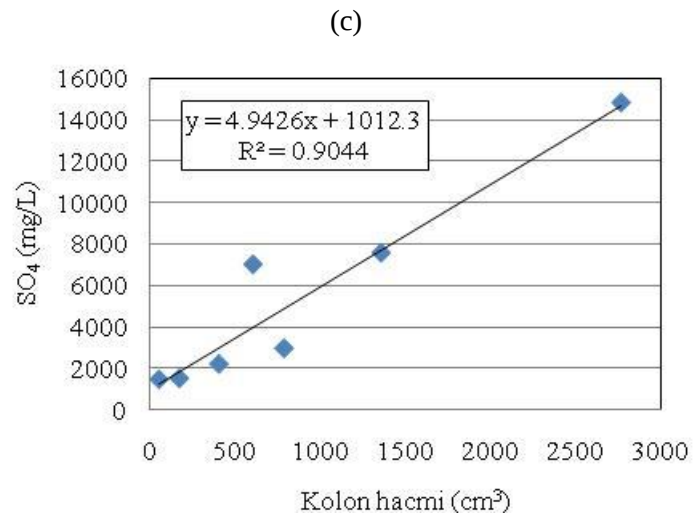
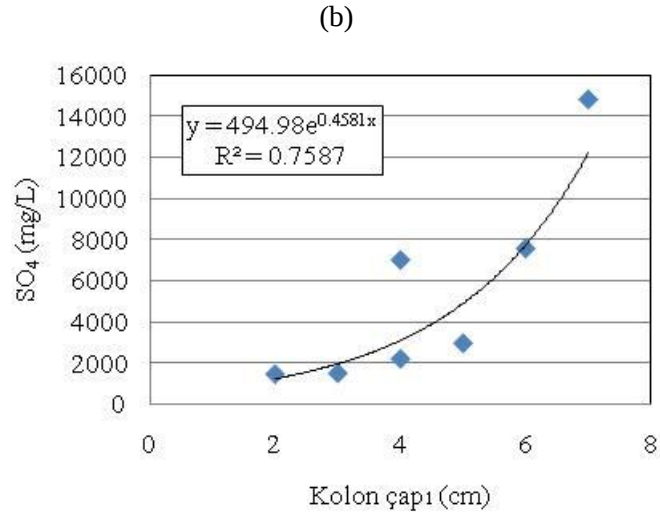
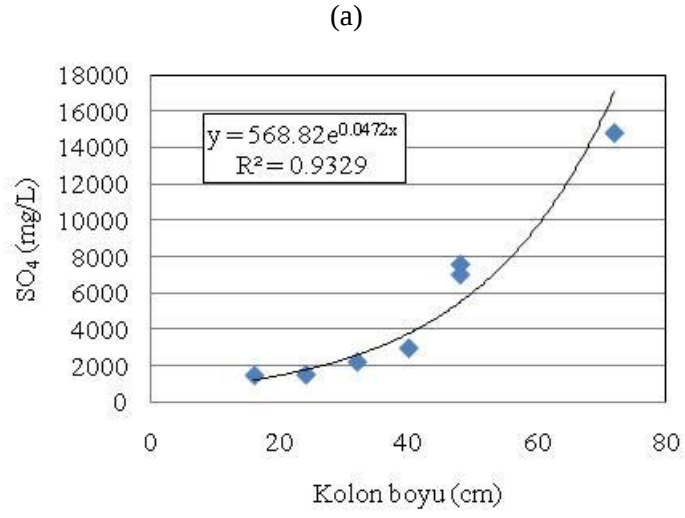
Şekil 6. 9 Devam ediyor.

Yukarıda verilen Şekil 6.9, dikkatli bir şekilde incelendiğinde, kolonlardaki hacim azalmasına paralel olarak, ölçülen SO_4 ve $\text{Ca}+\text{Mg}+\text{Mn}$ değerlerinde de önemli oranda azalmanın gerçekleştiği tespit edilmiştir. Kinetik kolon deneylerinde süzülen suların kimyasal analizleri sonucunda elde edilen bu sonuçlar dikkate alınarak, kolon boyutlarının, pH değerinin 4'ün altına düşmesi nedeniyle deneylerin sonlandırıldığı zamana kadar ölçülen kümülatif toplam SO_4 ve $\text{Ca}+\text{Mg}+\text{Mn}$ değerleri üzerindeki etkisinin araştırılmasının yararlı olacağı öngörülmüştür. Bu nedenle, kolon boyu, çapı ve hacmi parametresi ile kümülatif toplam SO_4 ve kümülatif toplam $\text{Ca}+\text{Mg}+\text{Mn}$ oranları arasındaki ilişki basit regresyon analiz yöntemi dikkate alınarak araştırılmıştır. Söz konusu bu istatistiksel çalışmalar, tane boyu parametresinin AMD oluşumu üzerindeki etkisi de dikkate alınarak, hem orta tane boyuna sahip örneklerin kullanıldığı kolonlar, hem de ince tane boyuna sahip örneklerin kullanıldığı kolonlar için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Orta tane boyuna sahip örneklerde gerçekleştirilen kinetik kolon deneylerinde belirlenen sülfat (SO_4) konsantrasyonun, kolon boyu, çapı ve hacmi ile ilişkisi Şekil 6.10 verilirken, aynı ilişkiler ince tane boyu sahip örneklerin kullanıldığı kolonlar için Şekil 6.11'de verilmiştir. Şekil 6.10 ve 6.11'de de görüldüğü gibi, sülfat (SO_4) konsantrasyonu ile kolon boyutlarına ilişkin parametreler arasında istatistiksel olarak anlamlı bağıntıların hem ince taneli hem de orta boyuta sahip örnekler için mevcut olduğu tespit edilmiştir. Benzer istatistiksel analizler, $\text{Ca}+\text{Mg}+\text{Mn}$ konsantrasyonları için de yapılmış olup, elde edilen sonuçlar Şekil 6.12 ve Şekil 6.13'te verilmiştir. Benzer şekilde, orta tane boyuna sahip örnekler için istatistiksel olarak anlamlı ve yüksek korelasyon katsayısına sahip bağıntılar kolon boyutları ile $\text{Ca}+\text{Mg}+\text{Mn}$ konsantrasyonları arasında tespit edilmiştir. Aynı şekilde, Şekil 6.13'te de görüldüğü gibi, ince tane boyuna sahip örneklerden alınan $\text{Ca}+\text{Mg}+\text{Mn}$ ölçümleri ile kolon boyutları arasında yüksek korelasyon katsayısına sahip ilişkiler elde edilmiştir.

Şekil 6.10 ile 6.13 arasında verilen bütün analiz sonuçları farklı zamanlarda sonlandırılan kinetik kolon deneylerinden toplam elde edilen SO_4 ve $\text{Ca}+\text{Mg}+\text{Mn}$ değerleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Ancak daha önce de vurgulandığı gibi, kullanılan örneklerin tane boyu, kolon boyut ve özelliklerine bağlı olarak kinetik kolon deneyleri farklı zamanlarda sonlandırılmıştır. Örneğin orta tane boyu örneklerin kullanıldığı 16 no.lu kolondaki kinetik deney 58. haftada da sonlandırılırken, ince tane boyuna sahip örneklerin kullanıldığı 34 no.lu kolonda sonlandırma işlemi 21. haftada gerçekleştirilmiştir. Söz konusu bu durum Şekil 6.10 ile 6.13 arasında verilen bütün analizlerin ayrıca zaman parametresi de dikkate alınarak denetlenmesinin gerekli olduğu düşünülmektedir. Bu gereksinim doğrultusunda yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

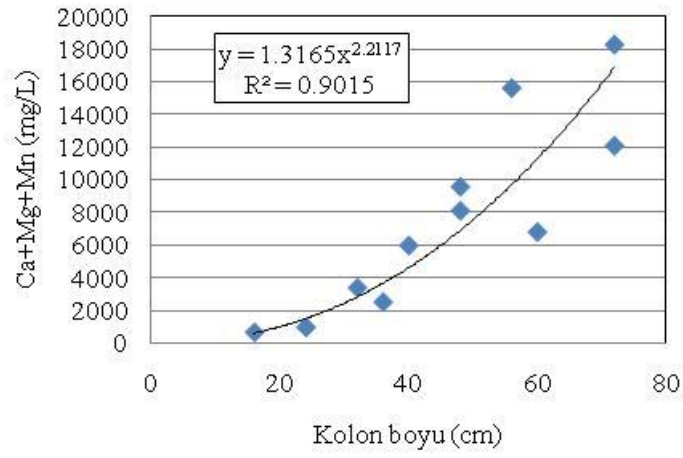


Şekil 6.10 Orta tane boyuna sahip örneklerde gerçekleştirilen kinetik kolon deneylerinde belirlenen sülfat (SO₄) konsantrasyonunun, a) kolon boyu, b) kolon çapı ve c) kolon hacmi ile ilişkisi.

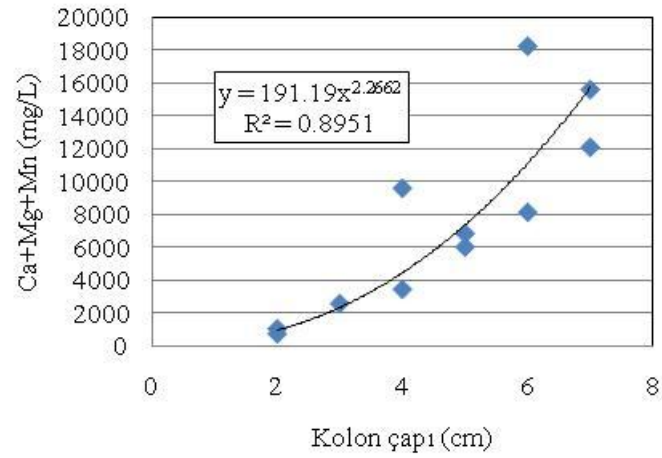


Şekil 6.11 İnce tane boyuna sahip örneklerde gerçekleştirilen kinetik kolon deneylerinde belirlenen sülfat (SO₄) konsantrasyonunun, a) kolon boyu, b) kolon çapı ve c) kolon hacmi ile ilişkisi.

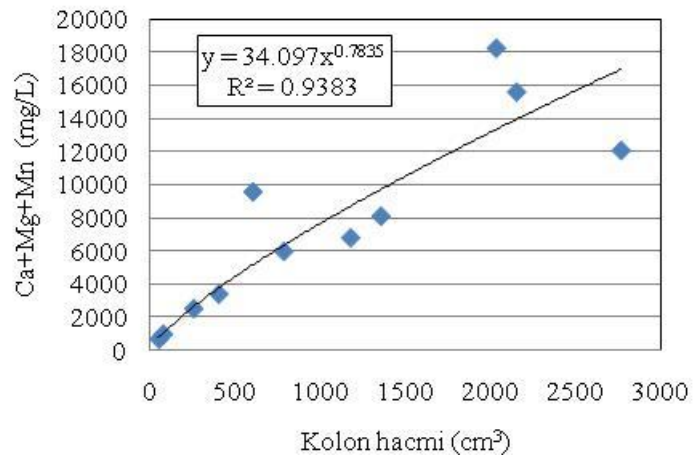
(a)



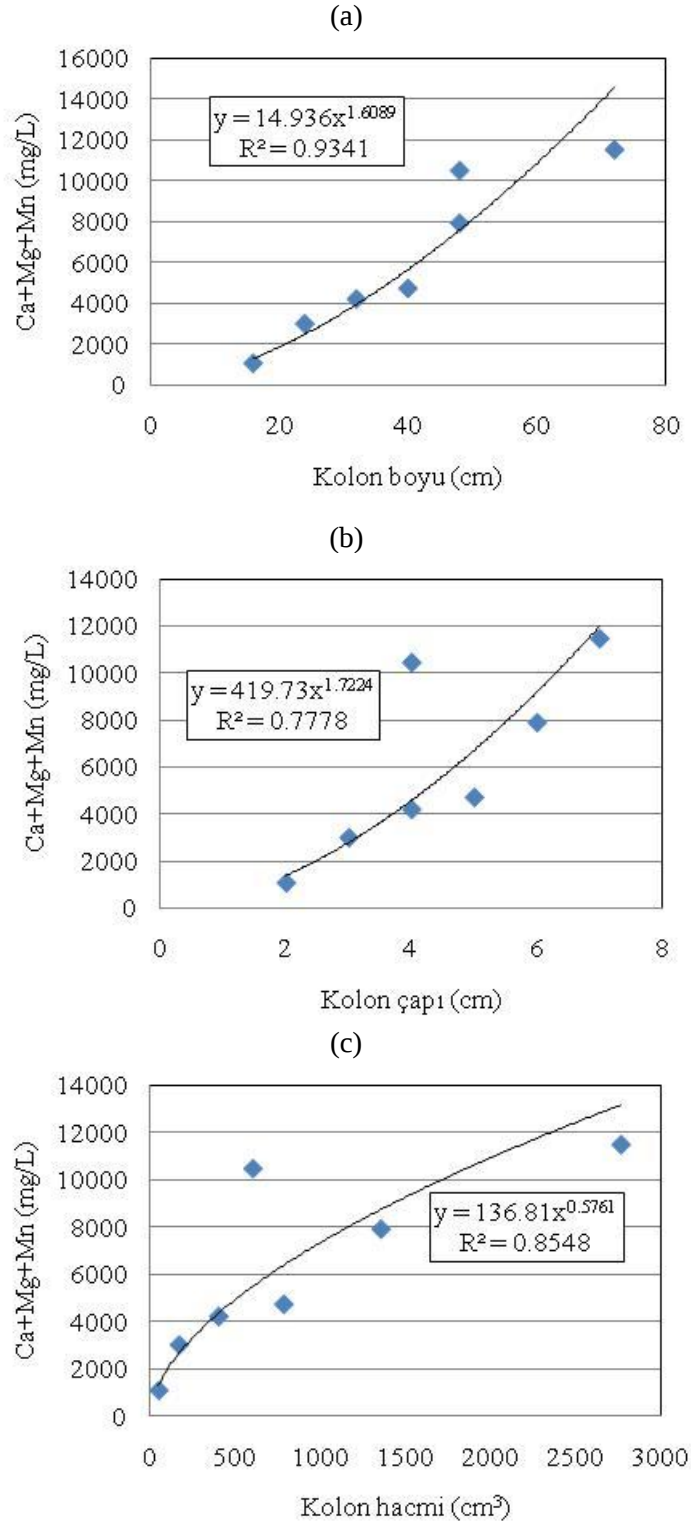
(b)



(c)



Şekil 6.12 Orta tane boyuna sahip örneklerde gerçekleştirilen kinetik kolon deneylerinde belirlenen elementlerin (Ca+Mg+Mn) konsantrasyonunun, a) kolon boyu, b) kolon çapı ve c) kolon hacmi ile ilişkisi.



Şekil 6.13 İnce tane boyuna sahip örneklerde gerçekleştirilen kinetik kolon deneylerinde belirlenen elementlerin (Ca+Mg+Mn) konsantrasyonun, a) kolon boyu, b) kolon çapı ve c) kolon hacmi ile ilişkisi.

Şekil 6.10 ve Şekil 6.13 arasında verilen istatistiksel analizlerin sonuçlarının ortam koşulları açısından daha temsil edici olmasını sağlamak için yapılan analizlerde kinetik kolon deney süresinin de dikkate alınmasını sağlamak amacıyla son ölçüm haftaları dikkate alınarak kümülatif SO_4 ve kümülatif $Ca+Mg+Mn$ konsantrasyonlarının Eşitlik 6.1 ve 6.2’de verilen bağıntılara göre normalize edilmiştir. Normalize SO_4 ve normalize $Ca+Mg+Mn$ parametreleri hem orta tane boyu, hem de ince tane boyuna sahip örneklerin konulduğu kolonların boy, çap ve hacimleri ile ayrı ayrı karşılaştırılmıştır. Kinetik kolon deneyi süresinin yapılan analizler üzerindeki etkisinin belirlenmesi amacıyla, normalize edilmiş değerler bağımlı değişken, kolon boyutlarının bağımsız değişken olarak alındığı basit regresyon analizleri, Şekil 6.10 ile 6.13’te verilen aynı regresyon türü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, Şekil 6.10 ile 6.13’te verilen ilişkilerle (normalize edilmemiş SO_4 ve toplam $Ca+Mg+Mn$ değerleri kullanılarak belirlenen ilişkilerle) birlikte Çizelge 6.4’te sunulmuştur.

$$Normalize\ SO_4 = \frac{Kümülatif\ SO_4}{Zaman\ (son\ ölçüm\ haftası)} \quad (6.1)$$

$$Normaliz\ (Ca + Mg + Mn) = \frac{Kümülatif\ (Ca+Mg+Mn)}{Zaman\ (son\ ölçüm\ haftası)} \quad (6.2)$$

Çizelge 6.4’te verilen eşitlikler incelendiğinde, normalize edilmiş ve normalize edilmemiş değerleri kullanılarak elde edilen eşitlikler arasında çok önemli farklılıkların olmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca, ince tane boyuna sahip örneklerin kullanıldığı kolonların boyutları ile toplam $Ca+Mg+Mn$ değerlerini kapsayan basit regresyon analizlerin istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler ve yüksek korelasyon katsayısına sahip bağıntılar verdiği saptanmıştır.

Bu bölümde yapılan analizlerde elde edilen sonuçlara göre, alınan su örnekleri üzerinde yapılan kimyasal analiz sonuçlarından elde edilen asit oluşturma ve nötralizasyon etkisi açısından önemli olan SO_4 ve $Ca+Mg+Mn$ gibi parametrelerin kümülatif olarak dikkate alınması durumunda kinetik kolon deneyi açısından oldukça istatistiksel olarak anlamlı ve yüksek korelasyon katsayısına sahip ilişkiler elde edilmektedir. Söz konusu bu durum, yapılan incelemelerde pH değerleri de dahil olmak üzere belirlenen bütün parametrelerin kümülatif olarak analiz edilmesinin oldukça yararlı olacağını göstermektedir. Elde edilen sonuçların kümülatif olarak değerlendirmeye alınması konusundaki önem dikkate alınarak, bu kapsamda detaylı çalışma ve analizler yapılmış ve aşağıdaki alt bölümde ayrıntılı olarak verilmiştir.

Çizelge 6.4 Doğrudan deneylerle belirlenmiş ve normalize edilmiş SO₄ ve Ca+Mg+Mn parametrelerinin kolon boyut parametreleri ile olan ilişkileri.

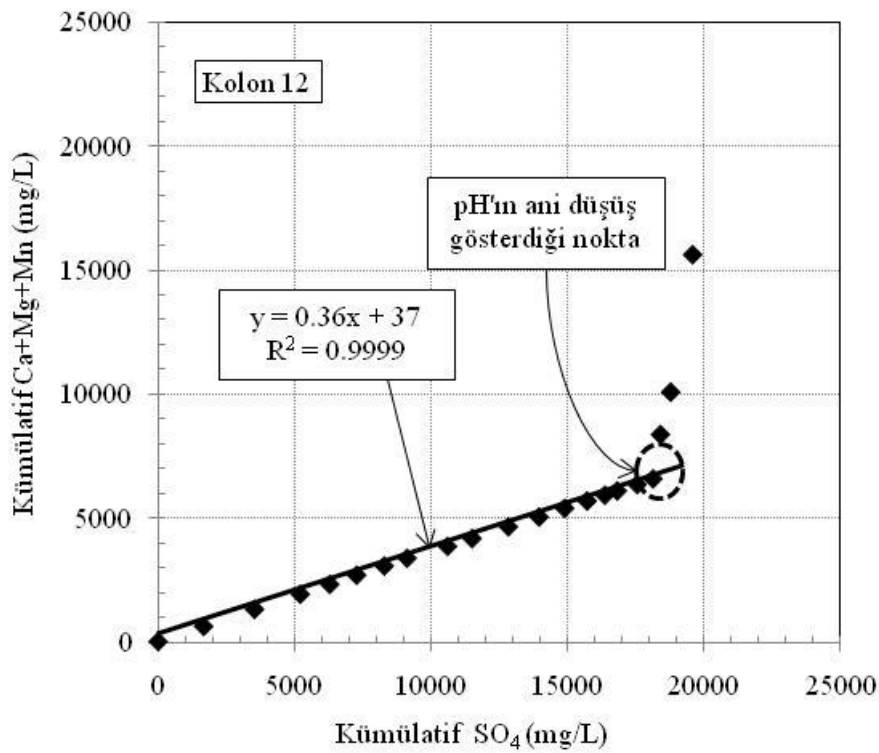
Bağımlı değişkenler	Bağımsız değişkenler		
	Orta tane boyu (-3.35 mm)		
	Boy (cm) (x)	Çap (cm) (x)	Hacim (cm ³) (x)
SO ₄ (mg/L)	$y = 2.31x^{2.2305}$	$y = 328.59x^{2.3296}$	$y = 57.73x^{0.8002}$
(y)	R ² = 0.90	R ² = 0.93	R ² = 0.96
SO ₄ [mg/(L*t)] ^a	$y = 0.12x^{1.9697}$	$y = 9.45x^{2.0412}$	$y = 2.04x^{0.703}$
(y)	R ² = 0.89	R ² = 0.90	R ² = 0.94
Ca+Mg+Mn (mg/L)	$y = 1.32x^{2.2117}$	$y = 191.19x^{2.2662}$	$y = 34.10x^{0.7835}$
(y)	R ² = 0.90	R ² = 0.90	R ² = 0.94
Ca+Mg+Mn [mg/(L*t)] ^a	$y = 0.07x^{1.9509}$	$y = 5.50x^{1.9777}$	$y = 1.20x^{0.6863}$
(y)	R ² = 0.89	R ² = 0.87	R ² = 0.92
Bağımlı değişkenler	Bağımsız değişkenler		
	İnce tane boyu (-0.625 mm)		
	Boy (cm) (x)	Çap (cm) (x)	Hacim (cm ³) (x)
SO ₄ (mg/L)	$y = 568.82e^{0.0472x}$	$y = 494.98e^{0.4581x}$	$y = 4.94x + 1012.3$
(y)	R ² = 0.93	R ² = 0.76	R ² = 0.90
SO ₄ [mg/(L*t)] ^a	$y = 30.43e^{0.0373x}$	$y = 26.71e^{0.3665x}$	$y = 0.134x + 53.03$
(y)	R ² = 0.92	R ² = 0.77	R ² = 0.92
Ca+Mg+Mn (mg/L)	$y = 14.94x^{1.6089}$	$y = 419.73x^{1.7224}$	$y = 136.81x^{0.5761}$
(y)	R ² = 0.93	R ² = 0.78	R ² = 0.85
Ca+Mg+Mn [mg/(L*t)] ^a	$y = 2.08x^{1.2322}$	$y = 25.82x^{1.3431}$	$y = 10.99x^{0.4461}$
(y)	R ² = 0.91	R ² = 0.79	R ² = 0.85

t: hafta, ^a: normalize değerler.

6.3 Kinetik Kolon Deney Süresince Yapılan Kimyasal Analiz Sonuçlarının Kinetik Değerlendirmeleri

Benzaazoua et al. (2004), üzerinde çalıştıkları malzemenin asit üretme potansiyelinin belirlemesinde geliştirmiş oldukları oksidasyon-nötralizasyon eğrileri yöntemini kullanmışlardır. Bu yöntemde, kinetik kolon deneyi süresince, oksidasyon-nötralizasyon mekanizmasının zamana bağlı olarak sabit olduğunu vurgulanmaktadır. Bu araştırmacılar, kümülatif SO₄ değerlerini bağımsız ve kümülatif Ca+Mg+Mn değerlerini ise bağımlı değişken olarak alarak, basit regresyon analizleri gerçekleştirmişlerdir. Yapmış oldukları analizlerde söz konusu bu iki değişken arasında doğrusal bir ilişkinin varlığını vurgulamışlardır. Bu çalışma

kapsamında kullanılan kolonlarda elde edilen kümülatif SO_4 ve $\text{Ca}+\text{Mg}+\text{Mn}$ değerlerinin bir birleri ile ilişkisinin saptanması için, orta ve ince taneboyu cevher örneklerinin kullanıldığı kolonlardan elde edilen sonuçlar üzerinde analizler gerçekleştirilmiştir. Yapılan basit regresyon analizlerinde eksponansiyel, logaritmik, üssel ve doğrusal bağıntılar dikkate alınmış ve bu iki değişken arasında istatistiksel olarak anlamlı ve en yüksek korelasyon katsayısının doğrusal bağıntıların verdiği tespit edilmiştir. Bu analizlere ilişkin tipik bir örnek Şekil 6.14'te verilmiştir.



Şekil 6.14 Kümülatif SO_4 ve kümülatif $\text{Ca}+\text{Mg}+\text{Mn}$ değerleri arasındaki değişim grafiği (Kolon 12).

Şekil 6.14'te de görüldüğü gibi, kümülatif SO_4 ve kümülatif $\text{Ca}+\text{Mg}+\text{Mn}$ değerleri arasındaki ilişki doğrusal olup, pH değerlerindeki ani düşüşe bağlı olarak bu doğrusal ilişkinin eğimi de değişmektedir. Kırılmanın gerçekleştiği noktada kolonlarda AMD oluşumunun başladığını göstermektedir. Bu nedenle, orta ve ince tane boyu malzemelerin kullanıldığı her bir kolon için yapılan kümülatif SO_4 ve kümülatif $\text{Ca}+\text{Mg}+\text{Mn}$ değerleri arasındaki ilişkileri belirlemesine yönelik analizlerde, pH değerlerinin ani düştüğü noktalardan sonraki alınan ölçümler dikkate alınmamıştır. Yapılan analizlerde elde edilen sonuçlar Çizelge 6.5'te verilmiştir.

Çizelge 6.5 Kümülatif SO₄ değerlerinin bağımsız (x) ve kümülatif Ca+Mg+Mn değerlerinin ise bağımlı (y) değişken olarak alındığı basit regresyon analizlerinde elde edilen ampirik (görgül) ilişkiler.

Orta tane boyu (-3.35 mm)		İnce tane boyu (-0.625 mm)	
Kolon 11	$y = 0.34x + 47.85$ (R ² = 0.99)	Kolon 23	$y = 0.38x - 209.04$ (R ² = 0.96)
Kolon 12	$y = 0.36x + 36.98$ (R ² = 0.99)	Kolon 26	$y = 1.18x - 1176.5$ (R ² = 0.89)
Kolon 13	$y = 0.34x + 67.30$ (R ² = 0.99)	Kolon 28	$y = 1.03x - 420.88$ (R ² = 0.83)
Kolon 14	$y = 0.33x + 85.38$ (R ² = 0.99)	Kolon 29	$y = 1.13x - 1050.8$ (R ² = 0.85)
Kolon 15	$y = 0.3518x + 21.896$ (R ² = 0.99)	Kolon 30	$y = 1.45x - 661$ (R ² = 0.54)
Kolon 16	$y = 0.36x - 6.59$ (R ² = 0.99)	Kolon 32	$y = 2.15x - 445.12$ (R ² = 0.91)
Kolon 17	$y = 0.3594x + 44.103$ (R ² = 0.99)	Kolon 34	$y = 0.72x + 52.29$ (R ² = 0.83)
Kolon 18	$y = 0.33x + 17.45$ (R ² = 0.99)		
Kolon 19	$y = 0.37x + 5.38$ (R ² = 0.99)		
Kolon 21	$y = 0.47x + 11.43$ (R ² = 0.99)		
Kolon 22	$y = 0.49x + 0.47$ (R ² = 0.99)		

x: kümülatif SO₄

y: kümülatif Ca+Mg+Mn

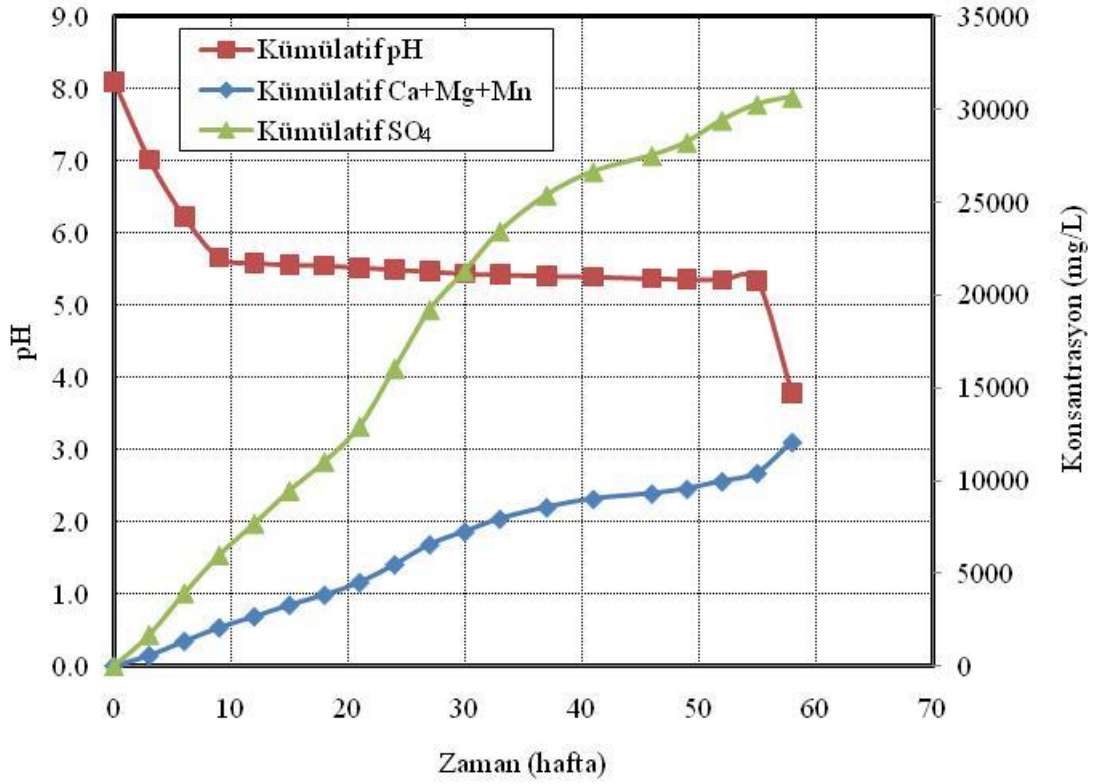
Yukarıda verilen, kümülatif SO₄ ve kümülatif Ca+Mg+Mn arasındaki bağıntıları kapsayan analizlerin yanı sıra, bu parametrelerin zamana bağlı değişimlerinin incelenmesi kinetik kolon deneyi sırasındaki AMD oluşum mekanizmasının daha iyi anlaşılması açısından yararlı olacağı düşünülmüştür. Ayrıca, hem bu iki parametrenin kümülatif olarak değerlendirmeye alınması ve hemde önceki bölümlerde değinildiği gibi pH değerlerindeki ani dalgalanmalar göstermesi dikkate alınarak, pH değerlerinin kümülatif olarak analizleri dikkate alınmıştır. Bilindiği üzere, pH bir çözeltinin asidik veya bazlık derecesini gösteren ve hidrojen

iyonun konsantrasyonunun negatif logaritmasının alınmasıyla belirlenen bir ölçü birimidir. Kümülatif pH değerleri, ölçümün alındığı haftalardaki pH değerlerinden H^+ konsantrasyonları belirlenip, elde edilen hidrojen konsantrasyonlarının toplamı alınarak ve negatif logaritmasının alınmasıyla belirlenmiştir.

Kümülatif SO_4 , $Ca+Mg+Mn$ ve pH değerlerinin zamana bağlı değişimin kinetik kolon deneyi açısından öneminin belirlenmesi amacıyla söz konusu bu üç parametre bağımlı değişken ve zaman parametresi ise bağımsız değişken olarak alınarak gerekli analizler yapılmıştır. Yapılan analizlere ilişkin tipik değişim grafiği 11 no.lu kolon için Şekil 6.15'te verilmiştir. Şekil 6.15'te görüldüğü gibi, kümülatif pH değerleri ilk haftalarda ve son haftalarda hızlı bir düşüş göstermektedir. Buna karşın, kümülatif SO_4 ve $Ca+Mg+Mn$ değerleri kümülatif pH değerlerine nazaran daha düzenli (doğrusal) bir artış göstermektedir. Ancak bu şekilde de görüldüğü gibi, hemen hemen bütün kinetik kolon deneylerinin gerçekleştirildiği kolonlarda, elde edilen kümülatif SO_4 konsantrasyonları, kümülatif $Ca+Mg+Mn$ konsantrasyonlarına oranla oldukça yüksek miktarlarda sistemde mevcut olduğu tespit edilmiştir.

Deney sürecinde kullanılan sularda çözülü halde bulunan oksijen nedeniyle, kinetik kolon deneylerinin ilk dönemlerinde asit oluşumu nötr pH seviyelerinde kimyasal süreçlerle başlamakta olduğu daha öncede vurgulanmıştır. pH değerlerinin 5.5'in altına düşmesiyle birlikte ortam diğer parametrelerde daha hızlı değişim meydana gelmektedir (Robertson ve Broughton, 1992). Robertson ve Broughton (1992), nötr pH seviyelerinde kimyasal bozunma süreçlerinin etkin olduğu birincil asit oluşum hızının nispeten düşük olduğunu belirtmişlerdir. Ancak, yaklaşık pH'ın 4.5'tan düşük değerinde, biyolojik bozunma süreçleri asit oluşum sürecini önemli oranda hızlandırmaktadır (Robertson ve Broughton, 1992). Kinetik kolon deneyinin başlangıç ve son aşamasında sırasıyla kimyasal ve biyolojik bozunma süreçleri gibi mekanizmaları birbirinden oldukça farklı iki bozunma sürecinin etkin olması dikkate alınarak, kümülatif SO_4 , kümülatif $Ca+Mg+Mn$ ve kümülatif pH değerlerinin zamana bağlı değişimini kapsayan istatistiksel analizlerde, kinetik kolon deneyinin son aşamasındaki biyolojik bozunma süreçlerinin etkin olduğu ölçümler göz önünde bulundurulmamıştır. Bu çalışma kapsamında yapılan kinetik kolon deneyinde, biyolojik süreçlerin etkin olduğu koşullarda genellikle bir veya iki adet ölçüm alınmıştır. Şekil 6.15'te verilen grafik incelendiğinde, biyolojik bozunma süreçlerinin etkin olması nedeniyle en son pH değerinin genel dağılıma uymaması ve oldukça düşük değerlerde olması konuyu vurgulayan önemli bir örnek olmaktadır. Bu nedenle, kinetik kolon deneylerindeki farklı bozunma süreçlerinin etkin olduğu gerçeği dikkate alınarak, kümülatif SO_4 , kümülatif $Ca+Mg+Mn$ ve kümülatif pH değerleri bağımlı ve zaman parametresi de bağımsız değişken olarak dikkate alınarak istatistiksel analizler gerçekleştirilmiştir. Bu

analizlerde kimyasal analiz sonuçları her bir kolon için ayrı ayrı değerlendirilmiş ve elde edilen ampirik (görgül) ilişkiler Çizelge 6.6'da verilmiştir.



Şekil 6.15 Kümülatif SO₄, Ca+Mg+Mn ve pH değerlerinin zamana bağlı değişimleri (Kolon 11).

Çizelge 6.6 Kümülatif SO₄, kümülatif Ca+Mg+Mn ve kümülatif pH değerlerinin bağımlı (y), zaman parametresinin ise bağımsız (x) değişken olarak alındığı basit regresyon analizlerinde elde edilen ampirik (görgül) ilişkiler.

Orta tane boyu cevher örneklerinin kullanıldığı kolonlar			
Kolon No.	SO ₄ (mg/L)* (y)	Ca+Mg+Mn* (mg/L) (y)	pH* (y)
Kolon 11	y = 601.68x R ² = 0.96	y = 209.03x R ² = 0.97	y = -0.27ln(x) + 6.4262 R ² = 0.88
Kolon 12	y = 356.18x R ² = 0.91	y = 140.91x R ² = 0.94	y = -0.207ln(x) + 6.4145 R ² = 0.85
Kolon 13	y = 415.68x R ² = 0.97	y = 160.01x R ² = 0.94	y = -0.205ln(x) + 6.401 R ² = 0.85
Kolon 14	y = 401.9x R ² = 0.97	y = 136.83x R ² = 0.97	y = -0.202ln(x) + 6.3779 R ² = 0.94
Kolon 15	y = 352.17x R ² = 0.96	y = 124.49x R ² = 0.96	y = -0.204ln(x) + 6.3364 R ² = 0.95
Kolon 16	y = 228.88x R ² = 0.97	y = 82.25x R ² = 0.97	y = -0.196ln(x) + 6.4237 R ² = 0.92
Kolon 17	y = 208.11x R ² = 0.92	y = 76.34x R ² = 0.93	y = -0.18ln(x) + 6.557 R ² = 0.93
Kolon 18	y = 201.36x R ² = 0.96	y = 67.30x R ² = 0.96	y = -0.216ln(x) + 6.3035 R ² = 0.88
Kolon 19	y = 90.11x R ² = 0.93	y = 33.65x R ² = 0.94	y = -0.189ln(x) + 6.4613 R ² = 0.92
Kolon 21	y = 27.94x R ² = 0.81	y = 13.83x R ² = 0.86	y = -0.165ln(x) + 6.6707 R ² = 0.90
Kolon 22	y = 17.31x R ² = 0.94	y = 8.51x R ² = 0.94	y = -0.169ln(x) + 6.6584 R ² = 0.87

*: ilgili parametreler kümülatif olarak alınmıştır.

Çizelge 6.6 Devam ediyor.

İnce tane boyu cevher örneklerinin kullanıldığı kolonlar			
Kolon No.	SO ₄ (mg/L)* (y)	Ca+Mg+Mn* (mg/L) (y)	pH* (y)
Kolon 23	y = 408.31x R ² = 0.9456	y = 148.18x R ² = 0.955	y = -0.14ln(x) + 6.8979 R ² = 0.5864
Kolon 26	y = 222.22x R ² = 0.9607	y = 212.76x R ² = 0.798	y = -0.117ln(x) + 7.0688 R ² = 0.7134
Kolon 28	y = 98.853x R ² = 0.9885	y = 83.008x R ² = 0.807	y = -0.094ln(x) + 7.2613 R ² = 0.7434
Kolon 29	y = 211.56x R ² = 0.917	y = 195.04x R ² = 0.7437	y = -0.147ln(x) + 6.9003 R ² = 0.2896
Kolon 30	y = 94.193x R ² = 0.9602	y = 45.398x R ² = 0.8121	y = -0.035ln(x) + 7.7818 R ² = 0.8288
Kolon 32	y = 34.104x R ² = 0.9407	y = 32.469x R ² = 0.5074	y = -0.051ln(x) + 7.6303 R ² = 0.9331
Kolon 34	y = 16.697x R ² = 0.9061	y = 18.827x R ² = 0.4886	y = -0.043ln(x) + 7.7107 R ² = 0.9099

*: ilgili parametreler kümülatif olarak alınmıştır.

Çizelge 6.6’da görüldüğü gibi, kümülatif SO₄, kümülatif Ca+Mg+Mn ve kümülatif pH değerlerinin zaman parametresine göre değişimlerini kapsayan istatistiksel analizlerde anlamlı ilişkiler elde edilmiştir. Ancak, orta tane boyu (3.35 mm) cevher örneklerinin kullanıldığı kolonlarda yaklaşık 13 ile 20 arasında değişen örnekler üzerinde kimyasal analiz ölçümleri alınmışken, ince tane boyu (0.625 mm) cevher örneklerinin kullanıldığı kolonlarda ise, deneylerin daha kısa sürmesi nedeniyle alınan ölçümlerin sayısı 4 ile 9 arasında değişmektedir. Diğer bir ifadeyle, ince tane boyu için Çizelge 6.6’da verilen eşitlikler çok daha az sayıda veriyi kapsamaktadır. Dolayısıyla, aşağıda verilen değerlendirmelerde sadece orta tane boyu cevher örneklerinin kullanıldığı kolonlardan elde edilen sonuçlar dikkate alınmıştır.

