

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

**ARTVİN İLİ POLİMETALİK MADEN SAHALARI ÖRNEĞİNDE
ASİT MADEN DRENAJİ OLUŞUMUNU VE ÇEVRESEL
ETKİLERİNİ KONTROL EDEN JEOKİMYASAL SÜREÇLER**

AYDA DOĞRUL DEMİRAY

KOCAELİ 2017

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ


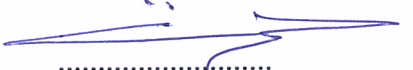
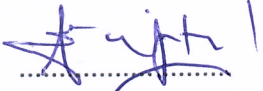
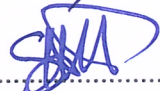
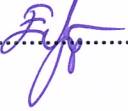
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

ARTVİN İLİ POLİMETALİK MADEN SAHALARI
ÖRNEĞİNDE ASİT MADEN DRENAJİ OLUŞUMUNU VE
ÇEVRESEL ETKİLERİNİ KONTROL EDEN JEOKİMYASAL
PROSESLER

AYDA DOĞRUL DEMİRAY

Prof. Dr. İrfan YOLCUBAL
Danışman, Kocaeli Üniversitesi
Prof. Dr. Ömer Feyzi GÜRER
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi
Prof. Dr. Emin ÇİFTÇİ
Jüri Üyesi, İstanbul Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. Salim ÖNCEL
Jüri Üyesi, Gebze Teknik Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Ercan SANGU
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi


.....

.....

.....

.....

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 03.07.2017

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde doktora tezi olarak hazırlanan bu çalışma, TÜBİTAK tarafından 110Y235 proje numarası ile desteklenmiştir. Tez kapsamında yapılan çalışmalardan, SCI kapsamındaki dergilerde 2 adet makale yayınlanmış ve uluslararası kongrelerde 5 adet sunum yapılmıştır.

Doktora tezimi, yaşamım boyunca destek, sevgi ve ilgilerini esirgemeyen, yol gösteren, dürüst ve çalışkan olma konularında örnek olan, annem Emine Meral Doğrul ve babam Vahdettin Doğrul'a ithaf ediyorum.

Merhametli, sevgi dolu kardeşlerim Gülsüm Aslı Doğrul ve Ayça Doğrul Selver; varlığına hep şükrettiğim eşim Deniz Demiray ve hayatıma yeni anlamlar katan oğlum Mehmet Engin Demiray, iyi ki varsınız, hayat size hep güzellikler sunsun dilerim.

Kararlı durmak, prensip sahibi olmak konularında her zaman öğretici olan kayınpederim Hasan Engin Demiray'ı rahmetle ve sevgi ile anıyorum. Sakin ve huzurlu duruşu ile yanımda olan kayınvalidem Rana Demiray'a sevgilerimi sunuyorum.

Lisansüstü eğitimim boyunca, en büyük yol göstericim olan, bana yeni ufuklar açan, çalışma konusundaki sabrı ve titizliği öğreten, danışmanım, Prof. Dr. İrfan Yolcubal'a içten sevgilerimi sunuyorum. Bana öğrettiğiniz her kelime için, verdiğiniz emekler için size binlerce kere teşekkür ediyorum, hakkınız ödenmez...

Her soruma cevaplama konusundaki sabırları, hoşgörülerini ve gülen yüzleri ile her zaman beni destekleyen, kıymetli hocalarım, Prof. Dr. Emin Çiftçi, Yrd. Doç. Dr. Ercan Sanğu'yu her zaman sevgi ve teşekkürle anacağım.

Lisans yıllarımdan beri, sükuneti ve hoşgörüsü ile sadece bilimsel yönüyle değil, insani yönüyle de biz öğrencilerine iyi bir model olan, Prof. Dr. Ömer Feyzi Gürer'e yol göstericiliği için şükranlarımı sunuyorum.

Mesleğimizin zor yanlarının yanısıra pek çok getirisi ve güzellikleri olduğunu anlatan; çalışma yaşamlarındaki duruşları ve başarılarıyla örnek olarak mesleğimizi sevdiiren TPAO'nun değerli üyeleri Muzaffer Siyako, Ömer Şahintürk, İzzet Özdemir'e teşekkürlerimi sunuyorum.

Çalışmanın, emek vermenin kıymetini öğreten; prensip sahibi olmayı öğütleyen, desteklerini ve sevgilerini her zaman hissettiğim Afet Kutlu, İsmail Metin Kutlu, Mehmet Ümit Kutlu'ya sonsuz sevgilerimi sunuyorum...

Okulda her zaman neşe ile, severek bulunmamı sağlayan, sevgi dolu arkadaşlarım, meslektaşlarım, Özgecan Gündüz, Özlem Yıldız Yüksekol, Fatma Şişman Tükel,

İsmail Emir Altıntaş, Mutlu Özkan, Hasan Sinir, sizlerle geçirdiğim güzel yıllarımın her anını, hep gülümseme ve özlem ile, 'İyi ki varlar!' diyerek anımsayacağım. Hepinizin yolu açık olsun.

Murgul Maden Sahası'nda örnekleme çalışmalarının gerçekleştirilmesine izin veren Cengiz İnşaat A.Ş.'ye; maden sahasındaki çalışmalar boyunca araştırma ekibimize eşlik eden, Jeoloji Mühendisi Onur Bey'e teşekkür ederim.

Çalışma döneminde işletme müdürü olan, Jeoloji Mühendisi, Ali İhsan Bey'i rahmetle anıyorum.

Mayıs - 2017

Ayda DOĞRUL DEMİRAY



İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
TABLolar DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
ÖZET.....	xviii
ABSTRACT	xix
GİRİŞ	1
1. GENEL BİLGİLER	3
1.1. Çalışma Sahası	3
1.1.1. İklim ve hidroloji.....	3
1.1.2. Murgul maden sahası	8
1.1.3. Kuvarshan maden sahası	10
1.2. Sahaların Genel Jeolojisi ve Mineral Parajenezi.....	11
1.2.1. Murgul sahası	12
1.2.2. Kuvarshan sahası	15
1.3. Önceki Çalışmalar	16
1.3.1. Ülkemizde yürütülen AMD çalışmaları	17
1.3.2. Statik ve kinetik test çalışmaları	22
1.4. Asit Maden Drenajı	25
2. MALZEME VE YÖNTEM.....	39
2.1. Saha Çalışması	39
2.2. Laboratuvar Çalışmaları	42
2.3. Analitik Yöntemler.....	43
2.3.1. Su analizleri.....	43
2.3.2. Jeokimyasal, mineralojik ve petrografik analizler	44
2.4. Asit Maden Drenajı Öngörü Testleri.....	45
2.4.1. Statik testler.....	45
2.4.1.1. Paste pH.....	46
2.4.1.2. Asit potansiyeli.....	47
2.4.1.3. Nötralizasyon potansiyeli	49
2.4.2. Kinetik test (nem hücresi deneyi).....	51
2.5. Jeokimyasal Modelleme Çalışmaları.....	54
3. BULGULAR.....	55
3.1. Mineralojik Özellikler	55
3.1.1. Petrografik incelemeler	55
3.1.1.1. Cevherli dasitler	55
3.1.1.2. Yeşil ve mor dasitler	57
3.1.2. Cevher mikroskobu incelemeleri	60
3.1.2.1. Cevher örnekleri.....	60
3.1.2.2. Kayaç örnekleri	63
3.1.2.3. Sediment örnekleri	66
3.1.3. XRD analizleri.....	68

3.1.3.1. Kayaç örnekleri	68
3.1.3.2. Sediment örnekleri	69
3.1.3.3. Toprak örnekleri	75
3.2. Katı Örneklerin Jeokimyasal Özellikleri	76
3.3. Maden Sahalarının Yüzey Sularına Etkisi	84
3.3.1. Maden sahalarındaki yüzey sularının jeokimyası ve su kalitesi	92
3.3.1.1. Murgul Deresi	93
3.3.1.2. Damar Deresi	115
3.3.1.3. Lepiskürdere	121
3.3.1.4. Borçka Barajı	122
3.3.1.5. Kuvarshan Sahası	127
3.4. Maden Sahalarındaki AMD Oluşumlarının Jeokimyası	130
3.5. Maden Sahalarında AMD Oluşumunu Kontrol Eden Süreçler	137
3.6. Eski Karadeniz Bakır İşletme (KBİ) Tesisleri Civarında Toprak Kirliliğinin Boyutu	149
3.7. Statik Testler	152
3.7.1. Sülfür ve karbon türleştirmesi	153
3.7.2. Paste pH	155
3.7.3. Asit potansiyeli (AP)	156
3.7.4. Nötralizasyon potansiyeli (NP)	157
3.8. Nem Hücresi Deneyi	161
3.8.1. Süzüntü sularının genel kimyasal özellikleri	162
3.8.1.1. Murgul sahası cevherli dasitleri	162
3.8.1.2. Murgul sahası pasa, dekapaj ve flotasyon atığı örnekleri	167
3.8.1.3. Kuvarshan sahası maden atığı örnekleri	171
3.8.2. Süzüntü sularında ölçülen metal salınım miktarları ve oranları	174
3.8.3. Süzüntü sularının metal içerikleri, salınım kinetikleri ve jeokimyasal süreçler	180
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	230
KAYNAKLAR	235
EKLER	240
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER	325
ÖZGEÇMİŞ	327

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Artvin ili maden yatakları haritası	4
Şekil 1.2.	Artvin iline düşen aylık ortalama yağışın dağılım grafiği	6
Şekil 1.3.	Artvin iline düşen toplam yağışın yıllara göre dağılım grafiği	6
Şekil 1.4.	Borçka, Murgul, Sümbüllü, Damar akım gözlem istasyonlarından ölçülen hidrograflar.....	7
Şekil 1.5.	Murgul maden sahalarının a- 2004 ve b- 2013 yıllarına ait uydu görüntüleri	10
Şekil 1.6.	Kuvarshan maden sahasının yerini gösteren haritası	11
Şekil 1.7.	Murgul madeni ve yakın civarının genelleştirilmiş jeolojik haritası	12
Şekil 1.8.	Murgul maden sahası ve çevresinde hidrotermal alterasyon zonları	15
Şekil 1.9.	Kuvarshan madeni ve yakın civarının jeoloji haritası	16
Şekil 1.10.	a- Portekiz'deki Sao Domingo madeninden, b- İspanya'daki Rio Tinto Nehri'nden, c- Çanakkale Çan'daki kömür sahasından, d- Artvin Kuvarshan sahasından AMD fotoğrafları.....	27
Şekil 2.1.	Murgul Sahası ve çevresindeki su örnekleme noktaları	40
Şekil 2.2.	Murgul Sahası ve çevresindeki sediment ve çökel örnekleme noktaları	41
Şekil 2.3.	Murgul Sahası ve çevresindeki kaya ve toprak örnekleme noktaları	42
Şekil 2.4.	Kuvarshan sahası ve çevresindeki su, kaya, sediment ve çökel örnekleme noktaları	42
Şekil 2.5.	a- Paste pH için örneğin hazırlanması b- Paste pH ölçümü	46
Şekil 2.6.	Sülfür türleştirmesi çalışmasına ait fotoğraflar	48
Şekil 2.7.	Köpürme testine ait fotoğraflar	49
Şekil 2.8.	Statik test sonuçlarının değerlendirilmesinde kullanılan grafik.....	51
Şekil 2.9.	Nem hücresi düzeneğinin genel görüntüsü	53
Şekil 2.10.	Nem hücresi testinde, yıkama işleminde verilen ultra saf suların toplanması	54
Şekil 3.1.	a- Damar sahasında, K bakış yönünde, açık renkli, ileri silisifiye cevherli dasitler ve b- Piritli cevherli dasit c,d ve e- Maden sahasında cevherli dasitlerde gözlenen alterasyonlar f- Dasitik tüf g- Damar sahasında cevherli dasiti kesen diyabaz daykısı.....	56
Şekil 3.2.	Çakmakkaya sahasından alınan cevherli dasit (K-1) örneğine ait fotomikrograf kolajı	57
Şekil 3.3.	Yeşil dasitlerin mor dasitlerle geçişli bulunmaları	58
Şekil 3.4.	Çakmakkaya sahasından alınan yeşil dasit (K-2) örneğine ait fotomikrograf kolajı	59
Şekil 3.5.	Mor dasitlerin Murgul-Çakmakkaya sahasındaki K bakış yönündeki görünüşleri	59