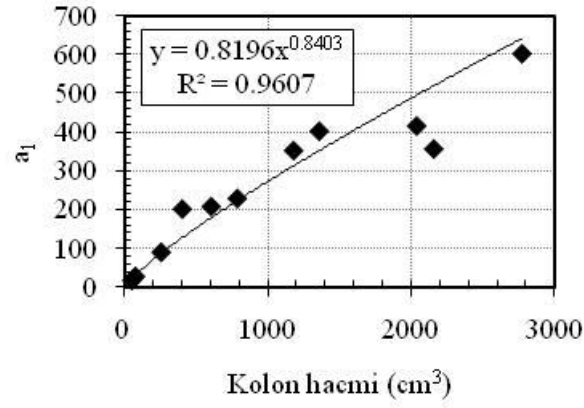
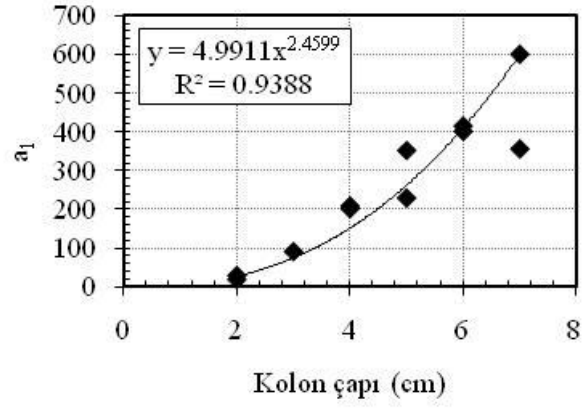
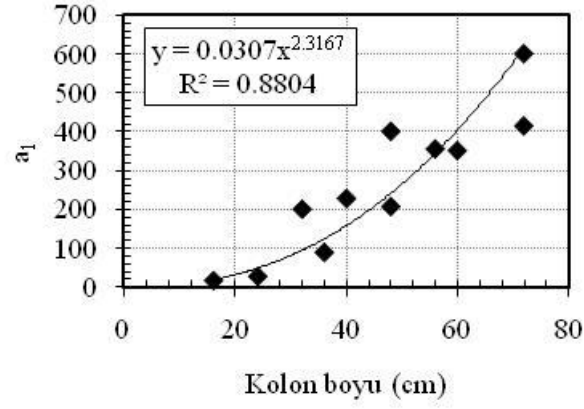
Çizelge 6.6’da verilen bağıntılar sadeleştirildiğinde, kümülatif SO₄, kümülatif Ca+Mg+Mn ve kümülatif pH için aşağıda verilen genel ilişkiler elde edilmiştir.

$$\text{Kümülatif } SO_4 = a_1 x \quad (6.3)$$

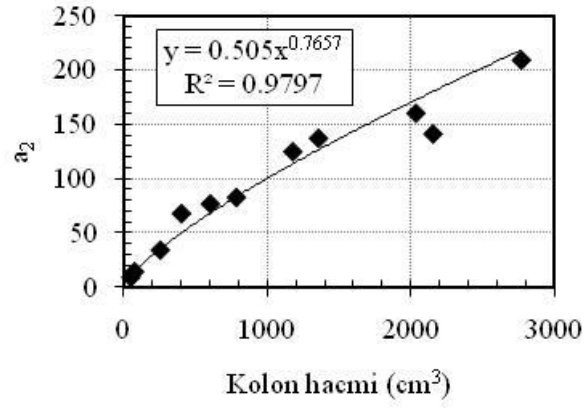
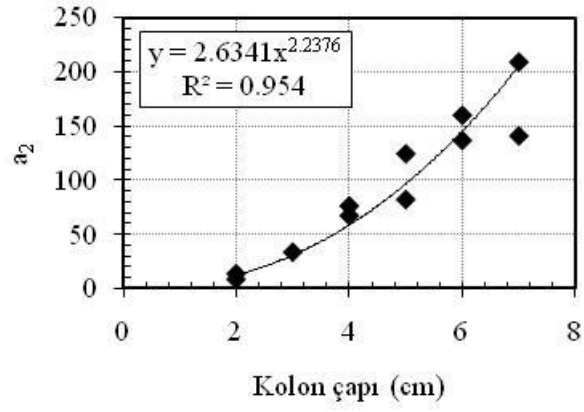
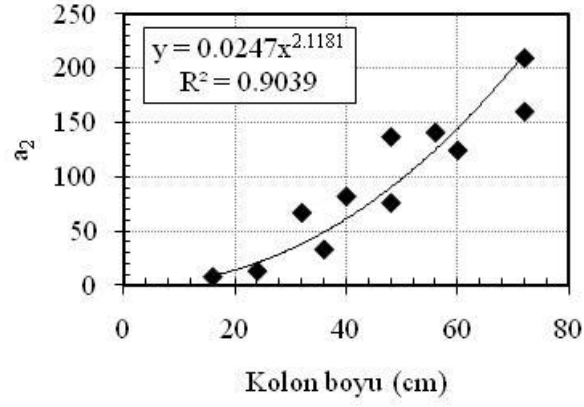
$$\text{Kümülatif } Ca+Mg+Mn = a_2 x \quad (6.4)$$

$$\text{Kümülatif } pH = a_3 - b \cdot \ln(x) \quad (6.5)$$

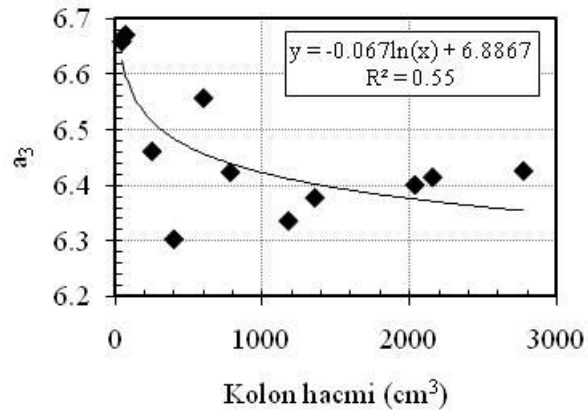
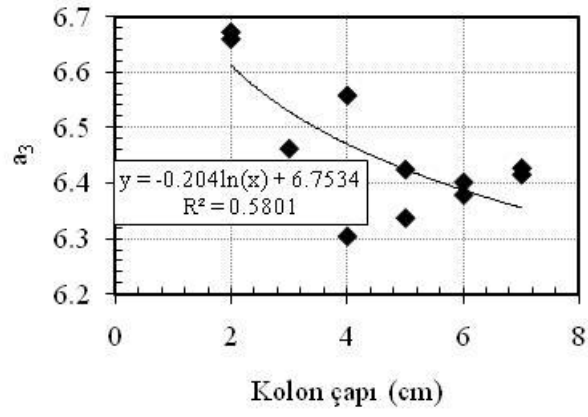
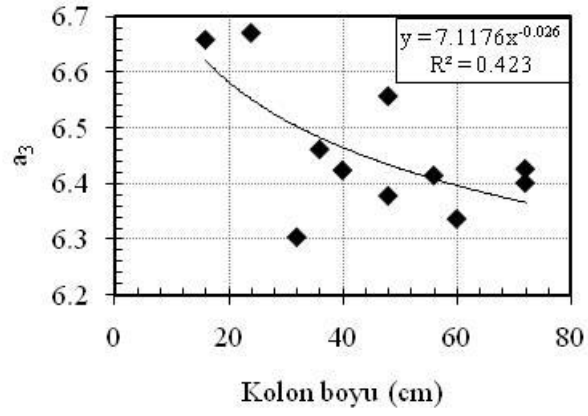
Burada, x zaman (hafta), a_1 , a_2 , a_3 ve b parametreleri orta tane boyu kinetik kolon deneylerinde elde edilen sonuçlar için bu çalışmada önerilen ilgili eşitliklerin katsayıları olup, kolonların boy, çap ve hacmi ile olan bağıntıları aşağıda Şekil 16, 17, 18 ve 19’da verilmiştir. Kümülatif SO_4 ve kümülatif $Ca+Mg+Mn$ için önerilen genel eşitliklerin (Eşitlik 6.3 ve Eşitlik 6.4) katsayıları (eğimleri) kullanılan kolonların boy, çap ve hacim parametreleri ile istatistiksel olarak anlamlı ve oldukça yüksek korelasyon katsayısına sahip ilişkiler vermiştir. Söz konusu bu eşitlikler kullanılarak a_1 ve a_2 parametreleri istenen herhangi bir kolon boy, çap ve hacmi için belirlenebilir ve bu boyutlar için kümülatif SO_4 ve/veya kümülatif $Ca+Mg+Mn$ değerlerinin tahmininde kullanılması açısından önemli olduğu düşünülmektedir.



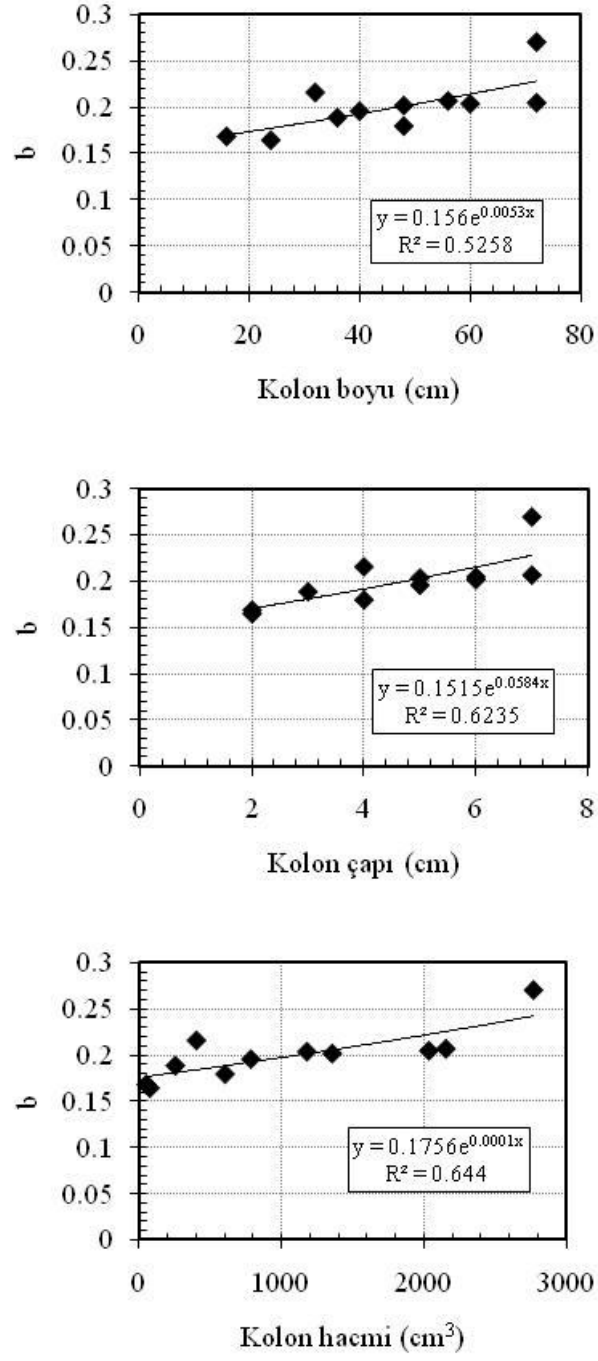
Şekil 6.16 Kümülatif SO₄ için önerilen Eşitlik 6.3'teki a_1 parametresinin kolon boy, çap ve hacmi ile ilişkisi.



Şekil 6.17 Kümülatif Ca+Mg+Mn için önerilen Eşitlik 6.4'teki a_2 parametresinin kolon boy, çap ve hacmi ile ilişkisi.



Şekil 6.18 Kümülatif pH için önerilen Eşitlik 6.5'teki a_3 parametresinin kolon boy, çap ve hacmi ile ilişkisi.



Şekil 6.19 Kümülatif pH için önerilen Eşitlik 6.5'teki b parametresinin kolon boy, çap ve hacmi ile ilişkisi.

Yukarıda kümülatif SO_4 ve kümülatif Ca+Mg+Mn için yapılan analizlerde, sadece zaman parametresi dikkate alınmıştır. Ancak, kinetik kolon deneyi sürecinde, meydana gelen bozunmanın miktarı ve hızı üzerinde aynı zamanda ortamın pH dengesi de önemli bir etkiye sahiptir. Bu nedenle, kümülatif SO_4 ve kümülatif Ca+Mg+Mn değerlerinin zamana bağlı değişimin tanımlanmasında, ortamın pH değerlerinin, özellikle kümülatif pH değerlerinin de dikkate alınmasının yararlı olacağı düşünülmüştür. Bu amaçla, kümülatif SO_4 ve kümülatif Ca+Mg+Mn değerleri bağımlı (y), kümülatif pH ve zaman (hafta) parametreleri ise bağımsız (x) değişken olarak alınmış ve çoklu regresyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizler sonucu elde edilen ampirik (görgül) yaklaşımlar Çizelge 6.7’de verilmiştir.

İstatistiksel olarak anlamlı ve oldukça yüksek korelasyon katsayısına sahip bu bağıntıların performansların analizleri için kimyasal analizlerden doğrudan ölçülen kümülatif SO_4 ve kümülatif Ca+Mg+Mn değerleri tahmin edilen bu değerlerle karşılaştırılmıştır. Yapılan bu karşılaştırmaların bir kısmının örnek olarak verildiği Şekil 6. 20 ile Şekil 6. 29 görüldüğü gibi, söz konusu verilerin fazla saçılım göstermediği ve önemli bir kısmının 1:1 çizgisine oldukça yakın bir şekilde dağıldıkları tespit edilmiştir.

Çizelge 6.7 Kümülatif SO₄ ve kümülatif Ca+Mg+Mn değerlerinin bağımlı (y), kümülatif pH ve zaman (hafta) parametresinin ise bağımsız (x) değişken olarak alındığı çoklu regresyon analizlerinde elde edilen ampirik (görgül) ilişkiler.

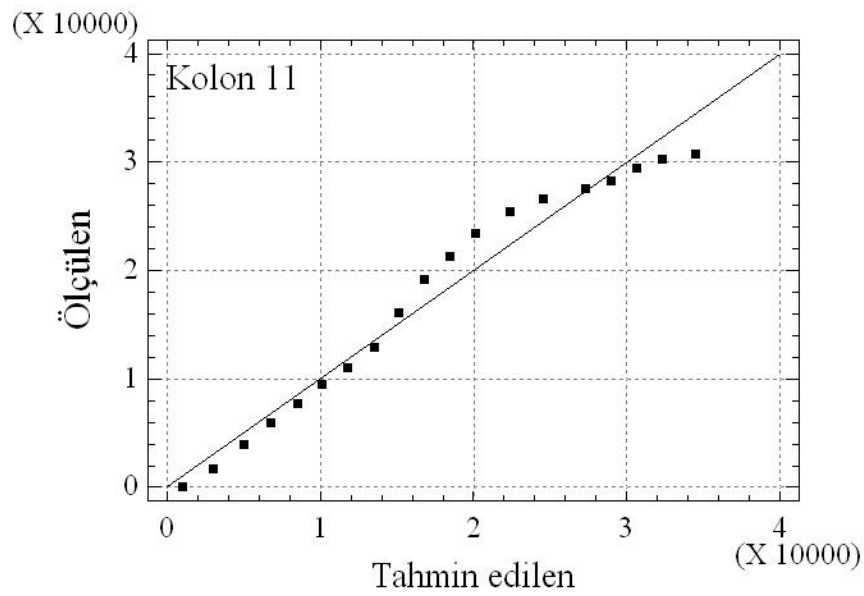
Orta tane boyu cevher örneklerinin kullanıldığı kolonlar		
Kolon No.	Kümülatif SO ₄ (mg/L) (y)	Kümülatif Ca+Mg+Mn (mg/L) (y)
Kolon 11	$y = 3804.6 - 342.3 \cdot \text{pH} + 551.1 \cdot t$ (R ² =0.97)	$y = 3077.4 - 403.6 \cdot \text{pH} + 185.0 \cdot t$ (R ² =0.98)
Kolon 12	$y = 13696.0 - 1706.7 \cdot \text{pH} + 256.8 \cdot t$ (R ² =0.98)	$y = 4197 - 556.6 \cdot \text{pH} + 115 \cdot t$ (R ² =0.96)
Kolon 13	$y = -4382.5 + 667.21 \cdot \text{pH} + 431.5 \cdot t$ (R ² =0.97)	$y = 748.5 - 185.8 \cdot \text{pH} + 166.9 \cdot t$ (R ² =0.95)
Kolon 14	$y = -592.5 + 27.1 \cdot \text{pH} + 413.7 \cdot t$ (R ² =0.97)	$y = 280.6 - 51.4 \cdot \text{pH} + 137 \cdot t$ (R ² =0.97)
Kolon 15	$y = 345.9 - 78.7 \cdot \text{pH} + 354.7 \cdot t$ (R ² =0.96)	$y = 220.6 - 39.9 \cdot \text{pH} + 124.5 \cdot t$ (R ² =0.96)
Kolon 16	$y = -235.3 + 5.8 \cdot \text{pH} + 234.3 \cdot t$ (R ² =0.97)	$y = -173.6 + 14 \cdot \text{pH} + 84.8 \cdot t$ (R ² =0.97)
Kolon 17	$y = -9547 + 1213.7 \cdot \text{pH} + 287 \cdot t$ (R ² =0.98)	$y = -3155 + 401.4 \cdot \text{pH} + 102.3 \cdot t$ (R ² =0.98)
Kolon 18	$y = -4061.2 + 501.2 \cdot \text{pH} + 244.4 \cdot t$ (R ² =0.98)	$y = -1245.6 + 153.6 \cdot \text{pH} + 80.5 \cdot t$ (R ² =0.98)
Kolon 19	$y = -2365.4 + 299.8 \cdot \text{pH} + 110.8 \cdot t$ (R ² =0.96)	$y = -868.3 + 110.3 \cdot \text{pH} + 41.2 \cdot t$ (R ² =0.96)
Kolon 21	$y = -1722.7 + 219.8 \cdot \text{pH} + 42.9 \cdot t$ (R ² =0.90)	$y = -794.9 + 101.3 \cdot \text{pH} + 20.8 \cdot t$ (R ² =0.95)
Kolon 22	$y = -651.9 + 82.5 \cdot \text{pH} + 23.3 \cdot t$ (R ² =0.99)	$y = -327.6 + 41.5 \cdot \text{pH} + 11.5 \cdot t$ (R ² =0.99)

pH: kümülatif pH, t: zaman (hafta)

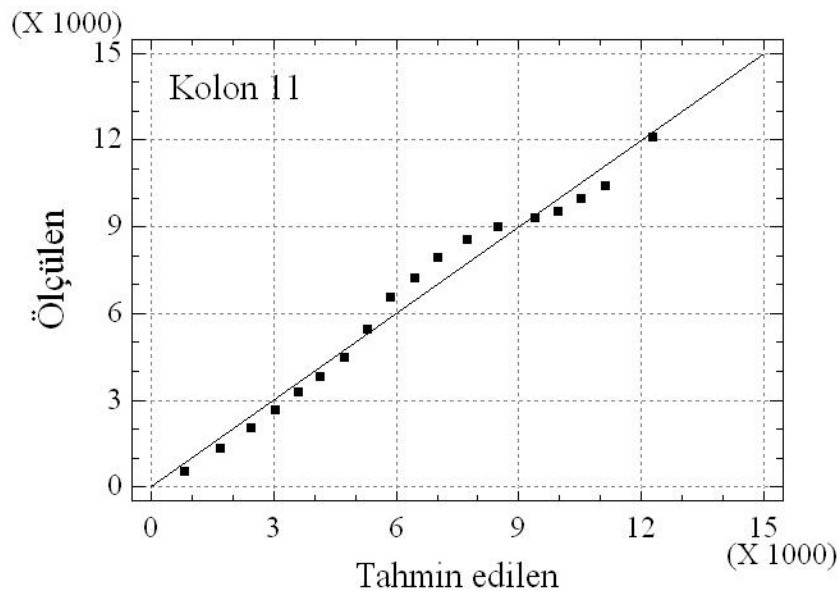
Çizelge 6.7 Devam ediyor.

İnce tane boyu cevher örneklerinin kullanıldığı kolonlar		
Kolon No.	Kümülatif SO ₄ (mg/L) (y)	Kümülatif Ca+Mg+Mn (mg/L) (y)
Kolon 23	$y = -8472.2 + 1007.6 \cdot \text{pH} + 489.6 \cdot t$ (R ² =0.95)	$y = -55.9 - 48.6 \cdot \text{pH} + 162.3 \cdot t$ (R ² =0.97)
Kolon 26	$y = 17042.6 - 2160 \cdot \text{pH} + 106.9 \cdot t$ (R ² =0.98)	$y = -14589 + 1622 \cdot \text{pH} + 375.1 \cdot t$ (R ² =0.86)
Kolon 28	$y = 5891.6 - 728.7 \cdot \text{pH} + 59.9 \cdot t$ (R ² =1)	$y = -2145 + 210.7 \cdot \text{pH} + 114.5 \cdot t$ (R ² =0.85)
Kolon 29	$y = 2817.7 - 383.3 \cdot \text{pH} + 192.8 \cdot t$ (R ² =0.93)	$y = 17003.4 - 2137.9 \cdot \text{pH} + 36 \cdot t$ (R ² =0.96)
Kolon 30	$y = 31975.2 - 3945.5 \cdot \text{pH} - 12.1 \cdot t$ (R ² =0.99)	$y = 35286.4 - 4359.1 \cdot \text{pH} - 69.5 \cdot t$ (R ² =0.94)
Kolon 32	$y = 11741.4 - 1452.8 \cdot \text{pH} - 20.6 \cdot t$ (R ² =0.95)	$y = -73726 + 9090 \cdot \text{pH} + 391.2 \cdot t$ (R ² =0.74)
Kolon 34	$y = 35457.7 - 4376.5 \cdot \text{pH} - 125.2 \cdot t$ (R ² =0.98)	$y = 71926.3 - 8886.8 \cdot \text{pH} - 264.7 \cdot t$ (R ² =0.60)

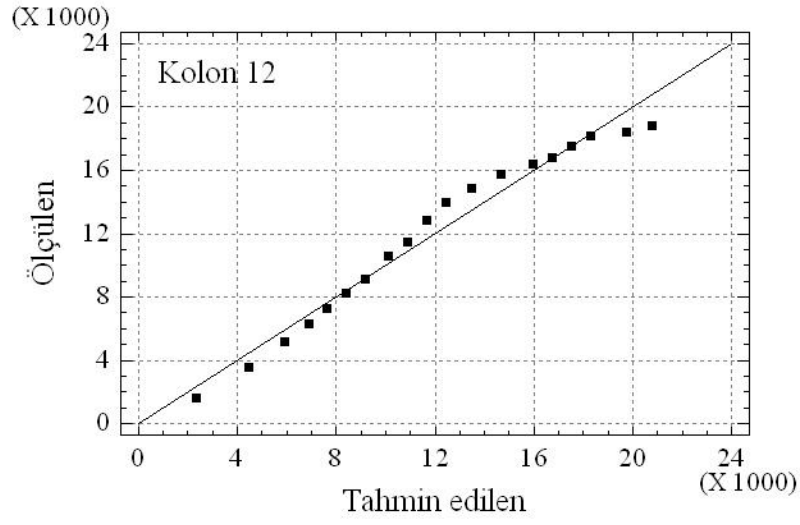
*: ilgili parametreler kümülatif olarak alınmıştır.



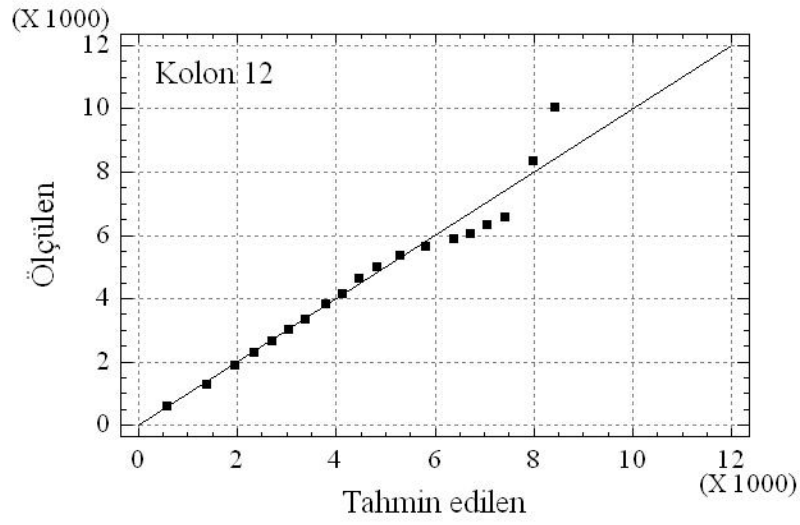
Şekil 6.20 Kümülatif SO_4 ile Çizelge 6.7'de Kolon 11 için verilen eşitlik esas alınarak tahmin edilen kümülatif SO_4 değerlerinin karşılaştırılması.



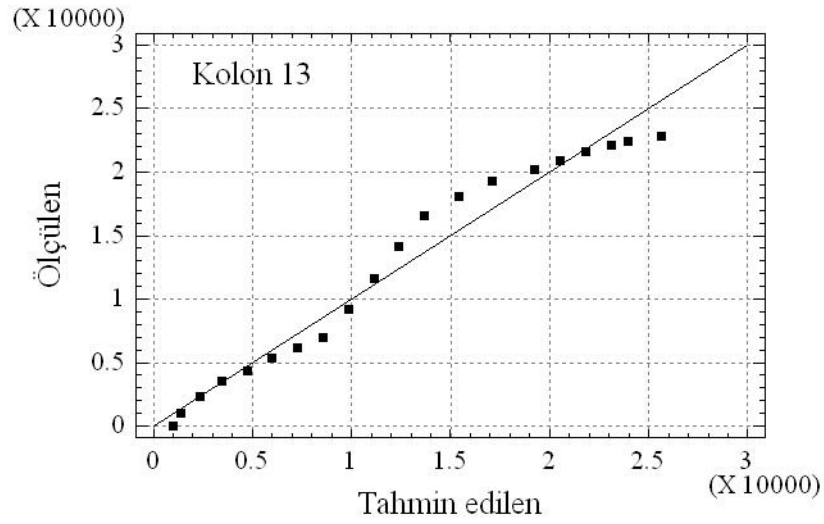
Şekil 6.21 Kümülatif $\text{Ca}+\text{Mg}+\text{Mn}$ ile Çizelge 6.7'de Kolon 11 için verilen eşitlik esas alınarak tahmin edilen kümülatif $\text{Ca}+\text{Mg}+\text{Mn}$ değerlerinin karşılaştırılması.



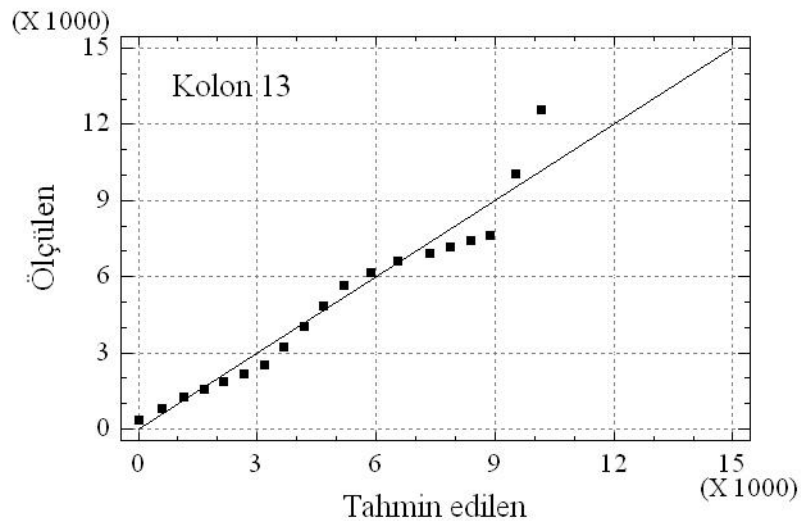
Şekil 6.22 Kümülatif SO_4 ile Çizelge 6.7'de Kolon 12 için verilen eşitlik esas alınarak tahmin edilen kümülatif SO_4 değerlerinin karşılaştırılması.



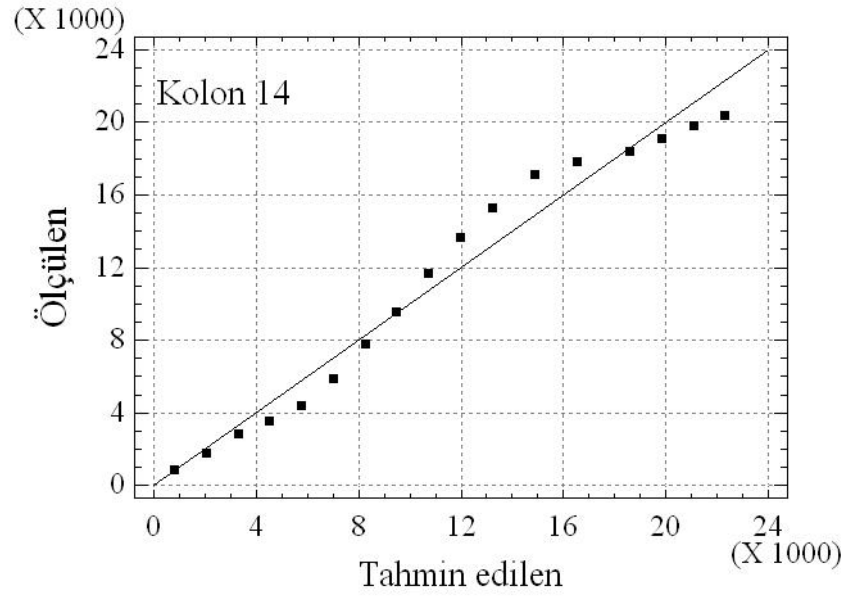
Şekil 6.23 Kümülatif $\text{Ca}+\text{Mg}+\text{Mn}$ ile Çizelge 6.7'de Kolon 12 için verilen eşitlik esas alınarak tahmin edilen kümülatif $\text{Ca}+\text{Mg}+\text{Mn}$ değerlerinin karşılaştırılması.



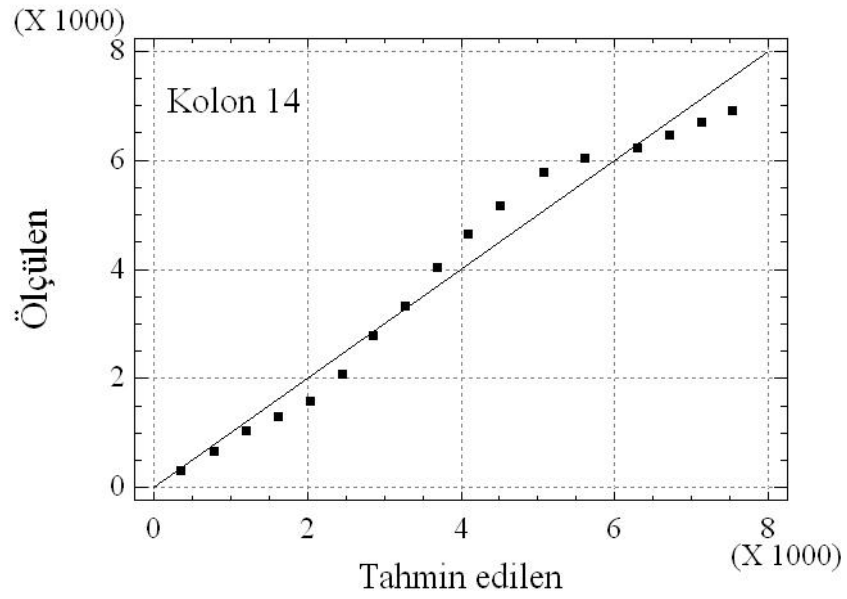
Şekil 6.24 Kümülatif SO_4 ile Çizelge 6.7'de Kolon 13 için verilen eşitlik esas alınarak tahmin edilen kümülatif SO_4 değerlerinin karşılaştırılması.



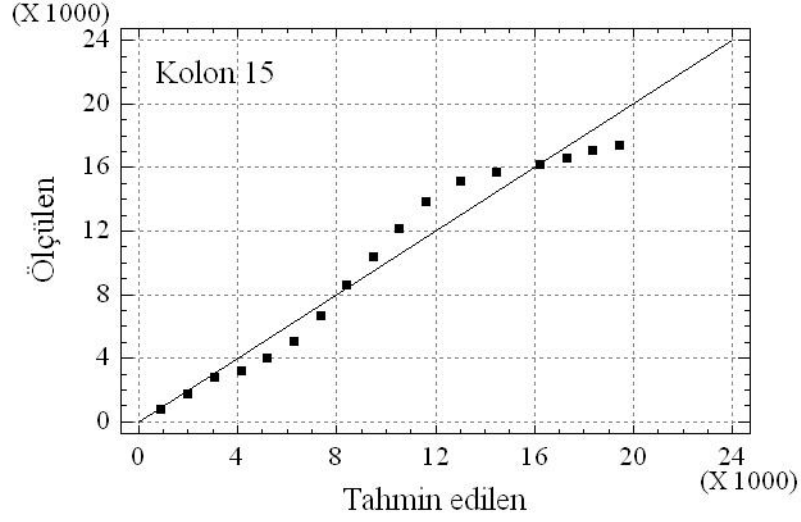
Şekil 6.25 Kümülatif $\text{Ca}+\text{Mg}+\text{Mn}$ ile Çizelge 6.7'de Kolon 13 için verilen eşitlik esas alınarak tahmin edilen kümülatif $\text{Ca}+\text{Mg}+\text{Mn}$ değerlerinin karşılaştırılması.



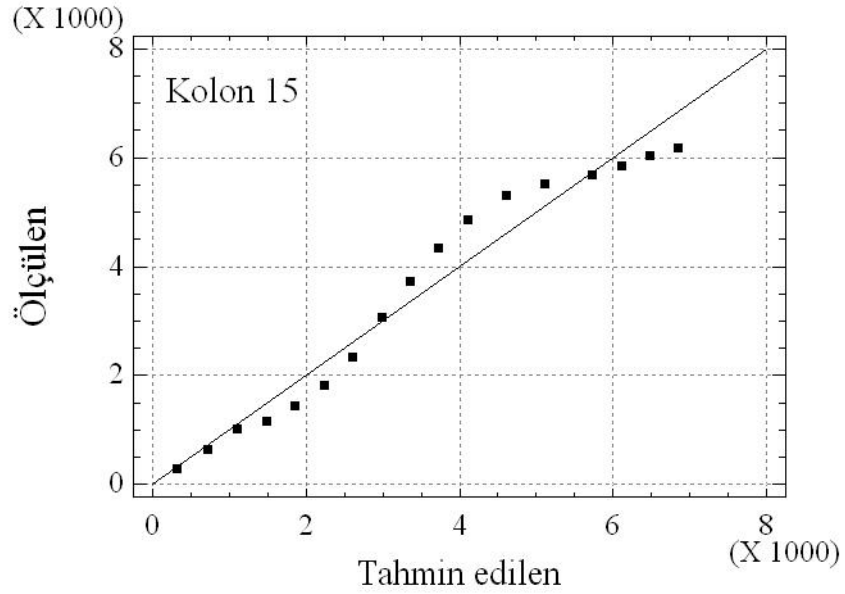
Şekil 6.26 Kümülatif SO_4 ile Çizelge 6.7'de Kolon 14 için verilen eşitlik esas alınarak tahmin edilen kümülatif SO_4 değerlerinin karşılaştırılması.



Şekil 6.27 Kümülatif $\text{Ca}+\text{Mg}+\text{Mn}$ ile Çizelge 6.7'de Kolon 14 için verilen eşitlik esas alınarak tahmin edilen kümülatif $\text{Ca}+\text{Mg}+\text{Mn}$ değerlerinin karşılaştırılması.



Şekil 6.28 Kümülatif SO_4 ile Çizelge 6.7'de Kolon 15 için verilen eşitlik esas alınarak tahmin edilen kümülatif SO_4 değerlerinin karşılaştırılması.



Şekil 6.29 Kümülatif $\text{Ca}+\text{Mg}+\text{Mn}$ ile Çizelge 6.7'de Kolon 15 için verilen eşitlik esas alınarak tahmin edilen kümülatif $\text{Ca}+\text{Mg}+\text{Mn}$ değerlerinin karşılaştırılması.

6.4 Kinetik Kolon Deneyleri Sırasında Alınan Cevher Örnekleri Üzerinde Yapılan XRF Analizlerine İlişkin Değerlendirmeler

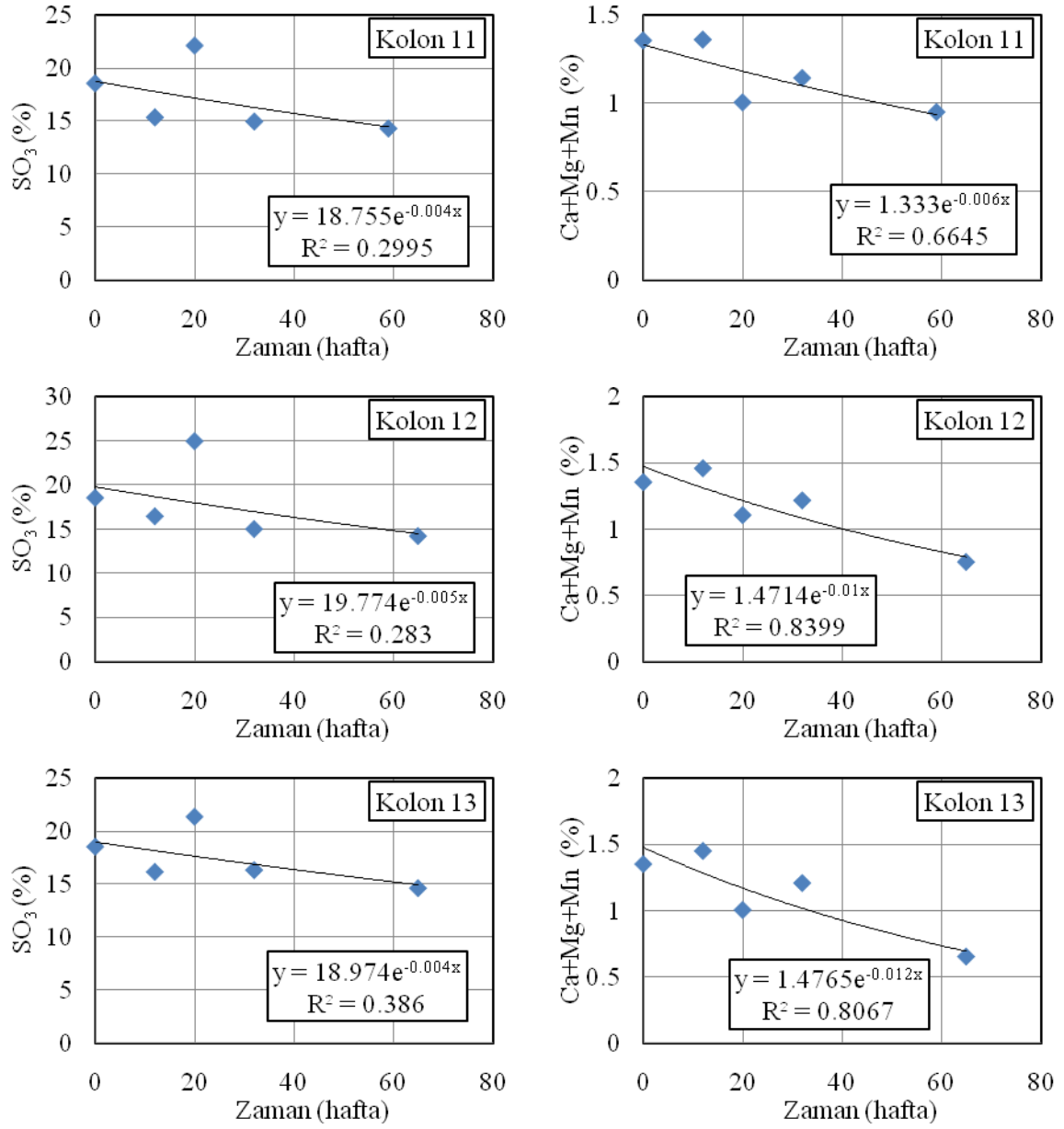
Kinetik kolon deneyleri boyunca farklı zamanlarda kolonlardan alınan cevher örnekleri üzerinde, Na_2O , MgO , Al_2O_3 , SiO_2 , P_2O_5 , K_2O , CaO , TiO_2 , MnO , Fe_2O_3 , SO_3 ve CuO gibi major elementlerinin yüzdesinin belirlenmesi amacıyla XRF analizler gerçekleştirilmiştir. AMD amaçlı yapılan deneyler boyunca meydana gelen değişimin, özellikle kimyasal bozunma sürecinin takibi için, cevher örneklerinin deney öncesi majör element yüzdeleri belirlenmiş ve Çizelge 5.9’da verilmiştir. Deney öncesi XRF analizlerinin yanı sıra, deney sırasında farklı haftalarda orta tane boyu (-3.35 mm) örneklerinin kullanıldığı kolonlarda toplam dört ayrı XRF ölçümü alınmıştır. İnce tane boyuna (-0.625 mm) sahip örneklerin kullanıldığı 23 ile 34 arasında değişen kolon numaralarına sahip örneklerde deney sırasında farklı haftalarda asit oluşum sürecinin daha kısa sürede tamamlanması nedeniyle, burada kolonlardan iki kez örnek alınmış ve örnekler üzerinde XRF analizleri gerçekleştirilmiştir. Orta ve ince tane boyuna sahip örneklerin kullanıldığı bütün kolonlarda farklı zamanlarda gerçekleştirilen XRF analiz sonuçları Ek 4’te verilmiştir.

XRF analizleri sonucunda, asit oluşum sürecinde oksitlenme için toplam MgO , CaO ve MnO ve nötürleştirme açısından da önemli olan SO_3 elementinin zamana bağlı değişimleri incelenmiş ve 11-22 no.lu kolonlar için söz konusu ilgili grafikler Şekil 6.30’da verilmiştir. Şekil 6.30’da da görüldüğü gibi, kolonlarda alınan örnekler üzerinde yapılan XRF analiz sonuçlarına göre, asit oluşum sürecinde örneklerde önemli oranda MgO , CaO , MnO ve SO_3 tüketimi mevcuttur.

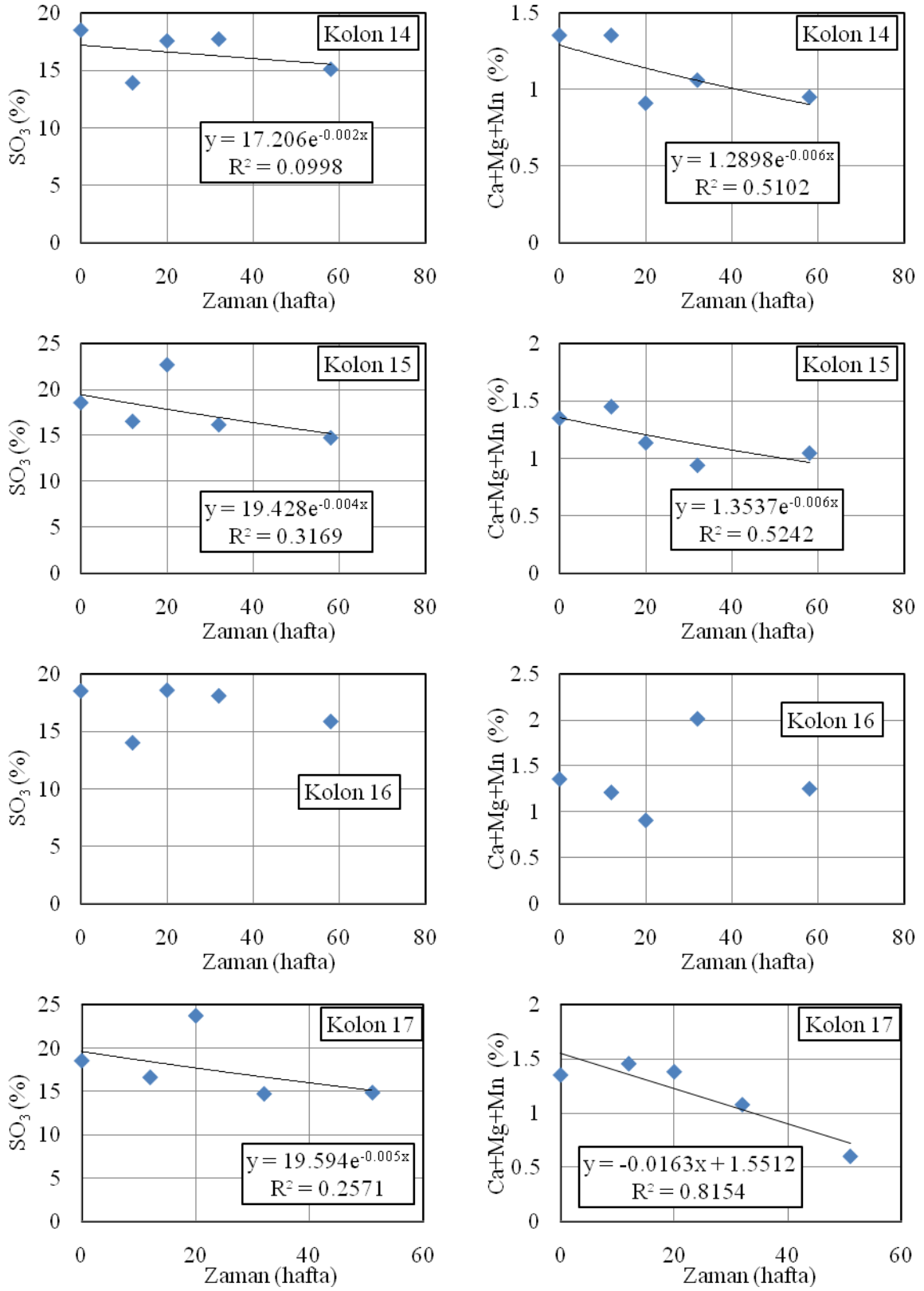
Kinetik kolon deneyleri sırasında cevher örneklerindeki toplam MgO , CaO , MnO ile SO_3 tüketiminin belirlenmesi için her bir element için en son alınan ölçümden deneye başlamadan önce alınan ölçüm arasındaki farktan yararlanılmış ve elde edilen sonuçların istatistiksel değerlendirme sonuçları Çizelge 6.8’de verilmiştir.

Çizelge 6.8 Kinetik kolon deneyi sonrası cevher örneklerdeki MgO, CaO, MnO ve SO₃ tüketiminin değişim aralıkları.

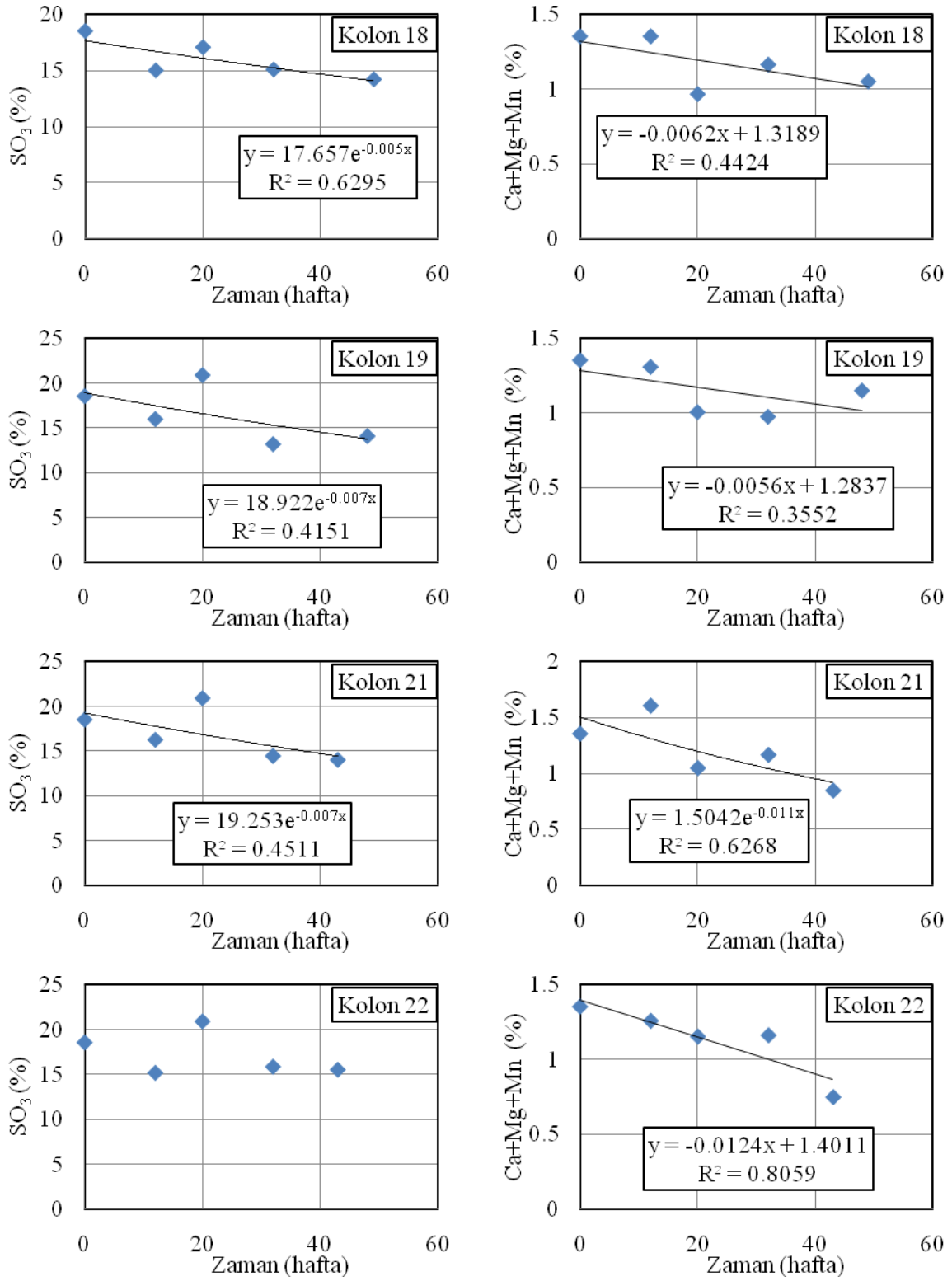
Tane boyu (mm)	Majör elementler (%)	Örnek sayısı	Değişim Aralığı		Aritmetik Ortalama
			En Düşük	En Yüksek	
-3.35	Toplam (MgO, CaO, MnO)	11	0.11	0.76	0.45
	SO ₃	11	2.65	4.50	3.86
-0.625	Toplam (MgO, CaO, MnO)	8	0.005	0.805	0.53
	SO ₃	8	3.25	4.25	4.01



Şekil 6.30 Farklı kolonlarda kinetik kolon deneyi süresince alınan cevher örneklerinden belirlenen SO_3 ve toplam $\text{Ca}+\text{Mg}+\text{Mn}$ değerlerinin zamana bağlı değişim grafikleri.



Şekil 6.30 Devam ediyor.



Şekil 6.30 Devam ediyor.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Asit maden drenajı (AMD), başladıktan sonra durdurulması oldukça güç ve kontrolü pahalı süreç olup, yüzey ve yeraltı sularının kirlenmesine neden olabilmektedir. Kirlenen suların temizleme çalışmalarının fazla maliyetli olması sebebiyle oluşumlarının önceden olabilirliğinin doğru tahmin edilmesi maden işletme çalışmalarının tasarımı açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle ülkemizde konu ile ilgili uzun süren çalışmalar gerçekleştirilmiş ve 23 Ocak 2010 tarihli 27471 sayılı resmi gazetede yayınlanan yönetmelikle, madencilik faaliyetleri ile bozulan arazilerin doğaya yeniden kazandırılması kapsamında işletme alanı ve yan kayacın olası asit maden drenajının belirlenmesi ve önlemlerin alınması yasal olarak zorunlu hale gelmiştir. Söz konusu bu yönetmelikle, asit maden drenajı asitli su olasılığının saptanması ve alıcı ortamlara etkisinin en aza indirilmesi için ihtiyaç duyulan önlemlerin alınması koşulu getirilmiştir. Günümüze değin, AMD belirlenmesinde kimyasal, mineralojik ve kinetik koşulları esas alan bir çok deney, analiz ve değerlendirme yöntemi önerilmiştir. Birçok araştırmacı tarafından oldukça yaygın bir şekilde AMD potansiyeli belirleme çalışmalarında kullanılan “kinetik kolon deneyi” için kabul görülen bir standart bulunmamaktadır. Bu çalışma kapsamında, yaygın bir şekilde kullanılan kinetik kolon deneyindeki sınırlama dikkate alınarak, asit maden drenaj oluşum mekanizmasının farklı boy ve çapta hazırlanan kolonlar kullanılarak, farklı tane boyunda hazırlanan cevher örnekleri üzerinde yapılan deneylerle araştırılması ve modellenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, Artvin ili Murgul İlçesi yakınlarındaki Eti Bakır A.Ş. tarafından işletilen Damar açık işletmelerindeki Üst Kretase yaşlı volkanik birimlerden cevher örnekleri alınmış ve alınan örnekler üzerinde önceden planlanan kapsamlı deneysel çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu tez çalışması kapsamında, hedeflenen amaçlar doğrultusunda yapılan bütün kimyasal ve mineralojik analizler, kinetik kolon deneyi ile bu analiz ve deneylerde elde edilen veriler üzerinde yapılan istatistiksel analizler sonucunda elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1. Kaya malzemelerinin bozunmasında ve dolayısıyla sülfür mineralleri bakımından zengin bir maden yatağında asit maden drenajı oluşumunda bölgenin yağış, buharlaşma ve sıcaklık değişimleri önemli bir etkiye sahiptir. AMD oluşumu üzerindeki iklim koşullarının önemi dikkate alınarak, Artvin meteoroloji istasyonunun son elli yıllık verileri kullanılmış ve örneklemelerin yapıldığı Damar yataklarında uzun döneme ait sıcaklık ve yağış dağılımlarının değerlendirilmesi yapılmıştır. Artvin meteoroloji istasyonundan alınan veriler değerlendirme sonuçlarına ve yapılan arazi çalışmalarına göre, örneklem

bölgesinde bulunan kaya ve cevher örneklerinin fiziksel, kimyasal ve biyolojik bozunma süreçlerine maruz kaldığı tespit edilmiştir. Aynı zamanda bölgedeki son elli yılın verileri esas alınarak belirlenen 12.03°C ortalama sıcaklık ile 70.9 cm ortalama yıllık yağış miktarı değerleri önceki araştırmacılar tarafından önerilen grafiklerden, örneklemenin gerçekleştirildiği kayaların üzerinde orta derecede kimyasal bozunmanın etkili olduğu saptanmıştır. Artvin ili DMİ son 50 yıllık verileri tüm aylar dikkate alındığında buharlaşmanın çalışma alanında %2.70 ile %21.54 arasında değiştiği tespit edilmiştir.

2. Çalışma alanında bulunan kaya kütlelerine ait süreksizlik özelliklerinin araştırılması ve bu süreksizlik özelliklerinin cevher damarlarını içeren kaya kütlelerinin bozunması ve sonrasında asit oluşumu üzerindeki etkinin ortaya konulması için, kazı çalışmalarının yapıldığı işletmede bulunan kaya şevleri aynalarında gerçekleştirilen hat etüdü çalışmalarında elde edilen verilerin analizi sonucu eğim/eğim yönü değerleri sırasıyla 75/084 ve 76/190 olan iki ana süreksizlik seti tespit edilmiştir. Bu ana süreksizlik setleri yanı sıra, yeraltı suyu akışı ve dolayısıyla ortamdaki bozunma süreçleri üzerinde etkili olabilen farklı konumlara sahip başka süreksizliklerin varlığı da saptanmıştır. Hat etüdü çalışmalarıyla, devamlılıkları 1-12 m arasında değişen süreksizliklerin yanı sıra, süreksizliklerin önemli bir kısmının ise genel olarak devamlılıklarının 20 m'den daha büyük olduğu belirlenmiştir. Süreksizlik yüzeylerinin pürüzlülüğünün düz-az pürüzlü veya dalgalı-pürüzlü olarak tanımlanmıştır. Ortamın geçirimsizliği açısından önemli olan süreksizlik açıklıkları ortalama 3.4 mm olduğu, süreksizliklerin önemli bir kısmının kapalı olduğu ve açık olan süreksizliklerinde herhangi bir dolgu malzemesi tarafından doldurulmadığı tespit edilmiştir.
3. Damar ocağındaki üretim çalışmaları sonucunda oluşan ve arazi koşullarında fiziksel ve kimyasal bozunma süreçlerine maruz kalan parçalanmış kaya malzemelerin tane boyu dağılımlarının tespiti için, görüntü analiz tekniğinden yararlanılması öngörülmüş ve bu amaçla farklı boyutlarda parçalanma gösteren kaya birimlerinin tüm tane boyu dağılımının net gözlenebileceği belirli bir uzaklıktan, ölçekli ve ilgilenilen yüzeye mümkün olduğunca dik yönde fotoğrafları çekilmiştir. Bu kaya malzemelerinin tane boyu dağılım belirlenmesinde, özellikle parçalanmış kayaların tane boyu dağılımının belirlenmesi için geliştirilen bir dijital görüntü analiz programı kullanılmıştır. Damar ocağındaki volkanik kayalardan doğal atmosferik koşullar altında bozunma süreçlerine

maruz kalan ve AMD oluşumu üzerinde etkili olan kaya malzemelerinin tane boyu dağılım eğrileri değişkenlik göstermektedir. Cevher içermediği kabul edilen yan kayaç malzemesi genel olarak iri bloklardan ibaret olup tane boyu değerleri yaklaşık olarak 15-75 cm arasında değişmektedir. AMD oluşumunda daha fazla etkili olduğu düşünülen kaya malzemeleri ise hemen hemen birbirine benzer tane boyu dağılım eğrilerine sahiptirler. Bu kaya paçalarının tane boyu değerleri 0.1 ile 15 cm arasında değişmektedir. Tane boyu dağılım grafikleri genel olarak benzerlik gösteren (0.1-15 cm) bu lokasyonlarda ince tane boyu malzemelerin tane boyu ölçümleri için alınan detaylı makro çekimlere ait görüntülerin analizlerinde ise tane boyu değerinin önemli bir kısmının 0.1 ile 4 cm arasında değiştiği saptanmıştır. Arazideki koşulları temsil ettiği düşünülen iri, orta ve ince tane boyu sınıfına ait tane boyu dağılım eğrilerinin D_{30} , D_{50} ve D_{80} değerleri belirlenmiş ve ilgili bölümde çizelge şeklinde verilmiştir.

4. Kinetik kolon deneyleri için toplamda 24 ayrı ve farklı boy/çap oranına sahip kolonlardan oluşan düzenek özel olarak dizayn edilmiştir. Doğal koşullardaki bozunma süreçleri de dikkate alınarak imal edilen bu kolonların ekonomik, her türlü örneğin kullanılmasına izin veren, derin madencilik metotlarının da uygulanabileceği, oksijen kontrolü sağlayan, istenen debide pompa ihtiyacı olmadan damlama yapılabilen ve ayrıca ek filtrasyon gerektirmeyen şekilde tasarlanmıştır. Dizayn edilen kinetik kolon deney düzenekleri, atmosfere açık yüzeyli ve atmosfere kapalı yüzey olmak üzere iki sistemde tasarlanmış ve böylelikle açık ocak madenciliği ve kapalı ocak madenciliğini yansıtır model oluşturulmuştur. Ayrıca tesisat hattı ve hava geçiş vanaları sayesinde istenirse bakteri aşılmasına imkan verebilmektedir. Sistem istenmesi durumunda atık malzemesinin kinetik davranışını belirlemek üzere çalıştırılabilir konumda yapılmıştır. Araziden alınan cevher örneklerinin tane boyu, maden zenginleştirme yöntemleri ve uluslar arası platformda yapılan çalışmalarda olduğu üzere orta tane (-3.35 mm) ve ince tane (-0.625 mm) boyuna ayrılarak asit maden drenaj oluşumuna etkisinin incelenmesi planmış ve bu plan doğrultusunda kinetik kolon deneyleri için farklı platformlar hazırlanmıştır. Her düzeneğe ait kolonların boy, çap ve hacim bilgileri ilgili bölümde çizelge halinde hazırlanarak verilmiştir.
5. Çalışma kapsamında kullanılan örneklerin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla birim hacim ağırlık (γ), gözeneklilik (n), ağırlıkça su emme (A_w) ve boşluk oranı (e) gibi fiziksel özelliklerinin belirlenmesine yönelik deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu

deneyler sonucundan cevher örneklerinin birim hacim ağırlık, porozite, ağırlıkça su emme ve boşluk oranı parametrelerinin değişim aralıklarının sırasıyla, 27.09-38.54 kN/m³, %1.01-2.68, %0.27-0.92 ve 0.010-0.027 olduğu saptanmıştır. Cevher örneklerinin belirlenen bu fiziksel özellikleri, kinetik kolon deneyi için örneklerin kolonlara konulması sırasında, çalışma sahasındaki doğal koşulların temsil etmesini sağlamak amacıyla göz önünde bulundurulmuştur.

6. Sülfür mineralleri bakımından zengin cevherli kayalardaki AMD oluşumu ve bu oluşumun miktarı, oluşum üzerinde etkin olan süreçlerin (özellikle kimyasal bozunma süreçlerinin) etkin olduğu tane yüzey alanıyla doğrudan ilişkisi dikkate alınarak, farklı tane boylarında hazırlanan ve kinetik kolon deneylerine tabi tutulan malzemelerin yüzey alanları ve gözenek yarıçapları saptanmıştır. Yapılan analizlere göre, orta tane boyu (-3.35 mm) cevher örneklerinin yüzey alanı değerleri 0.9844 m²/g, ince tane boyu (-0.625 mm) cevher örneklerinin yüzey alanı değerleri ise 1.238 m²/g olarak saptanmıştır. Kinetik kolon deneylerinde kullanılan bu örneklerin gözenek yarı çapı değerleri ise, orta tane boyu cevher örnekleri için 48.87-15.859 A° ve ince tane boyu cevher örnekleri için ise 67.94-22.638 A° arasında değiştiği tespit edilmiştir. Alınan bu sonuçlara göre, ince tane boyu örneklerinin kullanıldığı kolonlarda yüzey alanı parametresinin daha yüksek olması nedeniyle kimyasal bozunma süreçlerinin bu kolonlarda daha etkin olduğu ve AMD oluşumun daha hızlı gerçekleştiği saptanmıştır.
7. Kinetik kolon deneyinde suyun kolon içerisindeki ilerleme özellikleri, diğer bir ifadeyle hidrolik iletkenlik parametreleri kolonlara konulan örneklerde meydana gelecek bozunma süreçleri ve bu süreçlerin etki derecesi ile doğrudan ilişkisi dikkate alınarak ve sabit seviyeli permeabilite deney sistemi esas alınarak, farklı boy ve çaplarda imal edilen kolon düzeneklerine konulan örneklerin hidrolik iletkenlik katsayıları (K) belirlenmiştir. AMD deneylerinde kullanılan kolonların boyutları ve sabit seviyeli permeabilite deneyleri ile belirlenen hidrolik iletkenlik katsayısı değerlerinin ortalamasının 0.01122 cm/s olduğu ve 0.0017 cm/s ve 0.0231 cm/s arasında değiştiği saptanmıştır. Bu çalışmada öğütülerek farklı tane boyunda hazırlanan örneklerin belirlenen hidrolik iletkenlik katsayısı değerleri, önceki çalışmalarda doğal çimentolanmamış çökeller için önerilen hidrolik iletkenlik değerleri ile karşılaştırılmış ve kinetik kolon deneylerinde kullanılan bu örneklerin tamamının doğal çakıl örnekleri ile genel olarak benzer hidrolik iletkenlik değerlerine sahip oldukları tespit edilmiştir. Ayrıca, hazırlanan kolonların geçirimsizlik derecelerinin belirlenmesi için USBR (1974)

tarafından önerilen yaklaşım göz önünde bulundurulmuş ve kinetik kolon deneyi için hazırlanan bütün örneklerin iyi drenaj özelliğine sahip oldukları saptanmıştır.

8. Kinetik kolon deneyleri için alınan örneklerin mineralojik bileşimlerinin tespiti amacıyla X-ışınları kırınımı analizleri gerçekleştirilmiş ve yapılan analizlere göre; örneklerin önemli bir kısmının kuvars, kalkopirit ve pirit mineralleri bakımından zengin olduğu tespit edilmiştir. Doğal örneklerin yanı sıra, kinetik kolon deneyinde kullanılan örneklerdeki kimyasal bozunma sürecinin kontrolü için belirli aralıklarda her bir kolonda alınan örnekler üzerinde de XRD analizleri gerçekleştirilmiştir. Şimdiye kadar, XRD analizleri ile elde edilen grafiklerden minerallerin yüzdesinin belirlenmesi amacıyla bir çok yöntem önerilmiş olmasına karşın, bu yöntemlere göre yüzdelere belirlenmesi yarı-nicel bir değerlendirme olup, incelenen malzemelerin gerçek mineral yüzdelere göstermemektedir. Dolayısıyla, XRD analizlerinin kinetik kolon deneyi sırasında meydana gelen AMD ve ilgili bozunma süreçleri sonucu oluşan yeni minerallerin belirlenmesinde yararlanılabilecek kadar hassas sonuçlar vermediği tespit edilmiştir. Ayrıca, bozunma süreçleri sonucu oluşan yeni bozunma minerallerinin miktarı diğer minerallere oranla oldukça düşük olması nedeniyle söz konusu mineral piklerinin kırınım şiddeti değerlerinin incelenmesine olanak sağlayacak seviyede olmadığı saptanmıştır. Ancak, farklı zamanlarda alınan örnekler üzerinde elde edilen X-ışınları kırınım grafiklerinin kırınım şiddeti piklerinin deney öncesi örneklerde elde edilen pikler ile karşılaştırıldığında, göreceli olarak bazı minerallerin miktarında artış ve bazı minerallerinde miktarında ise azalmanın söz konusu olduğu tespit edilmiştir. Kinetik kolon deneyi sırasındaki bozunma süreçleri ile bazı minerallerin bulunma oranlarında meydana gelen değişimin sayısal bir yaklaşımla tespiti için, ayrıntısı ilgili bölümde verilen kırınım şiddeti farkı (XRD_{fark}) kavramı önerilmiştir. Bu kavram kullanılarak yapılan analizlerde, kinetik kolon deneyleri sırasında kuvars minerallerine ait piklerde göreceli olarak artış gözlenirken, pirit ve kalkopirit gibi AMD oluşumu açısından önemli olan sülfürlü minerallerin piklerinde de azalmanın söz konusu olduğu saptanmıştır.
9. Kinetik kolon deneyi için hazırlanan deney sonrası alınan örneklerdeki cevher mineralleri ve bu minerallerin göstermiş olduğu yapı ve dokunun tanımlanması için doğal ve kinetik kolonda bozunma ürünü örnekler üzerinde cevher mikroskobu çalışmaları yapılmıştır. Doğal ve bozunmaya uğramamış bu örnekler üzerinde yapılan

incelenmeler sonucu örneklerde, sırasıyla kalkopirit, pirit, sfalerit, fahlers, galenit ve eser miktarda tellür ile limonit (götüt türü) gibi cevher mineralleri izlenmiştir. Ayrıca, kolonlarda, kinetik deneyler sırasında iki farklı tarihte alınan örneklerin cevher mikroskobisi incelemesi sonucu ve yukarıda değinilen minerallerin yanı sıra, bazı ikincil bozunma ürünü mineral oluşumları da saptanmıştır.

10. Orta (-3.35 mm) ve ince (-0.625 mm) tane boyuna sahip örneklerin kantitatif mineralojik ve serbestleşme derecesi analizleri “mineral serbestleşme derecesi analizleri” (MLA) yöntemiyle yapılmıştır. Yapılan bu analizlerde orta tane boyu için başlıca % 38 kalkopirit, % 32.5 kuvars, %19.5 pirit, % 6.5 biyotit, %3 ankerit ve % 0.5 diğer mineralleri tespit edilmiştir. Ayrıca, ince tane boyu örneklerde yapılan analizlerde sırasıyla, % 37.5 kuvars, % 32 kalkopirit, %23 pirit, % 4.75 biyotit, %2.25 ankerit ve % 0.5 diğer mineralleri saptanmıştır. MLA yöntemine göre, orta ve ince tane boyu cevher örneklerinde sırasıyla % 57.5 ve % 55 oranında önemli sülfür mineralleri (pirit ve kalkopirit) bakımından zengin oldukları tespit edilmiştir. Üstten aydınlatmalı polarizan mikroskop altında yapılan incelemelerde, çoktan aza doğru; pirit (FeS_2), kalkopirit (CuFeS_2), sfalerit (ZnS), fahlerz ve bizmut gibi başlıca cevher mineralleri belirlenmiştir. Ayrıca, az miktarda bornit (Cu_5FeS_4), arsenopirit (FeAsS), galenit (PbS), limonit (FeOOH), rutil (TiO_2) gibi diğer cevher mineralleri saptanmıştır. Bu cevher minerallerinin yanı sıra, üstten aydınlatmalı polarizan mikroskop altında tanımlanamamış olan, ancak MLA çalışmaları sırasında belirlenen Fe (%19.10), Mg (%13.75), Mn (%0.82), C (%20.19) ve O (%45.43) elementsel içeriğine sahip minerale (Fe,Mg) karbonat adlandırması yapılmıştır.
11. Kinetik kolon deneyi için hazırlanan yedi adet cevher örneği üzerinde gerçekleştirilen X-ışınları floresans (XRF) analizleri sonuçlarına göre, cevher örneklerinin sırasıyla SiO_2 (%45.82), SO_3 (%18.55), Fe_2O_3 (%14.37) ve CuO (%9.6) bakımından zengin olduğu saptanmıştır.
12. Cevher örnekleri üzerinde, kinetik kolon deneyine maruz bırakılmadan önce, üç farklı statik deney ile bu örneklerin AMD oluşum potansiyelinin belirlenmesi için gerçekleştirilmiştir. Elde edilen verilerle örneklerin “Asitleşme Potansiyeli” (AP), “Nötrleşme Potansiyeli” (NP) ve “Nötrleşme Potansiyeli Oranı” (NPR) parametreleri hesaplanmıştır. Bu parametreler kullanılarak yapılan karşılaştırmalara göre, cevher örneklerinin net nötralizasyon potansiyeli verileri asit oluşturan kısımda yer almakta

olduğu saptanmıştır. Statik deney uygulama sonuçlarına göre, cevher örneklerinin asit üretim potansiyeli değerleri, asit tüketim potansiyeli değerlerinin yaklaşık olarak 7 ile 48 katı arasında değişmektedir.

13. Kinetik kolon deneyi için kullanılan örnekler arazi koşullarındaki doğal yoğunlukları göz önünde bulundurularak kolonlara konulmuştur. Ancak, zamanla ortama su aktarılması ve muhtemel meydana gelen bozunma süreçleri sonucu tanelerin kontak noktalarındaki dayanım kaybı sonucu, örneklerin daha yoğun duruma geçtiği, özellikle ince tane boyuna sahip tanelerin gözenekleri (boşlukları) doldurduğu ve dolayısıyla sekizinci haftadan itibaren kolon içerisinde örneklerin sinmeye başladığı tespit edilmiştir. Bu örneklerin daha yoğun bir duruma geçmeleri nedeniyle, kolon boyunca çözünmüş oksijen miktarı dolaşımı azalmış ve kısmi pH yükselmeleri kaydedilmiştir. Kolonlarda meydana gelen bu çökeltme, bu tez çalışması kapsamında önerilen “azalım yüzdesi” parametresi tanımlanmıştır. En yüksek oranda çökeltme -0,625 mm tane boyuna sahip cevher örneklerinin bulunduğu kolonlarda yaklaşık olarak %2.5 olarak tespit edilmiştir.
14. Kinetik kolon deney sürecinde ıslanma kuruma döngüsüne tabi tutulan örneklerde tane boyunda azalmaların öngörülmesine karşın, deney sonrasındaki aynı örneklerin tane boyu dağılım grafiklerinin daha iri tane boyuna sahip olduğu saptanmıştır. Söz konusu bu durumun deney sırasında meydana gelen kimyasal bozunma ve sonrasında oluşan bozunma ürünlerinin taneler arasında topaklaşma etkisi gösterdiği sonucuna varılmıştır.
15. Kinetik kolon deney süresinin tamamı göz önünde bulundurulduğunda pH değerleri uzun zaman sonra azalım göstermekte, buna karşın haftalık ölçümler dikkate alındığında ise, pH değerlerinin düzensiz olarak azalıp yükseldiği tespit edilmiştir. Önceki çalışmalarda da vurgulandığı gibi, AMD oluşum sürecinde ortamın pH değerlerindeki değişimin düşüp yükselmesinden kaynaklanan gecikmeler uzun zaman almaktadır. Bu çalışma kapsamında kinetik kolon deneyleri sırasında alınan pH ölçümlerinin dördün altına düşünceye kadar geçen süre “gecikme zamanı” olarak tanımlanmıştır. Orta tane boyuna sahip örneklerde AMD oluşumu kolonların boyutlarına bağlı olarak yaklaşık 43-65 hafta arasında başlarken, ince tane boyuna sahip örneklerde bu sürecin yaklaşık olarak 21 ile 38 hafta arasında başladığı saptanmıştır. Maksimum ve minimum değerler dikkate alındığında, orta tane boyuna sahip

örneklerdeki asit oluşumunun, ince tane boyuna sahip örnekler nazaran yaklaşık 22-27 hafta sonra olduğu tespit edilmiştir. Ölçülen pH değerlerinin zamana bağlı değişimi dikkate alınarak belirlenen gecikme zamanı parametresi, kolonların boy, çap, boy/çap oranı ve kolon hacmi gibi parametreler ile ilişkisi basit regresyon analiz yöntemleri kullanılarak araştırılmış ve elde edilen sonuçlara göre gecikme zamanının boy/çap oranı dışındaki yukarıda belirtilen diğer tüm parametreler ile istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler verdiği tespit edilmiştir.

16. Kinetik kolon deneylerinin başlangıç aşamasında ölçülen pH değerlerinde meydana gelen düşüşe ters orantılı olarak sülfat ve Ca+Mg+Mn konsantrasyonlarının arttığı ve sonrasında pH değerlerinde meydana gelen dalgalanmalara paralel olarak sülfat ve bu elementlerin konsantrasyonlarında da dalgalanmaların mevcut olduğu tespit edilmiştir. Ancak, belli bir zaman sonra her iki parametrenin de konsantrasyonunda azalım olmaktadır. Deney sonuna doğru pH değerinin 5.5'in altına düşmesiyle, Ca+Mg+Mn konsantrasyonu ani olarak artış göstermiştir. Ayrıca, kinetik kolon deneylerine tabi tutulan bütün kolonlardaki belirlenen toplam Ca+Mg+Mn ve sülfat (SO_4) oranlarının aynı anda artmakta ve azalmakta oldukları saptanmıştır.
17. Kolonlardaki hacim azalmasına paralel olarak, ölçülen SO_4 ve toplam Ca+Mg+Mn değerlerinde önemli oranda azalmanın gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bu nedenle, kolon boyu, çapı ve hacmi parametresi ile kümülatif SO_4 ve kümülatif Ca+Mg+Mn oranları arasındaki ilişki basit regresyon analiz yöntemi dikkate alınarak araştırılmıştır. Söz konusu bu istatistiksel çalışmalar, tane boyu parametresinin AMD oluşumu üzerindeki etkisi de dikkate alınarak, hem orta tane boyuna sahip örneklerin kullanıldığı kolonlar, hem de ince tane boyuna sahip örneklerin kullanıldığı kolonlar için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Kümülatif sülfat ve kümülatif Ca+Mg+Mn konsantrasyonu ile kolon boyutları parametreleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bağıntılar hem ince taneli hem de orta boyuta sahip örnekler için mevcut olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, son ölçüm haftaları dikkate alınarak normalize edilen kümülatif SO_4 ve kümülatif Ca+Mg+Mn konsantrasyonlarının da benzer şekilde istatistiksel olarak anlamlı ve yüksek korelasyon katsayısına sahip bağıntılar verdiği tespit edilmiştir.
18. Kümülatif SO_4 ve Ca+Mg+Mn arasında eksponansiyel, logaritmik, üssel ve doğrusal bağıntılar dikkate alınarak yapılan basit regresyon analizlerinde, istatistiksel olarak anlamlı ve en yüksek korelasyon katsayısına sahip doğrusal bağıntılar tespit edilmiştir.

Kümülatif SO_4 , kümülatif $Ca+Mg+Mn$ ve kümülatif pH değerlerinin zaman parametresine göre değişimlerini kapsayan istatistiksel analizlerde anlamlı ilişkiler elde edilmiştir. Bu ilişkiler sadeleştirildiğinde, parametreler için *Kümülatif $SO_4 = a_1x$* , *Kümülatif $Ca+Mg+Mn = a_2x$* ve *Kümülatif $pH = a_3 - b \cdot \ln(x)$* gibi genel ilişkiler elde edilmiştir. Bu ilişkilerdeki a_1 , a_2 , a_3 ve b katsayıları (eğimleri) kullanılan kolonların boy, çap ve hacim parametreleri ile istatistiksel olarak anlamlı ve oldukça yüksek korelasyon katsayısına sahip ilişkiler vermiştir. Söz konusu bu eşitlikler kullanılarak a_1 ve a_2 parametreleri istenen herhangi bir kolon boy, çap ve hacmi için belirlenebilir ve bu boyutlar için kümülatif SO_4 ve/veya kümülatif $Ca+Mg+Mn$ değerlerinin tahmininde kullanılması açısından önemli olduğu öngörülmektedir.

19. Kümülatif SO_4 ve kümülatif $Ca+Mg+Mn$ değerleri bağımlı, kümülatif pH ve zaman (hafta) parametreleri ise bağımsız değişken olarak seçildiği çoklu regresyon analizlerinde istatistiksel olarak anlamlı ve oldukça yüksek korelasyon katsayısına sahip ilişkiler elde edilmiştir. Bu ilişkilerin performansların analizleri için kimyasal analizlerden doğrudan ölçülen kümülatif SO_4 ve kümülatif $Ca+Mg+Mn$ değerleri tahmin edilen bu değerlerle karşılaştırılmış olup, söz konusu verilerin fazla saçılım göstermediği ve önemli bir kısmının 1:1 çizgisine oldukça yakın bir şekilde dağıldıkları tespit edilmiştir.
20. Kinetik kolon deneyleri sırasında etkin olan bozunma süreçlerinin cevher örnekleri üzerindeki etkisinin saptanması amacıyla, deney öncesinde ve sonrasında alınan örnekler üzerinde XRF analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerde elde edilen sonuçlar kullanılarak, asit oluşum sürecinde oksitlenme için toplam MgO , CaO ve MnO ve nötürleştirme açısından da önemli olan SO_3 elementinin zamana bağlı değişimleri incelenmiş ve asit oluşum sürecinde örneklerde önemli oranda MgO , CaO , MnO ve SO_3 tüketimi mevcut olduğu belirlenmiştir.

Yukarıda elde edilen sonuçlara göre, asit maden drenajı oluşum mekanizmasının araştırılmasına yönelik yapılacak çalışmalarda, aşağıda belirtilen hususların dikkate alınması önerilir.

- a) Bu tez çalışması kapsamında yapılan çalışmalara benzer araştırmaların farklı mineralojik ve kimyasal bileşim ile değişik yapı ve doku sunan başka bir açık maden ocağı için gerçekleştirilmesinin yararlı olacağı düşünülmektedir.