Şekil 3.6.	Çakmakkaya sahasından alınan mor dasit (K-4) örneğine ait fotomikrograf kolajı	60
Şekil 3.7.	Damar (Murgul) Sahası'ndaki ağsal yapılara örnek	61
Şekil 3.8.	Proje sahalarında bulunan cevher yataklarından alınan örneklerde gözlenen tipik cevher mineralleri ve cevher dokuları (a- Murgul-Çakmakkaya, b- Kuvarshan, c-d- Murgul-Damar)	62
Şekil 3.9.	Kayaç örneklerinde sülfür minerallerinin bulunuş şekilleri. (a,b- K-11, c- K- 16, d- K-19)	65
Şekil 3.10.	a,b- Murgul Çakmakkaya (K-10) ve c- Damar (K-6) cevherli dasit örneklerinin parlak kesit fotomikrografları	65
Şekil 3.11.	Eski işletme Cevherli dasit pasa örneğine (K-12) ait parlak kesit fotomikrografları	66
Şekil 3.12.	Kuvarshan flotasyon atığı (a,b- K-15) ve pasa (c,d- K-17) örneklerinin parlak kesit fotomikrografları	66
Şekil 3.13.	Sediment örneklerinde sülfürlü minerallerin bulunuş şekilleri. (a- SD-11, b- SD-33, c,e- SD-9).....	68
Şekil 3.14.	AMD çökel örneklerinin alındığı alanlar (a,b- Çakmakkaya, c-Damar, d-Kuvarshan).....	72
Şekil 3.15.	Murgul sahasından alınan atık ve çökellere ait fotoğraflar (a,b-SD-3, c-SD-34, d-SD-4, e-SD-19).....	73
Şekil 3.16.	Kuvarshan sahasından alınan çökellere ait fotoğraflar (a-SD-32, b-SD-30, c-SD-27)	75
Şekil 3.17.	Murgul sahasından alınan cevherli dasit (K-1, K-10, K-11, K-6, K-19, K-20), mor ve yeşil dasit (K-4, K-5) ile KBİ eski işletme cevherli dasit pasa (K-12) örneklerinde dikkat çeken bazı elementlerin konsantrasyonları.....	77
Şekil 3.18.	Murgul sahasından alınan dekapaj (K-18) ve Kuvarshan sahasından alınan, flotasyon atığı (K-15), mekan kaya (K-16), pasa yığını (K-17), örneklerinde dikkat çeken bazı elementlerinin konsantrasyonları	78
Şekil 3.19	Murgul (SD-1, SD-2, SD-5) ve Kuvarshan (SD-28, SD-29) sahalarında AMD'lerin çevresinde çökelen malzemelerin içeriğinde öne çıkan bazı elementlerin konsantrasyonları	80
Şekil 3.20.	Kuvarshan sahasında galerilerden sızan suların çevresinde biriken çökellerinde öne çıkan elemenlerin konsantrasyonları	81
Şekil 3.21.	Murgul maden sahalarından ve flotasyon tesisini çevreleyen yüzey su drenaj sistemine deşarj edilen atıklarda (SD-4: Damar drenaj, SD-19: Murgul madeninden drenaj ve atık barajı flotasyon çamurunda (SD-34) önemli bazı elementlerin konsantrasyonları	82
Şekil 3.22.	Maden sahaları çevresindeki derelerin maden etkisi dışında kalan yukarı drenajlarından alınan dere sedimentlerinin metal içerikleri	84
Şekil 3.23.	Çakmakkaya sahasında çalışma süresince meydana gelen yapısal değişiklikler (a-2011, b-2012, c-2013)	86
Şekil 3.24.	Damar sahasında çalışma süresince meydana gelen yapısal değişiklikler (a-2011, b-2013).....	87

Şekil 3.25. Çarkbaşı Sahası'nda çalışma süresince meydana gelen yapısal değişiklikler (a-2011, b-2013).....	88
Şekil 3.26. Lepiskürdere vadisi üzerindeki atık su barajı	88
Şekil 3.27. Derivasyon tüneline Ağustos-2011 örnekleme döneminde meydana gelen flotasyon çamuru kaçağı	89
Şekil 3.28. Lepiskürdere ve Murgul Deresi karışım noktasından farklı örnekleme dönemlerinde alınan görüntüler (a-2011, b-2012, b-2013).....	89
Şekil 3.29. Ağustos-2013 döneminde, a- Lepiskürdere vadisi Murgul Deresi kesişim noktasında açılmış tahliye galerisi, b- Galeriden boşalan demirce zengin suyun dere yatağını kırmızıya boyaması, c- Cevher üretim tesisinden sızan ve Murgul Deresi'ne boşalan flotasyon atık suyu, d- DSİ tarafından Murgul Deresi üzerinde yapılan ıslah çalışmaları.....	91
Şekil 3.30. Damar sahası birikinti sularının, (a-2011, b-2012 yıllarındaki); Damar Deresi yan koluna yapılan anlık deşarjların (c-2011, d-2012, e-2013 yıllarındaki) durumları	92
Şekil 3.31. Kuvarshan maden sahasındaki asidik su birikintilerinde mevsimsel meydana gelen değişimler (a-2011, b-2012, c-2013).....	92
Şekil 3.32. 2011 ve 2013-Ağustos kurak dönem ve 2012-Mayıs yağışlı dönem örneklemesinde, Murgul Deresi örneklerinin pH ve EC değerlerinde, sülfat konsantrasyonlarında akış yönünde gözlenen dönemsel değişimler	96
Şekil 3.33. İnceleme alanındaki yüzey sularının kontrol bölgelerinden farklı dönemlerde alınan örneklerin Schoeller diyagramı	97
Şekil 3.34. 2011 ve 2013-Ağustos kurak dönem ve 2012-Mayıs yağışlı dönem örneklemesinde Murgul Deresi örneklerinin alkalinite değerlerinde akış yönünde gözlenen dönemsel değişimler	97
Şekil 3.35. Ağustos-2011 döneminde, Lepiskürdere vadisi boyunca gerçekleşen flotasyon çamuru kaçağının Murgul Deresi'ne etkisinin akış yönünde izlenmesi a- Murgul deresi Lepiskürdere karışım öncesi b- Murgul deresi Lepiskürdere karışım sonrası c- Murgul ilçesi çıkışı d, e- Borçka baraj rezervuarı karışımı öncesi. f- Borçka baraj rezervuarı karışım noktasında atık çökeliminin oluşturduğu katmanlar g- Dere yatağındaki güncel atık çamur çökelimi. h- Borçka baraj rezervuarı kavuşum noktasında geçmişte çökelmiş atık çamurları	98
Şekil 3.36. Murgul Deresi'ni etkileyen diğer küçük ölçekli deşarjlar (Ağustos-2011) a-Lepiskürdere'nin batısındaki yüzeysel drenajdan yapılan atıksu drenajının Murgul Deresine karışım noktası, b,c-Damar Deresi'nin Murgul Deresi'ne karışımı öncesi, d-Damar Sahası'ndan yapılan deşarj sırasında yankolda bulanıklaşma, e- Damar Sahası'ndaki atık suların Damar Deresi yan koluna deşarjı	99
Şekil 3.37. Murgul Deresi'nin majör iyon kimyasında, akış yönünde gözlenen dönemsel değişimler	100

Şekil 3.38. İnceleme alanındaki yüzey su örneklerinin farklı dönemlerdeki su fasiyes değişimlerini gösteren Piper diyagramları	101
Şekil 3.39. Ağustos-2011 döneminde Murgul Deresi'ne yapılan maden kaynaklı deşarjların çözünmüş (S-) ve toplam (ST-) fazdaki bazı metal konsantrasyonları	102
Şekil 3.40. Murgul Deresi su örneklerinin a- çözünmüş b- toplam element konsantrasyonlarının 2011-Ağustos döneminde akış yönünde değişimi	104
Şekil 3.41. Murgul Deresi sedimentlerinde öne çıkan bazı elementlerin akış yönünde dağılımı	106
Şekil 3.42. Murgul Deresi'ne flotasyon atığı karışmadan önceki alanın a- 2011 ve b- 2012 yıllarındaki görünümü	108
Şekil 3.43. Murgul Deresi-Borçka Barajı kavuşum alanının a- 2011 ve b- 2012 yıllarındaki görünümü	109
Şekil 3.44. Murgul deresi su örneklerinin a- çözünmüş (S-) b- toplam (ST-) element konsantrasyonlarının 2012-Mayıs döneminde akış yönünde değişimi	110
Şekil 3.45. 2012-Mayıs döneminde Murgul Deresi'ne yapılan maden kaynaklı deşarjların çözünmüş (S-) ve toplam (ST-) fazdaki bazı metal konsantrasyonları	111
Şekil 3.46. Murgul deresi su örneklerinin a- çözünmüş (S-) b- toplam (ST-) element konsantrasyonlarının 2013-Ağustos döneminde akış yönünde değişimi	114
Şekil 3.47. 2011-Ağustos döneminde Murgul Deresi'ne yapılan maden kaynaklı deşarjların çözünmüş (S-) ve toplam (ST-) fazdaki bazı metal konsantrasyonları	115
Şekil 3.48. 2011-Ağustos döneminde, Damar Deresi'nin çözünmüş (S-) ve toplam (ST-) metal konsantrasyonlarının akış yönünde değişimi	116
Şekil 3.49. 2012-Mayıs döneminde, Damar Deresi'nin çözünmüş (S-) ve toplam (ST-) metal konsantrasyonlarının akış yönünde değişimi	118
Şekil 3.50. 2013- Ağustos döneminde Damar Deresi'nin akış yönünde çözünmüş (S-) ve toplam (ST-) metal konsantrasyonlarının değişimi	119
Şekil 3.51. 2011-Ağustos döneminde Damar Deresi yan koluna Damar sahasından yapılan anlık deşarj sonrası derenin akış yönünde çözünmüş metal konsantrasyonlarının değişimi	120
Şekil 3.52. 2011-Ağustos döneminde Damar Deresi sedimentlerinde anomali veren bazı elementlerin konsantrasyonlarının dağılımı	120
Şekil 3.53. Murgul Deresi ile Borçka Barajı kavuşumunda çökelmiş flotasyon malzemesi ve gözlenen kuvvetli pirit oksidasyon izleri.....	124
Şekil 3.54. Murgul Deresi yatağında çökelmiş flotasyon atık malzemesinin metal içeriğinin derinlikle değişimi	125
Şekil 3.55. Murgul Deresi yatağında uzun yıllar boyunca çökelmiş flotasyon atığından görünüm	126

Şekil 3.56. Murgul Deresi yatağında çökelmiş flotasyon atık malzemesinin metal içeriğinin derinlikle değişimi	126
Şekil 3.57. Kuarshan sahasından görüntüler	129
Şekil 3.58. Fabrika Deresi'nin kontrol ve Kuarshan maden drenajları karışımından sonra alınan örneklerin çözülmüş (S-) ve toplam metal konsantrasyonlarının değişimi	130
Şekil 3.59. 2011-Ağustos döneminde, a,b- Çakmakkaya c- Çarkbaşı d-Damar e- Kuarshan sahalarında gözlemlenen AMD oluşumları	133
Şekil 3.60. Murgul (S-1, S-7, S-8, S-9, S-14) ve Kuarshan (S-39) sahalarından alınan AMD örneklerinin kurak (2011-Ağustos) ve yağışlı (2012-Mayıs) dönemlerdeki majör iyon kimyası	134
Şekil 3.61. Murgul (S-1, S-7, S-8, S-9, S-14, S-48) ve Kuarshan (S-39) sahalarından alınan AMD örneklerinin pH ve EC değerlerindeki dönemsel değişkenlik	135
Şekil 3.62. Ağustos-2011 döneminde, Murgul ve Kuarshan sahalarından alınan AMD'lerinin a- çözülmüş faz ve b- toplam iz element içeriklerin karşılaştırılması	136
Şekil 3.63. 2012-Mayıs döneminde Murgul ve Kuarshan sahalarından alınan AMD'lerin yağışlı dönemde a- çözülmüş ve b- toplam iz element konsantrasyonları	137
Şekil 3.64. a, b- Kuarshan cevherli dasitlerinde piritlerin bozulması ve saçınım halinde bulunmaları ve piritlerdeki çözünme boşlukları; c, d-Murgul cevherli dasitlerinde saçınımlı piritler ve kalkopiritler ile bunların bozulmaları	141
Şekil 3.65. Çakmakkaya sahasında güncel olarak oluşan AMD çökellerinin XRD grafikleri	142
Şekil 3.66. Damar sahasında güncel olarak oluşan AMD çökelinin XRD grafiği	143
Şekil 3.67. Fe-S-K-O-H sistemi için pe-pH diyagramı (25 °C)	143
Şekil 3.68. Kuarshan sahasında oluşan AMD çökellerinin XRD grafiği	146
Şekil 3.69. Kuarshan sahası çevresinde, muhtemelen galerilerden gelen sulara bağlı oluşan çökelimlerin (SD-30) XRD grafiği	147
Şekil 3.70. Kuarshan sahasında muhtemelen galerilerden gelen sulara bağlı saha çevresinde oluşan çökelimlerin (SD-32) XRD grafikleri	148
Şekil 3.71. Kuarshan sahasında galerilere bağlı olarak oluşan SD-30 örneğinin metal içeriğindeki dönemsel değişim	149
Şekil 3.72. Kuarshan sahasından alınan AMD çökeli (SD-28) ve mavi renkli drenaj su çökelinin (SD-30) metal konsantrasyonları	149
Şekil 3.73. Karadeniz Bakır Eski İşletme Tesisleri	150
Şekil 3.74. KBİ sahasından alınan toprak örneklerinde anomali veren metallerin konsantrasyonlarının değişimi	151
Şekil 3.75. Örneklerin karbon ve sülfür türleştirmesi sonuçları	155
Şekil 3.76. NNP değerlendirmesinde kullanılacak NP-AP grafiği	158
Şekil 3.77. AMD testine tabi tutulan örneklerin sülfid-S- MAP değişim grafiği	160
Şekil 3.78. a- Cevherli dasitlerin, b- mor ve yeşil dasitlerin NP:AP grafikleri	160