- b) pH değerlerinin dördün altında olan asidik su ve sahaların rehabilitasyonunda yapılacak nötürleştirme çalışmalarının kinetik kolon deneyleri ile araştırılması önerilir.
- c) Bu tez çalışması kapsamında kullanılan orta ve ince tane boyu dışında daha iri tane boyu cevher örneklerinin de kullanılarak tane boyu parametresinin kinetik kolon deneyinde elde edilecek sonuçlar üzerindeki etkisinin araştırılması ve bu çalışmada kullanılan örneklerden belirlenen sonuçlarla birlikte kullanılarak laboratuvarla modellenen AMD oluşum mekanizmasının arazi koşullarına yansıtılmasına yönelik araştırmaların yapılmasının yararlı olacağı düşünülmektedir.
- d) Laboratuvarda yapılan kinetik kolon deneylerinin arazide güvenli ekipman kullanılarak yapılması ve sonuçlarının değerlendirilerek laboratuvar verileri ile karşılaştırılması önerilir.
- e) Farklı bölgelerdeki meteorolojik verilerde meydana gelen değişiklikler göz önünde bulundurularak, kinetik kolon deneyi üzerindeki değişik ıslanma-kuruma çevrimlerinin etkisinin araştırılmasının yararlı sonuçlar sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1] Abdioğlu, E., Arslan, M. ve Kadir, S., 2009, Murgul (Artvin) masif sülfür yatağı çevresindeki volkanik kayaların alterasyon mineralojisi ve jeokimyası, KD Türkiye.
- [2] Adam, K., Kourdis, A., Gazea, B. and Kontopoulos, A., 1997, Evaluation of static tests used to predict the potential for acid drainage generation at sulfide mine sites, Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, section A, mining industry 106, A1–A8.
- [3] Anon, 1995, The description and classification of weathered rocks for engineering purposes, Quarterly Journal of Engineering Geology, 28, 207-242.
- [4] Arıkan, F., 2002, Asidik volkanik kayalar için mühendislik amaçlı bozunma sınıflaması, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 244s (yayınlanmamış).
- [5] Arıkan, F., Yoleri, F., Sezer, S., Çağlayan, D., Biliyul, B., 1997. Artvin- Murgul Çakmakaya ve Damar sahalarının çevre stabilitesi etüdü. MTA Rapor No: 9986, 150s (yayınlanmamış).
- [6] ASTM, 1972, Inorganic index to the powder diffraction file, Joint Committee on Powder Diffraction Standards, Pennsylvania, 1432 p.
- [7] ASTM, 1996, Standard test method for accelerated weathering of solid materials using a modified humidity cell: American Society for Testing and Materials, D 5744-96 (2001), 13 p. (reapproved 2001).
- [8] ASTM, 2000a, D 5744-96, Standard test method for accelerated weathering of solid materials using a modified humidity cell, Annual Book of ASTM Standards, 11.04, Annual Book of American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA., 257-269.
- [9] ASTM, 2000b, Standard test method for permeability of granular soils (constant head), Annual Book of American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA , United States.
- [10] Babij, T., Goodman, A., Khalid, A.M. and Ralph, E.J., 1980, Environmental studies of flooded opencuts, Biogeochemistry of ancient and modern environments, Australian Academy of Science, Canberra, Australia.
- [11] Baecher, J. J., 1983, Respondent-Appellant, Appellate Division of the Supreme Court of the State of New York, Second Department.
- [12] Barton, N. and Choubey, V., 1977, The shear strength of rock joints in theory and practice, Rock Mechanics, 10, 1-54.
- [13] Baytekin, A., 1978, MTA Enstitüsü tarafından 1969 yılından sonra Murgul Ana Yatak ve Çakmakaya'da sondajlarla elde edilen ilave rezervlerin kesit metoduyla hesabı, MTA Rapor No: 6145, 12s (yayınlanmamış).

- [14] BCAMDTF (British Columbia Acid Mine Drainage Task Force), 1989, Draft Acid Rock Drainage Technical Guide – Volume 1. Prepared by Steffen Robertson and Kirsten (SRK), Vancouver, BC.
- [15] Beavis, F.C., 1985, Engineering Geology, Blackwell Scientific Publications, Melbourne, 52-89.
- [16] Bengtsson, L. and Enell, M., 1986, Chemical analysis, In: B. E. Berglund (ed.), Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeo-Hydrology, John Wiley & Sons Ltd., Chichester, 423-451.
- [17] Benzaazoua, M., Bussière, B., Dagenais, A.-M. and Archambault, M., 2004, Kinetic tests comparison and interpretation for prediction of the Joutel tailings acid generation potential, Environmental Geology, 46, 1086–1101.
- [18] Blowes, D.W., Ptacek, C.J. and Jurjovec, J., 2003, Mill Tailings: Hydrogeology and Geochemistry, In: J.L. Jambor, D.W. Blowes and A.I.M. Ritchie (Eds.), Environmental Aspects of Mine Wastes, Short Course Series Vol. 31, Mineralogical Association of Canada.
- [19] Bradham, W.S. and Caruccio, F.T., 1991, A comparative study of tailings analysis using acid/base accounting, cells, columns and Soxhlets, In: 2nd Int Conf Abatement of Acidic Drainage, Montreal, Vol. 1. CANMET, Ottawa, Canada, 157–173
- [20] Bradham, W.S., and Caruccio, F.T., 1990, A Comparative Study of Tailings Analysis using Acid/Base Accounting, Cells, Columns and Soxhelets. Proceeding of the 1990 Mining and Reclamation Conference and Exhibition, Charleston, WV, 19-25.
- [21] Brodie, M.J., Broughton, L.M. and Robertson, A.M. 1991, A conceptual rock classification system for waste management and a laboratory method for ARD prediction from rock piles. In Second International Conference on the Abatement of Acidic Drainage, Conference Proceedings, Volumes 1 - 4, September 16-18, Montreal, Canada.
- [22] Broughton, L.M. and Robertson, A.M., 1992, Acid rock drainage from mines - where we are now, IMM Minerals, Metals and Environment Conference, February 4-6, Manchester, UK.
- [23] Bruynesteyn, A. and Hackl, R., 1982, Evaluation of acid production potential of mining waste materials. Minerals and the Environment, 4(1).
- [24] Buser, S. and Cvetic, S., 1972, Türkiye'deki Murgul bakır yatağı yöresinin jeolojisi, Çeviren: Zerrin Bengi.
- [25] Çağlayan, D., 2000, Pürüzlü eklem yüzeylerinin makaslama dayanımı parametrelerinin saptanmasında Barton görgül yenilme ölçütünün pratiğe uygulanabilirliğinin araştırılması, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 89 s. (yayımlanmamış).
- [26] Çamur, M.Z., Tuysuz, N., Guven, I.H., Arikal, T. and Er, M., 1994, Eastern Pontides volcanism and related ore deposits, In: Toprak V (ed) International volcanological congress, 17–23 September, Ankara, Turkey, Publication No 10, 28p.

- [27] Carrol, D., 1970, Clay minerals, a guide to X-ray diffraction, Boulder, Colorado, Geological Society of America special paper 125, 85p.
- [28] Caruccio, F.T. and Parizek, R.R., 1968, An evaluation of factors affecting acid mine drainage production and ground water interactions in selected areas of Western Pennsylvania, In: Proceedings, Second Symposium on Coal Mine Drainage Research, Monroeville, PA: Bituminous Coal Research, Inc., 107 - 151.
- [29] Caruccio, F.T., Geidel, G. and Pelletier, M., 1981, Occurrence and prediction techniques for acid drainage, J. Energy Div. Amer. Soc. Civil Engineers, 107, No. EYI, May.
- [30] Coastech Research Inc., 1989, Investigation of prediction techniques for acid mine drainage, MEND Project 1.16.1a, Canada Center for Mineral and Energy Technology, Energy, Mines, and Resources.
- [31] Cruz, R., Bertrand, V., Monroy, M. and Gonzalez, I., 2001. Effect of Sulfide Impurities on the Reactivity of Pyrite and Pyritic Concentrates: A Multi-Tool Approach. Appl. Geochem., 16, 7-8, 803.
- [32] Day, S.J., 1991, New methods for determination of key mineral species in acid generation prediction by acid base accounting, MEND report 1.16.1c. MEND, Ottawa, Ontario.
- [33] Dean, W.E., 1974, Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition: comparison with other methods, Journal of Sediment Petrology, 44, 242-248.
- [34] Dearman, W.R., Baynes, F.J. and Irfan, T.Y., 1978. Engineering grading of weathered granite. Engineering Geology, 12, 345-374.
- [35] Diederichs, M.S. and Hoek, E., 1989, DIPS 3.01, advanced version computer programme, Rock Engineering Group, Department of Civil Engineering, University of Toronto, Canada.
- [36] DMİ, 2010, Devlet Meteoroloji İşleri Murgul İstasyonu verileri.
- [37] Doepker, R. and Drake, P., 1991, Laboratory study of submerged metal mine tailings (III): factors influencing the dissolution of metals, Proceedings of the Second International Conference on the Abatement of Acidic Drainage. MEND Program, vol. 1. CANMET, Montreal, Canada, 139-155.
- [38] Dogan, P.A., 1999, Characterization of mine waste for prediction of acid mine drainage, In: Azcue JM (ed) Environmental impacts of mining activities, Springer, Berlin.
- [39] Duncan, D. and Bruynesteyn, A., 1979, Determination of Acid Production Potential of Waste Materials, Metalurgy Society, Published by AIME, Littleton, CO, AIME, paper A-79-29.
- [40] Duncan, D. and Walden, C., 1975, Prediction of acid generation potential, Report to Water Pollution Control Directorate, Environmental Protection Service, Environment Canada.

- [41] Dursun, A. ve Yılmaz, H., 1991, Çakmakkaya (Murgul-Artvin) cevher sahasının maden jeolojisi raporu, MTA Rapor No:9326, 27s. (yayımlanmamış)
- [42] Edgar, A. and Lapakko, K., 1985, Heavy metal study progress report on the field leaching and reclamation program: 1977-1983, MN Dept., Nat. Res., Division of Minerals, St. Paul, MN.
- [43] EPA, 1994, U.S. Environmental Protection Agency. Integrated Risk Information System (IRIS) Online. Office of Health and Environmental Assessment, U.S. EPA, Cincinnati, OH. U.S.
- [44] EPA, 1997, Exposure Factors Handbook Volume I – General Factors Epa/600/P 95/002fa
- [45] EPA, 2003, U.S. Environmental Protection Agency, “Developing water quality criteria for suspended and bedded sediments (SABS): potential approaches”, A U.S. EPA Science Advisory Board Consultation.
- [46] Er, M., Yılmaz, Z. ve Erçin, A.İ., 1991, Çakmakkaya (Murgul-Artvin) cevher sahasının maden jeolojisi raporu, MTA Rapor No: 9326, 52s. (yayımlanmamış).
- [47] Ferguson, K.D. and Erickson, P.M., 1988, Pre-mine prediction of acid mine drainage, In Environmental Management of Solid Waste - Dredged Material and Mine Tailings, W. Salomons and U. Forstner (eds.), Springer-Verlag, New York, 24-43.
- [48] Ferguson, K.D. and Morin, K.A., 1991, The prediction of acid rock drainage- lessons from the data-base. Proceedings of Second International Conference on the Abatement of Acid Drainage-Montreal, Quebec, September 16-18, Volume 3, 85-106.
- [49] Ferguson, K.D., 1985, Static and kinetic methods to predict acid mine drainage, In Proceedings, International Symposium on Biohydrometallurgy, Vancouver, B.C. 37 p.
- [50] Filipek, L.H., Gormley, J.T., Ewing, R. and Ellsworth, D., 1991, Kinetic acid-prediction studies as aids to waste-rock and water management during advanced exploration of a massive sulfide deposit, In: Proceedings, Second International Conference on the Abatement of Acidic Drainage, Montreal, Canada, 16 p.
- [51] Fillipek, L.H., Nordstrom, D.K. and Ficklin, W.H., 1987. Interaction of acid mine drainage with waters and sediments of West Squan Creek in the West Shasta mining district, California, Environ. Sci. Technol., 21, 388–396.
- [52] Flint, R.F. and Skinner, B.J., 1974, Physical Geology, New York, John Wiley and Sons, 497 p.
- [53] Fookes, P.G., Dearman, W.R. and Franklin, J.A., 1971, Some engineering aspects of rock weathering, Q J Eng Geol., 4, 139–185.
- [54] Fookes, P.G., Gourley, C.S. and Ohikere, C., 1988, Rock weathering in engineering time, Quaternary Journal of Engineering Geology, 21, 33-57.
- [55] Forstner, U. and Salomons, W., 1988, Environmental Management of Solid Waste, Springer-verlag Berlin Heidelberg.

- [56] Freeze, R.A. and Cherry, J.A., 1979, Groundwater, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 604 p.
- [57] García, C., Ballester, A., González, F. and Blázquez, M.L., 2005, Pyrite behaviour in a tailings pond. Hydrometallurgy, 76, 25–36.
- [58] Goodman, E.R., 1976, Methods of geological engineering, West Publishing Company, New York, 472p.
- [59] Grande, J.A., Beltran, R., Sainz, A., Santos, J.C., de la Torre, M.L. and Borrego, J., 2005a, Acid mine drainage and acid rock drainage processes in the environment of Herrerías Mine (Iberian Pyrite Belt, Huelva-Spain) and impact on the Andevalo Dam, Environ Geol 47(2), 185–196.
- [60] Grande, J.A., Andujar, J.M., Aroba, J., de la Torre, M.L. and Beltrán, R., 2005b, Precipitation, pH, and metal load in an A.M.D. river basin: application of fuzzy clustering algorithms to the process characterization, J Environ Monit, 7, 1–10.
- [61] Grande, J.A., Jiménez, A., Borrego, J., de la Torre, M.L., Gómez, T., 2010, Relationships Between Conductivity and pH in Channels Exposed to Acid Mine Drainage Processes: Study of a Large Mass of Data Using Classical Statistics. Water Resour Manage, 24, 4579–4587.
- [62] Grube, W.E., Smith, R.M., Singh, R.N. and Sobek, A.A., 1973, Characterization of coal overburden materials and minesoils in advance of surface mining, In: Research and Applied Technology Symposium on Mined-Land Reclamation, NCA/BCR, Pittsburg, PA., 134-151.
- [63] Güler, E., 2001, AMD Oluşum Mekanizmasının İncelenmesi, Yüksek lisans Tezi Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 71 s.(yayınlanmamış)
- [64] Gündoğdu, M.N.G., 1982, Neojen yaşlı Bigadiç sedimanter baseninin jeolojik, moneralojik ve jeokimyasal incelenmesi, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Yerbilimleri Enstitüsü, 386 s.
- [65] Halbert, B., Scharer, J., Knapp, R. and Gorber, D, 1983, Determination of Acid Generation Rates in Pyritic Mine Tailings, Presented at the 56th Annual Conference of Water Pollution Control Federation, October 2-7.
- [66] Hood, W. and A. Oertel, 1984, A leaching column method for predicting effluent quality from surface mines, In Proc. Symp. on Surface Mining Hydrology, Sedimentology and Reclamation, University of Kentucky.
- [67] Hornberger, R.J. and Brady, K.B.C., 1998, Kinetic (leaching) tests for the prediction of mine drainage quality (chapter 7); coal mine drainage prediction and pollution prevention in Pennsylvania, K.B.C Brady, M.W., Smith and J. Schueck (eds), The report of the Pennsylvania Department of Environmental Protection, Harrisburg, 5600-BK-DEP2256, PA DEP, 7-1 to 7.54.
- [68] <http://maps.google.com>, 2011.

- [69] ISRM, 1981, Rock characterization, testing and monitoring, In: Brown, E.T. (Ed.), International Society for Rock Mechanics (ISRM) Suggested Methods, Pergamon, Oxford, 211 p.
- [70] Jambor, J.L., 2003, Mine-waste mineralogy and mineralogical perspectives of acid-base accounting, In: J.L. Jambor, D.W. Blowes and A.I.M. Ritchie (Eds.), Environmental Aspects of Mine Wastes, Short Course Series Vol. 31, Mineralogical Association of Canada, 117-146.
- [71] Kahrer, C., 1958, Kupferlagerstätte Murgul in der NE Türkei, Disss., Bonn.
- [72] Karadeniz, M., 2008, Sülfürlü madenlerin sorunu asit maden drenajı ve çözümü, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, 231 s.
- [73] Kleinmann, R.I. P., 2000, Prediction of water quality at sulfate coal mines, The National Mine Land Reclamation Center Located at West Virginia University in Morgantown, West Virginia.
- [74] Kleinmann, R.L.P., Crerar, D.A. and Pacelli, R.R., 1981, Biogeochemistry of acid mine drainage and method to control acid formation, Mining Engineering, March, 300-305.
- [75] Kontopoulos, A., Adam, K., Monhemius, J., Cambridge, M. and Kokkoinis D., 1996. Integrated environmental management in polymetallic sulphide mines, Fourth International Symposium on Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production, Cagliari, Italy, 321-330.
- [76] Kuyucak, N., 2000, Miciooigamsms biotechnology and rock drainage emphasis on passive-biological control and treatment methods, Minerals Metallurgical Processing, Vol 17 No 2 , 85-95.
- [77] Kwong, Y.T.J. and Lawrence, J.R., 1998, Acid generation and metal immobilization in the vicinity of a natural acid lake in Central Yukon Territory, Canada, In: Geller W, Klapper H, Salomons W (eds) Acid mining lakes, Springer, Canada, 416 p.
- [78] Lapakko, K., 1993, Mine Waste Drainage Quality Prediction: A Literature Review, Draft Paper, Minnesota Department of Natural Resources, Division of Minerals, St. Paul, MN.
- [79] Lapakko, K.A. and Antonson, D.A., 2002, Drainage pH, acid production, and acid neutralization for Archean greenstone rock, Preprint 02-73 In Proc. 2002 SME Annual Meeting, February 25-27, Phoenix, AZ (CD-ROM), Soc. For Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. Littleton, CO.
- [80] Lapakko, K.A., 1994, Evaluation of neutralization potential determinations for metal mine waste and a proposed alternative, Proc. International Land reclamation and Mine Drainage Conference, Pittsburg, USBM SP 06A-94, 129-137.
- [81] Lapakko, K.A., 2000, Laboratory drainage quality from siltite-argillite rock, Final appendices on Contract BLM J910P82018.
- [82] Lapakko, K.A., 2002, Metal mine rock and waste characterization tools: An Overview, International Institute for Environment and Development, No: 67.

- [83] Lawrence, R.W. and Wang, Y., 1996, Determination of neutralizing potential for acid rock drainage prediction, MEND/NEDEM report 1.16.3, Canadian Centre for Mineral and Energy Technology, Ottawa, Canada.
- [84] Lawrence, R.W. and Wang, Y., 1997, Determination of neutralization potential in the prediction of acid rock drainage, Proc. 4th ICARD, Vancouver, BC, pp. 449–464.
- [85] Lawrence, R.W., 1990, Prediction of the behaviour of mining and processing wastes in the environment. In Mining and Mineral Processing Wastes, Doyle, F. M., (ed.), Proc. Western Regional Symposium on Mining and Mineral Processing Wastes, Berkeley, CA. Soc. Min. Eng. AIME: Littleton, CO. 115-121.
- [86] Lawrence, R.W., 1995, Prediction of Acid Rock Drainage - Fundamentals and Tools, notes from MEND Workshop, Montreal, PQ, December 7-8, 27 p.
- [87] Lawrence, R.W., Poling, G.W. and Marchant, P.B., 1989, Investigation of predictive techniques for acid mine drainage. MEND/NEDEM report 1.16.1a, Canadian Centre for Mineral and Energy Technology, Ottawa, Canada.
- [88] Liew, D. and Sheppard, J., 2001, Use of conductivity to monitor the treatment of acid mine drainage sulphate-reducing bacteria, Water Resour, 35(8), 2081–2086.
- [89] Mado, H., 1972, Kuzeydoğu Türkiye’de bulunan Murgul madenindeki Cu cevherli yatakların jeoloji ve mineralizasyonu, MTA Rapor No:4483, 82 s. (yayımlanmamış).
- [90] McKibben, M.A. and Barnes, H.L., 1986, Oxidation of pyrite in low-temperature acidic solutions: rate laws and surface textures, *Geochemica et Cosmochimica Acta*. 50, 1509-1520.
- [91] Mills, C., 2002, Acid rock drainage at Enviromine Infomine Website, Acid Base Accounting (ABA), www.inloginu.com/technology/environment.
- [92] Morin, K.A. and Hutt, N.M., 1997, Environmental geochemistry of mine site drainage: practical theory and case studies, MDAG Publishing, Vancouver, Canada.
- [93] MTA, 1991, Murgul (Artvin) Çevresine Ait 1/25000 Jeoloji Haritası, Hazırlayanlar: M. Er, Z.Yılmaz, A. Dursun, K. Özdoğan, H. Yılmaz, İ. Erçin.
- [94] MTA, 2012a, Analiz raporu. Rapor no: 37, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- [95] MTA, 2012b, Analiz raporu. Rapor no: 38, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- [96] MTA, 2012c, Analiz raporu, Rapor no: 105, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- [97] Nasuh, E., Eskikaya, Ş., Bilgin, N., Çopur, H. and Kont, R., 1983. Slope stability analysis in K.B.İ. Murgul Copper Mine of Turkey, *Proceedings of the Assessment and Prevention of Failure Phenomena in Rock Engineering*, A.G. Paşamehmetoğlu, T. Kawamoto, B.N. Whittaker, and Aydan, Ö.(eds), 549-554.

- [98] Nordstrom, D. K., 1982, Aqueous pyrite oxidation and the consequent formation of secondary iron minerals, in *Acid Sulfate Weathering: Pedogeochemistry and Relationship to Manipulation of Soil Minerals*, Hossner, L. R., Kittrick, J. A., and Fanning, D. F., Eds., Soil Science Society of America Press, Madison, WI, 46.
- [99] Ollier, C.D., 1984, *Weathering*, Second Edition, London. Longman, 270 p.
- [100] Özgür, N. and Schneider, H.J., 1988, Relationship between alteration, rare earth element distribution and mineralization of the Murgul copper deposits, Northeastern Turkey, *Economic Geology*, 83, 1238-1246.
- [101] Paktunç, A.D. and Dave, N.K., 2002, Formation of secondary Pyrite and Carbonate minerals in the Lower Williams Lake tailings basin, Eliot Lake, Ontario Canada, *American Mineralogist*, 87, 593-602.
- [102] Paktunc, A.D., 1998, Environmental impacts of mining activities - emphasis on mitigation and remedial measures. J.M. Azcue (Ed.), *Characterization of Mine Wastes for Prediction of Acid Mine Drainage*.
- [103] Paktunc, A.D., 1999, Mineralogical constraints on the determination of neutralization potential and prediction of acid mine drainage, *Environmental Geology*, 39, 103-112.
- [104] Peltier, L.C., 1950, The geographic cycle in periglacial region as it is related to climatic geomorphology, *Annals of the Association of American Geographers*, 40, 214-236.
- [105] Plante, B., Bussière, B. and Benzaazoua, M., 2012, Static tests response on 5 Canadian hard rock mine tailings with low net acid-generating potentials, *Journal of Geochemical Exploration*, 114, 57-69.
- [106] Price, M., 1995, *Tectonic and volcanic map of Venus*, Dept. of Geol. Sci., Princeton Univ., Princeton, N.J.
- [107] Price, W.A., 1997, *Draft: Guidelines and Recommended Methods for the Prediction of Metal Leaching and Acid Rock Drainage at Minesites in British Columbia*, British Columbia Ministry of Employment and Investment. Energy and Minerals Division, Smithers, BC, 143 p.
- [108] Price, W.A., Morin, K. and Hutt, N., 1997, *Guidelines for the prediction of acid rock drainage and metal leaching for mines in British Columbia: Part II - Recommended Procedures for Static and Kinetic Testing*, Proc. 4th International Conference on Acid Rock Drainage, Vancouver, BC, p15-30.
- [109] Priest, E. R., 1993, In *Physics of Solar and Stellar Coronae*, ed J. Linsky & S. Serio (Dordrecht: Kluwer), 515.
- [110] Priest, S.D. and Hudson, J.A., 1976, Discontinuity spacing in rocks, *International Journal of Rock Mechanics, Mineral Science & Geomechanics*, Abstracts 13: 135-148.
- [111] Renton, J.J., Stiller A.H. and Rymer, T., 1984. Quantitative determination of the acid producing potential of toxic overburden, In: *Proceedings, Symposium on Surface Mining & Water Quality*, Morgantown: West Virginia Surface Mining & Reclamation Association.

- [112] Robertson, A. MacG. and Broughton, L.M., 1992, Reliability of acid rock drainage testing, Workshop on U.S. EPA Specifications for Tests to Predict Acid Generation from Non-Coal Mining Wastes, Las Vegas, Nevada, July 30-31.
- [113] Sanders, M.K. and Fookes, P.G., 1970, A review of the relationship of rock weathering and climate and its significance to foundation engineering, *Engineering Geology*, 4, 289–325.
- [114] Sapsford, D., Bowell, R., Dey, M., Williams, C. and Williams, K, 2008, A Comparison of kinetic nag tests with static and humidity cell tests for the prediction of ARD, In: Rapantova, N. & Hrkal, Z.: *Mine Water and the Environment*. p. 325-328; Ostrava (VSB – Technical University of Ostrava).
- [115] Sawa, T., Sawaamura, K. ve Teşrekli, M., 1970, Murgul madeni ve civarındaki Cu yatakları hakkında rapor, MTA Rapor No:4790, 73 s. (yayımlanmamış).
- [116] Scharer, J.M., Garga, V., Smith, R. and Halbert, B.E., 1991, Use of steady state models for assessing acid generation in pyritic mine tailings, In *Proceedings Second International Conference on the Abatement of Acidic Drainage*, September 16-18, 1991, Montreal, Canada, Volume 2, 211-230.
- [117] Shelby, M.J., 1993, *Hillslope materials and processes*, 2nd Edition, Oxford University Press, Oxford.
- [118] Sheoran, A.S., 2006, Performance of three aquatic plant species in bench-scale acid mine drainage wetland test cells, *Mine Water and the Environment*, 25 (1), 23-36.
- [119] Singer, P.C. and Stumm, W., 1970, Acidic mine drainage; rate-determining step. *Science* 167, 1121-1123
- [120] Singleton, G.A. and Lavkulich, L.M., 1978, Adaptation of the soxhlet extractor for pedologic studies, *Soil Science Society of America Journal*, 42, 984 - 986.
- [121] Singleton, G.A. and Lavkulich, L.M., 1987, A soil chronosequence on beach sands, Vancouver Island, British Columbia, *Canadian Journal of Soil Science*, 67, 795-810.
- [122] Skousen, J., Simmons, J., McDonald, L.M. and Ziemkiewicz, P., 2002, Acid–base accounting to predict post-mining drainage quality on surface mines, *Journal of Environmental Quality* 31, 2034–2044.
- [123] Skousen, J.G., Smith, R. and Sencindiver, J., 1996, The development of the acid-base account, *Acid Mine Drainage Control and Treatment* (Compiled by J.G., Skousen and P.F., Ziemkiewicz), W.V. Univ. and N.M.L.R.C., 15-20.
- [124] Smith, R. M., Grube, W. E., Arkle, T. and Sobek, A.A., 1974, Mine spoil potentials for soil and water quality, Cincinnati, Ohio: US Environmental Protection Agency, 303 p.
- [125] Sobek, A. A., Bambenek, M.A. and Meyer, D., 1982, Modified Soxhlet Extractor for pedologic studies, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46:1340-1342.

- [126] Sobek, A. A., Schuller, W.A., Freeman, J.R. and Smith, R.M., 1978, Field and laboratory methods applicable to overburdens and minesoils, EPA-600/2-78-054, Cincinnati, Ohio: U. S. Environmental Protection Agency, 203 p.
- [127] Soleimani, M., Petersen, J., Roostaazad, R., Hosseini, S., Mousavi, S.M., Najafi, A. and Vasiri, A.K., 2011, Leaching of a zinc ore and concentrate using the Geocoat™ technology. *Minerals Engineering*, 24, 64–69.
- [128] STSC, Inc., 1991, Statgraphics 5.0. Stat. Graph. Syst., Plus-Ware Prod. Help Line, MD.
- [129] Sullivan, P.J. and Sobek, A., 1982, Laboratory weathering studies of coal refuse, *Minerals and the Environment*, 4(1).
- [130] Townsend, C.F., 1985, Geotechnical characteristics of residual soils, *Journal of Geotechnical Engineering*, 111(1), 77-95.
- [131] Tuğrul, A., 1997, Change in pore size distribution due to weathering of basalts and its engineering significance, *Proceedings of International Symposium on Engineering Geology and the Environment*, P.G. Marinos, G.C. Koukis, G.C. Tsiambaos and Stournaras (Eds.), Balkema, Vol. 1, 419-424.
- [132] Ulrich, M., 1999, Non metallic carbonate minerals in the passive treatment of mining wastewater in Slovenia, *Chemical Engineering and Processing*, Volume 38, Number 3, May 1999, 249-258.
- [133] USBR (United States Bureau of Reclamation), 1974, *Earth Manual*. US Department of Interior Bureau of Reclamation, A Water Resources Technical Publication, 810 p.
- [134] Wallis, P.F. and King, M.S., 1980, Discontinuity spacings in crystalline rock, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstract* 17:63-6.
- [135] Weber, P.A., Thomas, J.E., Skinner, W.M. and Smart, R.S.C., 2004, Improved acid neutralisation capacity assessment of iron carbonates by titration and theoretical calculation, *Applied Geochemistry*, 19, 687–694.
- [136] Weber, P.A., Thomas, J.E., Skinner, W.M. and Smart, R., St, C., 2005, A methodology to determine the acid-neutralization capacity of rock samples, *The Canadian Mineralogist* 43, 1183–1192.
- [137] White, W.W. III, Lapakko, K.A. and Cox, R.L., 1999, Static-test methods most commonly used to predict acid-mine drainage: Practical guidelines for use and interpretation. In *Reviews in Economic Geology*, Volume 7. The Environmental Geochemistry of Mineral Deposits, Part A: Processes, techniques, techniques, and health issues. G.S. Plumlee, M.J. Logsdon (eds.). Society of Economic Geologists, 325-338.
- [138] White, W.W.III, Lapakko, K.A., 2000, Preliminary indications of repeatability and reproducibility of the ASTM 5744-96, Kinetic Test for Drainage pH and Sulfate Release Rate, In *Proceedings from the Fifth International Conference on Acid Rock Drainage*, SME, Littleton, CO. 621-630.

- [139] Wiersma, C.L. and Rimstidt, J.D., 1984, Rates of reaction of pyrite and marcasite with ferric iron at pH 2, *Geochemica et Cosmochimica Acta*, 48, 85-92.
- [140] www.etibakir.com.tr, 2011, Eti Bakır A.Ş. Murgul Konsantre Tesisi Tanıtımı.
- [141] Yazıcı, N.E., Doksanbir, T., 1996, Artvin-Murgul-Çakmakaya ve Damar maden sahalarının jeoloji raporu: cilt 3, MTA Rapor no: 9986, 25 s. (yayınlanmamış).
- [142] Younger, P.L., 1997, The longevity of mine water pollution: a basis for decision-making, *Sci Total Environ*, 195, 457–466.
- [143] Younger, P.L., Banwart, S. and Hedin, R., 2002, *Mine water: hydrology, pollution, remediation*. Kluwer, Dordrecht, 442 p.

EKLER

Ek 1. Kinetik kolon test düzeneğinde elde edilen pH ve elektriksel iletkenlik (E_c , $\mu\text{S/cm}$) değerleri.

Ek 2. Kinetik kolon testleri sırasında elde edilen su numunelerinin tarih sırasına göre kimyasal analiz sonuçları.

Ek 3. pH ve iletkenlik değerlerinin zamana bağlı değişim grafikleri.

Ek 4. Kinetik kolon testleri sırasında alınan cevher örneklerinin XRF analiz sonuçları.

Ek 1. Kinetik kolon test düzenğinde elde edilen pH ve elektriksel iletkenlik (E_c , $\mu S/cm$) değerleri.

Zaman		Parametre	Kolon numarası (-3.35 mm tane boyu)											
Ölçüm Haftası-tarihi	Gün		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1. (31.01.2011)	0	Debi (ml/sn)	0.303	0.195	0.050	0.071	0.071	0.108	0.041	0.104	0.056	0.044	0.057	0.017
2. (14.03.2011)	0	pH	7.2	7.1	7.2	7.15	7.1	6.9	6.9	6.8	6.7	6.7	6.6	6.6
		pH	6.63	6.61	6.53	6.61	6.68	6.76	6.87	6.84	6.86	6.97	6.96	7.12
3. (21.03.2011)	7	pH	7.05	7.16	6.74	6.67	6.78	6.82	6.86	6.93	6.86	7.11	7.11	7.14
		İletkenlik	10.5	19.0	9.1	11.4	5.0	3.0	2.3	0.5	5.2	13.9	14.0	17.8
4. (28.03.2011)	7	pH	6.60	6.97	6.90	6.69	6.71	6.86	6.87	6.96	6.94	7.07	7.10	7.12
		İletkenlik	15.1	5.9	3.6	10.4	7.5	0.3	1.5	3.8	3.0	12.5	13.0	15.2
5. (04.04.2011)	7	pH	6.23	6.41	6.57	6.53	6.67	6.85	6.86	6.84	6.85	6.86	6.97	7.00
		İletkenlik	30.5	23.8	16.4	19	8.7	1.9	2.3	1.7	0.8	0.3	6.1	8.7
6. (11.04.2011)	7	pH	6.30	6.35	6.42	6.41	6.24	6.58	6.60	6.36	6.43	6.53	6.66	6.90
		İletkenlik	31.3	29.6	25.6	26.4	79.7	16.6	12	29.2	24.8	13.4	11.0	5.6
7. (18.04.2011)	7	pH	6.38	6.66	6.75	6.68	6.85	6.68	6.77	6.72	6.66	6.61	6.53	6.68
		İletkenlik	68.6	47.4	31.3	32.4	124.1	30.3	16.6	34.0	31.7	27.7	31.7	23.4
8. (25.04.2011)	7	pH	6.26	6.64	6.74	6.68	6.63	6.60	6.81	5.81	6.31	6.36	6.38	6.44
		İletkenlik	46.8	24.8	18.9	22.7	25.7	27.4	15.1	73.9	43.9	41.2	40.3	36.9
9. (02.05.2011)	7	pH	5.80	6.16	6.29	6.23	6.19	6.10	6.49	6.06	6.18	6.14	6.42	6.29
		İletkenlik	66.4	40.4	59.5	44.3	44.5	62.0	28.0	58.2	46.0	44.8	41.6	40.5
10. (09.05.2011)	7	pH	5.54	6.42	5.9	6.32	6.24	6.08	6.73	5.79	6.28	5.83	6.16	6.09
		İletkenlik	87.5	51	64.5	42.3	44.9	53	21.5	73.5	61.1	64	56	49.1

Ek 1. Devam.

Zaman			Kolon numarası (-3.35 mm tane boyu)											
Ölçüm Haftası-tarihi	Gün	Parametre	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
		Debi (ml/sn)	0.303	0.195	0.050	0.071	0.071	0.108	0.041	0.104	0.056	0.044	0.057	0.017
11. (16.05.2011)	7	pH	6.54	7.04	6.92	6.97	6.69	6.83	7.34	6.68	7.14	7.11	7.13	7.14
		İletkenlik	3.49	2.59	2.06	1179	1872	1276	797	926	483	190.7	141.4	109.1
12. (20.05.2011)	4	pH	6.42	6.54	6.74	7.0	6.80	6.69	7.02	6.51	6.90	7.00	7.33	7.17
		İletkenlik	2.08	1455	1212	974	882	659	597	615	276	201	179.6	154
13. (23.05.2011)	3	pH	6.56	6.87	6.89	6.96	6.81	6.77	7.04	6.54	6.96	6.99	7.61	7.37
		İletkenlik	2.23	1572	1375	1204	1053	721	802	766	327	228	212	169.3
14. (30.05.2011)	7	pH	6.7	6.92	6.99	7.08	6.92	6.83	7.29	6.4	7.05	7.06	7.66	7.61
		İletkenlik	2.39	1774	1432	1273	1225	830	723	935	400	271	179.6	149.2
15. (06.06.2011)	7	pH	6.78	7.07	7.13	7.1	6.99	6.93	7.39	6.39	7.04	7.05		7.08
		İletkenlik	2.6	1857	1485	1322	1199	870	692	882	297	155.3		118.4
16. (09.06.2011)	3	pH	6.46	6.93	7.13	7.15	6.08	6.87	7.20	6.35	7.36	7.30	7.91	7.72
		İletkenlik	2.24	1529	1390	1394	1119	1111	969	966	434	379	323	186.7
17. (13.06.2011)	4	pH	6.86	7.13	7.33	7.35	7.18	7.07	7.40	6.55	7.56	7.51	8.11	7.92
		İletkenlik	2.24	1529	1390	1394	1119	1111	969	966	434	379	323	186.7
18. (20.06.2011)	7	pH	7.11	7.22	7.31	7.25	7.17	7.17	7.23	6.47	7.67	7.52	8.00	7.84
		İletkenlik	2.38	1802	1565	1418	1259	1181	1055	1114	461	361	304	188.4
19. (27.06.2011)	7	pH	6.72	6.99	7.12	7.16	7.06	7.13	7.45	6.45	7.57	7.46	7.65	7.67
		İletkenlik	2.6	1706	1644	1508	1380	1264	963	1108	373	401	310	165.8

Ek 1. Devam.

Zaman			Kolon numarası (-3.35 mm tane boyu)													
Ölçüm Haftası-tarihi	Gün	Parametre	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22		
		Debi (ml/sn)	0.303	0.195	0.050	0.071	0.071	0.108	0.041	0.104	0.056	0.044	0.057	0.017		
20. (04.07.2011)	7	pH	6.70	6.92	6.99	7.1	6.99	7.04	7.05	6.26	7.26	7.35	7.95	7.5		
		İletkenlik	2.35	1494	1305	1289	1582	1407	1314	1549	576	436	380	202		
21. (11.07.2011)	7	pH	6.77	6.95	7.02	6.67	6.78	7.02	7.18	6.41	7.39	7.5	7.91	7.72		
		İletkenlik	2.24	1615	1444	1547	2.09	1530	1458	1963	619	487	363	216		
22. (18.07.2011)	7	pH	6.88	7.00	7.15	6.68	7.05	7.22	7.45	6.43	7.54	7.75	7.84	7.71		
		İletkenlik	2.36	1724	1465	2.23	1784	1198	1009	1320	506	532	190.8	171.6		
23. (25.07.2011)	7	pH	6.94	7.79	7.17	6.78	6.88	7.2	7.17	6.47	7.21	7.61	7.86	7.74		
		İletkenlik	1790	1177	1132	2.12	1817	1167	1786	1384	882	711	564	650		
24. (01.08.2011)	7	pH	6.69	7.30	7.30	6.89	6.76	7.23	7.45	6.52	7.83	7.98	7.44	7.88		
		İletkenlik	2.69	1325	1244	2.36	2.57	1340	1194	1249	450	356	180.7	335		
25. (08.08.2011)	7	pH	7.4	7.70	7.5	7.29	6.83	7.67	7.76	6.97	7.57	7.84	7.91	7.85		
		İletkenlik	2.75	1287	1638	2.83	2.37	1829	1340	1360	610	414	317	246		
26. (15.08.2011)	7	pH	6.95	7.13	6.67	6.71	6.73	7.05	6.99	6.66	7.13	7.68	8.03	7.97		
		İletkenlik	2.37	1241	2.11	1927	1947	1277	1513	1462	1059	571	631	336		
27. (22.08.2011)	7	pH	6.68	7.05	6.86	6.75	6.84	7.24	7.2	6.90	7.30	7.76	8.21	7.92		
		İletkenlik	2.95	1560	2.46	2.42	2.64	1447	2.04	1651	1139	618	581	366		
28. (05.09.2011)	14	pH	6.39	6.77	6.65	6.60	6.64	7.11	6.94	6.71	7.00	7.45	8.31	7.54		
		İletkenlik	4.02	2.32	3.05	2.58	3.45	3.72	3.06	1601	1581	721	1184	388		

Ek 1. Devam.

Zaman		Parametre	Kolon numarası (-3.35 mm tane boyu)											
Ölçüm Haftası-tarihi	Gün		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
29. (12.09.2011)	7	Debi (ml/sn)	0.303	0.195	0.050	0.071	0.071	0.108	0.041	0.104	0.056	0.044	0.057	0.017
		pH	6.93	7.02	6.75	6.45	6.66	6.77		6.49	6.89	7.47	7.54	7.57
		İletkenlik	3.67	1743	2.57	2.24	2.33	2.2		1721	1259	582	271	264
30. (19.09.2011)	7	pH	7.01	7.18	7.08	6.80	7.02	7.13	7.36	6.83	7.06	7.57	7.70	7.75
		İletkenlik	3.62	1714	2.59	2.54	2.67	2.25	3.1	2.12	1557	641	328	387
		pH	6.86	6.93	6.74	6.70	6.76	6.94	7.01	6.59	7.18	7.54	7.88	7.75
31. (26.09.2011)	7	İletkenlik	3.62	1977	2.90	2.82	3.18	2.16	2.93	2.64	1976	7.93	450	401
		pH	6.77	7.14	6.59	6.55	6.50	6.60	6.66	6.64	6.78	7.39	7.81	7.44
		İletkenlik	4.28	1581	3.43	3.12	2.60	2.33	2.30	1640	2.02	923	674	373
33. (10.10.2011)	7	pH	6.86	6.97	6.70	6.39	6.38	6.74	6.63	6.67	7.05	7.49	7.59	7.49
		İletkenlik	2.85	1701	2.97	2.43	2.51	2.07	2.17	1815	399	365	122.3	152
		pH	6.79	6.89	6.62	6.34	6.44	6.65	6.65	6.52	6.87	7.31	7.51	7.36
34. (17.10.2011)	7	İletkenlik	3.48	1971	2.94	2.58	2.72	2.23	2.45	1879	434	399	257	178.5
		pH	6.61	6.91	6.30	6.32	6.42	6.62	6.51	6.96	6.84	7.28	7.5	7.28
		İletkenlik	3.16	2.28	3.49	3	2.73	2.51	2.82	3.23	528	415	675	234
36. (31.10.2011)	7	pH	6.74	6.98	6.73	6.26	6.28	6.93	6.54	6.72	6.86	7.12	7.12	7.29
		İletkenlik	1833	1557	1958	2.26	2.18	1123	1285	724	972	391	631	216
		pH	6.90	7.00	7.86	6.45	6.64	6.99	6.61	6.92	7.15	7.48	7.6	7.52
37. (12.11.2011)	15	İletkenlik	3.11	1960	4.32	2.49	2.57	1399	2.13	532	910	1683	732	238

Ek 1. Devam.

Zaman		Parametre	Kolon numarası (-3.35 mm tane boyu)											
Ölçüm Haftası-tarihi	Gün		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
38. (19.11.2011)	7	Debi (ml/sn)	0.303	0.195	0.050	0.071	0.071	0.108	0.041	0.104	0.056	0.044	0.057	0.017
		pH	6.65	7.03	6.68	6.33	6.56	6.72	6.53	6.68	6.95	7.31	7.28	7.47
		İletkenlik	2.33	1493	2.00	1857	1371	1209	722	613	645	355	347	194.6
39. (28.11.2011)	7	pH	6.85	7.02	6.97	6.37	6.71	6.75	6.67	6.77	6.91		7.2	7.53
		İletkenlik	2.57	1432	2.13	2.26	1634	1595	953	827	538		388	184.4
40. (05.12.2011)	7	pH	6.98	7.19	7.1	6.51	6.77	6.87	6.70	6.79	7.00		7.12	6.84
		İletkenlik	2.72	1479	2.26	2.37	1988	1745	1300	909	441		333	380
41. (12.12.2011)	7	pH	6.93	7.12	7.05	6.81	6.78	7.06	6.65	6.72	6.90		6.96	6.27
		İletkenlik	2.78	1614	2.31	2.61	2.08	1380	1511	949	373		305	341
42. (19.12.2011)	7	pH	6.62	7.2	7.12	6.96	7.1	7.13	6.72	6.68	6.84		6.93	6.87
		İletkenlik	1653	785	2.02	1990	1167	972	1138	934	456		357	442
43. (26.12.2011)	7	pH	7.08	7.08	7.08	7.03	7.03	7.13	6.82	6.79	7.11		1.72	1.69
		İletkenlik	1942	1378	1944	1178	1184	998	1470	1209	462		21.5	22.7
44. (02.01.2012)	7	pH	6.89	7.02	7.18	7.17	7.16	7.08	6.85	6.92	7.03		1.98	2.01
		İletkenlik	2.03	1481	2.04	1014	981	856	1268	552	475		11.1	10.5
45. (09.01.2012)	7	pH	7.25	7.33	7.37	7.24	7.26	7.33	6.85	6.94	7.07		2.56	4.13
		İletkenlik	1400	1025	1530	1124	1132	956	1539	643	639		7.34	6.21
46. (16.01.2012)	7	pH	6.94	7.06	7.19	7.09	7.28	7.37	6.61	6.70	7.02		T.B.	T.B.
		İletkenlik	1299	1027	1765	1063	1232	845	1322	762	376		T.B.	T.B.

Ek 1. Devam.

Zaman		Parametre	Kolon numarası (-3.35 mm tane boyu)											
Ölçüm Haftası-tarihi	Gün		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
		Debi (ml/sn)	0.303	0.195	0.050	0.071	0.071	0.108	0.041	0.104	0.056	0.044	0.057	0.017
47. (23.01.2012)	7	pH	6.99	7.09	7.15	7.15	7.15	7.2	7.28	6.66	6.70	6.92	T.B.	T.B.
		İletkenlik	1381	1129	1551	1070	918	774	1405	695	358		T.B.	T.B.
48. (30.01.2012)	7	pH	7.18	7.17	7.33	7.27	7.26	7.25	4.72	3.12	2.24		T.B.	T.B.
		İletkenlik	1207	884	1328	916	686	767	771	5.65	10.29		T.B.	T.B.
49. (06.01.2012)	7	pH	7.12	7.2	7.23	7.16	7.26	7.28	4.55	T.B.	T.B.		T.B.	T.B.
		İletkenlik	1291	1043	1454	1137	801	908	11.21	T.B.	T.B.		T.B.	T.B.
50. (13.02.2012)	7	pH	7.16	7.34	7.38	7.26	7.42	7.41	5.31	T.B.	T.B.		T.B.	T.B.
		İletkenlik	1286	940	1164	1246	852	740	6.09	T.B.	T.B.		T.B.	T.B.
51. (20.02.2012)	7	pH	7.07	6.91	6.68	6.43	6.36	5.12	0.92	T.B.	T.B.		T.B.	T.B.
		İletkenlik	1197	1207	1288	901	649	715	264	T.B.	T.B.		T.B.	T.B.
52. (27.02.2012)	7	pH	7.03	7.34	7.38	7.28	7.36	7.40	T.B.	T.B.	T.B.		T.B.	T.B.
		İletkenlik	1622	931	1395	1040	780	727	T.B.	T.B.	T.B.		T.B.	T.B.
53. (05.03.2012)	7	pH	6.40	6.72	6.52	6.42	6.63	6.62	T.B.	T.B.	T.B.		T.B.	T.B.
		İletkenlik	1940	1240	1276	1161	988	790	T.B.	T.B.	T.B.		T.B.	T.B.
54. (12.03.2012)	7	pH	7.10	7.36	7.52	7.25	7.34	7.49	T.B.	T.B.	T.B.		T.B.	T.B.
		İletkenlik	1503	986	821	902	578	612	T.B.	T.B.	T.B.		T.B.	T.B.
55. (19.03.2012)	7	pH	7.15	7.70	7.46	7.35	7.33	7.45	T.B.	T.B.	T.B.		T.B.	T.B.
		İletkenlik	1571	1104	861	971	693	702	T.B.	T.B.	T.B.		T.B.	T.B.

Ek 1. Devam.

Zaman		Parametre	Kolon numarası (-3.35 mm tane boyu)											
Ölçüm Haftası+tarih	Gün		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
		Debi (ml/sn)	0.303	0.195	0.050	0.071	0.071	0.108	0.041	0.104	0.056	0.044	0.057	0.017
56. (26.03.2012)	7	pH	7.09	7.2	7.25	7.31	7.33	7.6	T.B.	T.B.	T.B.		T.B.	T.B.
		İletkenlik	1622	1294	1176	1131	775	758	T.B.	T.B.	T.B.		T.B.	T.B.
57. (02.04.2012)	7	pH	7.19	7.36	7.28	7.25	7.35	7.40	T.B.	T.B.	T.B.		T.B.	T.B.
		İletkenlik	1339	858	1232	802	515	518	T.B.	T.B.	T.B.		T.B.	T.B.
58. (09.04.2012)	7	pH	7.20	6.36	5.30	1.86	2.13	1.98	T.B.	T.B.	T.B.		T.B.	T.B.
		İletkenlik	1447	6.58	11.48	26.2	15.7	25.7	T.B.	T.B.	T.B.		T.B.	T.B.
59. (16.04.2012)	7	pH	3.80	5.44	5.04	T.B.	T.B.	T.B.	T.B.	T.B.	T.B.		T.B.	T.B.
		İletkenlik	12.29	10.82	14.61	T.B.	T.B.	T.B.	T.B.	T.B.	T.B.		T.B.	T.B.
60. (24.04.2012)	7	pH	T.B.	6.73	6.76	T.B.	T.B.	T.B.	T.B.	T.B.	T.B.		T.B.	T.B.
		İletkenlik	T.B.	7.95	8.76	T.B.	T.B.	T.B.	T.B.	T.B.	T.B.		T.B.	T.B.
61. (30.04.2012)	7	pH	T.B.	6.26	5.44	T.B.	T.B.	T.B.	T.B.	T.B.	T.B.		T.B.	T.B.
		İletkenlik	T.B.	11.89	15.31	T.B.	T.B.	T.B.	T.B.	T.B.	T.B.		T.B.	T.B.
62. (7.05.2012)	7	pH	T.B.	6.75	6.15	T.B.	T.B.	T.B.	T.B.	T.B.	T.B.		T.B.	T.B.
		İletkenlik	T.B.	8.67	1673	T.B.	T.B.	T.B.	T.B.	T.B.	T.B.		T.B.	T.B.
63. (14.05.2012)	7	pH	T.B.	7.15	6.79	T.B.	T.B.	T.B.	T.B.	T.B.	T.B.		T.B.	T.B.
		İletkenlik	T.B.	6.12	8.78	T.B.	T.B.	T.B.	T.B.	T.B.	T.B.		T.B.	T.B.
64. (21.05.2012)	7	pH	T.B.	4.96	6.20	T.B.	T.B.	T.B.	T.B.	T.B.	T.B.		T.B.	T.B.
		İletkenlik	T.B.	16.69	15	T.B.	T.B.	T.B.	T.B.	T.B.	T.B.		T.B.	T.B.

Ek 1. Devam.

Zaman		Parametre	Kolon numarası (-3.35 mm tane boyu)											
Ölçüm Haftası-tarihi	Gün		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
65. (28.05.2012	7	Debi (ml/sn)	0.303	0.195	0.050	0.071	0.071	0.108	0.041	0.104	0.056	0.044	0.057	0.017
		pH	T.B.	2.81	1.84	T.B.	T.B.	T.B.	T.B.	T.B.	T.B.		T.B.	T.B.
		İletkenlik	T.B.	37.8	57.2	T.B.	T.B.	T.B.	T.B.	T.B.	T.B.		T.B.	T.B.

Zaman		Parametre	Kolon numarası (-0.625 mm tane boyu)											
Ölçüm Haftası-tarihi	Gün		23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
1. (05.09.2011)	0	Debi (ml/sn)	0.20	0.34	0.07	0.08	0.04	0.10	0.05	0.23	0.03	0.42	0.05	0.37
		pH	7.09	6.95	7.51	7.52	6.86	7.43	8.07	7.88		7.52	7.70	7.83
		İletkenlik	3.05	3.91	2.83	837	1951	1808	394	1297		704	125.9	164.1
2. (12.09.2011)	7	pH	7.11	6.78	7.37		7.14	7.51	7.97	7.82		7.46	7.80	7.77
		İletkenlik	5.24	5.38	4.70		2.5	1478	1285	769		471	333	253
3. (19.09.2011)	7	pH	7.16	6.97	7.13	7.72	7.32	7.92	8.11	7.97		7.62	7.76	7.87
		İletkenlik	463	3.75	5.61	2.76	2.92	2.05	1679	817		430	289	253
4. (26.09.2011)	7	pH	6.96	7.13	7.38	7.38	7.43	7.42	7.98	7.79		7.65	7.63	7.87
		İletkenlik	451	3.67	4.94	2.88	3.84	2.57	2.06	1073		518	321	328
5. (03.10.2011)	7	pH	7.46	6.93	7.13	7.29	7.20	7.64	7.40	7.76		7.64	7.66	7.76
		İletkenlik	4.18	4.47	5.17	3.46	3.38	2.58	2.45	1180		545	308	345

Ek 1. Devam.

Zaman		Parametre	Kolon numarası (-0.625 mm tane boyu)											
Ölçüm Haftası-tarihi	Gün		23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
		Debi (ml/sn)	0.20	0.34	0.07	0.08	0.04	0.10	0.05	0.23	0.03	0.42	0.05	0.37
6. (10.10.2011)	7	pH	7.03	6.94	7.13	7.07	7.19	7.29	7.31	7.71		7.59	7.63	7.95
		İletkenlik	4.74	4.09	3.32	4.50	3.70	3.01	2.35	1237		567	330	454
7. (17.10.2011)	7	pH	7.54	7.2	7.07	7.24	7.36	7.14	7.44	7.58		7.38	7.40	7.61
		İletkenlik	3.55	4.25	4.96	3.82	2.70	3.01	2.62	1432		528	311	464
8. (24.10.2011)	7	pH		7.05	7.04	8.1	7.84	7.27	7.57	7.92		7.26		
		İletkenlik		4.52	5.82	2.35	4.08	1979	3.22	1608		641		
9. (31.10.2011)	7	pH		7.1	8.01	7.77	7.73	7.74	8.07	7.97		7.91	7.55	7.62
		İletkenlik		4.66	5.76	2.83	2.88	1517	3.7	2.24		942	711	549
10. (14.11.2011)	15	pH						7.39						
		İletkenlik						1950						
11. (19.11.2011)	7	pH	7.47	7.17	6.25	6.41	6.07	6.46	5.90	6.05		6.17	6.19	6.30
		İletkenlik	4.18	4.11	11.32	2.89	2.24	1513	1630	2.12		112	0.6	361
12. (28.11.2011)	7	pH	7.44	7.64		7.66		7.55	7.92	8.02		7.99	7.86	8.09
		İletkenlik	5.04	4.40		3.45		23.8	17.2	2.18		823	242	336
13. (05.12.2011)	7	pH	7.44	7.67		7.59		7.69	8.04	8.12		7.77	7.87	7.91
		İletkenlik	431	4.46		2.69		1802	3.43	1775		761	716	443
14. (12.12.2011)	7	pH	6.98			7.24		7.33	8.15	8.01		7.88		7.79
		İletkenlik	3.91			2.63		1682	4.92	1847		817		6.04

Ek 1. Devam.

Zaman		Parametre	Kolon numarası (-0.625 mm tane boyu)											
Ölçüm Haftası-tarihi	Gün		23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
		Debi (ml/sn)	0.20	0.34	0.07	0.08	0.04	0.10	0.05	0.23	0.03	0.42	0.05	0.37
15. (19.12.2011)	7	pH	7.05			7.37		7.43	8.24	8.31		8.11	8.35	8.36
		İletkenlik	18.7			18.3		1793	4.88	1803		7.04	1042	385
16. (26.12.2011)	7	pH	6.85			6.99		7.25	7.93			8.07	7.88	7.26
		İletkenlik	3.47			1.8		1266	4.37			1328	595	325
17. (02.01.2011)	7	pH	6.82	7.21		7.49		7.61	7.91	8.11		8.1		7.96
		İletkenlik	3.89	4.12		2.61		1497	5.66	1381		758		552
18. (09.01.2012)	7	pH	6.91	6.81		6.31		3.85	6.34	6.45		6.22		6.13
		İletkenlik	3.87	2.95		1173		1920	1103	566		2.6		399
19. (16.01.2012)	7	pH	7.18			7.49		7.69	7.94	8.16		8.06	8.16	8.08
		İletkenlik	3.00			1399		508	2.81	597		3.51	846	290
20. (23.01.2012)	7	pH	7.62			5.62		6.71	6.80	6.83		6.33		5.34
		İletkenlik	3.41			16.59		1932	2.42	2.4		4.36		3.21
21. (30.01.2012)	7	pH	7.55			4.28		4.91	6.48	6.36		4.36		2.21
		İletkenlik	3.06			1375		6.35	5.97	3.69		7.24		8.65
22. (06.02.2012)	7	pH	7.56			7.14		7.30	7.02	7.28		6.30	5.88	T.B.
		İletkenlik	2.79			4.55		4.02	3.02	3.94		8.90	15	T.B.
23. (13.02.2012)	7	pH	6.83			6.58		6.94	6.76	7.05		6.45	5.86	T.B.
		İletkenlik	1485			7.80		4.73	3.51	3.40		7.13	29.6	T.B.

Ek 1. Devam.

Zaman		Parametre	Kolon numarası (-0.625 mm tane boyu)											
Ölçüm Haftası-tarihi	Gün		23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
		Debi (ml/sn)	0.20	0.34	0.07	0.08	0.04	0.10	0.05	0.23	0.03	0.42	0.05	0.37
24. (20.02.2012)	7	pH	7.72			7.28		6.50	7.26	2.21		1.10		T.B.
		İletkenlik	2.42			8.54		4.37	4.85	32.5		186.2		T.B.
25. (27.02.2012)	7	pH	7.61			7.4		7.8	6.08	T.B.		T.B.	3.13	T.B.
		İletkenlik	2.63			2.45		470	17.2	T.B.		T.B.	14.5	T.B.
26. (03.05.2012)	7	pH	6.74			6.39		6.54	4.4	T.B.		T.B.	T.B.	T.B.
		İletkenlik	2.08			6.27		1719	21.3	T.B.		T.B.	T.B.	T.B.
27. (12.03.2012)	7	pH	8.31			7.75		8.17	4.14	T.B.		T.B.	T.B.	T.B.
		İletkenlik	4.41			4.82		1856	18.98	T.B.		T.B.	T.B.	T.B.
28. (19.03.2012)	7	pH	7.58			7.03		7.84	5.28	T.B.		T.B.	T.B.	T.B.
		İletkenlik	1248			3.67		4.56	9.52	T.B.		T.B.	T.B.	T.B.
29. (26.03.2012)	7	pH	7.54			7.25		7.73	6.32	T.B.		T.B.	T.B.	T.B.
		İletkenlik	2.54			2.81		8.44	7.37	T.B.		T.B.	T.B.	T.B.
30. (02.04.2012)	7	pH	8.15			7.63		8.23	6.76	T.B.		T.B.	T.B.	T.B.
		İletkenlik	1349			3.21		9.92	8.65	T.B.		T.B.	T.B.	T.B.
31. (09.04.2012)	7	pH	6.48			6.95		3.64	5.68	T.B.		T.B.	T.B.	T.B.
		İletkenlik	6.87			5.22		2.27	20.4	T.B.		T.B.	T.B.	T.B.
32. (16.04.2012)	7	pH	6.45			5.98		3.72	5.98	T.B.		T.B.	T.B.	T.B.
		İletkenlik	5.27			7.82		10.76	16.23	T.B.		T.B.	T.B.	T.B.

Ek 1. Devam.

Zaman		Parametre	Kolon numarası (-0.625 mm tane boyu)											
Ölçüm Haftası-tarihi	Gün		23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
33. (24.04.2012)	7	Debi (ml/sn)	0.20	0.34	0.07	0.08	0.04	0.10	0.05	0.23	0.03	0.42	0.05	0.37
		pH	6.66			6.76		T.B.	5.87	T.B.		T.B.	T.B.	T.B.
34. (30.04.2012)	7	İletkenlik	5.87			7.65		T.B.	16.27	T.B.		T.B.	T.B.	T.B.
		pH	6.77			2.97		T.B.	4.15	T.B.		T.B.	T.B.	T.B.
35. (07.05.2012)	7	İletkenlik	7.39			19.54		T.B.	22.2	T.B.		T.B.	T.B.	T.B.
		pH	5.44			T.B.		T.B.	3.95	T.B.		T.B.	T.B.	T.B.
36. (14.05.2012)	7	İletkenlik	24.8			T.B.		T.B.	30.3	T.B.		T.B.	T.B.	T.B.
		pH	4.86			T.B.		T.B.	T.B.	T.B.		T.B.	T.B.	T.B.
37. (21.05.2012)	7	İletkenlik	22.6			T.B.		T.B.	T.B.	T.B.		T.B.	T.B.	T.B.
		pH	4.73			T.B.		T.B.	T.B.	T.B.		T.B.	T.B.	T.B.
38. (28.05.2012)	7	İletkenlik	28.4			T.B.		T.B.	T.B.	T.B.		T.B.	T.B.	T.B.
		pH	3.95			T.B.		T.B.	T.B.	T.B.		T.B.	T.B.	T.B.
		İletkenlik	39.1			T.B.		T.B.	T.B.	T.B.		T.B.	T.B.	T.B.
		pH												

Ek 2. Kinetik kolon testleri sırasında elde edilen su numunelerinin tarih sırasına göre kimyasal analiz sonuçları.

04 Nisan 2011 (-3.35 mm)	K	Na	Ca	Mg	Mn	NH ₄	Li	B	SiO ₂	Fe	Pb	Zn	Cd	Cu	Ni	Cr	Co	Mo	Sr	Ba	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	F	NO ₂	NO ₃	Br	PO ₄ ³⁻
Başlangıç	<1.0	1.2	<1.0	<1.0	<0.05	<0.1	<0.1	<0.1	<5.0	<0.05	<0.05	0.34	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<10	<10	<1.0	<1.0	<0.1	<0.05	<0.1	<0.1	<0.1
Kolon 11	8.85	3.16	385	174	6.7	<0.1	<0.1	0.2	6.1	<0.05	<0.05	9.79	0.09	1	0.44	<0.05	0.1	<0.05	0.54	<0.05	<10	108	2.71	1685	1	0.44	2.83	<0.1	<0.1
Kolon 12	10.3	3.94	438	172	6.31	0.5	<0.1	0.1	6.2	<0.05	<0.05	8.85	0.08	0.67	1.11	<0.05	0.09	<0.05	0.55	<0.05	<10	98.8	4.11	1663	1.1	0.4	4.9	<0.1	<0.1
Kolon 13	6.53	2.41	268	98.8	3.45	0.3	<0.1	0.1	5.1	<0.05	<0.05	6.69	0.06	0.49	0.54	<0.05	0.07	<0.05	0.38	<0.05	<10	92.1	<1.0	1058	0.3	0.09	0.04	<0.1	<0.1
Kolon 14	4.46	2.11	233	81.7	2.66	0.1	<0.1	<0.1	<5.0	<0.05	<0.05	6.71	0.06	1.32	1.34	<0.05	0.05	<0.05	0.26	<0.05	<10	79.7	<1.0	884	0.3	0.1	0.5	<0.1	<0.1
Kolon 15	4.89	2.33	195	77.8	2.65	0.1	<0.1	<0.1	<5.0	<0.05	<0.05	3.66	<0.05	0.14	0.97	<0.05	<0.05	<0.05	0.26	<0.05	<10	93.2	<1.0	767	0.3	0.08	0.06	<0.1	<0.1
Kolon 16	2.92	1.94	104	48.2	1.62	0.1	<0.1	<0.1	<5.0	<0.05	<0.05	2.78	<0.05	0.49	0.5	<0.05	<0.05	<0.05	0.15	<0.05	<10	78.6	<1.0	429	0.2	<0.05	0.9	<0.1	<0.1
Kolon 17	1.56	1.48	75.6	30.5	1.04	<0.1	<0.1	<0.1	<5.0	<0.05	<0.05	1.52	<0.05	0.14	0.49	<0.05	<0.05	<0.05	0.08	<0.05	<10	86.5	<1.0	269	0.2	<0.05	<0.1	<0.1	<0.1
Kolon 18	1.14	1.55	65.8	25	0.9	<0.1	<0.1	<0.1	<5.0	<0.05	<0.05	1.94	<0.05	0.73	0.34	<0.05	<0.05	<0.05	0.06	<0.05	<10	44.9	<1.0	242	0.1	0.06	<0.1	<0.1	<0.1
Kolon 19	1.70	1.53	30.20	12.40	0.47	<0.1	<0.1	<0.1	<5.0	0.23	<0.05	1.21	<0.05	0.40	0.14	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<10	26.90	<1.0	113.00	<0.1	<0.05	<0.1	<0.1	<0.1
Kolon 20	<1.0	1.58	24.70	10.40	0.40	<1.0	<1.0	<1.0	<5.0	<0.05	<0.05	0.73	<0.05	0.21	0.08	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<10	27.50	<1.0	95.40	<0.1	<0.05	<0.1	<0.1	<0.1
Kolon 21	<1.0	1.45	10.30	4.41	0.17	<1.0	<1.0	<1.0	<5.0	<0.05	<0.05	0.75	<0.05	0.27	0.07	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<10	18.00	<1.0	37.00	<0.1	0.05	<0.1	<0.1	<0.1
Kolon 22	<1.0	1.42	7.59	3.22	0.13	<0.1	<0.1	<0.1	<5.0	<0.05	<0.05	0.44	<0.05	0.09	0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<10	19.10	<0.1	23.80	<0.1	0.05	<0.1	<0.1	<0.1

Ek 2. Devam.

26 Nisan 2011 (-3.35 mm)	K	Na	Ca	Mg	Mn	NH ₄	Li	B	SiO ₂	Fe	Pb	Zn	Cd	Cu	Ni	Cr	Co	Mo	Sr	Ba	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	F	NO ₂	NO ₃	Br	PO ₄ ³⁻
Kolon 11	11.7	2.87	518	243	7.6	0.3	<0.1	0.2	5.8	<0.05	<0.05	13.6	0.12	1.39	0.91	<0.05	0.14	<0.05	0.65	<0.05	<10	97.7	2.12	2247	0.5	0.1	1.1	<0.1	<0.1
Kolon 12	11.2	3.24	477	201	5.66	0.5	<0.1	0.2	5	0.1	<0.05	3.47	<0.05	0.08	1.41	<0.05	0.06	<0.05	0.64	<0.05	<10	131	2.67	1866	0.4	0.08	1.4	<0.1	<0.1
Kolon 13	8.66	2.16	316	137	4	0.4	<0.1	0.1	<5	0.07	<0.05	2.3	<0.05	0.13	0.97	<0.05	0.05	<0.05	0.44	<0.05	<10	116	1.76	1240	0.4	0.1	0.9	<0.1	<0.1
Kolon 14	5.93	1.92	242	105	2.84	0.1	<0.1	0.1	<5	<0.05	<0.05	2.9	<0.05	0.11	1.59	<0.05	<0.05	<0.05	0.28	<0.05	<10	98.8	1.2	920	0.3	0.05	0.3	<0.1	<0.1
Kolon 15	7.26	2.33	242	115	3.65	0.3	<0.1	0.1	<5	<0.05	<0.05	4.64	<0.05	0.19	1.7	<0.05	0.05	<0.05	0.32	<0.05	<10	87.6	2.27	992	0.3	0.08	1.3	<0.1	<0.1
Kolon 16	3.18	1.49	100	51.8	1.67	0.1	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	2.76	<0.05	0.33	0.68	<0.05	<0.05	<0.05	0.15	<0.05	<10	59.5	1	449	0.2	0.05	1.1	<0.1	<0.1
Kolon 17	2.09	1.16	72.2	34.5	1	<0.1	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	0.4	<0.05	0.06	0.31	<0.05	<0.05	<0.05	0.08	<0.05	<10	79.2	<1	267	0.2	<0.05	0.1	<0.1	<0.1
Kolon 18	1.62	1.21	69.3	35.1	1.08	<0.1	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	2.4	<0.05	1.49	0.83	<0.05	<0.05	<0.05	0.07	<0.05	<10	28.1	<1.0	317	0.2	0.05	0.1	<0.1	<0.1
Kolon 19	1.00	1.09	38.80	19.10	0.58	<0.1	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	1.39	<0.05	0.32	0.24	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<10	39.30	1.09	154.00	0.3	<0.05	0.2	<0.1	<0.1
Kolon 20	1.12	1.24	35.70	17.60	0.51	<0.1	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	1.12	<0.05	0.44	0.15	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<10	34.20	<1	138.00	<0.1	<0.05	0.1	<0.1	<0.1
Kolon 21	<1	1.01	12.30	6.28	0.20	<0.1	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	0.79	<0.05	0.15	0.12	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<10	26.90	<1	41.90	<0.1	0.06	0.2	<0.1	<0.1
Kolon 22	<1	1.00	9.70	4.67	0.16	<0.1	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	0.46	<0.05	0.12	0.07	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<10	26.90	<1	29.50	<0.1	0.06	<0.1	<0.1	0.3

Ek 2. Devam.

17 Mayıs 2011 (-3.35 mm)	K	Na	Ca	Mg	Mn	NH ₄	Li	B	SiO ₂	Fe	Pb	Zn	Cd	Cu	Ni	Cr	Co	Mo	Sr	Ba	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	F	NO ₂	NO ₃	Br	PO ₄ ³⁻
Kolon 11	8.23	2.59	481	250	6.4	<0.1	<0.1	0.2	<5	<0.05	<0.05	10.1	0.09	0.7	0.71	<0.05	0.1	<0.05	0.41	<0.05	<10	82	1.79	2061	0.4	0.07	0.6	<0.1	<0.1
Kolon 12	16.6	7.6	420	185	4.08	1.2	0.4	0.2	5.1	<0.05	<0.05	1.32	<0.05	0.08	0.65	<0.05	<0.05	<0.05	0.46	<0.05	<10	120	2.94	1680	0.5	0.07	0.6	<0.1	<0.1
Kolon 13	10.8	4.59	301	140	3.19	0.8	<0.1	0.1	<5	<0.05	<0.05	1.02	<0.05	0.14	0.77	<0.05	0.05	<0.05	0.35	<0.05	<10	134	1.74	1255	0.4	0.1	0.9	<0.1	<0.1
Kolon 14	7.71	3.04	248	119	2.52	0.4	<0.1	0.1	<5	<0.05	<0.05	1.03	<0.05	<0.05	1.36	<0.05	<0.05	<0.05	0.24	<0.05	<10	123	3.59	1029	0.6	0.15	1	<0.1	<0.1
Kolon 15	6.7	2.63	245	127	3.07	0.4	<0.1	0.1	<5	<0.05	<0.05	1.73	<0.05	<0.05	2.78	<0.05	<0.05	<0.05	0.25	<0.05	<10	117	1	1084	0.2	0.07	3.6	<0.1	<0.1
Kolon 16	3.47	1.96	172	82.2	2.26	0.1	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	3.22	<0.05	0.29	0.8	<0.05	<0.05	<0.05	0.16	<0.05	<10	79.7	1.3	702	0.3	0.08	0.6	<0.1	<0.1
Kolon 17	4.04	2.13	98.4	45.8	1.05	0.3	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	0.44	<0.05	0.08	0.37	<0.05	<0.05	<0.05	0.09	<0.05	<10	107	1	358	0.3	0.21	1.3	<0.1	<0.1
Kolon 18	1.66	1.49	117	57	1.48	0.1	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	4.09	<0.05	2.5	1.92	<0.05	<0.05	<0.05	0.09	<0.05	<10	30.9	1.1	503	0.3	0.13	0.6	<0.1	<0.1
Kolon 19	1.64	1.53	21.70	11.00	0.33	<0.1	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	0.93	<0.05	0.34	0.14	<0.05	<0.05	<0.05	0.05	<0.05	<10	30.30	1.79	82.40	<0.1	0.08	1.7	<0.1	<0.1
Kolon 20	<1	1.52	15.10	7.37	0.20	<0.1	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	0.59	<0.05	0.06	0.11	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<10	38.20	<1	42.60	<0.1	0.05	0.2	<0.1	<0.1
Kolon 21	<1	1.01	12.30	6.28	0.20	<0.1	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	0.79	<0.05	0.15	0.12	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<10	26.90	<1	41.90	<0.1	0.06	0.2	<0.1	<0.1
Kolon 22	<1	1.58	11.10	5.09	0.16	<0.1	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	0.57	<0.05	0.10	0.12	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<10	28.10	<1	32.00	<0.1	0.06	0.2	<0.1	0.3

Ek 2. Devam.

09 Haziran 2012 (-3.35 mm)	K	Na	Ca	Mg	Mn	NH ₄	Li	B	SiO ₂	Fe	Pb	Zn	Cd	Cu	Ni	Cr	Co	Mo	Sr	Ba	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	F	NO ₂	NO ₃	Br	PO ₄ ³⁻	
Kolon 11	13.7	4.67	385	208	4.08	0.5	<0.1	0.3	<5	<0.05	<0.05	1.39	<0.05	0.15	0.35	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.36	<0.05	<10	126	4.02	1691	0.4	0.09	0.9	0.1	<0.1
Kolon 12	13.7	4.62	282	115	2.79	0.8	<0.1	0.2	5.1	<0.05	<0.05	0.83	<0.05	0.05	0.57	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.33	<0.05	<10	106	3.33	1084	0.4	0.13	2	0.1	<0.1
Kolon 13	10.3	4.15	190	95.4	2.04	0.6	<0.1	0.2	5.1	0.1	<0.05	0.41	<0.05	0.14	0.4	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.25	<0.05	<10	115	3.82	798	0.4	0.1	1.6	0.1	<0.1
Kolon 14	6.53	3.39	170	83.4	1.72	0.3	<0.1	0.1	<5	<0.05	<0.05	0.56	<0.05	<0.05	0.7	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.18	<0.05	16.6	50	1.75	690	0.3	0.06	0.2	<0.1	<0.1
Kolon 15	3.28	2.19	94.8	47.3	1.36	0.1	<0.1	0.1	5.9	<0.05	<0.05	1	<0.05	0.05	1.71	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.1	<0.05	<10	73.5	1.36	395	0.2	0.11	1.5	<0.1	<0.1
Kolon 16	2.13	1.79	103	52.9	1.34	0.1	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	1.17	<0.05	0.07	0.55	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.09	<0.05	<10	67.4	<1	428	0.2	0.06	0.4	<0.1	<0.1
Kolon 17	4.1	2.43	77.4	37.7	0.92	0.3	<0.1	0.1	<5	<0.05	<0.05	0.32	<0.05	0.09	0.25	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.08	<0.05	<10	85.9	1.14	302	0.1	<0.05	0.3	<0.1	<0.1
Kolon 18	3.36	1.87	78	38.7	1.06	0.1	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	2.64	<0.05	2.11	1.88	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.06	<0.05	<10	35.9	2.13	353	0.1	0.06	0.5	<0.1	<0.1
Kolon 19	1.99	1.66	31.20	16.00	0.44	0.3	<0.1	0.1	<5	<0.05	<0.05	0.29	<0.05	<0.05	0.08	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.05	<0.05	<10	51.60	1.47	103.00	<0.1	0.05	0.2	<0.1	<0.1
Kolon 20	1.14	1.78	11.40	5.27	0.21	0.1	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	0.25	<0.05	0.06	0.08	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<10	25.30	1.26	36.60	0.1	0.05	0.6	<0.1	<0.1	
Kolon 21	2.78	3.45	26.10	12.80	0.37	0.4	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	0.85	<0.05	0.08	0.27	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.06	0.17	<10	64.00	6.01	76.10	0.3	0.21	1.8	0.3	<0.1
Kolon 22	1.24	1.57	14.60	7.08	0.24	0.1	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	0.30	<0.05	0.05	0.07	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<10	30.30	1.43	48.90	0.1	0.05	0.9	<0.1	<0.1	

Ek 2. Devam.

01 Temmuz 2011 (-3.35 mm)	K	Na	Ca	Mg	Mn	NH ₄	Li	B	SiO ₂	Fe	Pb	Zn	Cd	Cu	Ni	Cr	Co	Mo	Sr	Ba	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	F	NO ₂	NO ₃	Br	PO ₄ ³⁻
Kolon 11	13.8	5.37	408	206	3.87	0.4	<0.1	0.3	<5	<0.05	<0.05	1.12	<0.05	0.37	0.32	<0.05	<0.05	<0.05	0.36	<0.05	<10	131	3.78	1774	0.4	<0.05	5.1	<0.1	<0.1
Kolon 12	11.4	4.58	255	112	2.51	0.5	<0.1	0.1	<5	<0.05	<0.05	0.74	<0.05	0.17	0.48	<0.05	<0.05	<0.05	0.29	<0.05	<10	120	3.15	979	0.3	0.13	4.8	<0.1	<0.1
Kolon 13	11.9	5.12	214	104	1.93	0.6	<0.1	0.1	<5	<0.05	<0.05	0.4	<0.05	0.25	0.27	<0.05	<0.05	<0.05	0.29	<0.05	<10	104	3.59	962	0.4	<0.05	3.8	<0.1	<0.1
Kolon 14	7.83	3.73	192	96.8	1.8	0.3	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	0.6	<0.05	0.05	0.5	<0.05	<0.05	<0.05	0.21	<0.05	<10	113	3.42	860	0.3	0.13	2.7	<0.1	<0.1
Kolon 15	6.23	3.39	188	99.9	2.26	0.3	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	0.95	<0.05	0.05	1.96	<0.05	<0.05	<0.05	0.17	<0.05	<10	124	2.09	756	0.2	0.07	2.7	<0.1	<0.1
Kolon 16	5.05	3.25	156	85.6	1.87	0.1	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	0.77	<0.05	0.07	0.83	<0.05	<0.05	<0.05	0.14	<0.05	<10	101	90	715	0.6	0.15	2.7	<0.1	<0.1
Kolon 17	4.49	3.32	125	64.1	1.31	0.3	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	0.22	<0.05	0.06	0.5	<0.05	<0.05	<0.05	0.11	<0.05	<10	98.2	3.37	548	0.4	0.14	3.9	<0.1	<0.1
Kolon 18	4.28	2.71	136	69.9	1.83	0.3	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	3.78	<0.05	2.78	2.54	<0.05	<0.05	<0.05	0.09	<0.05	<10	22.5	3.46	621	0.2	0.19	3.1	<0.1	<0.1
Kolon 19	2.33	2.51	34.10	19.30	0.54	0.1	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	0.21	<0.05	0.06	0.08	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<10	53.30	1.41	141.00	<0.1	0.06	<1	<0.1	<0.1
Kolon 20	1.86	2.59	38.40	22.80	0.63	0.1	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	0.59	<0.05	0.08	0.22	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<10	70.20	1.08	116.00	<0.1	0.06	<1	<0.1	<0.1
Kolon 21	2.29	3.03	26.10	13.70	0.40	0.3	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	0.59	<0.05	0.08	0.22	<0.05	<0.05	<0.05	0.07	<0.05	<10	73.50	1.36	72.90	0.1	0.19	<1	<0.1	<0.1
Kolon 22	1.14	2.62	14.60	7.44	0.28	0.1	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	0.47	<0.05	0.07	0.13	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<10	47.70	<1	36.60	<0.1	0.06	<1	<0.1	<0.1

Ek 2. Devam.

22 Temmuz 2011 (-3.35 mm)	K	Na	Ca	Mg	Mn	NH ₄	Li	B	SiO ₂	Fe	Pb	Zn	Cd	Cu	Ni	Cr	Co	Mo	Sr	Ba	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	F	NO ₂	NO ₃	Br	PO ₄ ³⁻
Kolon 11	13.1	4.93	360	183	2.86	0.4	<0.1	0.3	5.4	<0.05	<0.05	0.48	<0.05	0.48	0.27	<0.05	<0.05	<0.05	1.54	<0.05	<10	121	3.72	1561	0.5	0.11	2.3	<0.1	<0.1
Kolon 12	10	4.07	259	111	2.17	0.4	<0.1	0.1	5.5	<0.05	<0.05	0.53	<0.05	0.25	0.35	<0.05	<0.05	<0.05	0.29	<0.05	<10	114	3.39	1012	0.4	0.1	2.9	<0.1	<0.1
Kolon 13	8.22	4.08	208	98	1.6	0.5	<0.1	0.1	<5	<0.05	<0.05	0.36	<0.05	0.33	0.27	<0.05	<0.05	<0.05	0.23	<0.05	<10	110	3	808	0.4	0.09	2.3	<0.1	<0.1
Kolon 14	8.35	3.88	342	156	4.52	0.1	<0.1	0.1	5.5	<0.05	<0.05	3.96	0.05	0.59	1.67	<0.05	0.05	<0.05	0.28	<0.05	<10	81.2	4.24	1482	0.4	0.12	2.3	<0.1	<0.1
Kolon 15	7.83	3.65	259	111	2.67	0.3	<0.1	0.1	<5	<0.05	<0.05	1.11	<0.05	0.06	1.45	<0.05	<0.05	<0.05	0.19	<0.05	<10	115	4.32	1083	0.3	0.07	1.6	<0.1	<0.1
Kolon 16	5.61	3.41	184	83	1.66	0.1	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	0.7	<0.05	0.08	0.55	<0.05	<0.05	<0.05	0.13	<0.05	<10	89.1	3.63	711	0.3	0.11	2.5	<0.1	<0.1
Kolon 17	4.78	3.44	136	70.5	1.33	0.1	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	0.38	<0.05	0.14	0.41	<0.05	<0.05	<0.05	0.11	<0.05	<10	91.4	1.83	538	0.2	0.07	1.7	<0.1	<0.1
Kolon 18	4.47	3.15	194	80.5	2.18	0.3	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	3.73	<0.05	2.87	2.65	<0.05	<0.05	<0.05	0.09	<0.05	<10	25	2.42	798	0.2	0.1	2.1	<0.1	<0.1
Kolon 19	2.94	3.25	56.00	31.10	0.68	0.1	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	0.34	<0.05	0.06	0.13	<0.05	<0.05	<0.05	0.06	<0.05	<10	81.70	1.29	208.00	0.1	0.06	<1	<0.1	<0.1
Kolon 20	3.16	3.12	56.50	32.80	0.72	<0.1	<0.1	0.1	<5	<0.05	<0.05	0.46	<0.05	0.08	0.25	<0.05	<0.05	<0.05	0.06	<0.05	<10	94.80	1.44	206.00	0.1	0.05	<1	<0.1	<0.1
Kolon 21	1.79	2.76	18.40	8.15	0.18	0.1	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	0.28	<0.05	0.07	0.13	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<10	48.20	<1	37.70	0.1	0.07	<1	<0.1	<0.1
Kolon 22	1.77	3.21	20.10	9.86	0.27	0.1	<0.1	0.2	<5	<0.05	<0.05	0.29	<0.05	0.07	0.13	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<10	46.00	1	51.90	0.1	0.08	<1	<0.1	<0.1

Ek 2. Devam.