Şekil 3.79. a- AMD çökellerinin ve b- pasa, dekapaj, flotasyon atığı örneklerinin NP:AP grafikleri	161
Şekil 3.80. Murgul cevherli dasit örneklerinin süzüntü sularında pH, EC, alkalinite, asidite, SO ₄ ve ORP değerlerinin zamana bağlı değişimi	165
Şekil 3.81. Murgul cevherli dasit örneklerinden salınan sülfat kütlesi ve salınım hızının zamana bağlı kümülatif değişimi	166
Şekil 3.82. Murgul-cevherli dasit örneklerinden elde edilen süzüntü sularında Ca ve SO ₄ konsantrasyonlarının zamana bağlı kümülatif değişimi	167
Şekil 3.83. Murgul sahasıyla ilişkili atık örneklerinin süzüntü sularında pH, EC, alkalinite, asidite, SO ₄ ve ORP değerlerinin zamana bağlı değişimi	169
Şekil 3.84. Murgul sahasıyla ilişkili atık örneklerinden salınan sülfat kütlesi ve salınım hızının zamana bağlı kümülatif değişimi	170
Şekil 3.85. Murgul sahasıyla ilişkili atık örneklerinden elde edilen süzüntü sularında Ca ve SO ₄ konsantrasyonlarının zamana bağlı değişimi	170
Şekil 3.86. Kuvarshan atık örneklerinin süzüntü sularında pH, EC, asidite, SO ₄ ve ORP değerlerinin zamana bağlı değişimi	172
Şekil 3.87. Kuvarshan sahasıyla ilişkili atık örneklerinden salınan sülfat kütlesi ve salınım hızının zamana bağlı kümülatif değişim	173
Şekil 3.88. Kuvarshan sahasıyla ilişkili atık örneklerinden elde edilen süzüntü sularında Ca ve SO ₄ konsantrasyonlarının zamana bağlı değişimi	174
Şekil 3.89. Cevherli dasit örneklerinden elde edilen süzüntü sularının metal içeriklerinin (C) başlangıç miktarına (C ₀) oranının zamana bağlı kümülatif değişimi	176
Şekil 3.90. Murgul sahasından alınan maden atıklarından elde edilen süzüntü suların metal içeriklerinin (C) başlangıç miktarına (C ₀) oranının zamana bağlı kümülatif değişimi	178
Şekil 3.91. Kuvarshan maden atıklarından alınan süzüntü sularının metal içeriklerinin (C) başlangıç miktarına (C ₀) oranının zamana bağlı kümülatif değişimi	180
Şekil 3.92. Nem hücresi deneyinin başlangıcında ve bitiminde (52. döngü sonu), K-10 (1 numaralı hücre), K-1 (8 numaralı hücre), K-15 (3 numaralı hücre), K-17 (5 numaralı hücre) örneklerinin görünüm ve yapısındaki değişim	182
Şekil 3.93. Nem hücrelerinin duvarlarında oluşan sıvama şeklinde çökelimler	183
Şekil 3.94. Çakmakkaya cevherli dasit örneğinde (K-1) süzüntü suyunun pH değerinin, sülfat ve metal konsantrasyonlarının zamana bağlı değişimi	184
Şekil 3.95. Kuvarshan pasa örneğinde (K-17) süzüntü suyunun pH değerinin, sülfat ve metal konsantrasyonlarının zamana bağlı değişimi	185
Şekil 3.96. Çakmakkaya cevherli dasit örneğinde (K-10) süzüntü suyunun pH değerinin, sülfat ve metal konsantrasyonlarının zamana bağlı değişimi	186

Şekil 3.97. Kuvarshan flotasyon atığı örneğinde (K-15) süzüntü suyunun pH değerinin, sülfat ve metal konsantrasyonlarının zamana bağlı değişimi	187
Şekil 3.98. Nem hücresi deneyi boyunca örneklerden elde edilen süzüntü sularının SO ₄ /Fe, SO ₄ /Cu (K-10 için) molar oranlarının ve pH değerinin değişimi.....	190
Şekil 3.99. Çakmakkaya cevherli dasit (K-1) örneğinden salınan ürünlerin kümülatif miktarının ve salınım hızlarının zamana bağlı değişimi	191
Şekil 3.100. Kuvarshan flotasyon atığı (K-15) örneğinden salınan ürünlerin kümülatif miktarının ve salınım hızlarının zamana bağlı değişimi	192
Şekil 3.101. Çakmakkaya cevherli dasit (K-10) örneğinden salınan ürünlerin kümülatif miktarının ve salınım hızlarının zamana bağlı değişimi	193
Şekil 3.102. Kuvarshan pasa (K-17) örneğinden salınan ürünlerin kümülatif miktarının ve salınım hızlarının zamana bağlı değişimi	194
Şekil 3.103. Nem hücresi deneyinde K-15 (Kuvarshan flotasyon atığı) örneğinden farklı döngülerde elde edilen süzüntü suların Eh-pH stabilite diyagramındaki konumu ve Fe ve S türleştirmesi	197
Şekil 3.104. Nem hücresi deneyinde K-17 (Kuvarshan pasa) örneğinden farklı döngülerde elde edilen süzüntü suların Eh-pH stabilite diyagramındaki konumu ve Fe ve S türleştirmesi	198
Şekil 3.105. Nem hücresi deneyinde K-1 (Çakmakkaya cevherli dasit) örneğinden farklı döngülerde elde edilen süzüntü suların Eh-pH stabilite diyagramındaki konumu ve Fe ve S türleştirmesi	199
Şekil 3.106. K-1, K-15 ve K-17 örneklerinden elde edilen süzüntü sularının mineral doygunluk indislerinin değişimi	200
Şekil 3.107. Nem hücresi deneyinde K-10 (Çakmakkaya cevherli dasit) örneğinden farklı döngülerde elde edilen süzüntü suların Eh-pH stabilite diyagramlarındaki konumu ve Cu, Fe, S türleştirmesi	202
Şekil 3.108. K-10 (Çakmakkaya cevherli dasit) örneğinden elde edilen süzüntü sularının mineral doygunluk indislerinin değişimi	203
Şekil 3.109. Nem hücresi deneyinin başlangıcında ve bitiminde, K-16 (10 numaralı hücre) K-12 (2 numaralı hücre) örneklerinin görünüm ve yapısındaki değişim	206
Şekil 3.110. K-12 (KBİ-cevherli dasit pasa) örneğinde süzüntü suyunun pH değerinin, sülfat ve bazı metal konsantrasyonlarının zamana bağlı değişimi	207
Şekil 3.111. K-16 (Kuvarshan-mekan kaya) örneğinde süzüntü suyunun pH değerinin, sülfat ve metal konsantrasyonlarının zamana bağlı değişimi	208
Şekil 3.112. Kuvarshan mekan kaya (K-16) örneğinden salınan ürünlerin kümülatif miktarının ve salınım hızlarının zamana bağlı değişimi	210

Şekil 3.113.Murgul eski işletme tesisi pasa örneğinden (K-12) salınan ürünlerin kümülatif miktarının ve salınım hızlarının zamana bağlı değişimi	211
Şekil 3.114.Nem hücresi deneyinde K-12 (Eski İşletme cevherli dasit pasa) örneğinden farklı döngülerde elde edilen süzüntü suların Eh-pH stabilite diyagramındaki konumu ve Fe ve S türleştirilmesi	212
Şekil 3.115.Nem hücresi deneyinde K-16 Kuvarshan mekan kaya örneğinden farklı döngülerde elde edilen süzüntü suların Eh-pH stabilite diyagramındaki konumu ve Fe ve S türleştirilmesi	213
Şekil 3.116.K-12 (Eski İşletme cevherli dasit pasa) ve K-16 (Kuvarshan mekan kaya) örneklerinden elde edilen süzüntü sularının mineral doygunluk indislerinin değişimi	214
Şekil 3.117.Nem hücresi deneyinin başlangıcında ve bitiminde, SD-34 (4 numaralı hücre), K-19 (6 numaralı hücre), K-18 (7 numaralı hücre) örneklerinin görünüm ve yapısındaki değişim	216
Şekil 3.118.K-18, K-19 ve SD-34 örneklerinde süzüntü suyunun pH değerinin, sülfat ve metal konsantrasyonlarının zamana bağlı değişimi	217
Şekil 3.119.Murgul dekapaj (K-18) örneğinden salınan ürünlerin kümülatif miktarının ve salınım hızlarının zamana bağlı değişimi	219
Şekil 3.120.Çarkbaşı cevherli dasit (K-19) örneğinden salınan ürünlerin kümülatif miktarının ve salınım hızlarının zamana bağlı değişimi	220
Şekil 3.121.Murgul atık barajı flotasyon atığından (SD-34) salınan ürünlerin kümülatif miktarının ve salınım hızlarının zamana bağlı değişimi	221
Şekil 3.122.Nem hücresi deneyinde K-18 (Murgul dekapaj) örneğinden farklı döngülerde elde edilen süzüntü sularının Eh-pH stabilite diyagramındaki konumu ve Fe ve S türleştirilmesi	223
Şekil 3.123.Nem hücresi deneyinde K-19 (Çarkbaşı cevherli dasit) örneğinden farklı döngülerde elde edilen süzüntü sularının Eh-pH stabilite diyagramındaki konumu ve Fe ve S türleştirilmesi	224
Şekil 3.124.Nem hücresi deneyinde SD-34 (Atık barajı flotasyon çamuru) örneğinden farklı döngülerde elde edilen süzüntü sularının Eh-pH stabilite diyagramındaki konumu ve Fe ve S türleştirilmesi	225
Şekil 3.125.Murgul dekapaj (K-18), Çarkbaşı cevherli dasit (K-19) ve atık barajı flotasyon çamuru (SD-34) örneklerinden elde edilen süzüntü sularının mineral doygunluk indislerinin değişimi	226
Şekil 3.126.SD-34 örneğinde nem hücresi deneyi sonrası hücrenin üst, orta ve alt kesimlerinde alınan örneklerin görünümü	228

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1.1.	Artvin meteoroloji istasyonunda ölçülen bazı parametrelerin uzun yıllar ortalaması (1970-2012)	5
Tablo 1.2.	Murgul ve Kuvarshan sahalarının rezerv bilgileri	8
Tablo 1.3.	Murgul yataklarındaki ana cevher ve gang mineralleri	14
Tablo 1.4.	Sık kullanılan statik testlere ait bazı bilgiler	25
Tablo 1.5.	AMD jeokimyasını kontrol eden süreçler ve faktörler	28
Tablo 1.6.	Oksitlenince asit üreten yaygın sülfür mineralleri	29
Tablo 1.7.	Sülfürlü minerallerin oksidasyon reaksiyonları ve diğer bazı minerallerin çözünme reaksiyonları	30
Tablo 1.8.	Maden sahalarında görülen bazı minerallerin çözünürlük ürünleri	34
Tablo 1.9.	Bazı minerallerin maksimum nötralizasyon kapasitesi	34
Tablo 1.10.	Bazı minerallerin maksimum nötralizasyon kapasitesi	37
Tablo 2.1.	Asit baz muhasebesi testi uygulanan örnekler	45
Tablo 2.2.	Köpürmenin derecelendirilmesi	49
Tablo 2.3.	Köpürme durumuna göre eklenen HCl hacimleri	50
Tablo 2.4.	Nem hücresi testi yapılan örnekler	52
Tablo 3.1.	Murgul-Damar, Çarkbaşı, Çakmakkaya ve Kuvarshan sahalarından alınan cevher örneklerinde tespit edilen cevher ve gang mineralleri	62
Tablo 3.2.	Murgul-Damar, Çarkbaşı, Çakmakkaya ve Kuvarshan sahalarından alınan kayaç örneklerinde, parlak kesit incelemeleriyle tespit edilen metalik mineraller	64
Tablo 3.3.	Sediment örneklerinde tespit edilen metalik mineraller	67
Tablo 3.4.	Sediment örneklerinde tespit edilen metalik mineraller	67
Tablo 3.5.	Cevherli dasitlere ait XRD pik çözümlenmeleri ile tespit edilen mineraller	69
Tablo 3.6.	Kaya örneklerine ait XRD pik çözümlenmeleri ile tespit edilen mineraller	69
Tablo 3.7.	Damar Deresi'nden alınan sedimentlerde, XRD pik çözümlenmeleri ile tespit edilen mineraller	70
Tablo 3.8.	Murgul Deresi'nden alınan sedimentlerde, XRD pik çözümlenmeleri ile tespit edilen mineraller	71
Tablo 3.9.	Borçka Barajı Havzası ile Murgul Deresi kesişim alanından alınan çökellerde, XRD pik çözümlenmeleri ile tespit edilen mineraller	71
Tablo 3.10.	Murgul sahasından alınan AMD çökellerinde, atık, alterasyon ürünü ve deşarj malzemelerinde, XRD pik çözümlenmeleri ile tespit edilen mineraller	72
Tablo 3.11.	Fabrika Deresi'ne ait XRD pik çözümlenmeleri ile tespit edilen mineraller	74

Tablo 3.12. Kuvarshan saharından alınan atık ve çökellerde, XRD pik çözümlenmeleri ile tespit edilen mineraller	74
Tablo 3.13. Toprak örneklerinde XRD pik çözümlenmeleri ile tespit edilen mineraller	75
Tablo 3.14. Murgul ve Kuvarshan sahasından alınan pirit ve tenantit örneklerinin elektron mikroprob analiz sonuçları	146
Tablo 3.15. K.B.İ sahasından alınan toprak örneklerinin jeokimyasal analiz sonuçları	151
Tablo 3.16. Örneklerin karbon ve sülfür türleştirmesi sonuçları	154
Tablo 3.17. Örneklerin statik test sonuçları	159
Tablo 3.18. Murgul cevherli dasit örneklerinden, nem hücresi deneyi boyunca salınan toplam metal kütleleri	175
Tablo 3.19. Murgul sahası maden atıklarından, nem hücresi deneyi boyunca salınan toplam metal kütlesi	177
Tablo 3.20. Kuvarshan sahası maden atıklarından 52 döngülük deney boyunca salınan toplam metal kütlesi	179
Tablo 3.21. Çakmakaya cevherli dasit (K-1, K-10) ve Kuvarshan pasa (K-17) ve flotasyon atığı (K-15) örneklerinde SO ₄ , Fe, Cu, Al ve As'in salınım kinetikleri.....	189
Tablo 3.22. Nem hücresi deneyi boyunca örneklerden elde edilen süzüntü suların su fasiyeslerinde gözlenen değişim	196
Tablo 3.23. Kuvarshan mekan kaya (K-16) ve Murgul eski işletme pasa (K-12) örneklerinde SO ₄ , Fe, Cu, Al ve As'in salınım kinetikleri	209
Tablo 3.24. Murgul atık barajı flotasyon çamuru, dekapaj ve cevherli dasit örneklerinde SO ₄ , Fe, Cu, Al ve As'in salınım kinetikleri	218
Tablo 3.25. Nem hücresi deneyi sonrası SD-34 örneğinin farklı düzeylerinden alınan örneklerin kimyasal bileşimi	229