10 Agustus 2011 (3.35 mm)	K	Na	Ca	Mg	Mn	NH ₄	Li	B	SiO ₂	Fe	Pb	Zn	Cd	Cu	Ni	Cr	Co	Mo	Sr	Ba	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	F	NO ₂	NO ₃	Br	PO ₄ ³⁻
Kolon 11	9.57	482	447	223	426	1.6	<0.1	0.2	6.2	<0.05	<0.05	1.75	<0.05	0.51	0.59	<0.05	<0.05	<0.05	0.31	<0.05	<10	139	3.39	1913	0.4	<0.05	2.4	<0.1	<0.1
Kolon 12	8.9	642	215	95	1.3	1.7	<0.1	0.1	6.3	<0.05	<0.05	0.7	<0.05	0.12	0.27	<0.05	<0.05	<0.05	0.2	<0.05	<10	126	7.29	838	0.9	<0.05	2.8	<0.1	<0.1
Kolon 13	7.31	3.6	241	117	2.34	1.6	<0.1	0.1	6	<0.05	<0.05	0.96	<0.05	0.7	0.35	<0.05	<0.05	<0.05	0.23	<0.05	<10	121	4.94	878	0.7	<0.05	4.1	<0.1	<0.1
Kolon 14	5.3	323	462	233	4.69	2.4	<0.1	0.1	5.1	<0.05	<0.05	4.02	0.06	1.32	1.62	<0.05	0.05	<0.05	0.3	<0.05	<10	80.6	3.84	1935	0.3	0.12	2.5	<0.1	<0.1
Kolon 15	4.56	256	342	183	4.26	1.9	<0.1	<0.1	5.2	<0.05	<0.05	5.92	0.07	4.88	2.32	<0.05	0.05	<0.05	0.24	<0.05	<10	48.8	4.77	1563	0.3	0.05	1.8	<0.1	<0.1
Kolon 16	6.36	409	228	123	3.14	1.5	<0.1	0.1	5.4	<0.05	<0.05	2.13	<0.05	0.49	0.99	<0.05	<0.05	<0.05	0.23	<0.05	<10	102	4.12	1073	0.3	<0.05	2.6	<0.1	<0.1
Kolon 17	3.66	352	151	89.2	1.87	1.5	<0.1	0.1	<5	<0.05	<0.05	1.11	<0.05	0.3	0.85	<0.05	<0.05	<0.05	0.17	<0.05	<10	86.3	5.63	717	0.3	0.05	1.8	<0.1	<0.1
Kolon 18	2.06	1.74	151	89.9	1.9	1.3	<0.1	<0.1	<0.5	<0.05	<0.05	2.71	<0.05	2.61	1.56	<0.05	<0.05	<0.05	0.12	<0.05	<10	19.9	2.28	780	0.2	0.07	2.1	<0.1	<0.1
Kolon 19	2.10	2.02	61.50	34.10	0.89	0.5	<0.1	<0.1	<0.5	<0.05	<0.05	0.51	<0.05	0.16	0.24	<0.05	<0.05	<0.05	0.09	<0.05	<10	58.50	1.77	271.00	0.1	0.06	1.2	<0.1	<0.1
Kolon 20	2.71	3.11	38.20	20.40	0.65	0.3	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	0.23	<0.05	0.13	0.11	<0.05	<0.05	<0.05	0.1	<0.05	<10	62.40	2.01	148.00	0.1	<0.05	1.3	<0.1	<0.1
Kolon 21	2.36	2.48	29.70	15.10	0.43	0.4	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	0.57	<0.05	0.14	0.36	<0.05	<0.05	<0.05	0.09	<0.05	<10	59.60	1.7	104.00	0.1	0.36	<1	<0.1	<0.1
Kolon 22	2.07	2.30	20.50	10.70	0.37	0.5	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	0.18	<0.05	0.12	0.14	<0.05	<0.05	<0.05	0.08	<0.05	<10	27.80	1.49	85.40	0.1	0.05	1.4	<0.1	<0.1

Ek 2. Devam.

07 Eylül 2011 (3,35 mm)	K	Na	Ca	Mg	Mn	Li	B	SiO ₂	Fe	Pb	Zn	Cd	Cu	Ni	Cr	Co	Mo	Sr	Ba	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	F	NO ₂	NO ₃	Br	PO ₄ ³⁻
Kolon 11	12.6	4.18	553	402	11.4	<0.1	0.2	8.7	<0.05	<0.05	12.6	0.25	12.5	1.87	<0.05	0.11	<0.05	0.33	<0.05	<10	73.8	6.3	3129	0.8	0.45	6.9	<0.1	<0.1
Kolon 12	9.03	6.45	284	190	4.39	<0.1	0.1	6.4	0.15	<0.05	3.37	0.05	1.26	0.55	<0.05	<0.05	<0.05	0.29	<0.05	<10	136	4.85	1486	0.4	0.09	2.9	<0.1	<0.1
Kolon 13	12.9	3.61	440	258	7.53	<0.1	0.1	5.9	0.06	<0.05	7.21	0.11	1.71	1	<0.05	0.06	<0.05	0.31	<0.05	<10	102	4	2209	0.4	0.09	3.5	<0.1	<0.1
Kolon 14	8.98	3.59	330	216	4.3	<0.1	<0.1	<5	0.05	<0.05	4.36	0.06	4.44	1.9	<0.05	<0.05	<0.05	0.23	<0.05	<10	55.6	3.6	1775	0.4	0.09	3.2	<0.1	<0.1
Kolon 15	10.9	5.32	448	265	6.74	<0.1	<0.1	<5	0.05	<0.05	8.36	0.09	4.23	2.49	<0.05	0.05	<0.05	0.26	<0.05	<10	56.7	4.1	1971	0.4	0.12	5.1	<0.1	<0.1
Kolon 16	6.71	2.12	217	112	2.91	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	3.55	0.06	1.48	1.06	<0.05	<0.05	<0.05	0.12	<0.05	<10	68.1	2.04	841	0.3	<0.05	2.5	<0.1	<0.1
Kolon 17	7.34	2.59	241	129	3.7	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	4.58	0.08	3.13	1.13	<0.05	<0.05	<0.05	0.15	<0.05	<10	56.7	2.18	965	0.2	<0.05	2.6	<0.1	<0.1
Kolon 18	3.54	2.24	190	109	2.38	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	3.23	<0.05	3.43	1.55	<0.05	<0.05	<0.05	0.1	<0.05	<10	34	2.1	951	0.2	0.05	2.7	<0.1	<0.1
Kolon 19	3.33	2.62	109.00	54.70	1.46	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	1.61	<0.05	1.39	0.47	<0.05	<0.05	<0.05	0.09	<0.05	<10	39.70	1.45	413.00	0.1	0.05	<1	<0.1	<0.1
Kolon 20	3.01	2.52	51.00	26.20	0.69	<0.1	<0.1	<5	0.06	<0.05	0.50	<0.05	0.17	0.17	<0.05	<0.05	<0.05	0.08	<0.05	<10	68.10	1.28	183.00	0.1	<0.05	<1	<0.1	<0.1
Kolon 21	4.15	3.19	43.20	23.20	0.54	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	0.89	<0.05	0.14	0.99	<0.05	<0.05	<0.05	0.11	<0.05	<10	156.00	1	63.00	<0.1	0.06	<1	<0.1	<0.1
Kolon 22	2.12	2.36	27.30	15.40	0.42	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	0.64	<0.05	0.19	0.20	<0.05	<0.05	<0.05	0.07	<0.05	<10	45.40	1.19	88.90	0.2	0.05	<1	<0.1	<0.1

Ek 2. Devam.

13 Ekim 2011 (-3,35 mm)	K	Na	Ca	Mg	Mn	NH ₄	Li	B	SiO ₂	Fe	Pb	Zn	Cd	Cu	Ni	Cr	Co	Mo	Sr	Ba	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	F	NO ₂	NO ₃	Br	PO ₄ ³⁻
Kolon 11	10.6	3.04	667	406	9.39		<0.1	0.2	6.7	<0.05	<0.05	3.19	0.1	1.35	1.1	<0.05	9.39	<0.05	0.3	<0.05	<10	98.7	5.14	3157	0.6	<0.05	7	<0.1	<0.1
Kolon 12	7.1	2.09	225	94.7	1.45		<0.1	0.1	<5	<0.05	<0.05	0.57	<0.05	0.36	0.09	<0.05	<0.05	<0.05	0.11	<0.05	<10	118	288	895	0.3	<0.05	2.5	<0.1	<0.1
Kolon 13	9.19	2.08	528	277	6.8		<0.1	0.2	7.3	<0.05	<0.05	5.72	0.15	1.82	0.9	<0.05	0.07	<0.05	0.26	<0.05	<10	92.5	3.34	2456	0.3	<0.05	3.3	<0.1	<0.1
Kolon 14	7.54	1.74	450	248	4.05		<0.1	0.1	<5	<0.05	<0.05	3.4	0.06	3.58	1.19	<0.05	0.05	<0.05	0.17	<0.05	<10	142	276	2135	0.3	0.11	5.5	<0.1	<0.1
Kolon 15	5.79	2.04	429	239	4.22		<0.1	0.1	<5	<0.05	<0.05	5.76	0.08	6.39	1.5	<0.05	<0.05	0.05	0.18	<0.05	<10	39.7	3.7	1781	0.3	<0.05	3.7	<0.1	<0.1
Kolon 16	6.24	1.57	289	165	3.57		<0.1	0.1	<5	<0.05	<0.05	3.85	0.07	4.78	1.14	<0.05	0.05	<0.05	0.15	<0.05	<10	45.4	2.08	1244	0.2	<0.05	2.5	<0.1	<0.1
Kolon 17	5.52	1.95	269	159	2.46		<0.1	0.1	<5	<0.05	<0.05	4.23	<0.05	4.03	0.53	<0.05	<0.05	<0.05	0.1	<0.05	<10	39.7	1.93	890	0.2	<0.05	2.6	<0.1	<0.1
Kolon 18	2.04	1.03	210	120	2.34		<0.1	0.1	<5	<0.05	<0.05	3.63	<0.05	3.43	1.63	<0.05	<0.05	<0.05	0.08	<0.05	<10	14	1.56	965	0.1	<0.05	1.6	<0.1	<0.1
Kolon 19	3.86	1.94	187.00	100.00	2.09		<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	2.35	<0.05	2.81	1.06	<0.05	<0.05	<0.05	0.12	<0.05	<10	22.70	1.93	798.00	0.1	0.07	9.5	<0.1	<0.1
Kolon 20	4.52	3.27	99.60	48.60	1.11		<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	0.76	<0.05	0.33	0.30	<0.05	<0.05	<0.05	0.13	<0.05	<10	85.10	5.14	378.00	0.1	<0.05	7	<0.1	<0.1
Kolon 21	1.28	1.03	26.20	14.10	0.33		<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	0.85	<0.05	1.60	0.43	<0.05	<0.05	<0.05	0.05	<0.05	<10	51.10	0.84	73.90	0.1	0.07	8	<0.1	<0.1
Kolon 22	1.85	1.73	36.90	19.90	0.55		<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	0.44	<0.05	0.16	0.32	<0.05	<0.05	<0.05	0.07	<0.05	<10	56.70	1.16	121.00	0.1	0.09	7.4	<0.1	<0.1

Ek 2. Devam.

27 Ekim 2011 (-3,35 mm)	K	Na	Ca	Mg	Mn	NH ₄	Li	B	SiO ₂	Fe	Pb	Zn	Cd	Cu	Ni	Cr	Co	Mo	Sr	Ba	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	F	NO ₂	NO ₃	Br	PO ₄ ³⁻
Kolon 11	9.87	2.01	441	245	5.72	<0.1	<0.1	0.2	5.6	<0.05	<0.05	5.29	0.12	2.47	1.13	<0.05	<0.05	<0.05	0.23	<0.05	<10	115	2.33	2077	0.3	0.05	2.1	<0.1	<0.1
Kolon 12	8.68	2.24	303	164	3.69	<0.1	<0.1	0.1	<5	0.09	<0.05	2.74	<0.05	1.08	0.38	<0.05	<0.05	<0.05	0.23	<0.05	<10	153	2.9	1331	0.2	0.07	2	<0.1	<0.1
Kolon 13	9.56	1.91	515	266	7.02	<0.1	<0.1	0.1	6.8	<0.05	<0.05	10.2	0.26	10.1	1.25	<0.05	0.1	<0.05	0.32	<0.05	<10	66.5	3.02	2471	0.3	<0.05	2.9	<0.1	<0.1
Kolon 14	8.1	3.41	385	223	7.12	0.1	<0.1	0.1	<5	<0.05	<0.05	6.73	0.1	15.4	1.64	<0.05	0.06	<0.05	0.23	<0.05	<10	30.2	3.47	1939	0.3	0.07	3.2	<0.1	<0.1
Kolon 15	7.52	4.24	377	216	4.83	0.1	<0.1	0.1	<5	<0.05	<0.05	8.65	0.08	8.55	1.66	<0.05	<0.05	<0.05	0.21	<0.05	<10	42.3	3.54	1784	0.3	0.11	5.4	<0.1	<0.1
Kolon 16	7.47	3.63	354	198	4.39	0.1	<0.1	0.1	<5	0.07	<0.05	4.87	0.05	5.23	1.19	<0.05	<0.05	<0.05	0.24	<0.05	<10	60.4	5.45	1586	0.3	<0.05	3.6	<0.1	<0.1
Kolon 17	9.31	5.35	377	229	4.98	<0.1	<0.1	0.1	5.9	<0.05	<0.05	7.07	0.07	9.86	1.22	<0.05	<0.05	<0.05	0.41	<0.05	<10	42.3	19	1949	0.3	<0.05	4.3	<0.1	<0.1
Kolon 18	11.4	10.4	318	208	3.94	0.3	<0.1	0.1	<5	<0.05	<0.05	7.39	0.05	5.2	2.21	<0.05	<0.05	<0.05	0.26	<0.05	<10	36.2	7.88	1600	0.6	0.6	7.5	<0.1	<0.1
Kolon 19	2.24	1.80	56.60	29.70	0.74	0.3	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	1.57	<0.05	12	0.33	<0.05	<0.05	<0.05	0.09	<0.05	<10	48.30	1.31	231.00	0.1	0.06	1.7	<0.1	<0.1
Kolon 20	1.96	1.00	46.10	24.80	0.66	0.1	<0.1	<0.1	<5	0.39	<0.05	0.80	<0.05	3.35	0.37	<0.05	<0.05	<0.05	0.06	<0.05	<10	72.50	1.04	151.00	0.1	0.05	1.1	<0.1	<0.1
Kolon 21	2.19	1.90	102.00	23.60	0.82	0.1	<0.1	0.1	<5	0.07	<0.05	1.37	<0.05	0.83	0.53	<0.05	<0.05	<0.05	0.13	<0.05	<10	54.40	1.87	296.00	0.1	0.2	1.5	<0.1	<0.1
Kolon 22	1.17	0.94	16.70	9.22	0.28	0.1	<0.1	<0.1	<5	0.25	<0.05	0.66	<0.05	1.12	0.20	<0.05	<0.05	<0.05	0.05	<0.05	<10	30.20	0.97	59.40	<0.1	<0.05	1.1	<0.1	<0.1

Ek 2. Devam.

17 Kasım 2011 (-3,35 mm)	K	Na	Ca	Mg	Mn	NH ₄	Li	B	SiO ₂	Fe	Pb	Zn	Cd	Cu	Ni	Cr	Co	Mo	Sr	Ba	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	F	NO ₂	NO ₃	Br	PO ₄ ³⁻
Kolon 11	8.62	2.36	428	249	8.34	<0.1	<0.1	0.1	6.3	<0.05	<0.05	3.42	0.08	0.19	1.18	<0.05	0.07	<0.05	0.23	<0.05	<10	112	1.52	2150	0.6	<0.05	4.8	<0.1	<0.1
Kolon 12	7.01	2.87	255	135	4.68	<0.1	<0.1	<0.1	<5	0.08	<0.05	3.63	<0.05	7.59	0.33	<0.05	<0.05	<0.05	0.19	<0.05	<10	90.6	3	1124	0.3	<0.05	2.1	<0.1	<0.1
Kolon 13	8.98	2.31	526	260	9.75	0.1	<0.1	0.2	<5	<0.05	<0.05	9.04	0.16	5.82	1.29	<0.05	0.13	<0.05	0.27	<0.05	<10	115	5.47	2426	0.6	<0.05	5.1	<0.1	<0.1
Kolon 14	5.45	1.89	338	180	5.84	0.1	<0.1	<0.1	5	<0.05	<0.05	16.2	0.11	12.8	1.17	<0.05	0.09	<0.05	0.18	<0.05	<10	42.3	2.76	1604	0.3	<0.05	2.6	<0.1	<0.1
Kolon 15	5.75	2.75	335	184	5.01	<0.1	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	13.1	0.12	21.5	1.48	<0.05	0.08	<0.05	0.18	<0.05	<10	36.2	3	1664	0.3	<0.05	2.6	<0.1	<0.1
Kolon 16	3.78	1.7	163	90.6	2.62	0.1	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	2.97	<0.05	3.37	0.77	<0.05	<0.05	<0.05	0.12	<0.05	<10	60.4	1.53	781	0.2	<0.05	1.6	<0.1	<0.1
Kolon 17	4.01	1.79	205	106	3.1	<0.1	<0.1	<0.1	<5	0.07	<0.05	7.81	<0.05	13.1	0.87	<0.05	<0.05	<0.05	0.12	<0.05	<10	26.6	1.8	968	0.2	0.06	3.7	<0.1	<0.1
Kolon 18	1.5	1	67.8	28.6	0.91	0.1	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	1.67	<0.05	1.95	0.38	<0.05	<0.05	<0.05	0.06	<0.05	<10	18.1	<1	292	<0.1	<0.05	<0.1	<0.1	<0.1
Kolon 19	2.10	1.55	69.60	38.10	1.22	0.1	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	1.42	<0.05	1.55	0.37	<0.05	<0.05	<0.05	0.09	<0.05	<10	48.30	<1	312	0.1	0.11	<0.1	<0.1	<0.1
Kolon 20	1.29	1.75	29.70	11.70	0.41	<0.1	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	1.03	<0.05	0.56	0.18	<0.05	<0.05	<0.05	0.06	<0.05	<10	36.20	1.46	98.50	<0.1	<0.05	<1	<0.1	<0.1
Kolon 21	4.6	5.77	103	42.60	1.34		<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	2.22	<0.05	0.46	0.78	<0.05	<0.05	<0.05	0.15	<0.05	<10	66.50	4.67	414.00	0.1	0.52	2.5	<0.1	<0.1
Kolon 22	1.06	1.19	17.90	9.50	0.35	0.1	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	0.30	<0.05	0.13	0.19	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<10	44.10	<1	58.50	<0.1	<0.05	<0.1	<0.1	<0.1

Ek 2. Devam.

13 Aralık 2011 (-3,35 mm)	K	Na	Ca	Mg	Mn	NH ₄	Li	B	SiO ₂	Fe	Pb	Zn	Cd	Cu	Ni	Cr	Co	Mo	Sr	Ba	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	F	NO ₂	NO ₃	Br	PO ₄ ³⁻
Kolon 11	5,82	1,66	381	237	2,97	<0,1	<0,1	<0,1	<5	<0,05	<0,05	0,83	<0,05	0,91	0,28	<0,05	<0,05	<0,05	0,16	<0,05	<10	133	2,47	1953	0,4	<0,05	4	<0,1	<0,1
Kolon 12	4,6	1,8	231	119	2,58	0,1	<0,1	<0,1	<5	<0,05	<0,05	0,68	<0,05	0,7	0,13	<0,05	<0,05	<0,05	0,13	<0,05	<10	151	2,25	940	0,3	<0,05	3,2	<0,1	<0,1
Kolon 13	4,52	1,33	328	189	2,9	<0,1	<0,1	<0,1	<5	<0,05	<0,05	0,46	<0,05	1,07	0,16	<0,05	<0,05	<0,05	0,14	<0,05	<10	151	2,48	1489	0,3	0,08	1,9	<0,1	<0,1
Kolon 14	4,1	1,4	371	214	5,8	0,1	<0,1	<0,1	<5	<0,05	<0,05	5,62	0,06	2,81	0,77	<0,05	0,06	<0,05	0,15	<0,05	<10	72,5	2,43	1864	0,3	0,09	3,6	<0,1	<0,1
Kolon 15	3,4	1,5	273	159	3,42	0,1	<0,1	<0,1	<5	<0,05	<0,05	2,6	<0,05	1,67	0,54	<0,05	<0,05	<0,05	0,12	<0,05	<10	127	2,19	1273	0,3	0,08	2,2	<0,1	<0,1
Kolon 16	2,54	1,12	162	92,5	2,16	0,1	<0,1	<0,1	<5	<0,05	<0,05	0,81	<0,05	0,89	0,27	<0,05	<0,05	<0,05	0,08	<0,05	<10	121	1,48	725	0,2	<0,05	1,2	<0,1	<0,1
Kolon 17	2,56	1,02	187	105	3,2	0,1	<0,1	<0,1	<5	<0,05	<0,05	6,85	0,05	6	0,65	<0,05	<0,05	<0,05	0,09	<0,05	<10	54,4	1,52	914	0,2	0,12	1,5	<0,1	<0,1
Kolon 18	1,69	<1	120	57,9	1,77	0,1	<0,1	<0,1	<5	<0,05	<0,05	3,06	<0,05	2,25	0,5	<0,05	<0,05	<0,05	0,08	<0,05	<10	42,3	1,19	532	0,2	0,05	2,3	<0,1	<0,1
Kolon 19	<1	<1	38,60	21,10	0,59	<0,1	<0,1	<0,1	<5	<0,05	<0,05	0,28	<0,05	0,41	0,13	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<10	60,40	<1	144,00	<0,1	0,06	<1	<0,1	<0,1
Kolon 21	1,41	1,94	33,10	15,20	0,47	0,1	<0,1	<0,1	<5	<0,05	<0,05	0,51	<0,05	0,18	0,42	<0,05	<0,05	<0,05	0,05	<0,05	<10	54,40	1,12	111,00	<0,1	0,11	<1	<0,1	<0,1
Kolon 22	<1	<1	31,00	14,10	0,55	0,3	<0,1	<0,1	<5	1	0,55	5,45	<0,05	5,32	3,21	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<10	15,10	<1	34,50	<0,1	<0,05	1,38	<0,1	<0,1

Ek 2. Devam.

20 Aralık 2011 (-3.35 mm)	K	Na	Ca	Mg	Mn	NH ₄	Li	B	SiO ₂	Fe	Pb	Zn	Cd	Cu	Ni	Cr	Co	Mo	Sr	Ba	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	F	NO ₂	NO ₃	Br	PO ₄ ³⁻
Kolon 23	27.3	10.4	593	472	9.22	1.3	<0.1	0.1	6.3	0.18	<0.05	9.02	<0.05	0.09	0.3	<0.05	0.05	<0.05	0.41	<0.05	<10	90.6	8.53	3166	0.3	0.07	5.7	<0.1	<0.1
Kolon 26	11.5	4.57	325	213	4.15	0.7	<0.1	0.1	6.2	0.08	<0.05	3.16	<0.05	5.63	0.3	<0.05	<0.05	<0.05	0.29	<0.05	<10	66.5	4.33	1702	0.2	0.05	2.4	<0.1	<0.1
Kolon 28	5.64	1.66	246	143	3.29	0.7	<0.1	0.1	5.4	0.06	<0.05	2.6	<0.05	<0.05	0.4	<0.05	<0.05	<0.05	0.19	<0.05	<10	78.5	3.33	1143	0.1	<0.05	1.9	<0.1	<0.1
Kolon 30	7.73	3.34	236	131	2.71	0.6	<0.1	0.2	6.7	0.06	<0.05	0.36	<0.05	0.12	1.95	<0.05	<0.05	<0.05	0.23	<0.05	<10	66.5	4.24	989	0.2	<0.05	1.9	<0.1	<0.1
Kolon 32	3.23	1.05	86.3	46.1	1.31	0.5	<0.1	0.2	5	<0.05	<0.05	2.87	<0.05	<0.05	0.65	<0.05	<0.05	<0.05	0.08	0.05	<10	72.5	1.64	334	0.1	<0.05	<1	<0.1	<0.1
Kolon 34	1.34	<1	43.7	21.3	0.92	0.1	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	2.59	<0.05	0.08	0.71	<0.05	<0.05	<0.05	0.06	<0.05	<10	57.4	1.52	165	<0.1	0.24	<1	<0.1	<0.1

09 Ocak 2012 (-3.35 mm)	K	Na	Ca	Mg	Mn	NH ₄	Li	B	SO ₂	Fe	Pb	Zn	Cd	Cu	Ni	Cr	Co	Mo	Sr	Ba	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	F	NO ₂	NO ₃	Br	PO ₄ ³⁻
Kolon 11	3.89	1.14	289	162	1.68	<0.1	<0.1	0.2	<5	<0.05	<0.05	0.4	<0.05	0.75	0.16	<0.05	<0.05	<0.05	0.12	<0.05	<10	121	2.41	1263	0.4	<0.05	2.1	<0.1	<0.1
Kolon 12	3.62	1.16	186	103	2.11	0.1	<0.1	<0.1	<5	0.11	<0.05	0.51	<0.05	0.9	0.07	<0.05	<0.05	<0.05	0.11	<0.05	<10	133	1.6	821	0.3	0.32	1	<0.1	<0.1
Kolon 13	3.38	1	274	158	1.35	0.1	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	0.37	<0.05	0.45	0.09	<0.05	<0.05	<0.05	0.12	<0.05	<10	121	2.09	1247	0.3	0.05	1.7	<0.1	<0.1
Kolon 14	1.57	<0.1	168	92	2.29	0.1	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	1.82	<0.05	2.72	0.43	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<10	66.5	1.05	733	0.2	0.2	39.1	<0.1	<0.1
Kolon 15	1.72	<1	140	87.2	1.49	0.1	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	0.69	<0.05	3.82	0.17	<0.05	<0.05	<0.05	0.07	<0.05	<10	103	1.18	609	0.4	0.06	1.04	<0.1	<0.1
Kolon 16	1.46	<1	116	65.6	1.16	0.1	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	0.33	<0.05	0.53	0.1	<0.05	<0.05	<0.05	0.06	<0.05	<10	103	<0.1	465	0.3	<0.05	<1	<0.1	<0.1
Kolon 17	1.6	<1	160	88.4	2.47	<0.1	<0.1	0.1	<5	<0.05	<0.05	6.17	<0.05	6.42	0.51	<0.05	<0.05	<0.05	0.07	<0.05	<10	36.2	1.12	724	0.2	<0.05	1.1	<0.1	<0.1
Kolon 18	1.02	<1	113	55.1	1.68	0.1	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	3.59	<0.05	3.13	0.72	<0.05	<0.05	<0.05	0.06	<0.05	<10	24.2	1.12	558	0.1	0.08	<1	<0.1	<0.1
Kolon 19	1	<1	54.00	26.70	0.68	0.1	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	0.30	<0.05	0.53	0.12	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<10	78.50	<1	174.00	<0.1	0.07	<0.1	<0.1	<0.1
Kolon 21	1.86	1.00	229.00	115.00	3.77	yok	<0.1	T.B.	T.B.	53.9	23.9	112.00	<0.05	114.00	28.80	<0.05	<0.05	<0.05	0.11	0.1	T.B.	T.B.	T.B.	T.B.	T.B.	T.B.	T.B.	T.B.	T.B.
Kolon 22	1.45	<1	205.00	116.00	8.34		<0.1			42.9	23.9	103.00	0.08	110.00	22.90	<0.05	<0.05	<0.05	0.09	0.09	T.B.	T.B.	T.B.	T.B.	T.B.	T.B.	T.B.	T.B.	T.B.

Ek 2. Devam.

11 Ocak 2012 (-0.625 mm)	K	Na	Ca	Mg	Mn	NH ₄	Li	B	SiO ₂	Fe	Pb	Zn	Cd	Cu	Ni	Cr	Co	Mo	Sr	Ba	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	F	NO ₂	NO ₃	Br	PO ₄ ³⁻
Kolon 23	19.4	9.88	556	382	10.6		<0.1	0.1	7.5	0.38	<0.05	12.3	<0.05	11	0.53	<0.05	0.06	0.05	0.42	<0.05	<10	121	6.38	291.4	0.3	0.1	2.3	<0.1	<0.1
Kolon 26	12.7	7.16	336	309	5.19		<0.1	0.2	7.1	0.11	<0.05	4.39	<0.05	0.29	0.66	<0.05	<0.05	<0.05	0.3	<0.05	<10	127	7.91	200.5	0.4	0.5	4.1	<0.1	<0.1
Kolon 28	2.34	1.2	137	74	2.08		<0.1	<0.1	<5	4.4	0.06	<0.05	<0.05	0.05	0.6	<0.05	<0.05	<0.05	0.1	<0.05	<10	48.3	1.78	616	0.2	<0.05	2.4	<0.1	<0.1
Kolon 29	6.63	4.76	257	127	2.4		<0.1	0.1	5.7	0.65	0.06	2.07	<0.05	1.11	0.78	<0.05	<0.05	<0.05	0.22	<0.05	<10	90.6	3.5	1162	0.2	0.13	2.8	<0.1	<0.1
Kolon 30	3	1.83	119	73.5	1.64		<0.1	0.1	5.8	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	7.1	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.12	<0.05	<10	78.5	2.11	569	0.2	<0.05	<0.1	<0.1	<0.1
Kolon 32	1.54	<0.1	62	30.3	0.96		<0.1	0.1	<5	0.06	<0.05	0.06	<0.05	2.42	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<10	78.5	1.11	234	0.1	<0.05	<1	<0.1	<0.1
Kolon 34	<0.1	<0.1	40.8	19.9	0.77	<0.1	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	3.93	<0.05	0.36	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<10	60.4	1.03	142	<0.1	0.11	<0.1	<0.1	<0.1

26 Ocak 2012 (-3.35 mm)	K	Na	Ca	Mg	Mn	NH ₄	Li	B	SiO ₂	Fe	Pb	Zn	Cd	Cu	Ni	Cr	Co	Mo	Sr	Ba	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	F	NO ₂	NO ₃	Br	PO ₄ ³⁻
Kolon 11	1.51	<1	183	108	0.85	yok	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	0.19	<0.05	0.44	0.06	<0.05	<0.05	<0.05	0.06	<0.05	<10	103	1.84	873	0.4	0.23	1.2	<0.1	<0.1
Kolon 12	1.4	<1	148	86.3	1.31	yok	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	0.44	<0.05	0.59	0.06	<0.05	<0.05	<0.05	0.07	<0.05	<10	103	1.51	652	0.3	0.16	1	0.3	<0.1
Kolon 13	1.52	<1	199	124	1.07	0.1	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.1	0.22	<0.05	0.39	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.08	<0.05	<10	91.3	2.45	941	0.5	0.08	1.7	0.1	<0.1
Kolon 14	<1	<1	134	71.5	1.42	<0.1	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	0.71	<0.05	0.88	0.19	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<10	68.5	1.06	582	0.3	0.19	13.6	<0.1	<0.1
Kolon 15	<1	<1	104	63.7	0.95	0.1	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	0.3	<0.05	0.74	0.09	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<10	85.6	1.11	467	0.3	0.1	1.3	0.1	<0.1
Kolon 16	<1	<1	86.3	48.1	0.77	<0.1	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	0.25	<0.05	0.47	0.06	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<10	74.2	<1	371	0.2	<0.05	<0.1	<0.1	<0.1
Kolon 17	<1	<1	177	106	2.48	<0.1	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	8.05	<0.05	8.5	0.53	<0.05	<0.05	<0.05	0.06	<0.05	<10	34.2	1.09	857	0.2	0.07	1	<0.1	<0.1
Kolon 18	<1	<1	76.7	41.5	1.09	<0.1	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	2.94	<0.05	2.88	0.53	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<10	17.1	<1	338	0.2	0.06	1.4	<0.1	<0.1
Kolon 19	<1	<1	36.40	19.40	0.51	0.1	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	0.34	<0.05	0.39	0.10	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<10	45.60	<1	140.00	0.1	0.6	<0.1	<0.1	<0.1

Ek 2. Devam.

03 Şubat 2012 (-0,625 mm)	K	Na	Ca	Mg	Mn	NH ₄	Li	B	SiO ₂	Fe	Pb	Zn	Cd	Cu	Ni	Cr	Co	Mo	Sr	Ba	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	F	NO ₂	NO ₃	Br	PO ₄ ³⁻
Kolon 23	21.9	2.18	450	214	5.28	0.3	<0.1	0.1	6.4	<0.05	<0.05	5.87	<0.05	<0.05	0.24	<0.05	<0.05	<0.05	0.28	<0.05	<10	121	5.08	2199	0.5	0.36	2.8	2.3	<0.1
Kolon 26	21.1	1.46	1642	708	20	Yok	<0.1	Yok	Yok	130	7.96	555	0.41	112	9.42	0.17	0.15	<0.05	0.48	0.67	Yok	Yok	Yok	572	Yok	Yok	8822	Yok	Yok
Kolon 28	8.71	1.1	570	308	9.03	Yok	<0.1	Yok	Yok	79	3.34	108	0.18	61.3	8.66	<0.05	0.1	<0.05	0.22	1.01	Yok	Yok	Yok	137	Yok	Yok	3915	Yok	Yok
Kolon 29	33.5	<1	665	395	11.8	5.6	<0.1	0.2	12	12.8	<0.05	130	<0.05	0.08	18.1	<0.05	0.1	<0.05	0.59	0.05	<10	109	9.19	1692	0.4	0.76	2687	<0.1	<0.1
Kolon 30	6.54	<1	342	189	5.96	4.1	<0.1	0.1	9.5	3.41	<0.05	102	0.07	0.22	22.4	<0.05	0.06	<0.05	0.16	0.31	<10	102	2.45	277	0.2	0.47	1952	<0.1	<0.1
Kolon 32	6.16	<1	511	269	7.52	Yok	<0.1	Yok	Yok	83.7	30.5	356	0.09	208	17.5	<0.05	0.09	<0.05	0.17	0.48	Yok	Yok	Yok	109	Yok	Yok	4667	Yok	Yok
Kolon 34	2.76	<1	293	172	4.99	Yok	<0.1	Yok	Yok	103	35.9	235	0.05	177	26.3	0.09	0.12	<0.05	0.1	0.13	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok

14 Şubat 2012 (-3.35 mm)	K	Na	Ca	Mg	Mn	NH ₄	Li	B	SiO ₂	Fe	Pb	Zn	Cd	Cu	Ni	Cr	Co	Mo	Sr	Ba	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	F	NO ₂	NO ₃	Br	PO ₄ ³⁻
Kolon 11	1.82	<1	157	96.9	0.77	<0.1	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	0.11	<0.05	0.08	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.07	<0.05	<10	91.3	1.28	723	0.5	0.2	1.3	<0.1	<0.1
Kolon 12	1.38	<1	108	63.1	1.13	<0.1	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	0.26	<0.05	0.09	0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.06	<0.05	<10	45.6	8.39	452	0.6	0.82	18.5	<0.1	<0.1
Kolon 13	1.36	<1	142	81.3	0.73	<0.1	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	0.15	<0.05	0.12	0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.07	<0.05	<10	91.3	1.36	633	0.4	0.41	9.83	<0.1	<0.1
Kolon 14	<1	<1	149	85.5	2.05	<0.1	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	1.31	<0.05	0.59	0.31	<0.05	<0.05	<0.05	0.06	<0.05	<10	68.5	1.06	696	0.3	0.58	14.9	<0.1	<0.1
Kolon 15	<1	<1	99.8	58.1	0.82	<0.1	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	0.2	<0.05	0.13	0.07	<0.05	<0.05	<0.05	0.05	<0.05	<10	85.6	1.08	400	0.4	0.3	10.6	<0.1	<0.1
Kolon 16	<1	<1	81.6	48.3	0.75	<0.1	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	0.21	<0.05	0.14	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<10	85.6	<1	336	0.3	0.3	<1	<0.1	<0.1
Kolon 17	3.12	<1	499	268	9.06	1.2	<0.1	<0.1	8.8	<0.05	1.27	97.6	0.26	440	26.1	<0.05	0.06	<0.05	0.15	<0.05	<10	11.4	4.64	748	0.7	2.37	3165	<0.1	<0.1
Kolon 18	2.69	<1	288	157	5.55	yok	<0.1	yok	yok	70.7	1.49	65.5	0.21	822	41.8	<0.05	0.05	<0.05	0.11	0.08	yok	yok	yok	1199	yok	yok	yok	yok	<0.1
Kolon 19	4.23	1.1	698	358	10.9	yok	<0.1	yok	yok	235	53.8	254	0.17	719	37.5	<0.05	0.06	<0.05	0.22	0.27	yok	yok	yok	608	yok	yok	yok	yok	<0.1

Ek 2. Devam.

21 Şubat 2012 (-0.625 mm)	K	Na	Ca	Mg	Mn	NH ₄	Li	B	SiO ₂	Fe	Pb	Zn	Cd	Cu	Ni	Cr	Co	Mo	Sr	Ba	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	F	NO ₂	NO ₃	Br	PO ₄ ³⁻
Kolon 23	11.2	5.6	385	145	3.07	0.3	<0.1	<0.1	6.8	<0.05	<0.05	3.27	<0.05	0.05	0.11	<0.05	<0.05	<0.05	0.23	<0.05	<10	85.6	3.81	1627	0.5	0.38	29.7	<0.1	<0.1
Kolon 24	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
Kolon 25	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
Kolon 26	5.95	2.14	966	497	14.9	8.6	<0.1	<0.1	<5	0.13	<0.05	42	<0.05	0.12	3.05	<0.05	0.07	<0.05	0.32	0.06	<10	45.6	14.2	839	2.57	1.97	5616	<0.1	<0.1
Kolon 27	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
Kolon 28	2.27	<1	389	229	6.83	yok	<0.1	<0.1	<5	0.16	<0.05	7.73	<0.05	0.21	2.31	<0.05	<0.05	<0.05	0.16	0.07	<10	57.1	4.05	299	0.4	0.6	1871	<0.1	<0.1
Kolon 29	2.2	<1	384	234	7.02	1.4	<0.1	<0.1	<5	0.13	<0.05	7.81	<0.05	0.19	2.35	<0.05	<0.05	<0.05	0.15	0.07	<10	57.1	4.04	304	0.4	0.63	2479	<0.1	<0.1
Kolon 30	12.1	4.8	2104	949	40.5	yok	<0.1	yok	yok	1231	104	680	0.23	360	45.9	0.36	0.1	<0.05	0.53	0.32	yok	yok	yok	yok	yok	yok	yok	yok	yok
Kolon 32	6.83	2.68	1269	678	27.1	yok	<0.1	yok	yok	1126	212	1385	0.18	535	26.7	1.21	0.11	0.16	0.34	0.34	yok	yok	yok	yok	yok	yok	yok	yok	yok
Kolon 34	3.86	1.73	289	165	7.5	yok	<0.1	Yok	Yok	329	120	786	0.09	425	37.9	0.33	0.13	0.12	0.12	0.25	yok	yok	yok	1129	yok	yok	yok	yok	yok

05 Mart 2012 (-3.35 mm)	K	Na	Ca	Mg	Mn	NH ₄	Li	B	SiO ₂	Fe	Pb	Zn	Cd	Cu	Ni	Cr	Co	Mo	Sr	Ba	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	F	NO ₂	NO ₃	Br	PO ₄ ³⁻
Kolon 11	2.82	<1	259	147	3.82	0.1	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	1.78	<0.05	1.6	0.5	<0.05	<0.05	<0.05	0.12	<0.05	<10	97	2.45	1180	0.4	0.38	7.2	<0.1	<0.1
Kolon 12	1.64	<1	168	95.5	1.76	<0.1	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	0.46	<0.05	0.95	0.06	<0.05	<0.05	<0.05	0.08	<0.05	<10	114	1.5	733	0.3	0.21	11.4	<0.1	<0.1
Kolon 13	1.42	<1	157	92.4	0.98	<0.1	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	0.25	<0.05	0.58	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.07	<0.05	<10	97	1.42	703	0.3	0.16	11.5	<0.1	<0.1
Kolon 14	<1	<1	140	84	1.44	<0.1	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	0.71	<0.05	0.92	0.21	<0.05	<0.05	<0.05	0.05	<0.05	<10	68.5	1.17	665	0.3	0.2	12.6	<0.1	<0.1
Kolon 15	1.19	<1	115	70.8	1.22	<0.1	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	0.72	<0.05	0.64	0.19	<0.05	<0.05	<0.05	0.05	<0.05	<10	91.3	1.29	499	0.3	0.19	11.8	<0.1	<0.1
Kolon 16	<1	<1	81.6	50.4	0.71	<0.1	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	0.23	<0.05	0.37	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<10	97	<1	273	0.2	0.14	1.4	<0.1	<0.1

Ek 2. Devam.