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Al	: Alüminyum
Ag	: Gümüş
As	: Arsenik
B	: Bor
Ba	: Baryum
Be	: Berilyum
Br	: Bromür
C	: Karbon
°C	: Derece Santigrad
Ca	: Kalsiyum
Cd	: Kadmiyum
Cl	: Klorür
cm	: Santimetre
Co	: Kobalt
CO ₃	: Karbonat
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
F	: Florür
Fe	: Demir
HCO ₃	: Bikarbonat
Hg	: Civa
HNO ₃	: Nitrik asit
K	: Potasyum
kg	: Kilogram
L	: Litre
Li	: Lityum
m	: Metre
Mg	: Magnezyum
mg	: Miligram
µg	: Mikrogram
ml	: Mililitre
mm	: Milimetre
Mn	: Manganez
Mo	: Molibden
µS	: Mikrosimens
N	: Azot
Na	: Sodyum
NH ₄	: Amonyum
NO ₃	: Nitrat
NO ₂	: Nitrit
P	: Fosfor
Pb	: Kurşun
PO ₄	: Fosfat

Rb	: Rubidyum
S	: Kükürt
Sb	: Antimon
Se	: Selenyum
Si	: Silis
Sn	: Kalay
SO ₄	: Sülfat
Sr	: Stronsiyum
T	: Sıcaklık (°C)
Ti	: Titanyum
Tl	: Talyum
U	: Uranyum
V	: Vanadyum
W	: Watt
Zn	: Çinko
%	: Yüzde

Kısaltmalar

AMD	: Asit Maden Drenajı
AP	: Asit Potansiyeli
ASTM	: American Society for Testing and Materials (Amerikan Test ve Malzemeler Derneği)
Ab	: Albit
Arg	: Aragonit
B	: Batı
Cal	: Kalsit
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
Ccal	: Kalkoalumit
Ccp	: Kalkopirit
Cct	: Kalkosiyanit
Cov	: Kovellin
ÇO	: Çözünmüş Oksijen
D	: Doğu
DEM	: Digital Elevation Model (Dijital Yükseklik Modeli)
DMİ	: Devlet Meteoroloji İstasyonu
EC	: Elektriksel İletkenlik
EPA	: Environmental Protection Agency (Birleşik Devletler- Çevre Koruma Ajansı)
EPMA	: Elektron Prop Mikroanaliz
Fh	: Ferrihidrat
G	: Güney
Goe	: Götit
Gp	: Jips
Gst	: Goslarit
GWB	: The Geochemist's Workbench
Hem	: Hematit
HCl	: Hidroklorik asit
IC	: İyon Kromatografi

ICP-MS	: İndüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometresi
Jrs	: Jarosit
K	: Kuzey
K-	: Kaya Örneği
Kln	: Kaolinit
Mal	: Malakit
MAP	: Maksimum Asit Potansiyeli
Ms	: Muskovit
MTA	: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
mV	: Milivolt
N	: Normalite
NaOH	: Sodyum Hidroksit
NP	: Nötralizasyon Potansiyeli
NNP	: Net Nötralizasyon Potansiyeli
NPO	: Nötralizasyon Potansiyeli Oranı
Plg	: Plajiolklaz
ppb	: Parts Per Billion (Milyarda Bir)
ppm	: Parts Per Million (Milyonda Bir)
PVC	: Polivinil Klorür
Py	: Pirit
Qtz	: Kuvars
S-	: Su Örneği
Sdl	: Siderotil
Sh	: Şvermanit
SD-	: Sediment ve Çökel Örneği
Sph	: Sfalerit
ST-	: Filtrelenmemiş Su Örneği
SYM-	: Sayısal Yükseklik Modeli
T-	: Toprak Örneği
TDS	: Total Dissolved Solid (Toplam Çözünmüş Madde)
TOK	: Toplam Organik Karbon
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
TÜBİTAK-MAM	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu-Marmara Araştırma Merkezi
XRF	: X-ray Fluorescence (X-ışını Floresans Spektrometresi)
XRD	: X-ray Diffraction (X-ışını Difraktometresi)
USGS	: United States Geological Survey (Amerika Jeoloji Etütleri)
UTM	: Universal Transverse Mercator (Evrensel Enlem Markatörü)

ARTVIN İLİ POLİMETALİK MADEN SAHALARI ÖRNEĞİNDE ASİT MADEN DRENAJİ OLUŞUMUNU VE ÇEVRESEL ETKİLERİNİ KONTROL EDEN JEOKİMYASAL SÜREÇLER

ÖZET

Tez kapsamında, Artvin sınırlarındaki Murgul ve Kuvarshan sahalarının çevresel etkileri belirlenmiştir. Sahalardan alınan alınan dasitik kayaçların, maden atıklarının mineralojik ve jeokimyasal karakterizasyonu yapılmış, asit maden drenajı (AMD) oluşturma potansiyelleri, statik testler ve nem hücresi testiyle belirlenmiştir. Testlerle, süzüntü sularının kimyası, metal salınım kinetikleri ve AMD oluşumunu kontrol eden jeokimyasal süreçler tanımlanmıştır.

Yapılan incelemelerde, Murgul sahasının, Murgul Deresi'ne etkisinin, atık su barajından flotasyon çamuru kaçağının olduğu 2011'de, ciddi boyutlarda olduğu; kaçak önlendikten sonraki yıllarda dere suyu kalitesinde iyileşme olduğu gözlenmiştir. Murgul Deresi'nin maden atıklarıyla kirlenmiş alanı, 2011'de Al, Fe, Mn, Cu, Zn, Pb açısından IV. sınıf; 2012'de Mn, Hg, Cu açısından II. sınıf; 2013'de ise Cu açısından IV., Pb açısından II. sınıf su kalitesi sergilemiştir. Murgul madeninden kaynaklanan atık çamurları, Murgul Deresi boyunca ve Borçka Baraj rezervuarında metrelerce kalınlıkta istif oluşturmuştur.

Kuvarshan sahasından kaynaklanan deşarjların debileri nispeten düşüktür ve yüzey sularına etkileri zayıftır. Kuvarshan Sahası etkisindeki Fabrika Deresi her üç dönemde I. sınıf su kalitesi sunmuştur.

Oluşumlarında pirit oksidasyonun ana rolde olduğu belirlenen AMD'lerin, yüzey sularıyla bağlantıları olmadığından etkileri sınırlı kalmıştır.

Statik test sonuçlarıyla kinetik test sonuçları çoğunlukla uyumludur. Statik testlerde asit üretici karakter sergileyen örneklerden altısı (Kuvarshan pasa ve flotasyon atığı, Murgul cevherli dasitleri), nem hücresi deneyinde de asidik drenaj oluşturmuştur. Fakat statik testlerde asit üretici karakter sergileyen 3 örnek (atık barajı, Murgul dekapaj, Çarkbaşı evherli dasit) nem hücresi testinde alkali drenajlar üretmiştir. Bu sonuç, statik testlerin, kinetik testlerle desteklenmesi gerektiğini göstermiştir.

AMD oluşturan örneklerde, jarosit, alunit yada demir hidroksitler gibi minerallerin çözünmesi yada çökeliminin süzüntü sularının asitlik derecesini, jeokimyasını kontrol ettiği saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Asit Maden Drenajı, Kuvarshan, Murgul, Nem Hücresi Deneyi, Statik Testler.

GEOCHEMICAL PROCESSES CONTROLLING THE GENERATION AND ENVIRONMENTAL IMPACTS OF ACID MINE DRAINAGE IN THE CASE OF POLYMETALLIC MINES, ARTVIN

ABSTRACT

In this work, environmental effects of mining in Murgul and Kuvarshan areas (Artvin, Turkey), which are located in Eastern Pontide metallogenic belt, were investigated.

Mineralogic and geochemical characterization of dacitic rocks and mine tailing samples, which were taken from the study area, were carried out following by investigation of acid mine drainage (AMD) potentials by static tests and humidity cell test. These tests help us understand the geochemical processes that control leachate chemistry, metal release kinetics as well as AMD production potentials.

The most critical effect of Murgul mine is the flotation slurry leakage from tailing dam into the Murgul River and it became the worst in 2011. It was observed that when the leakage was stopped, the water quality of the river improved. Area contaminated by the Murgul River mine waste showed different water quality class different years; in 2011 based on Al, Fe, Mn, Cu, Zn, Pb concentrations quality IV, in 2012 based on Mn, Hg, Cu concentrations class II, in 2013 based on Cu concentrations class IV and based on Pb class II. Flotation slurry originating from Murgul mine formed several meters thick pile in the Borçka Dam reservoir and throughout the Borçka River bed. Flow rates of discharges in the Kuvarshan mine are relatively low therefore the effects on surface waters are weak. The Fabrika River, which was affected by Kuvarshan mining activities, showed class I water quality during three sampling periods.

Pyrite oxidation is the main controlling process of AMD however since these AMD formations are not connected to surface waters, its effects are limited.

Static test results were generally in line with kinetic test results. Six of the samples (Kuvarshan mine tailing and flotation slurry, Murgul ore-bearing dacite samples) which were found to be acid generators in the static tests also generated acidic drainage in the humidity cell tests. On the other hand, 3 samples that showed acidic character in the static tests (tailing dam, Murgul decapage and Çarkbaşı ore-bearing dacite samples) generated alkali drainages in the humidity cell tests. These results indicate that it is essential to support the static tests with the kinetic tests.

Dissolution or precipitation of mineral phases such as jarosite, alunite or iron hydroxydes control the degree of acidity and geochemistry of leachates.

Keywords: Acid Mine Drainage, Kuvarshan, Murgul, Humidity Cell Test, Static Tests.

GİRİŞ

Maden yatakları açısından oldukça zengin olan Anadolu'da madencilik, günümüzden yaklaşık 10.000 yıl önce başlamıştır. İnsanlık, var oluşundan bugüne kadar keşfettiği her yeni madenle birlikte, ciddi ilerlemeler kaydetmiş, hatta çağ atlamış, bilgi, birikim ve teknolojisini katlamıştır. Geçmişi bu kadar eski olan, insanlığın gelişim sürecinde kilit rol oynayan madenciliğin, ekonomik getirileri de göz ardı edilemez bir öneme sahiptir.

Madencilik, gerek işletme sırasında gerekse maden sahasının kapatılması aşamasında titizlik ve ciddiyetle sürdürülmesi gereken bir iş koludur. Doğa ile uyumlu, sürdürülebilir ve bilimsel bilgiler ışığında yürütüldüğü takdirde, olmazsa olmaz temel ihtiyaçları karşılayarak fayda sağlayan, ülkelerin büyümesi ve kalkınması konusunda en temel unsurlardan biri olan madencilik, aksi durumlarda son derece olumsuz sonuçlara yol açabilmektedir. Bu durumda, uzun vadede, faydaların, zararların yanında oldukça önemsiz kaldığı durumlar söz konusu olabilmektedir.

Madencilik, doğası gereği, en iyi biçimde yapıldığı takdirde bile, gürültü kirliliği, topografyanın değişmesi, toz ve gaz emisyonlarının gelişmesi gibi etkileri olan bir faaliyettir. Bu olumsuz etkiler, sürecin iyi yönetilmesi durumunda, kabul edilebilir düzeylerde kalabilir. Fakat daha ciddi ve hatta geri dönüşü olmayan olumsuz etkiler de söz konusu olabilir. Çevresel etkisi kapsamlı biçimde araştırılmadan açılan maden sahaslarının; doğa ile uyumlu hale getirilmeden veya izole edilmeden terk edilen maden atıkları ve atık sular, maden sahasının yapısına ve işletme yöntemine göre değişmekle beraber, çok ciddi birer tehdit unsuru olabilirler.

Ülkemiz dahil pek çok ülkede, terk edilmiş ya da işletilen metalik ve enerji maden sahaslarında gözlenen asit maden drenajı (AMD), madencilik faaliyetlerinin neden olduğu en önemli çevresel sorunların başında gelmektedir.

AMD öngörü çalışmaları, mineralojik analiz, jeokimyasal analiz, statik testler, kinetik testler ve modelleme çalışmalarının bir arada yürütülmesi ile yapılması gereken oldukça kapsamlı çalışmalardır.

Çalışma sahasında, bugüne kadar yürütülmüş çalışmalar, bölgenin jeolojisini, madenin çevresel etkilerini anlamaya yönelik çalışmalardır. Bunun yanısıra, az sayıda AMD öngörüsü üzerine yoğunlaşmış çalışma da mevcuttur. Yapılan bu tez çalışması ile, sadece maden sahalarının çevresel etkisi tespit edilmekle kalmamış; aynı zamanda, bölgenin AMD potansiyeli, kapsamlı bir çalışma ile anlaşılmaya çalışılmıştır.

Çalışma, Artvin ilinde bulunan, çalışma sürecinde işletilmekte olan Murgul bakır madeni ile yaklaşık 70 yıldır terkedilmiş olan Kuvarshan bakır madeninde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, öncelikle sahalardaki madencilik faaliyetlerinin yüzey su drenaj sistemi üzerindeki etkileri saptanmıştır. AMD öngörü testlerine altlık olması amacıyla, sahaların mineralojik ve jeokimyasal karakterizasyonu yapılmıştır. Bunun için, XRF, XRD ve cevher mikroskopisi çalışmaları yürütülmüştür.