12 Mart 2012 (-0,625 mm)	K	Na	Ca	Mg	Mn	NH ₄	Li	B	SiO ₂	Fe	Pb	Zn	Cd	Cu	Ni	Cr	Co	Mo	Sr	Ba	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	F	NO ₂	NO ₃	Br	PO ₄ ³⁻
Kolon 23	20.5	8.78	369	156	5.8	Yok	<0.1	0.1	7	0.3	<0.05	6.53	<0.05	0.54	0.46	<0.05	<0.05	<0.05	0.3	<0.05	<10	97	3.68	1484	0.4	0.19	15.5	<0.1	<0.1
Kolon 26	3.19	1	522	266	7.87	Yok	<0.1	<0.1	5.1	0.17	<0.05	12.6	<0.05	0.35	1.23	<0.05	<0.05	<0.05	0.18	<0.05	<10	68.5	4.97	610	0.9	1.72	2626	<0.1	<0.1
Kolon 27	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
Kolon 28	1	<1	193	99.6	1.96	Yok	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	2.75	<0.05	0.6	1.44	<0.05	<0.05	<0.05	0.07	<0.05	<10	97	2.13	289	2.9	0.47	781	<0.1	<0.1
Kolon 29	20.3	5.36	1374	790	26.9	Yok	<0.1	<0.1	30	373	0.17	1453	0.32	1.04	28.6	<0.05	0.15	<0.05	0.58	0.11	<10	<10	21	860	29.3	5.46	1182	<0.1	<0.1
Kolon 30	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
Kolon 31	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
Kolon 32	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
Kolon 33	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
Kolon 34	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok	Yok
26 Mart 2012 (-3,35 mm)	K	Na	Ca	Mg	Mn	NH ₄	Li	B	SiO ₂	Fe	Pb	Zn	Cd	Cu	Ni	Cr	Co	Mo	Sr	Ba	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	F	NO ₂	NO ₃	Br	PO ₄ ³⁻
Kolon 11	1.94	<1	196	104	140	<0.1	<0.1	<0.1	<5	0.05	<0.05	0.37	<0.05	0.76	0.08	<0.05	<10	<0.05	0.08	<0.05	<10	114	1.15	849	0.4	0.07	2.13	<0.1	<0.1
Kolon 12	1.6	<1	142	78.6	1.34	<0.1	<0.1	<0.1	<5	2.62	<0.05	0.37	<0.05	0.79	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.07	<0.05	16.8	74.2	<1	581	0.3	0.07	<1	<0.1	<0.1
Kolon 13	1.61	<1	140	75.7	1.61	<0.1	<0.1	<0.1	<5	0.07	<0.05	0.89	<0.05	1.44	0.06	<0.05	<0.05	<0.05	0.07	<0.05	<10	137	<1	537	0.2	<0.05	<1	<0.1	<0.1
Kolon 14	1	<1	132	71.6	1.14	<0.1	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	0.58	<0.05	3.91	0.08	<0.05	<0.05	<0.05	0.06	<0.05	<10	91.3	<1	552	0.3	<0.05	<1	<0.1	<0.1
Kolon 15	1	<1	89.4	47.7	0.86	<0.1	<0.1	<0.1	<5	0.46	<0.05	0.53	<0.05	1.04	0.09	<0.05	<0.05	<0.05	0.05	<0.05	<10	91.3	<1	346	0.2	0.07	1.46	<0.1	<0.1
Kolon 16	<1	<1	72.3	45	<0.1	72.3	45	<0.1	<5	0.96	<0.05	0.41	<0.05	0.68	0.06	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<10	103	<1	267	0.2	<0.05	<0.05	<0.1	<0.1
02 Nisan 2012 (-0,625 mm)	K	Na	Ca	Mg	Mn	NH ₄	Li	B	SiO ₂	Fe	Pb	Zn	Cd	Cu	Ni	Cr	Co	Mo	Sr	Ba	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	F	NO ₂	NO ₃	Br	PO ₄ ³⁻
Kolon 23	9.65	3.49	190	75.1	1.63	0.1	<0.1	<0.1	5.6	<0.05	<0.05	1.6	<0.05	0.07	0.07	<0.05	<0.05	<0.05	0.13	<0.05	<10	97	1.33	684	0.5	0.08	1.43	<0.1	<0.1
Kolon 26	3.78	<0.1	361	188	4.45	1.4	<0.1	<0.1	<5	0.06	<0.05	5.23	<0.05	<0.05	0.62	<0.05	<0.05	<0.05	0.14	<0.05	<10	74.2	2.73	607	0.4	1.59	1422	<0.1	<0.1
Kolon 28	<1	<1	106	56.8	0.83	0.3	<0.1	<0.1	<5	<0.05	<0.05	1.81	<0.05	0.05	0.23	<0.05	<0.05	<0.05	0.05	<0.05	<10	97	<1	207	0.2	0.42	260	<0.1	<0.1
Kolon 29	9.28	4.64	663	336	15.5	38.6	<0.1	<0.1	5	2.06	<0.05	6.97	<0.05	0.05	20.4	<0.05	0.08	<0.05	0.31	0.09	<10	17.1	6.97	396	1.5	0.34	469	<0.1	<0.1

Ek 2. Devam.

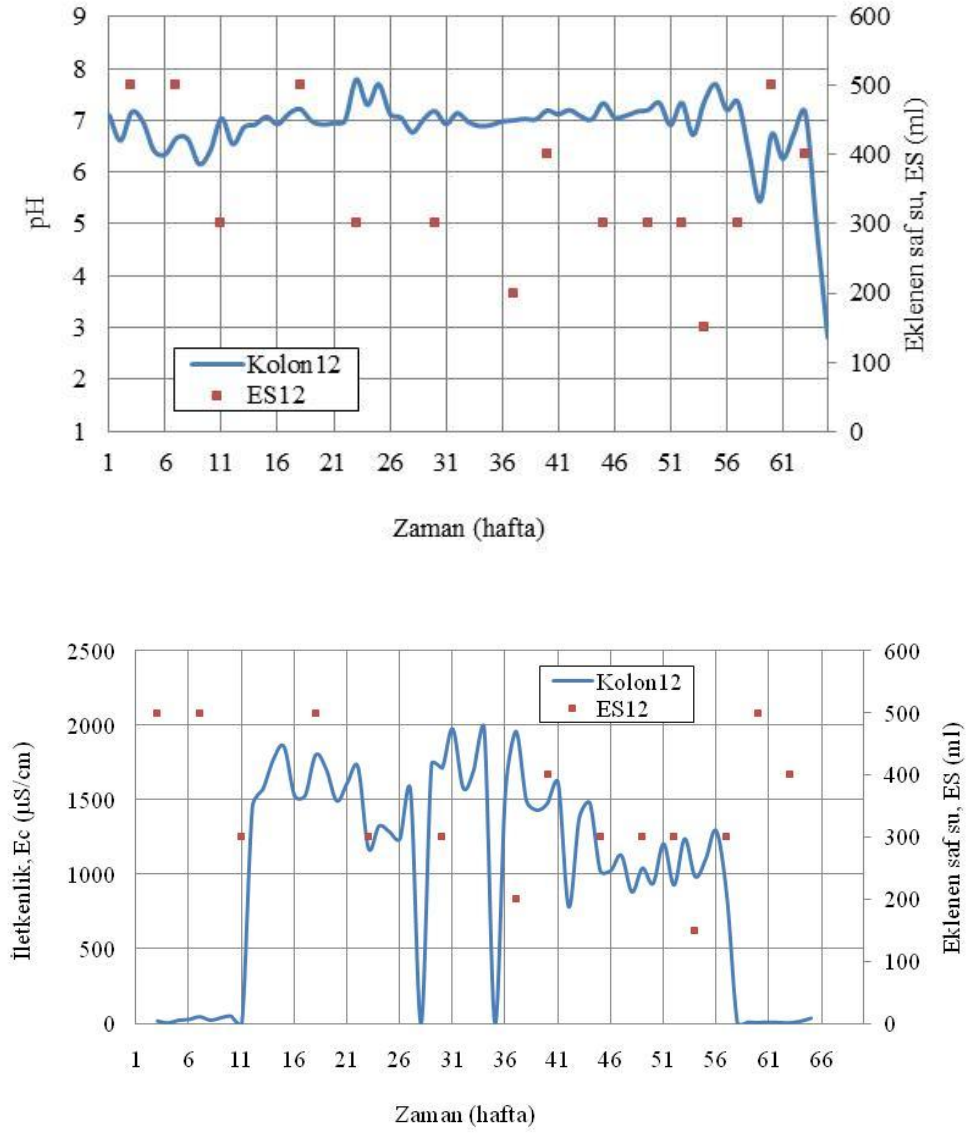
16 Nisan 2012 (-3.35 mm)	K	Na	Ca	Mg	Mn	NH ₄	Li	B	SiO ₂	Fe	Pb	Zn	Cd	Cu	Ni	Cr	Co	Mo	Sr	Ba	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	F	NO ₂	NO ₃	Br	PO ₄ ³⁻
Kolon 11	9.74	1.66	1063	594	19.5		<0.1	<0.1		175	20.6	44.9	0.54	294	6.31	<0.05	0.07	<0.05	0.32	0.26				397					
Kolon 12	5.91	1.51	1200	565	19.1		<0.1	<0.1	16.1	52	4.88	44.4	0.36	57.1	8.74	<0.05	0.05	<0.05	0.3	0.22	<10	48.5	1.28	270	0.7	0.63	7196	<0.1	<0.1
Kolon 13	8.58	2	1630	758	24.7		<0.1	<0.1	17.8	61.8	10.5	58.8	0.44	82.8	12.4	<0.05	0.06	<0.05	0.38	0.26	<10	35.4	<1	357	1.1	1.49	9882	<0.1	<0.1
Kolon 14	6.6	1.16	781	410	14.1		<0.1	<0.1		239	29.2	137	0.31	860	21.2	<0.05	860	<0.05	0.24	0.21				561					
Kolon 15	4.2	<1	395	226	7.85		<0.1	<0.1		195	22.1	77.2	0.18	574	21.5	<0.05	<0.05	<0.05	0.16	0.29				201					
Kolon 16	6.99	1.65	1200	618	19.8		<0.1	<0.1		257	38	145	0.34	549	16.4	<0.05	0.05	<0.05	0.33	0.53				155					

23 Nisan 2012 (-0.625 mm)	K	Na	Ca	Mg	Mn	NH ₄	Li	B	SiO ₂	Fe	Pb	Zn	Cd	Cu	Ni	Cr	Co	Mo	Sr	Ba	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	F	NO ₂	NO ₃	Br	PO ₄ ³⁻
Kolon 23	24.3	4.07	691	336	16.6		<0.1	0.11	9.3	0.31	<0.05	243	<0.05	0.07	3.02	<0.05	0.1	<0.05	0.22	0.1	<10	22.8	7.2	545	0.3	<0.05	3624	<0.1	<0.1
Kolon 26	5.88	1.46	956	537	13.8		<0.1	<0.1	6.6	0.1	<0.05	166	0.05	0.28	4.33	<0.05	0.1	<0.05	0.26	0.09	<10	34.2	8.25	532	0.7	<0.05	5222	<0.1	<0.1
Kolon 29	4.27	20	1104	646	20.4		<0.1	<0.1	6.6	18.9	0.53	2057	0.31	499	50.8	<0.05	0.12	<0.05	0.34	0.28	<10	34.2	25.8	424	0.1	<0.05	7857	<0.1	<0.1

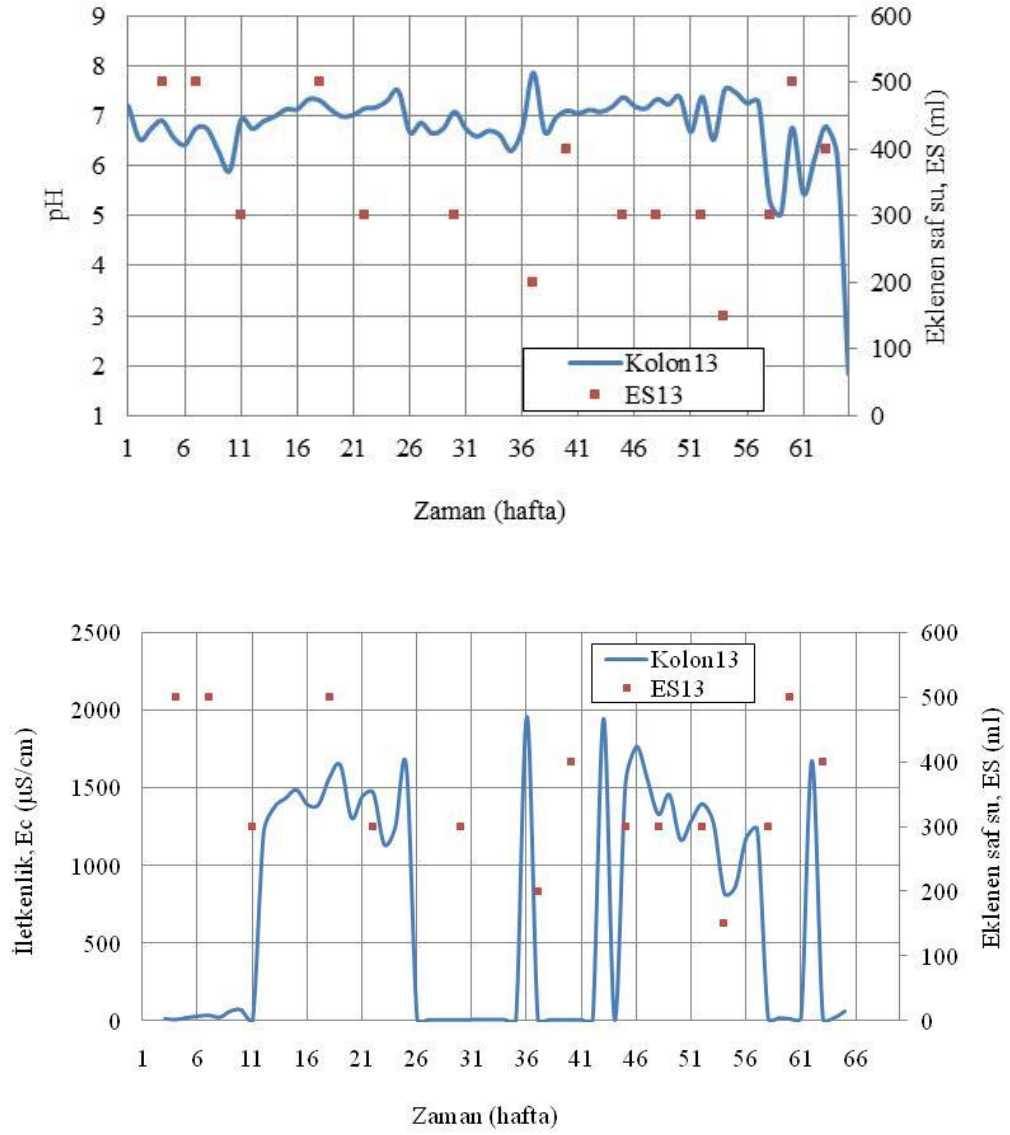
07 Mayıs 2012 (-3.35 mm)	K	Na	Ca	Mg	Mn	NH ₄	Li	B	SiO ₂	Fe	Pb	Zn	Cd	Cu	Ni	Cr	Co	Mo	Sr	Ba	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	F	NO ₂	NO ₃	Br	PO ₄ ³⁻
Kolon 12	3.75	1.59	1150	544	19.2		<0.1	<0.1	<5	0.05	<0.05	906	0.18	0.11	4.6	<0.05	<0.05	<0.05	0.39	0.16	<10	68.5	7.23	376	0.6	0.69	6797	<0.1	<0.1
Kolon 13	6.7	2.25	1692	799	31.7		<0.1	<0.1	5.39	9.79	0.06	47.2	0.24	0.93	12.5	<0.05	0.07	<0.05	0.52	0.22	<10	57.1	10.7	396	0.7	0.28	10490	<0.1	<0.1

14 Mayıs 2012 (-0.625 mm)	K	Na	Ca	Mg	Mn	NH ₄	Li	B	SiO ₂	Fe	Pb	Zn	Cd	Cu	Ni	Cr	Co	Mo	Sr	Ba	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	F	NO ₂	NO ₃	Br	PO ₄ ³⁻
Kolon 23	1.88	6.04	214	101	4.35		<0.1	<0.1	19	370	<0.05	1313	0.24	0.68	1.29	<0.05	0.23	<0.05	0.75	0.26	<0.05	19	66	486	5.7	11.9	15238	<0.1	<0.1
Kolon 28	7.41	3.45	1380	731	25.1		<0.1	<0.1		30	3.8	357	0.21	7.14	41	<0.05	0.13	<0.05	0.45	1.34				249					
Kolon 29	17.8	4.33	1464	837	30.2		<0.1	<0.1		174	150	4161	0.55	1517	142	<0.05	0.15	<0.05	0.48	0.26				464					

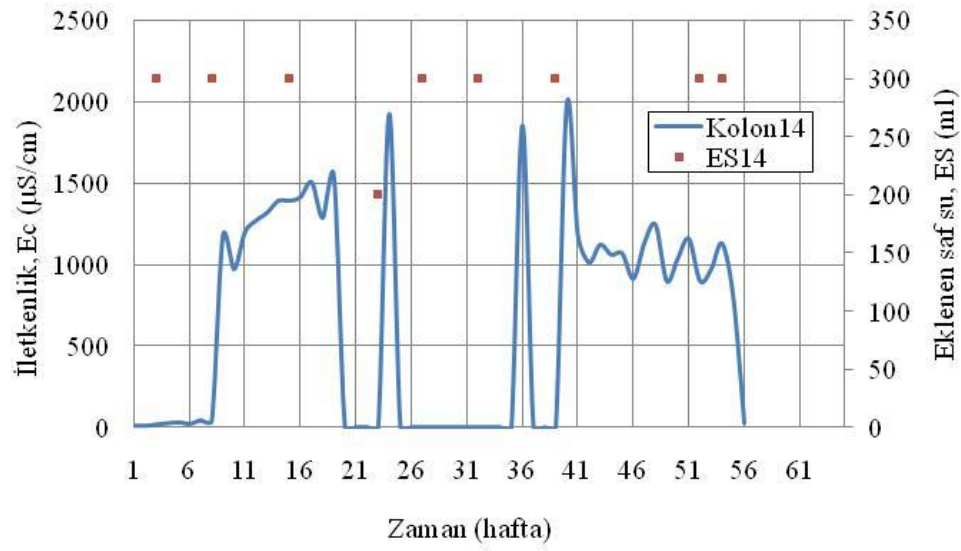
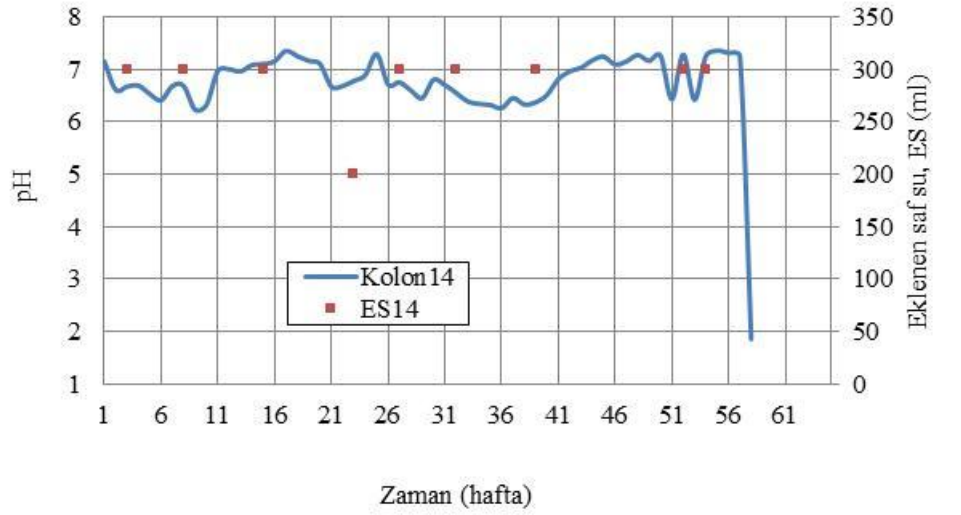
Ek 3. pH ve iletkenlik değerlerinin zamana bağlı değişim grafikleri.



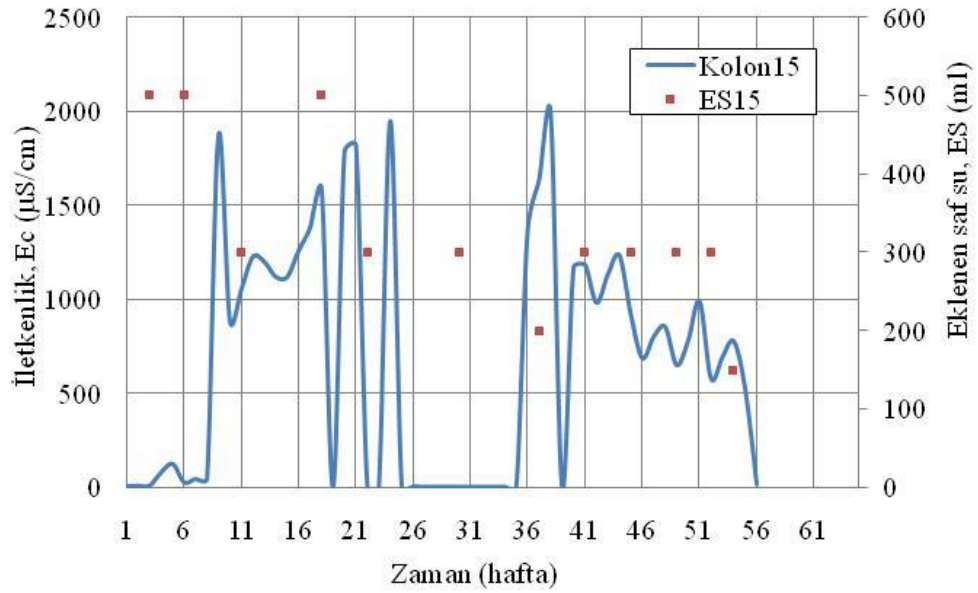
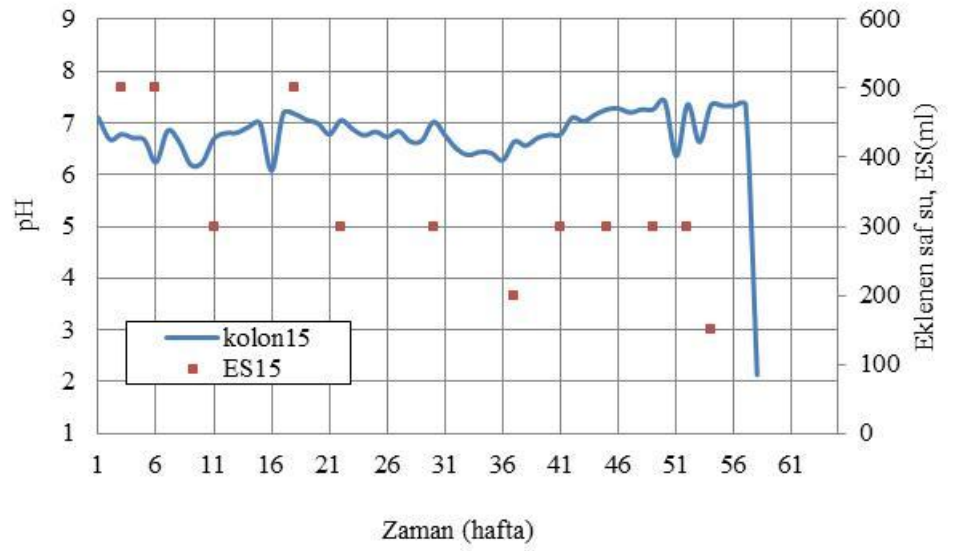
Ek 3. Devam



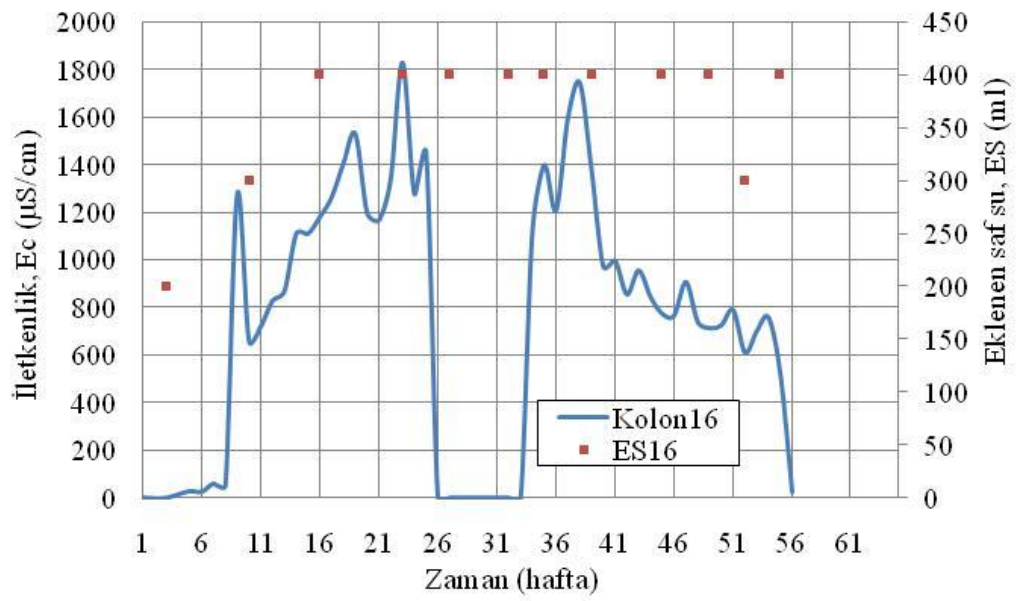
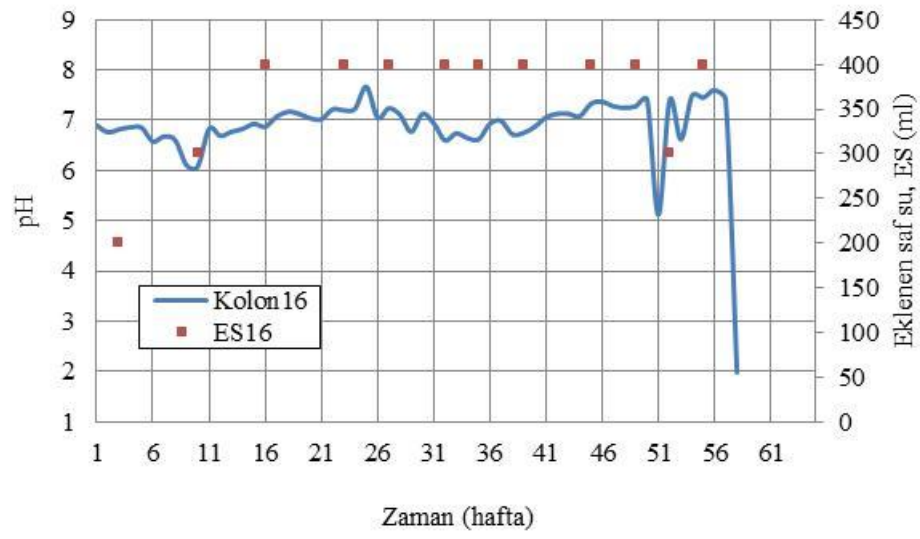
Ek 3. Devam



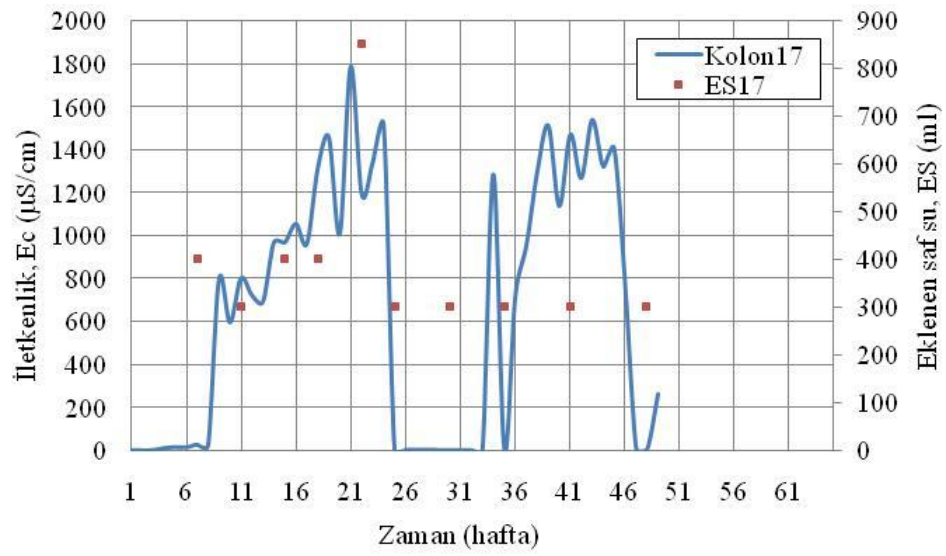
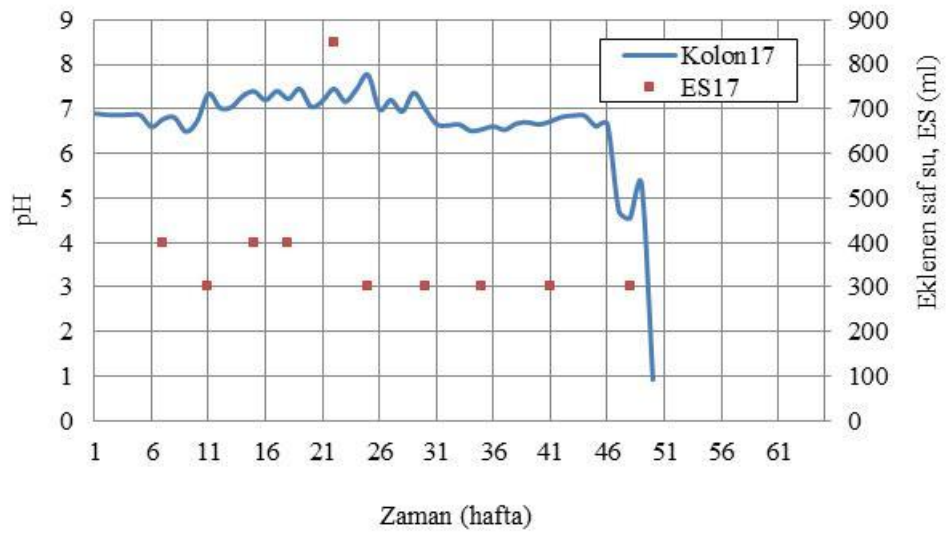
Ek 3. Devam



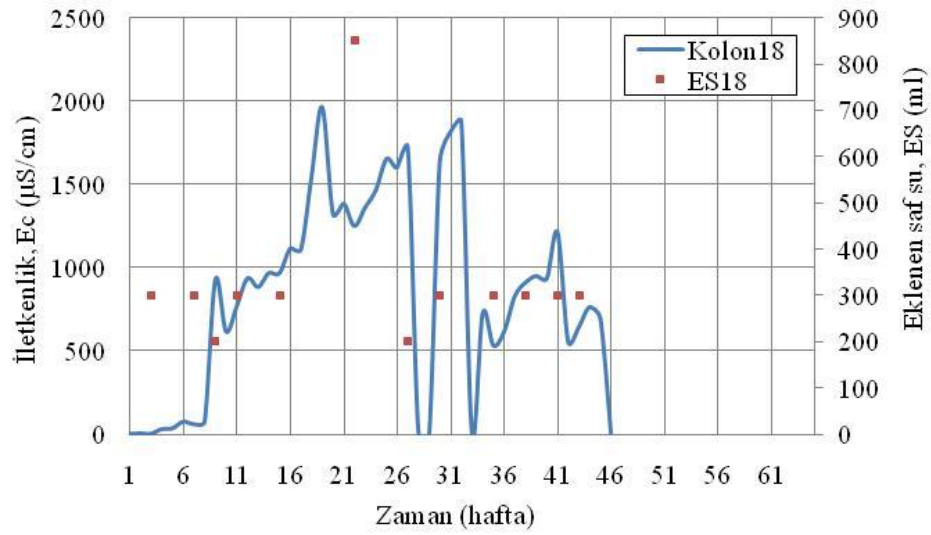
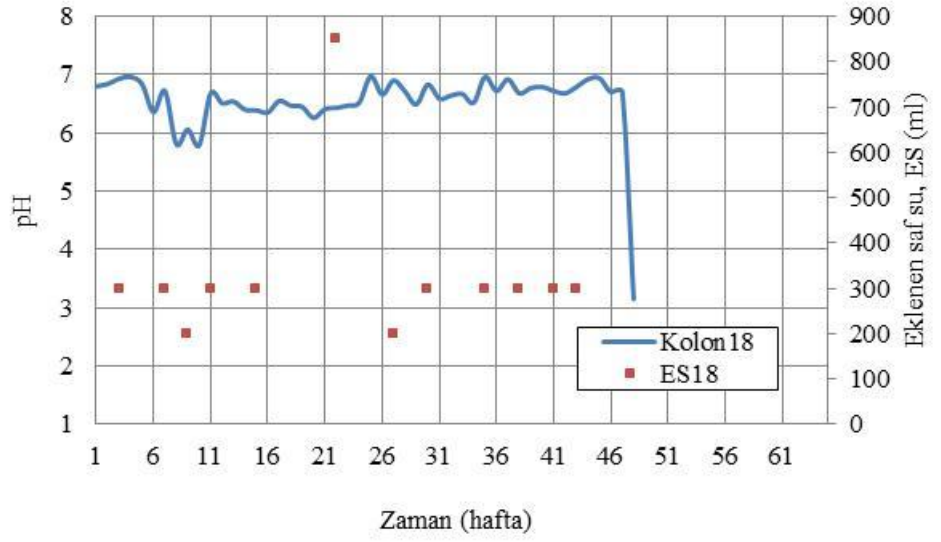
Ek 3. Devam



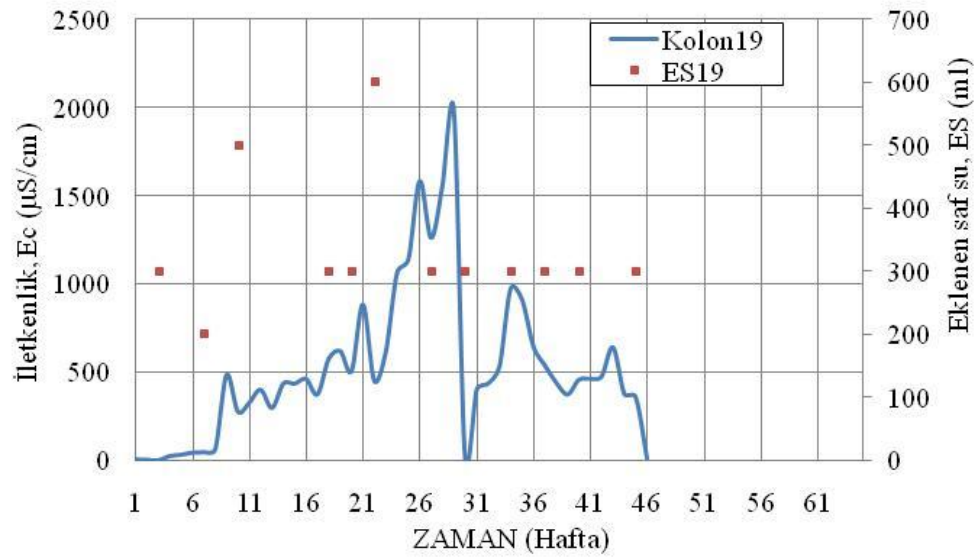
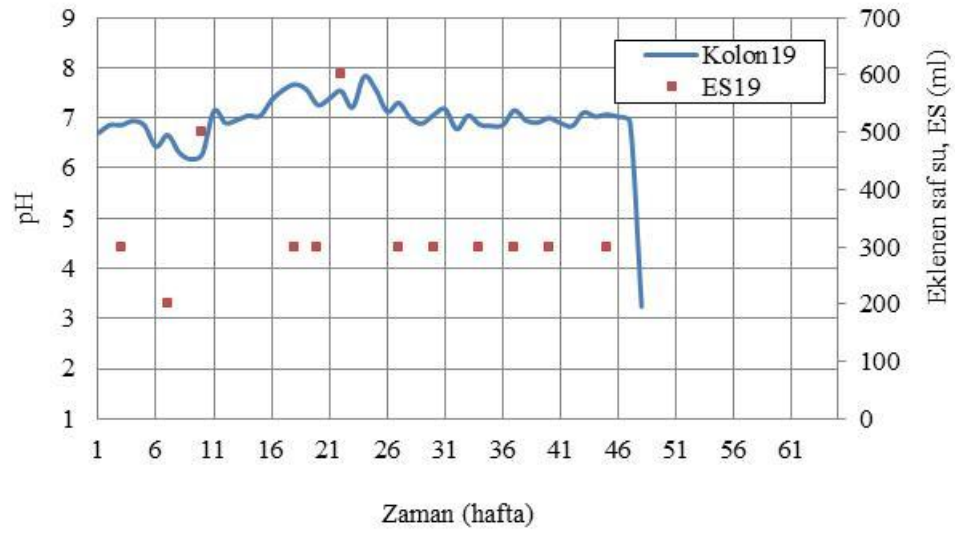
Ek 3. Devam