Sahalardan alınan katı örneklerin asit maden drenajı oluşturma potansiyellerini belirlemek için ilk olarak statik testler yapılarak asidik drenaj oluşturma potansiyeline sahip olan örnekler tespit edilmiştir. AMD oluşturma potansiyeline sahip örnekler içinden, mineralojik yapısı ve sahadaki bolluğuna göre seçilen 9 örneğe nem hücresi deneyi yapılmıştır. Nem hücresi deneyi ile, AMD oluşum kinetikleri ve kontrol eden jeokimyasal süreçler belirlenmiştir.

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Çalışma Sahası

Çalışma sahalarının içinde bulunduğu Doğu Karadeniz Bölgesi, volkanojenik masif sülfür (VMS) yataklarının yoğun olarak bulunduğu ve işletildiği bir bölge olması nedeniyle, bu tür yatakların işletilmesinden kaynaklanabilecek çevresel sorunlarla karşılaşma potansiyeli en yüksek bölgelerimizdendir.

Artvin, Doğu Pontit Metalojenik Provinsinin polimetalik madenler açısından en önemli merkezlerinden biridir. İl sınırlarında, MTA envanterine göre, 44 adet bakır-kurşun-çinko, 1 adet demir, 17 adet manganez, 5 adet bakır-molibden ve 5 adet altın yatak ve zuhuru olmak üzere toplam 72 adet metalik maden sahası vardır (Şekil 1.1). Tespit edilen polimetalik yataklardan 16'sı volkanojenik masif sülfür (VMS) tipi, 28'i ise damar tipi cevher oluşumlarıdır. Tez kapsamında, tüm bu yataklar arasından çalışmanın yapıldığı 2011-2013 yıllarında işletilmekte olan ve Türkiye'nin en uzun süreli işletilen, en büyük bakır madenlerinden biri olan Murgul ile terk edilmiş Kuvarshan VMS yataklarının çevresel etkileri, AMD oluşturma potansiyeli ve kontrol eden jeokimyasal süreçler incelenmiştir (URL-1).

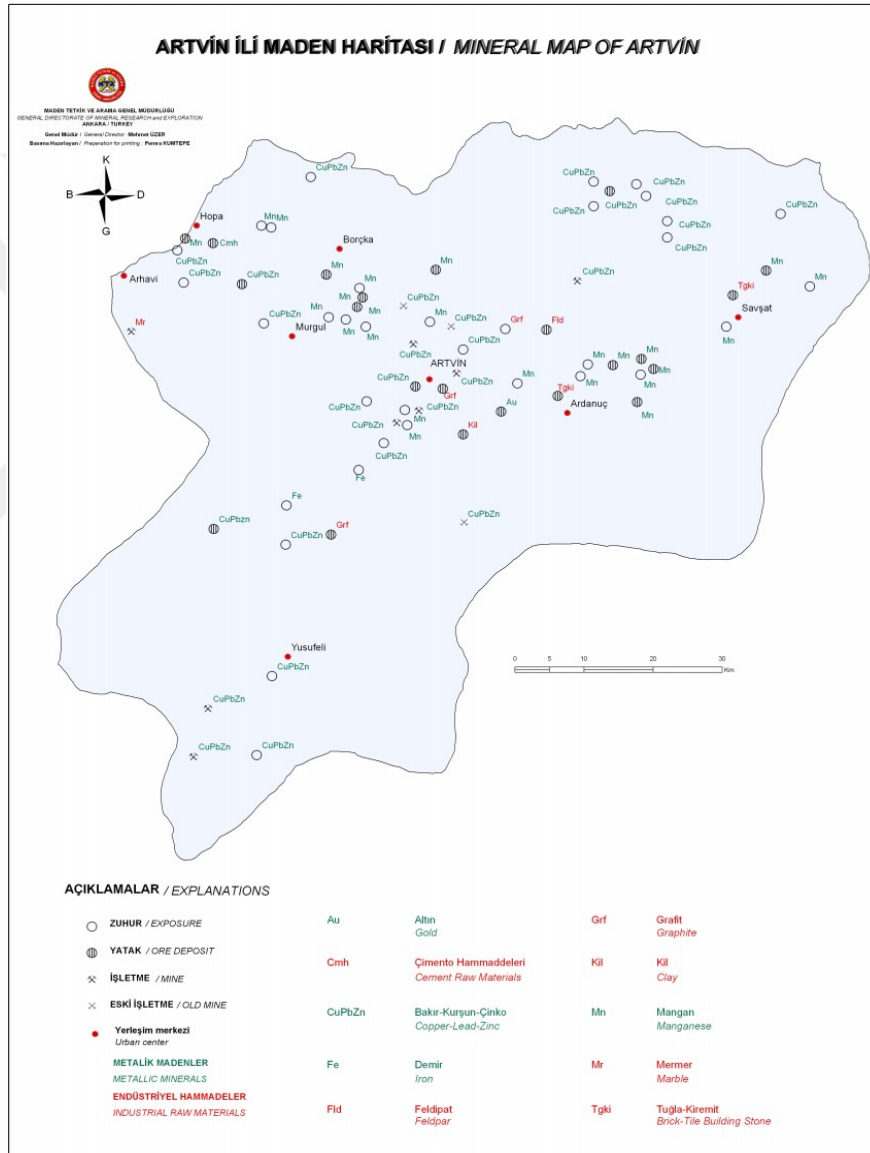
1.1.1. İklim ve hidroloji

Oldukça engebeli coğrafyada yer alan Murgul ve Kuvarshan sahalarının etrafı, yüzey suyu açısından da, belli düzeyde tahribat görülmekle birlikte bitki örtüsü bakımından da zengindir; Karadeniz ikliminin etkisi altında, yağışlı ve ılımandır.

Çalışma sahalarına en yakın meteoroloji istasyonu Artvin'de bulunmaktadır. Her iki çalışma sahasına da yakın olan bu istasyondan alınan bazı meteorolojik veriler Tablo 1.1'de verilmiştir.

Yıllık ortalama sıcaklık 12°C'dır. En düşük sıcaklık Ocak ayında (2,4°C), en yükseklik sıcaklık ise Temmuz-Ağustos (20,4°C) aylarında ölçülmüştür. Bölgeye düşen yıllık ortalama yağış 1970-2013 yılları arasında 732 mm'dir. En fazla yağış

Aralık ve Ocak aylarında (90-94 mm), en düşük yağış da Temmuz-Eylül ayları (32-34 mm) boyunca gerçekleşmektedir (Tablo 1.1). Aylık ortalama yağışlı gün sayısı ise 11 ± 2 gündür. Yıllık ortalama nem oranı ise % 65'dir. Maden sahalarının bulunduğu bölge Türkiye ortalamasının üzerinde yağış almaktadır (1971-2013: 646 mm). Saha çalışmalarının yapıldığı 2011 yılında uzun yıllar ortalamasının çok üzerinde yağış gerçekleşirken, 2012 ve 2013 yıllarında ise yıllık toplam yağış ortalamasının altında seyretmiştir. (Şekil 1.2).



Şekil 1.1. Artvin ili maden yatakları haritası

Çalışma sahası etrafındaki en büyük akarsu Çoruh Nehri'dir. DSİ Borçka akım gözlem istasyonu verilerine göre, Çoruh Nehri'nin yıllık ortalama debisi 144

m^3/sn 'dir. En yüksek akım ($545 m^3/sn.$), havzadaki kar erimelerine nedeniyle Mayıs ayında gerçekleşmektedir (Şekil 1.3).

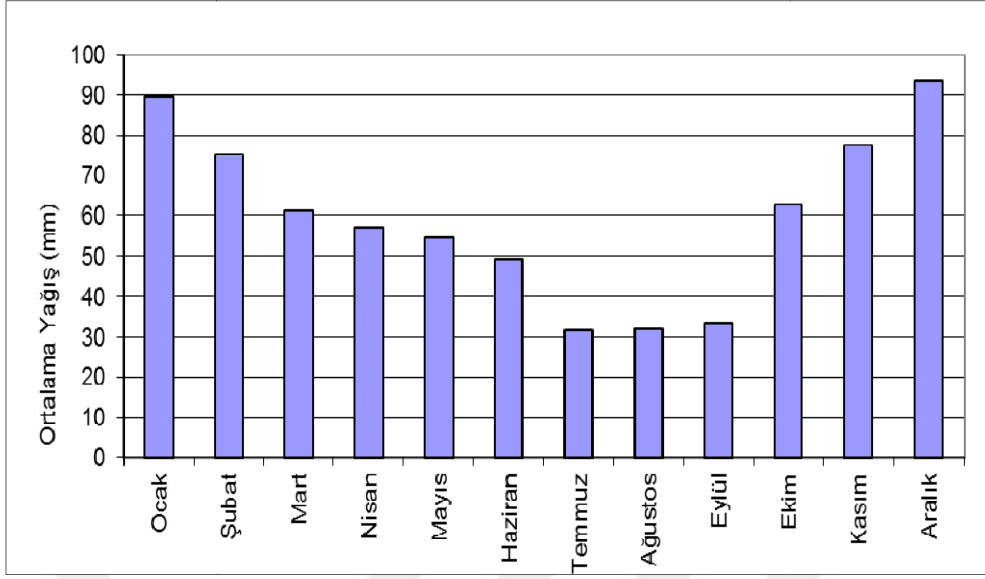
Çoruh Nehri üzerinde, Muratlı (yapımı 2005 yılında tamamlanmış), Borçka (yapımı 2006 yılında tamamlanmış), Deriner (yapımı 2012 yılında tamamlanmış) barajları bulunmaktadır. Bu barajlar enerji üretim amaçlıdır. Borçka Barajı, çalışma yapılan maden sahalarının etki alanı içinde, Çoruh nehri- Murgul Deresi karışım noktasının hemen akış aşağısında yer almaktadır. Murgul maden sahasının etkisi altında olan Murgul Deresi üzerinde, tamamlanmış 6 adet nehir tipi HES bulunmaktadır.

Murgul Deresi üzerinde kurulu olan Murgul, Sümbüllü akım gözlem istasyonlarından elde edilen verilere göre çayın yıllık ortalama debisi $7,5-8 m^3/sn$ civarındadır (Şekil 1.4). Nisan-Haziran ayları arası akımın en fazla, Ağustos-Eylül ayları ise akımın en düşük ölçüldükleri dönemdir (Şekil 1.4). Murgul madenin etkisi altında olan ve Murgul Deresi'ne dökülen Damar Deresi'nin ortalama debisi ise $0,2 m^3/sn.$ 'dir. Çalışma yapılan maden sahaları ve çevresinde çoğunlukla geçirimsiz piroklastlar yer almaktadır ve bu birimler yeraltı suyu taşımamaktadır.

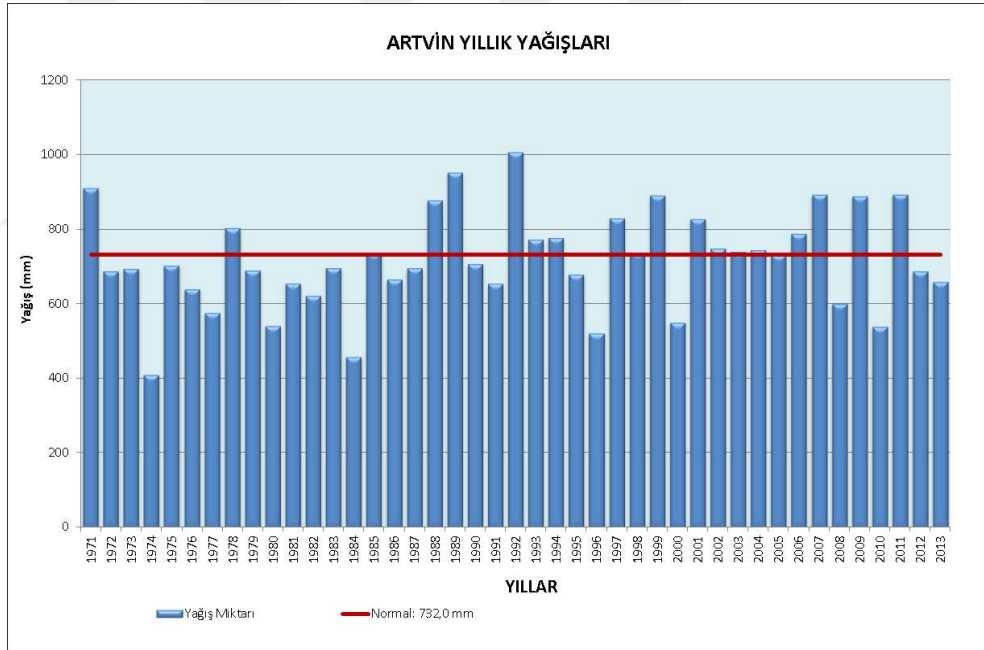
Bölgedeki bitki örtüsü, izabe tesisinin işletilmesi sırasında oluşan sülfürik asitin asit yağmuru biçiminde düşmesi sebebiyle büyük oranda tahrip olmuştur. Asit üretme tesisi kapandıktan sonra, ağaçlandırma genel müdürlüğü (AGEM), bölgede ağaçlandırma çalışmalarına başlamıştır (Oruç, 2010).

Tablo 1.1. Artvin meteoroloji istasyonunda ölçülen bazı parametrelerin uzun yıllar ortalaması (1970-2012)

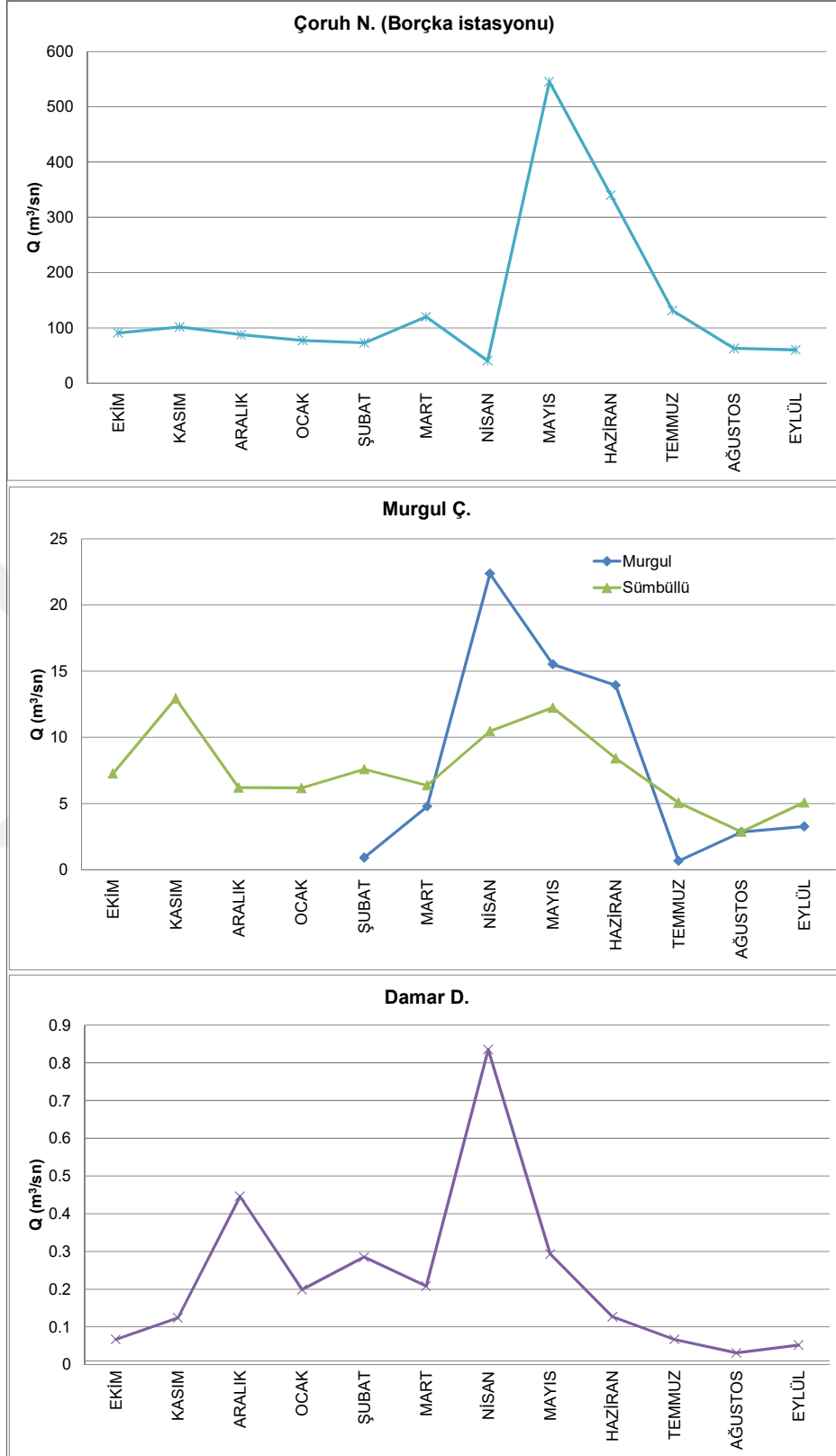
ARTVİN	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
	Uzun Yıllar İçinde Gerçekleşen Ortalama Değerler (1970 – 2012)											
Ortalama Sıcaklık (°C)	2,4	3,6	6,9	11,8	15,5	18,5	20,7	20,7	17,9	13,9	8,5	4,0
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	5,8	7,8	12,3	17,6	21,3	23,7	25,5	25,8	23,5	19,3	12,7	7,3
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-0,7	-0,1	2,6	6,9	10,7	13,9	16,7	16,8	13,9	10,1	5,0	1,1
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2,3	3,2	4,2	5,1	6,4	7,1	6,5	6,6	6,3	4,4	3,1	2,1
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	12,7	12,6	12,7	13,2	14,0	12,6	8,4	7,9	8,3	11,2	11,2	12,1
Ortalama Nem (%)	63,3	62,3	60,7	60,1	64,0	66,9	70,1	70,6	68,0	65,5	64,1	64,0
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (kg/m^2)	89,6	75,1	61,1	57,1	54,4	49,4	31,6	31,8	33,6	62,7	77,6	93,6



Şekil 1.2. Artvin iline düşen aylık ortalama yağışın dağılım grafiği (1970-2012)



Şekil 1.3. Artvin iline düşen toplam yağışın yıllara göre dağılım grafiği



Şekil 1.4. Borçka, Murgul, Sümbüllü, Damar akım gözlem istasyonlarından ölçülen hidrograflar

1.1.2. Murgul maden sahası

Murgul maden sahası, Artvin iline bağlı Murgul ilçesinin yaklaşık 7 km güneydoğusunda yer almaktadır (Şekil 1.5).

Murgul Sahası'nda ilk maden arama faaliyetlerinin Cenevizliler tarafından yapıldığı, 1898 yılından beri arama ve işletmenin sürdüğü bilinmektedir. Osmanlı-Rus savaşı sonrası Kafkas Bakırları Limited Şirketi adı altında 1907 yılında üretime geçildiği ve 1914 yılına kadar faaliyet gösterdiği bilinmektedir. 1935 yılında MTA tarafından tekrar işletmeye açılmıştır. Etibank 1938'de bölgede faaliyete geçmiştir, 1951'de konsantrasyon tesisi kurulmasının ardından cevher çıkarma işlemleri hızlanmıştır (Kraeff, 1962). 1971 yılında, Karadeniz Bakır İşletmesi'ne devredilen maden, ekonomik maden rezervinin tükenmesi nedeniyle özelleştirme kapsamında 2006 tarihinde Cengiz Holding'e ait Eti Bakır A.Ş.'ye satılmıştır (URL-2) .

Murgul tesislerinde yılda 3.500.000 ton tüvenan bakır cevheri çıkartılmakta ve işlenerek yılda 130.000 ton bakır konsantresi üretilmektedir (URL-5). Murgul maden yatağında birden fazla cevher oluşumu vardır. Bunlar, Damar (Anayatak), Çakmakkaya ve Çarkbaşı sahalarıdır (Şekil 1.5). Bu yataklardan açık ocak üretim yöntemiyle çıkartılan cevher, zenginleştirme tesisinde flotasyon yöntemiyle zenginleştirilmektedir.

Tablo 1.2. Murgul ve Kuvarshan sahalarının rezerv bilgileri (URL-4)

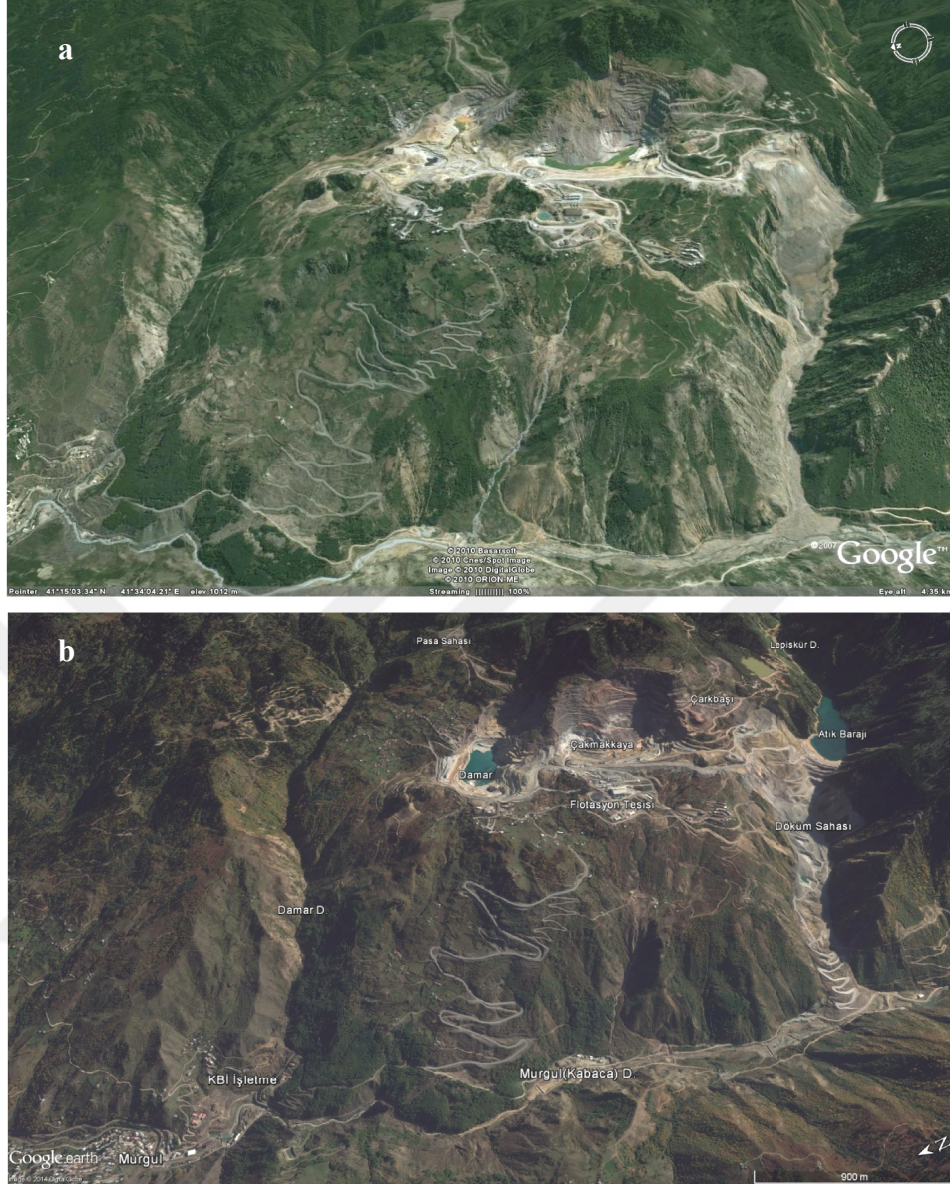
YATAK ADI	TENÖR (%)	REZERV (t)
Damar	1,60 Cu	18.000.000 (G+M)
Çakmakkaya	0,99 Cu	16.618.00 (G+M)
Çarkbaşı	0,85 Cu	1.289.365 (G+M)
Artvin-Kuvarshan	4,5 Cu	50.800 (M)

Saha çalışmalarına başlanılan 2011 yılında üretim sadece Damar ve Çarkbaşı sahalarında yürütülmekteydi. 2013 yılından itibaren bu sahalar, cevherin tüketilmesiyle birlikte terkedilmiş, Çarkbaşı Sahası dekapaj malzemesi ile doldurulmuş; Damar sahası ise flotasyon çamurunun depolandığı bir gölet haline dönüştürülmüştür (Şekil 1.5).

Murgul sahasında iki büyük dekapaj alanı mevcuttur. Damar sahasının doğusundaki eski pasa sahası artık kullanılmamaktadır. Diğer döküm sahası ise Lepisküredere vadisi içinden Murgul Deresi vadisine kadar uzanan alanda yer almaktadır (Şekil 1.5). 2008 yılında Lepisküredere'nin hareketlendirdiği dekapaj malzemesinde meydana gelen heyelan sonucunda Murgul Deresi'nin önü kapanmıştır. Bu olayın ardından Lepisküredere'ye 1553 m, Murgul Deresi'ne ise 360 m uzunluğunda iki derivasyon tüneli yapılarak derelerde akım kontrol altına alınmıştır. 2010 yılında Lepisküredere vadisi içinde inşa edilen atık barajı ile yıllardır Murgul Deresi'ne akıtılan flotasyon çamurunun atık barajında biriktirilmesi sağlanmıştır.

Lepisküredere üzerinde kurulu atık barajının tamamlanmasından yaklaşık 1 yıl sonra (2011-Ağustos), atık barajına malzeme taşıyan derivasyon tüneline ciddi bir kaçak meydana gelmiş ve flotasyon çamuru, Lepisküredere yoluyla Murgul Deresi'ne tekrar karışmaya başlamıştır. Arazi çalışmalarının ilk yılında (2011-Ağustos) bu kaçak gözlemlenmiştir. Kaçağın giderilmesine yönelik yapılan çalışmalar sonuç vermiş, kaçak giderilmiş ve bu iyileşme 2012 ve 2013 yıllarında yapılan saha çalışmalarında gözlenmiştir. 2013 yılında, atık barajının gövdesinde yapılan yükseltme çalışmaları nedeniyle, flotasyon çamuru Damar sahasında depolanmaya başlanmıştır (Şekil 1.5).

Murgul sahası, Türkiye'nin önemli su havzalarından biri olan ve üzerine birçok barajın (Muratlı, Borçka, Deriner vb.) bulunduğu Çoruh Nehri'nin kollarından biri olan Murgul Deresi'nin yaklaşık 2 km doğusunda bulunmaktadır (Şekil 1.5). Yatak, Murgul Deresi'nin önemli kollarının ortasında yer almaktadır. Damar Deresi madenin kuzeyinde, Lepisküredere güneyinde, Murgul Deresi ise batısında yer almaktadır. Murgul Deresi, yaklaşık 16 km aşağıdaki Borçka Barajı havzasına kavuşmaktadır (Şekil 1.5).



Şekil 1.5. Murgul maden sahalarının a- 2004 ve b- 2013 yıllarına ait uydu görüntüleri

1.1.3. Kuvarshan maden sahası

Kuvarshan madeni, Artvin ili sınırlarındaki Kuvarshan (Bakırköy) köyünün yaklaşık 2 km kuzeydoğusunda; Çoruh Nehri'ne dökülen Fabrika Deresi'nin drenaj alanı içinde yer almaktadır (Şekil 1.6).