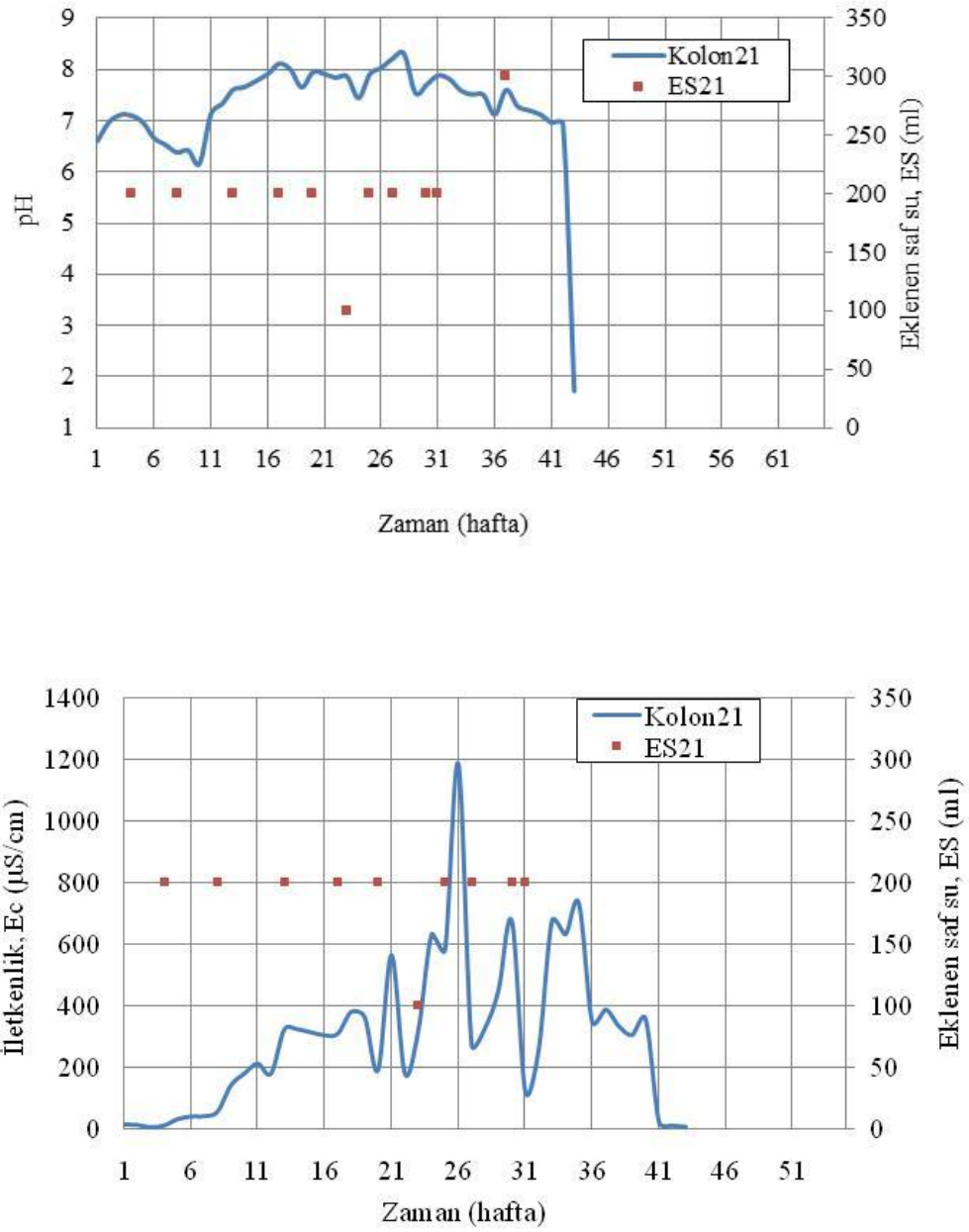
Ek 3. Devam



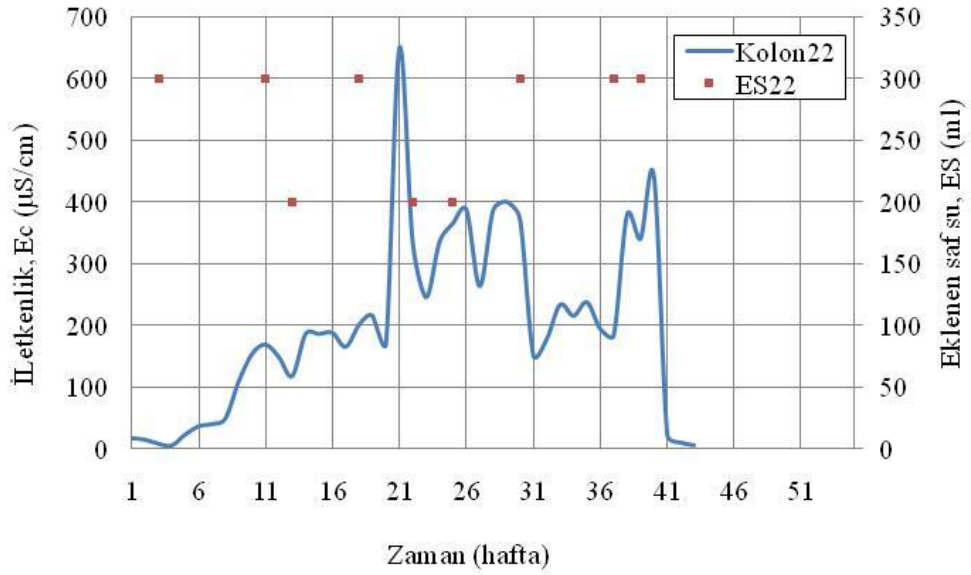
Ek 3. Devam



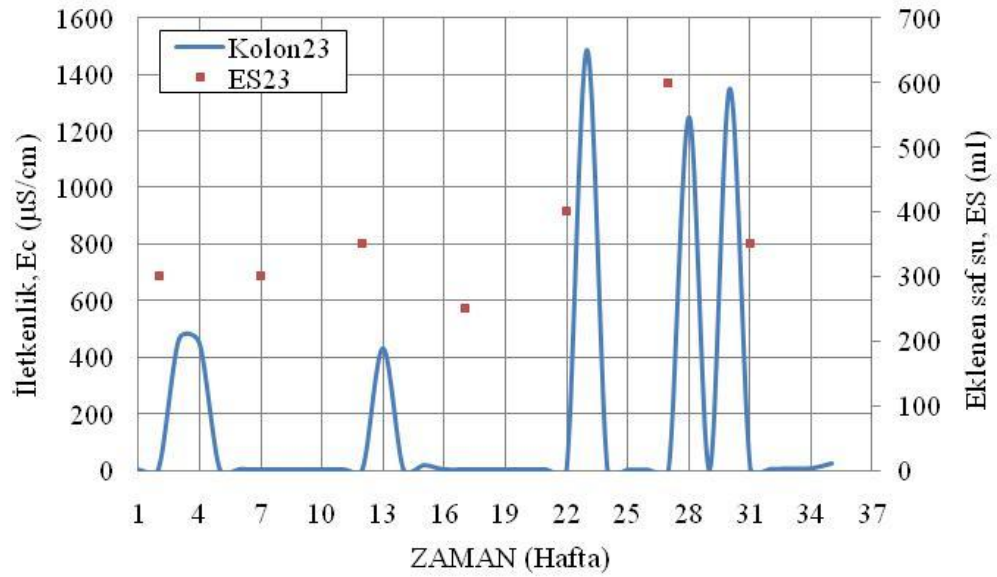
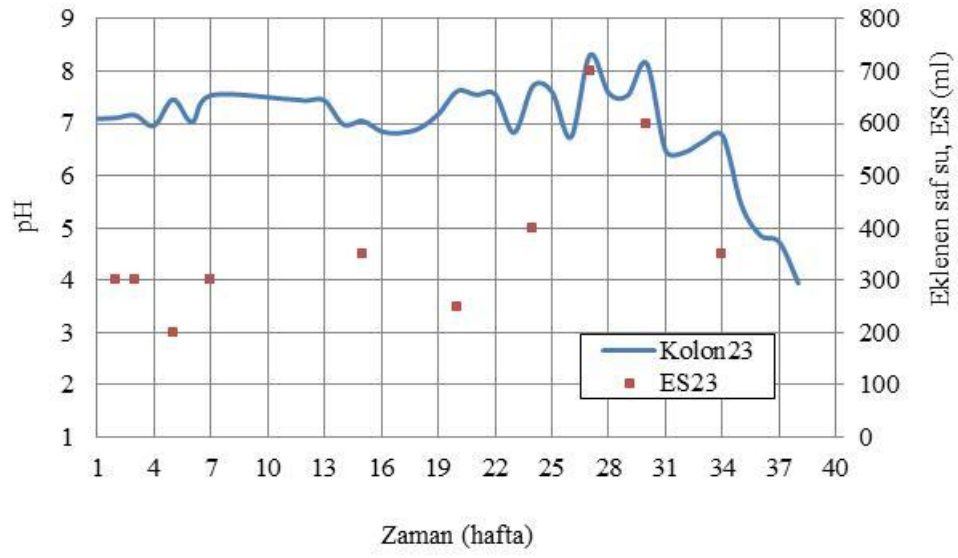
Ek 3. Devam



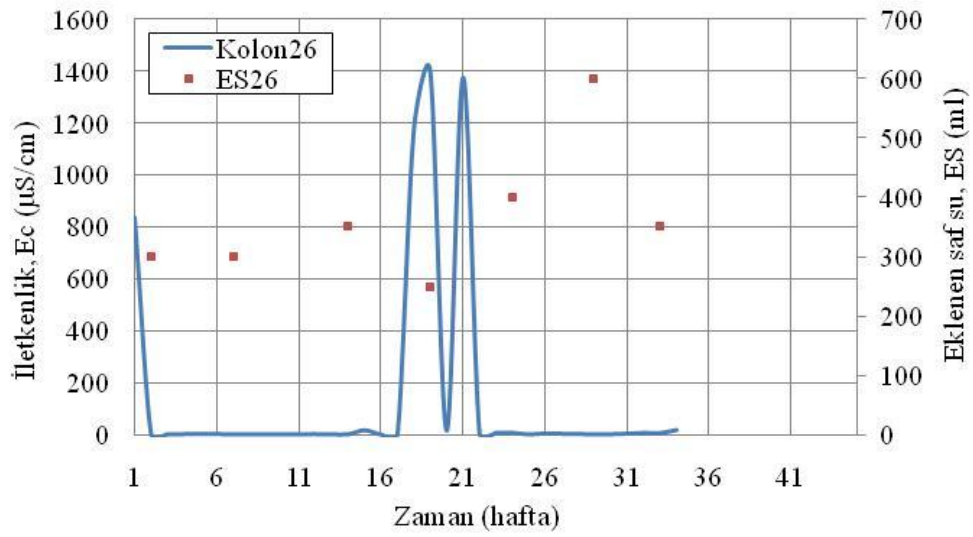
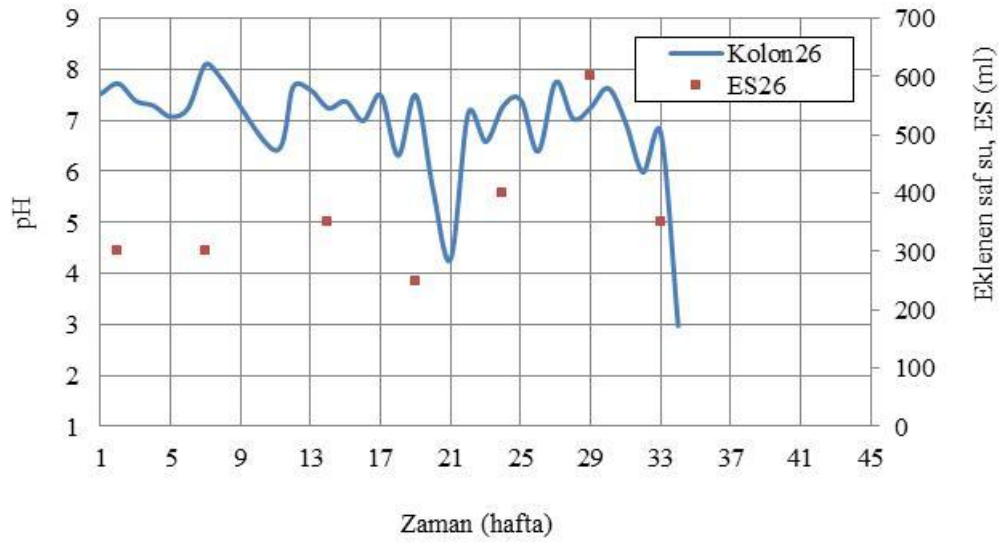
Ek 3. Devam



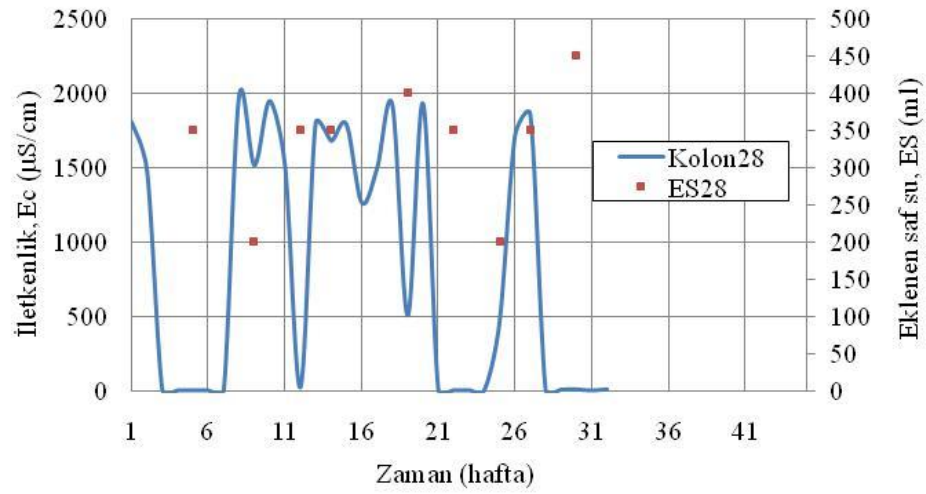
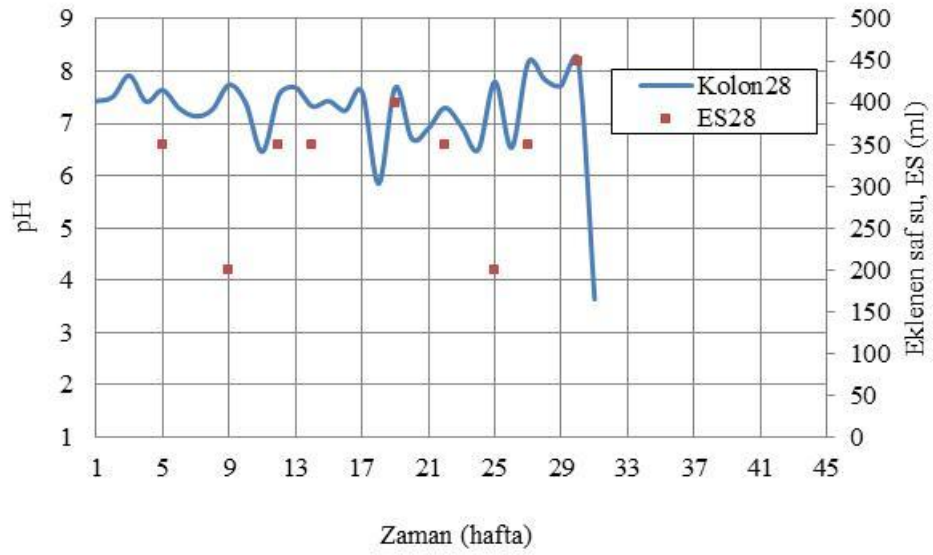
Ek 3. Devam



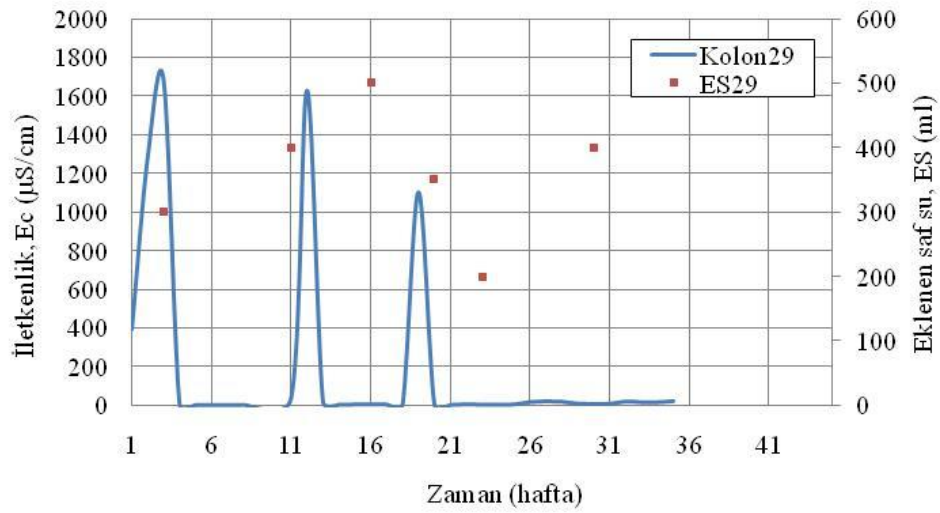
Ek 3. Devam



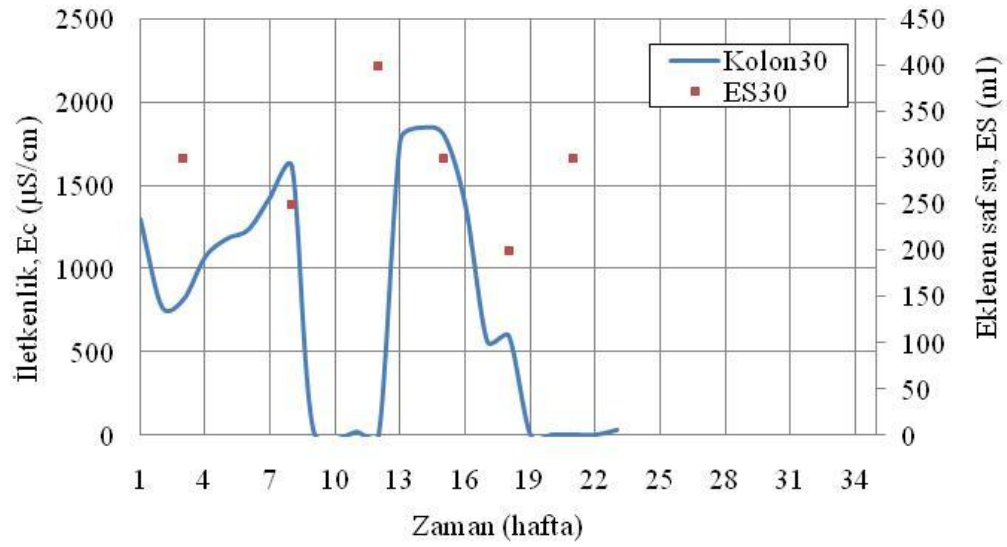
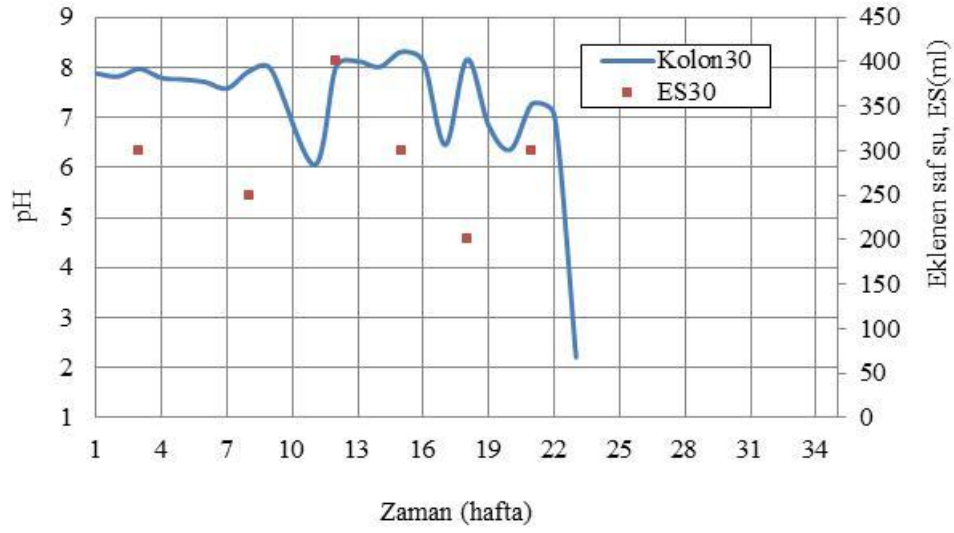
Ek 3. Devam



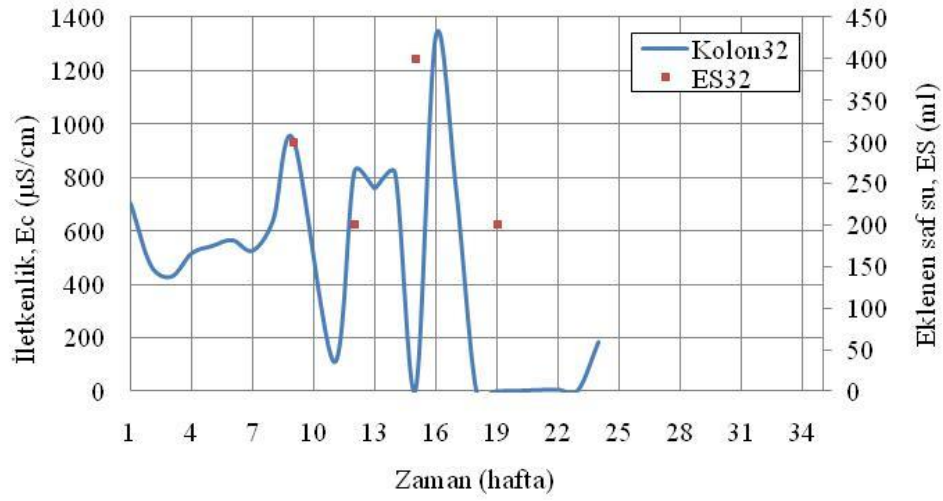
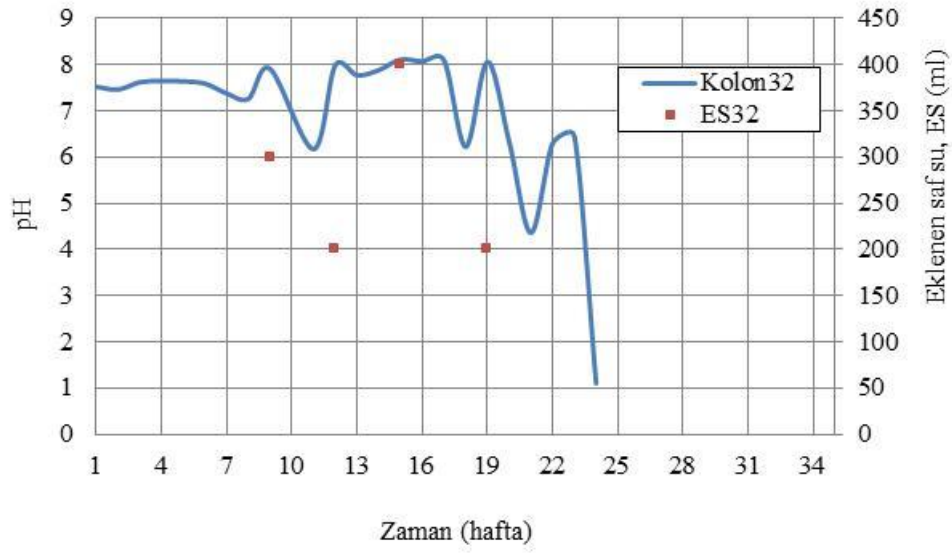
Ek 3. Devam



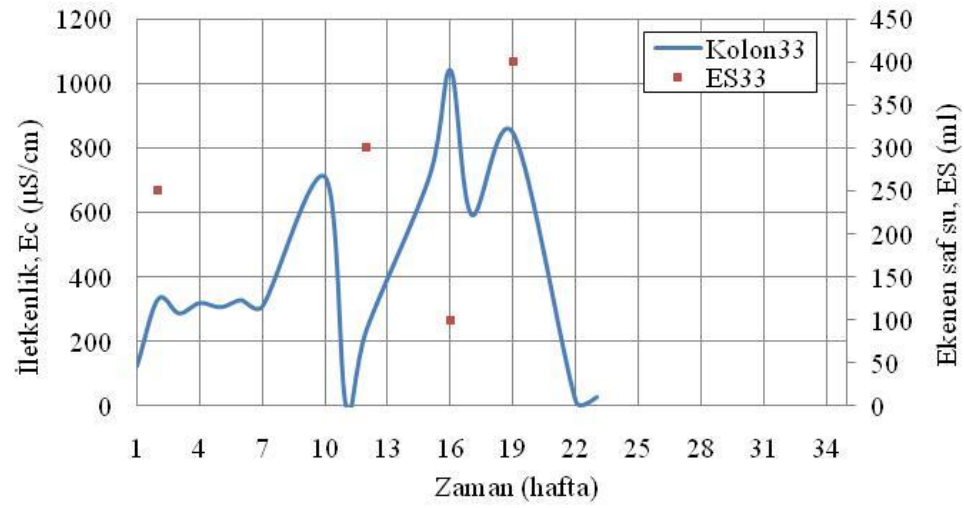
Ek 3. Devam



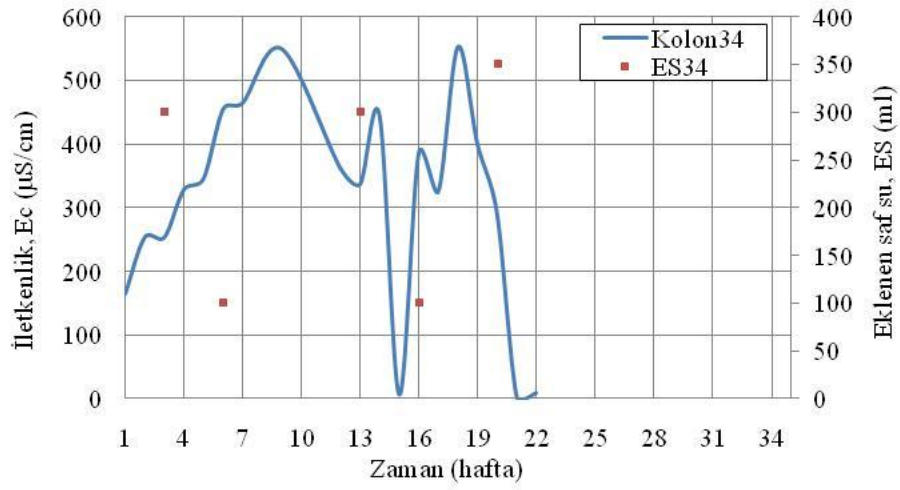
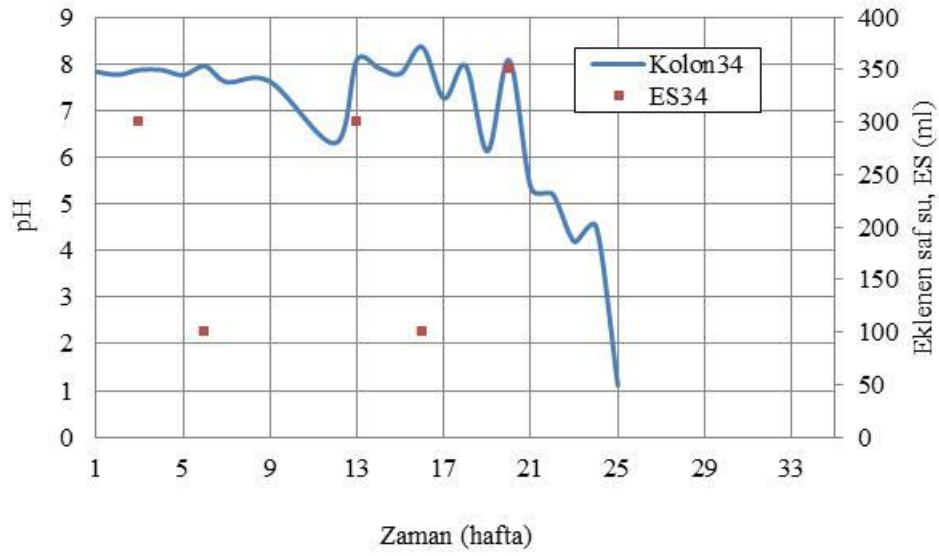
Ek 3. Devam



Ek 3. Devam



Ek 3. Devam



Ek 4. Kinetik kolon testleri sırasında alınan cevher örneklerinin XRF analiz sonuçları.

Tarih	Kolon Numarası	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	TiO ₂ (%)	P ₂ O ₅ (%)	MnO (%)	CuO (%)	H ₂ O (%)	CO ₂ (%)	SO ₃ (%)	PbO (%)	ZnO (%)	LOI (%)
16.05.2011	Deney öncesi	45.82	3.65	14.37	0.6	0.75	<0.01	0.67	0.04	0.01	<0.01	9.6			18.55			5.9
	11	51.35	5.05	15.65	0.6	0.75	<0.01	0.9	0.05	0.01	0.01	9	<0.05	1.15	15.35	0.05	0.1	0.15
	12	48.3	4.6	16.55	0.65	0.8	<0.01	0.85	0.05	0.01	0.01	10.1	<0.05	1.4	16.45	0.05	0.15	0
	13	50.85	4.5	15.45	0.6	0.85	<0.01	0.8	0.05	0.01	<0.01	9.05	<0.05	1	16.15	0.05	0.1	0.75
	14	54.4	4.75	15	0.6	0.75	<0.01	0.85	0.05	0.01	<0.01	8.3	<0.05	1.2	13.9	0.05	0.1	0.85
	15	47.75	4.55	17	0.65	0.8	<0.01	0.9	0.05	0.01	<0.01	10.15	<0.05	1.4	16.5	0.05	0.1	0.15
	16	57.1	3.45	14.1	0.5	0.7	<0.01	0.7	0.05	0.01	0.01	7.8	<0.05	1.25	14.05	0.02	0.1	0.95
	17	50.7	3.3	16.1	0.65	0.8	<0.01	0.65	0.05	0.01	0.01	9.4	<0.05	1.45	16.65	0.03	0.1	0
	18	53.75	3.2	15	0.6	0.75	<0.01	0.6	0.05	0.01	<0.01	9.2	<0.05	1.6	15	0.02	0.1	0.6
	19	52.55	3.4	15	0.6	0.7	<0.01	0.7	0.05	0.01	0.01	9.2	<0.05	1.35	16	0.05	0.2	0.6
18.07.2011	20	52	4.65	14.8	0.5	0.7	<0.01	0.85	0.05	0.01	<0.01	8.8	<0.05	1.3	16	0.02	0.1	0.35
	21	56.15	5.2	10.1	0.8	0.8	<0.01	1	0.05	0.01	<0.01	8	<0.05	1.4	16.3	0.02	0.1	0.55
	22	51.9	4.8	15.65	0.55	0.7	<0.01	0.8	0.05	0.01	0.01	8.75	<0.05	1.4	15.15	0.05	0.1	0.95
	11	43.2	2.8	11.8	0.4	0.6	<0.01	0.5	<0.01	2.1	<0.01	7.04	<0.05	---	22.1	---	---	9.1
	12	39.3	2.7	13	0.5	0.6	<0.01	0.5	<0.01	<0.01	<0.01	8.2	<0.05	---	25	---	---	10.1
	13	47.4	2.7	11.4	0.4	0.6	<0.01	0.5	<0.01	<0.01	<0.01	6.8	<0.05	---	21.4	---	---	8.6
	14	55.1	3	10	0.4	0.5	<0.01	0.6	0.06	<0.01	0.01	5.5	<0.05	---	17.6	---	---	7.1
	15	42.7	3.09	12.3	0.43	0.7	<0.01	0.56	0.03	0.01	0.01	7.8	<0.05	---	22.7	---	---	9.5
	16	51.5	3.5	10.5	0.33	0.57	<0.01	0.59	0.05	0.01	<0.01	6.3	<0.05	---	18.62	---	---	7.8
	17	40	3.3	12.61	0.5	0.88	<0.01	0.56	0.03	0.01	<0.01	8.4	<0.05	---	23.71	---	---	10.2
	18	53.6	3.58	9.4	0.3	0.66	<0.01	0.6	0.06	1.71	<0.01	5.6	<0.05	---	17.09	---	---	7.1
	19	46.8	3.2	11.3	0.4	0.6	<0.01	0.6	0.05	0.02	<0.01	7	<0.05	---	20.9	---	---	8.7

Ek 4. Devam.

Tarih	Kolon Numarası	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	TiO ₂ (%)	P ₂ O ₅ (%)	MnO (%)	CuO (%)	SO ₃ (%)	PbO (%)	ZnO (%)	LOI (%)
18.07.11	Deney öncesi	45.82	3.65	14.37	0.6	0.75	<0.01	0.67	0.04	0.01	<0.01	9.6	18.55			5.9
	20	40.6	3.1	12.7	0.4	0.7	<0.01	0.5	0.04	0.02	<0.01	8.3	23.7	---	---	10
	21	44.63	3.7	11.8	0.44	0.6	<0.01	0.6	0.04	0.02	0.01	7.5	20.94	---	---	9.5
	22	45.5	3.4	12	0.45	0.7	<0.01	0.6	0.04	0.04	<0.01	7.1	20.92	---	---	9.15
17.10.2011	11	51.2	4.2	18.2	0.5	0.7	<0.1	0.7	0.1	<0.1	---	4.5	15.7	<0.1	0.06	9.35
	12	51.1	4.2	18	0.5	0.7	<0.1	0.7	0.1	<0.1	<0.1	4.5	15.6	<0.1	0.08	9.45
	13	51.8	3.2	18.6	0.5	0.7	<0.1	0.7	<0.1	<0.1	<0.1	4.4	17.3	<0.1	0.06	9.05
	14	49.9	2.5	19.5	0.5	0.6	<0.1	0.5	<0.1	<0.1	---	5.2	19	<0.1	0.06	10.1
	15	52.7	3.2	18.2	0.4	0.6	<0.1	0.6	<0.1	<0.1	---	4.6	17.1	<0.1	0.06	8.9
	16	44.8	3	21.5	0.9	1.2	<0.1	0.6	0.1	<0.1	<0.1	3.1	19.4	<0.1	0.04	12.55
	17	49.3	3.9	19.7	0.5	0.6	<0.1	0.7	<0.1	<0.1	---	4.4	15.2	<0.1	0.06	9.4
	18	51.3	3.8	18.3	0.5	0.7	<0.1	0.7	0.1	<0.1	---	4.7	15.9	<0.1	0.07	9.45
	19	57	4.2	16.2	0.4	0.6	<0.1	0.8	0.1	<0.1	---	3.7	13.8	<0.1	0.05	7.85
	20	53	4	17.5	0.5	0.7	<0.1	0.7	0.1	<0.1	---	4.3	15.3	<0.1	0.07	9
Kinetik kolon deneyi sonrası	21	52.5	4	17.7	0.5	0.7	<0.1	0.7	0.1	<0.1	---	4.3	15.2	<0.1	0.05	9.25
	22	48.5	4.1	18.9	0.5	0.7	<0.1	0.7	0.1	<0.1	---	5.2	16.7	<0.1	0.079	10.15
	11	46.8	2.9	14.5	0.4	0.5	<0.1	0.6	<0.1	<0.1	<0.1	11.2	14.3		0.1	8.5
	12	44.9	2.9	15.85	0.2	0.5	<0.1	0.6	<0.1	<0.1	<0.1	11.3	14.2		0.12	9.2
	13	47.5	2.9	14.9	0.2	0.4	<0.1	0.6	<0.1	<0.1	<0.1	10	14.6		0.12	8.5
	14	43.5	2.9	15.3	0.4	0.5	<0.1	0.6	<0.1	<0.1	<0.1	11.7	15.1		0.12	9.75
	15	43.8	4.3	14.85	0.4	0.6	<0.1	0.7	<0.1	<0.1	<0.1	10.6	14.7		0.13	9.65
	16	42.9	4.1	14.9	0.5	0.7	<0.1	0.8	<0.1	<0.1	<0.1	9.8	15.9		0.11	9.55

Ek 4. Devam.

Tarih	Kolon Numarası	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	TiO ₂ (%)	P ₂ O ₅ (%)	MnO (%)	CuO (%)	SO ₃ (%)	ZnO (%)	LOI (%)
Kinetik kolon deneyi sonrası	Deney öncesi	45.82	3.65	14.37	0.6	0.75	<0.01	0.67	0.04	0.01	<0.01	9.6	18.55		5.9
	17	45.1	4.8	14.35	<0.1	0.5	<0.1	0.8	<0.1	<0.1	<0.1	9.4	14.9	0.16	9.5
	18	46.2	4.6	14.45	0.4	0.6	<0.1	0.8	<0.1	<0.1	<0.1	9.5	14.2	0.11	9.1
	19	48	4.3	14.8	0.3	0.8	<0.1	0.7	<0.1	<0.1	<0.1	9.1	14.1	0.1	7.75
	21	48.6	4.4	14.5	0.3	0.5	<0.1	0.8	<0.1	<0.1	<0.1	8.6	14.05	0.11	8.05
	22	46.4	3.3	14.2	0.2	0.5	<0.1	0.6	<0.1	<0.1	<0.1	10.2	15.5	0.14	8.6

Tarih	Kolon Numarası	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	TiO ₂ (%)	P ₂ O ₅ (%)	MnO (%)	CuO (%)	SO ₃ (%)	PbO (%)	ZnO (%)	LOI (%)
17.10.2011	Deney öncesi	45.82	3.65	14.37	0.6	0.75	<0.01	0.67	0.04	0.01	<0.01	9.6	18.55			5.9
	23	44.5	4.2	19.9	0.7	1	<0.1	0.6	<0.1	<0.1	<0.1	6	17.6	0.02	0.06	11.55
	24	52	4	17.9	0.5	0.6	<0.1	0.7	0.1	<0.1	<0.1	4.4	15.5	0.01	0.05	9.25
	25	50.8	3	19.1	0.4	0.5	<0.1	0.6	<0.1	<0.1	<0.1	4.9	17.8	0.02	0.04	9.45
	26	50.9	3.3	18.8	0.4	0.7	<0.1	0.6	<0.1	<0.1	---	4.9	17.7	0.02	0.07	9.35
	27	51.3	4.2	18	0.5	0.6	<0.1	0.7	0.1	<0.1	---	4.8	15.1	0.02	0.07	9.15
	28	51.4	3.8	18.2	0.5	0.7	<0.1	0.7	0.1	<0.1	---	4.6	15.7	0.01	0.07	9.4
	29	51.4	4.1	18	0.5	0.7	<0.1	0.7	0.1	<0.1	---	4.5	15.4	0.01	0.07	9.6
	30	52.2	5.1	17.1	0.6	0.8	<0.1	0.8	0.1	<0.1	<0.1	4.3	14.3	0.02	0.07	8.85
	32	51.5	3.8	19.2	0.5	0.7	<0.1	0.7	<0.1	<0.1	---	4.5	15.6	0.02	0.09	9.4
	33	52.2	3.6	18	0.5	0.6	<0.1	0.6	0.1	<0.1	---	4.5	15.7	0.01	0.16	9.4
	34	59	15.6	4	4.3	0.9	<0.1	1.1	0.6	0.5	0.1	4.8			0.01	9.05

Ek 4. Devam.

Tarih	Kolon Numarası	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	TiO ₂ (%)	P ₂ O ₅ (%)	MnO (%)	CuO (%)	SO ₃ (%)	ZnO (%)	LOI (%)
Kinetik kolon deneyi sonrası	Deney öncesi	45.82	3.65	14.37	0.6	0.75	<0.01	0.67	0.04	0.01	<0.01	9.6	18.55		5.9
	23	45.0	4.4	14.5	0.5	0.8	<0.1	0.8	<0.1	<0.1	<0.1	9.9	14.4	0.17	9.45
	24	45.5	4.4	14.35	0.5	0.7	<0.1	0.7	<0.1	<0.1	<0.1	9.9	14.1	0.13	9.6
	26	45.5	4.4	14.25	0.3	0.5	<0.1	0.8	<0.1	<0.1	<0.1	9.6	15.3	0.15	0.1
	28	44.7	4.3	15.15	0.5	0.6	<0.1	0.7	<0.1	<0.1	<0.1	9.8	14.3	0.14	9.65
	29	45.5	4.4	14.5	0.2	0.5	<0.1	0.8	<0.1	<0.1	<0.1	9.8	14.35	0.22	9.15
	30	45.8	4.6	14.3	0.1	0.4	<0.1	0.8	<0.1	<0.1	<0.1	9.5	14.4	0.17	9.75
	32	43.3	4.6	14.25	0.1	0.4	<0.1	0.8	<0.1	<0.1	<0.1	9.9	14.5	0.29	11.6
	33	43.7	4.4	14.45	0.2	0.6	<0.1	0.7	<0.1	<0.1	<0.1	11.2	14.55	0.1	11.1
	34	43.9	3.8	14.65	0.1	0.4	<0.1	0.8	<0.1	<0.1	<0.1	9.1	14.55	0.2	11.7

ÖZGEÇMİŞ

Rize ilinin Çayeli ilçesinde 15.12.1979 yılında doğan Güzide KALYONCU ERGÜLER 1996 yılında lisans öğrenimine Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümünde başlamıştır. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği bölümüne 1998 yılında yatay geçiş yaparak 2000 yılında buradan mezun olmuştur. 2001 yılında Hacettepe Üniversitesi, İngilizce hazırlık eğitiminden sonra 2004 yılında Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalında yüksek lisansını tamamlamıştır. 2010 yılında ATAUM Avrupa Toplulukları Araştırma Ve Uygulama Merkezi, AB Uzmanlık Eğitimi bitirmiştir. Ekim 2001-Temmuz 2004 tarihleri arasında Hacettepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak, Temmuz 2004- Temmuz 2012 tarihlerinde MTA Genel Müdürlüğü, Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi Başkanlığı, Çevresel Etki Değerlendirme Koordinatörlüğünde Maden Yüksek Mühendisi olarak Temmuz 2012 tarihinden itibaren de MTA Genel Müdürlüğü, Deniz ve Çevre Araştırmaları Dairesi, Çevre Araştırmaları Koordinatörlüğünde Maden Yüksek Mühendisi olarak çalışmaktadır. Evli ve bir çocuk annesidir.