Saha, halihazırda Eti Bakır A.Ş.'ye ruhsatlıdır. Çok eskiden beri bilinen maden bu yatağının işletilmesi I. Dünya Savaşı öncesine kadar dayanmaktadır. Buradaki çalışmalara 1905 yılında Alman Siemens firması tarafından başlanmış, firma, 1912 yılında bölgede bir fabrika kurmuş ve çıkarılan bakır burada işlenmeye başlanmıştır

(URL-9). 1917 yılında I. Dünya Savaşı sırasında çalışmalar durdurulmuş; 1937 yılında ise dönemin hükümeti madeni tekrar işletmeye açmıştır (Kovenko, 1942). Bakır tenörü % 2,16 olan 50,800 ton görünür, 462,000 muhtemel rezervli Kuvarshan sahasından 1937-1941 yılları arasında 8,815 ton Cu olmak üzere toplam 232,388 ton cevher çıkarılmıştır (Tablo 1.2). Kuvarshan sahasında cevher çıkarma işlemi kapalı işletme şeklinde, galerilerden yapılmıştır. Sahadaki galerilerin çoğu kapanmış olup, sadece bir tanesi tespit edilebilmiştir. Saha işletildiği dönemlerde, cevher çıkartıldıktan sonra, Fabrika Deresi yakınında bulunan işletmede işlenmiştir (Şekil 1.6).

İşletme atıkları sahada geniş bir alan kaplamaktadır, sahada iki pasa yığını gözlemlenmiştir. Pasa yığınlarının üzerinde, galerilerden sızan yeraltı suları bulunmaktadır. Pasalar üzerinde gelişen AMD oluşumları, uydu görüntüleriyle bile kolaylıkla ayırt edilebilmektedir.



Şekil 1.6. Kuvarshan maden sahasının yerini gösteren harita

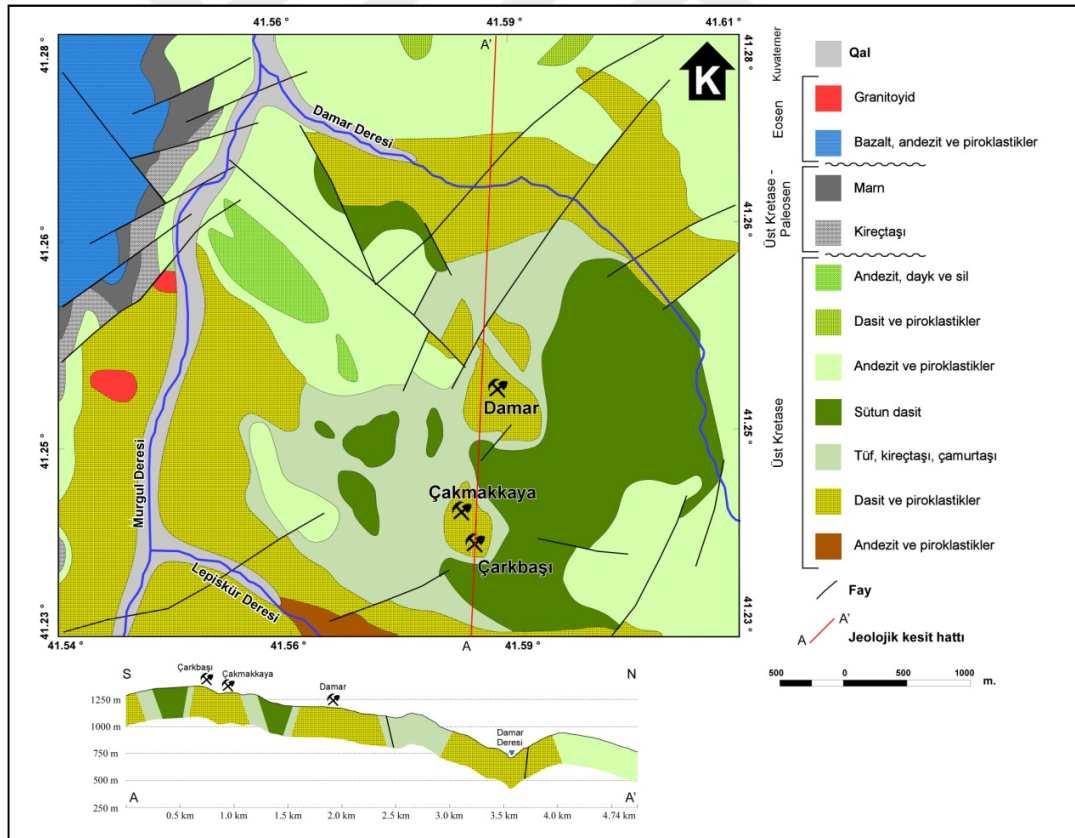
1.2. Sahalarının Genel Jeolojisi ve Mineral Parajenezi

Çalışma sahaları, pekçok volkanik kökenli masif sülfid yatağını barındıran, Doğu Karadeniz Bölgesi'ni kapsayan Doğu Pontid tektonik kuşağında yer alır.

1.2.1. Murgul sahası

Murgul ve çevresi uzun yıllardır birçok araştırmacı tarafından incelenegelmiştir. Özellikle sahanın genel jeolojik yapısını tarif eden pekçok çalışma vardır (Kraeff, 1962; Buser ve Cvetic, 1970; Arman ve Altun,1983; Özgür ve Palacios, 1990; Çiftçi, 2001; Popovic, 2004; Sağlam ve Akçay, 2009; Abdioğlu ve diğ. 2014; Eyüboğlu, 2014).

Murgul yatağındaki cevher oluşumları, genel tanımlama ile, magmatik hidrotermal kökenli, sinjenetik, Kuroko tipi yataklanmalardır (Van, 1990). Murgul Sahası, doğudan batıya doğru, Kızılkaya, Anayatak (Damar), Bognari, Çakmakkaya, ve Çarkbaşı yataklarından oluşmaktadır (Arman ve Altun, 1983). Murgul bölgesi çoğunlukla volkanik kayalardan (özellikle, aglomeralar, volkanik breşler ve tüfler) oluşurken, plutonitlere dar bir alanda rastlanır (Buser ve Cvetic, 1970).



Şekil 1.7. Murgul madeni ve yakın civarının genelleştirilmiş jeoloji haritası (Abdioğlu ve diğ., 2014)

Murgul yatağı, Türkiye'deki en önemli bakır yataklarını da (Çayeli-Kutlular, Sürmene-Lahanos gibi) barındıran, st Kretase andezit-dasit volkanitlerinde gelişmiştir (Buser ve Cvetic, 1970).

Buser ve Cvetic (1970), bölgedeki en önemli yatakların, subvolkanik, hidrotermal oluşumlu olduğununundan (stockwork); fakat hidrotermal cevherleşme dışında, piroklastikler içinde yataklanmış küre şeklinde pirit, kalkopirit, çinkoblend ve galenlerden de bahsetmiştir; 'Bu da cevherleşmenin kısmen de ekshalatif-sedimanter olarak oluştuklarını göstermektedir' tespitinde bulunmuştur.

Cevherleşme, tabanda stockwork şeklinde, üst kesimlerde ise masif veya bantlı şekildedir (Gökçe, 2001). Damar ve akmakkaya Sahaları'nda cevherleşme, dasitik birimler (dasitik tf, kumlu dasitik tf) içinde gelişmiştir (Arman ve Altun, 1983; Gökçe, 2001). Damar sahasında stockwork tipi cevherleşme bulunmaktadır fakat jips ve stratiform cevherleşme yoktur. Çakmakkaya sahasında ise stockwork yapıdaki cevherli zonun üst ve kenarlarında ince bir stratiform cevher zonu ve mercek şekilli jips zonu vardır (Gökçe, 2001). Arman ve Altun (1983), Murgul Sahası'ndaki Damar cevherleşmesinin, ülkemizdeki en iyi ağsal saınımly bakır yatağı rneği olduğunu belirtmiştir.

Murgul Sahası'nda esas cevher minerali pirit ve kalkopirittir, tali olarak sfalerit, galen, tetrahedrit görülür (Kraeff, 1962; Buser ve Cvetic, 1970; zgr ve Palacios, 1990; Tüysüz, 2000; ifti, 2001; Gökçe, 2001). Gang minerali çoğunlukla kuvars olmakla birlikte, minör ve eser miktarda barit, kalsit, anhidrit, jips ve kaolinite de rastlanmaktadır (Tablo 1.3). Buser ve Cvetic (1970), piritlerin saınımly veya som cevher halinde; kalkopiritin çoğunlukla filonlarda ve stockwork oluşumlarında rastlandığını tespit etmiştir.

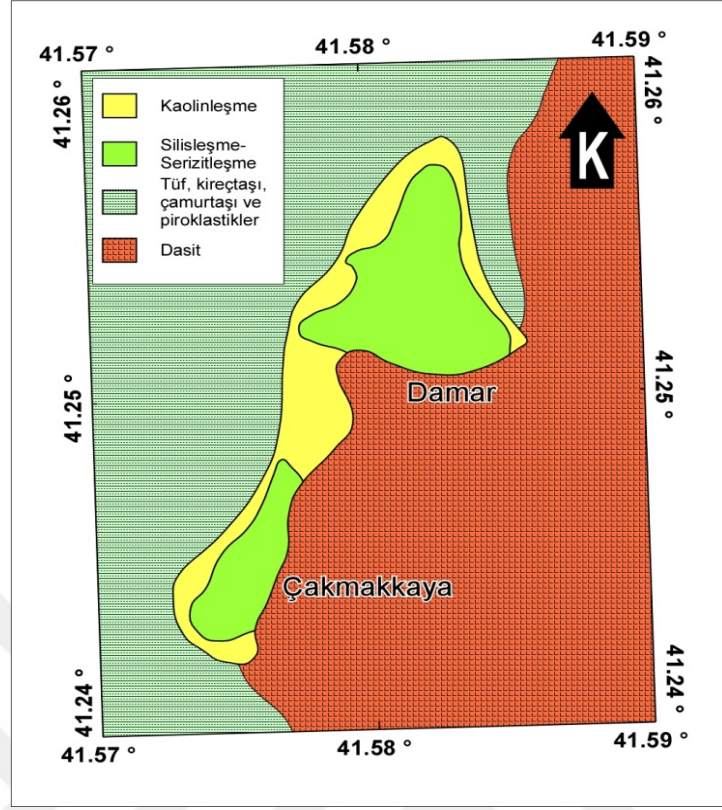
Murgul maden sahalarında gözlenen hidrotermal alterasyon, cevherleşme ile yakından ilişkilidir ve jeokimyasal süreçlerin bir sonucu olarak iki evrede gelişmiş olması muhtemeldir: (I) Serisitleşme evresi (erken evre): Bu evrede esasen plajiyoklazların kademeli olarak önce serisite daha sonra killere ve silise dönüşmesi hidrasyon ve hidroliz reaksiyonları ile hidrotermal çözeltilerden hidroksit ve hidrojen iyonları alınırken Na ve K iyonları salınmaktadır. (II) İkinci evrede (geç evre) işleyen süreçte serisitlerin killere dönüşmesi (zellikle kaolinit) ve silis salınımı ile

silisleşmenin giderek yaygınlaşması gerçekleşmektedir (Özgür ve Palacios, 1990; Çol ve diğ., 2017). Gökçe (2001)'de, alterasyon zonlarında bakır ve altın miktarının arttığı, titanyum, mangan ve nadir toprak elementlerinin ise azaldığı belirtilmiştir.

Gerek yüzeyde (2 boyutta) ve gerekse 3. boyutta alterasyon zonlanması, VMS yataklarında gözlenen bir durumdur. Ancak, Murgul madeni açık işletme ile işletildiği, yataklardan ikisinin (Damar ve Çarkbaşı) çalışma döneminde terkedilerek doldurulması; sahanın bir çok yerinin dolgu olması ve yerli olmayan malzemelerle kaplanmış olması sebebiyle, gerek yüzeyde gerekse düşey yöndeki zonlanmaları, saha çalışması sürecinde belirlemek mümkün olmamıştır. Daha önce yapılan bazı çalışmalarda bu amaca yönelik denemeler mevcuttur (Özgür ve Palacios, 1990; Özgür ve diğ., 2008).

Tablo 1.3. Murgul yataklarındaki ana cevher ve gang mineralleri (Çiftçi, 2001)

Kalkopirit	CuFeS ₂
Pirit	FeS ₂
Bornit	Cu ₅ FeS ₂
Sfalerit	ZnS
Tetraedrit-Tenantit	Cu ₁₂ (As, Sb) S ₁₃
Galen	PbS
Kovellin	CuS
Markazit	FeS ₂
Enarjit	Cu ₃ AsS ₄
Karolit	CoNiS
Elektrum	AuAg
Petzit	Ag ₃ AuTe ₂
Akantit	Ag ₂ S
Kuars	SiO ₂
Barit	BaSO ₄
Kalsit	CaCO ₃
Anhidrit	CaSO ₄
Jips	CaSO ₄ .2H ₂ O
Apatit	Ca ₅ (PO ₄) ₃ (OH, F, Cl)
Anataz	TiO ₂
Kaolinit	Al ₂ Si ₂ O ₅
Muskovit	K(Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂



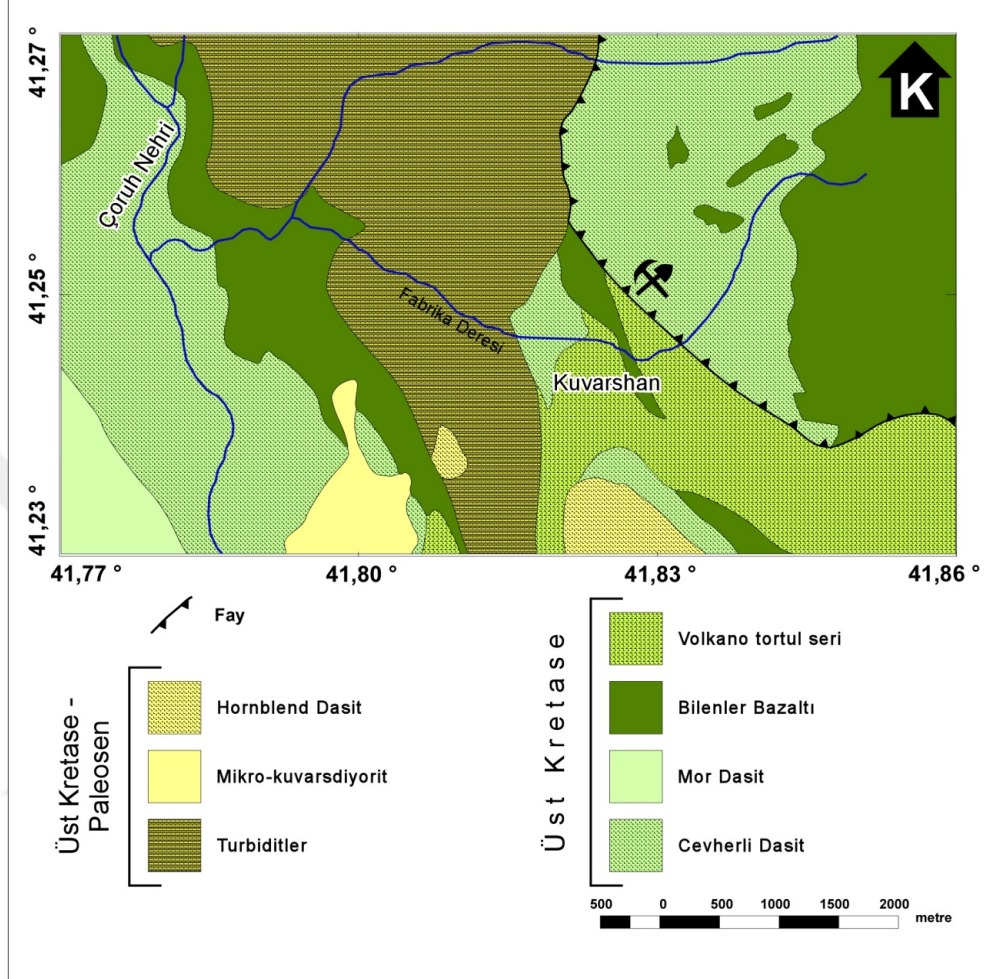
Şekil 1.8. Murgul maden sahası ve çevresinde hidrotermal alterasyon zonları (Özgür ve Palacios, 1990)

1.2.2. Kuvarshan sahası

Kuvarshan yatağının jeolojisi birçok araştırmacı tarafından ayrıntılı olarak incelenmiştir (Kovenko, 1942; Wijkerslooth, 1946; Kraef, 1963; Simonovic, 1972; Vujanovic, 1974; Popovic, 2004). Bu sahadaki cevher oluşumu Murgul maden yataklarında olduğu gibi hidrotermal kökenli, sinjenetik ve geniş anlamda Kuroko-tipi yataklanmalar olup, silisleşmiş dasitlerin içerisinde masif şekilde izlenmektedir. Yatağın tavan kısmında silisli albitli dasitler, tabanında da mermer ve splitler vardır (Kraef, 1963; Vujanovic, 1974). Wijkerslooth (1946), sahada iki çeşit cevherleşme olduğunu belirtmiştir. Üst kısımda, bakır bakımından fakir piritik cevherleşme, pirit, kalkopirit ve az miktarda galen ihtiva etmektedir. Alt kısım ise bakır bakımından zengin olup, kalkopirit, bornit, neodijenit, kalkosit, sfalerit, az miktarda galen ve tetradrit-tenantit içermektedir.

Cevherleşmenin piritçe zengin olmasından dolayı, Kuvarshan yatağı, piritli Cu-tipi yatak olarak tanımlanmaktadır. Kuvarshan yatağı da bölgedeki diğer yataklarla bir

çok yönden (mineral parajenezi, yan kayaç, S-izotop nitelikleri ve cevher mineral kimyası gibi) benzerlik göstermektedir (Çiftçi ve diğ., 2009).



Şekil 1.9. Kuarshan madeni ve civarının jeoloji haritası (Van, 1990)

1.3. Önceki Çalışmalar

Asidik maden drenajlarının çevresel etkileri ve öngörüsü üzerine yıllardır pek çok çalışma yapılmaktadır. Ülkemizde daha önceleri, çoğunlukla, AMD'nin çevresel etkileri üzerine çalışmalar yapılırken, son yıllarda AMD öngörüsü üzerine de kapsamlı çalışmalar yapılmaya başlanmıştır.

AMD'nin çevresel etkilerinin araştırıldığı çalışmalar, genel olarak, sahada yapılan gözlem ve ölçümler; sahanın jeolojik ve mineralojik özelliklerinin belirlenmesi; potansiyel kirlenici kaynaklarından (cevherli malzeme, flotasyon atıkları, atık havuzları gibi) ve kirlenmeye maruz kaldığı düşünülen ortamlardan (yüzey suları,

yeraltı suları, toprak gibi) alınan örnekler üzerinde yapılan ölçümlerle, kirliliğin nitel ve nicel olarak tespiti esasına dayanan çalışmalardır.

AMD öngörüsü, mineralojik analizler, jeokimyasal analizler, statik testler, kinetik testler ve modelleme çalışmalarının bir arada yürütülmesi ile yapılan çalışmalardır (USEPA, 1994; Salomons, 1995; Lapakko, 2002) ve yıllardır pek çok araştırmacı tarafından çalışılmıştır (Singh, 1987; Lawrance ve Wang, 1991; USEPA, 1994; Salomons, 1995; Morin ve Hutt, 2001; Lapakko, 2002; Boukhalfa ve Chaguer, 2012; Zhao ve diğ., 2012; Candeias ve diğ., 2014).

AMD gelişim oranını ve potansiyelini etkileyen mineraller, diğer bir deyişle, çalışılan sahadaki kayaçların ve cevherleşmenin mineralojisi, AMD öngörüsü için de kilit noktadır (Lapakko, 2002). Pek çok araştırmacı, XRF, XRD, SEM ve cevher mikroskopisi gibi tekniklerle cevher, kayaç ve maden atıklarının mineralojisini tespit ederek, alandaki AMD'nin nedeni, oranı, uzun vadede potansiyeli gibi bilgileri elde etmişlerdir (Salomons, 1995; Salmon, 2003; Espana ve diğ., 2005; Mendez-Ortiz ve diğ., 2007).

1.3.1. Ülkemizde yürütülen AMD çalışmaları

1940'lı yıllarda ilk defa tanımlanan ve günümüze kadar araştırılmaya devam edilen AMD problemi, ülkemizde, son yıllarda işletmeye açılacak maden sahalarının çevresel etki değerlendirme (ÇED) projeleri kapsamına alındığı için, araştırmacıların ve ilgili kamu kuruluşlarının çalışmaları arasında yer almaya başlamıştır. Bu çalışmalar, çoğunlukla maden sahalarının çevresel etkilerinin tespiti üzerinde yoğunlaşmıştır (Güler, 2001; Aykol ve diğ., 2003; Gökçekus ve diğ., 2003; Akçay ve Moon, 2004; Gemici, 2004; Budakoğlu ve diğ., 2005; Kelebek, 2007; Sağlam, 2007; Sağlam, 2007; Gemici vd., 2009; Kadırağagil, 2011; Karadeniz, 2011; Şanlıyüksel Yücel ve Baba, 2013; Çelik-Balcı ve diğ., 2014; Karakaya ve Çelik-Karakaya, 2014).

Metalik maden yatakları ile ilişkili sürdürülen çevresel etki çalışmalarında (Balıkesir-Balya Pb-Zn madeni (Aykol ve diğ., 2003; Budakoğlu ve diğ., 2005; Çelik-Balcı ve diğ., 2014); Lefkoşa-Xeros Cu madeni (Gökçekus ve diğ., 2003); Pondit kuşağındaki Murgul-Kutlular-Lahanos-Çayeli madenleri (Akçay ve Moon, 2004); Halıköy Hg madeni (Gemici, 2004); Erzincan-İliç altın madeni (Sezer Özçelik, 2007); Niğde-

Gümüšköy (Kelebek, 2007); Ergani-Bakır işletmesi (Kadirağagil, 2011); İzmir-Alaşehir Hg madeni (Gemici, 2008)), genel bir eğilim olarak, çalışma alanlarında, AMD'den etkilendiği düşünülen sistemlerden toplanan su örneklerinin, pH, elektriksel iletkenlik gibi parametrelerinin yanısıra su, toprak ve sedimentlerin metal konsantrasyonları gibi kirlilik parametreleri ölçülerek madenlerin çevresel etkileri ve AMD karakteristikleri değerlendirilmiştir.

Ülkemizde son yıllarda, AMD öngörüsü amaçlı olarak, daha sıkça statik testler uygulanmakta; daha az sayıda ise kinetik test çalışmalarına rastlanmaktadır.

Güler (2001), Küre Bakır Yatağı'ndan aldığı örneklerle AMD oluşum mekanizmasını incelediği tez çalışmasında hem statik hem de kinetik testlere yer vermiştir. BC research başlangıç testi, nötralizasyon potansiyeli testi (Sobek yöntemi), net asit üretim testi (NAG), asit üretim ve tüketim potansiyelini belirlemek amacıyla, çalışmada kullanılan statik testlerdir. Çalışmacı, malzeme boyutunun, malzeme kalınlığının, hava ve su debisinin, sudaki oksijen konsantrasyonunun AMD oluşumu üzerine etkisini araştırmak amacıyla, 14 adet kolondan oluşan kinetik test düzeneği oluşturmuştur. Test boyunca, kolonlara farklı kalınlıklarda doldurulan örneklerle nemli hava ve çeşitli konsantrasyonlarda O₂ içeren su göndermiştir. Kinetik testte, kolonlara kalın olarak doldurulan malzemelerde AMD ve metal çözünmesinin belirgin biçimde fazla olduğu; fazla miktarda suyun, seyreltme yaparak pH'ın aşırı düşmesine engel olduğu sonuçlarına varmıştır.

Aykol ve diğ. (2003), terkedilmiş Balya Pb-Zn yatağındaki ağır metal kirlenmesi ve AMD oluşumunu inceledikleri çalışmalarında, yüzey suları ve yeraltı suları ve askıda katı madde üzerinde çalışmışlardır. Atık kaya yığınının, yüzey sularında metal kirlenmesinin ve bu suların asidik karakter kazanmalarının en önemli sebebi olduğu tespit etmişlerdir. Sahada genel bir sülfat, çözülmüş metal kirliliği tespit edilmiş; yağışlı sezonda ve kurak sezonda farklı metal konsantrasyonlarının yüksek çıktığını belirtmişlerdir.

Gemici (2004), İzmir yakınlarındaki terkedilmiş Halıköy civa madeninde yaptığı çalışmada, maden işletmesinin yüzey ve yeraltı sularına etkisini araştırmıştır. Suların pH değerleri 3,7-7,8 arasında ölçülmüştür. Maden sahasında asidik birikintilerin ağır metal konsantrasyonlarının, nötral pH'lı sularından yüksek olduğu görülmüştür.

Çalışma sahasındaki ana kirletici kaynaklarının maden galerileri ve oksitlenmeler olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak, sahadaki yüzey sularının içme suyu olarak kullanıma uygun olmadığı belirlenmiştir.

Kelebek (2007), Niğde-Gümüşköy'deki cürufların AMD potansiyellerini ve çevresel etkisini incelemiştir. Sonuç olarak, bölgede görülen ikincil mineraller pirit oksidasyonuna işaret etse de, yeraltı sularının bazik karakterli oluşu sebebiyle, oluşan asidik suların, dolomit ve kalsit içeren yan kayaçlardan dolayı tamponlanmış olabileceği sonucuna varmıştır. Sahadaki toprak ve sulara, kaynağı cüruflar olan, Pb, Zn, Fe ve Mn gibi elementler açısından zenginleşme izlenmiştir.

Sağlam (2007), Murgul bakır madeninin çevresel etkilerini incelediği çalışmasında, su ve dere kumları üzerinde jeokimyasal çalışmalar yapmıştır. Sahadan alınan su örneklerinde, süzölmüş ve filtrelenmiş örnekler birbirine benzer konsantrasyonlarda Al, Cd, Cu, Mn, S, Zn kirliliği gösterdiklerinden, süzölmemiş sulara ise bu konsantrasyonların nispeten daha yüksek olduklarından bahsetmiştir. Örnekleme yapılan ilk sezon olan, madenin aktif olduğu kurak dönemde dere kumlarında, Si dışındaki tüm elementler (Fe, As, Cd, Cu, Hg, Pb, Zn), dere aşağı gidildikçe artış sergilediği, çünkü akış aşağında çökmenin fazla olduğu, belirlenmiştir. Su örneklerinde de, ilk 7-8 km sedimanlarla aynı profil görölmüşken; bu mesafeden sonra elementlerin konsantrasyonlarında azalma tespit etmiş ve çalışmacı bu durumu sedimanların elementleri bünyesinde toplamasına bağlamıştır. As, Cu, Fe ve Pb bakımından sular kirliliği çıkmıştır. Örnekleme yapılan sonraki yağışlı yılda ise maden düzensiz olarak işletildiği için maden atıklarının oldukça azalmış olduğunu belirten çalışmacı, su örneklerinde, ilk örnekleme yılına benzer; dere kumlarında ise ilk yılın tersi bir element dağılımı tespit etmiştir. Sahadan alınan su örnekleri Cu açısından kirliliği su sınıfına girmiştir.

Sezer Özçelik (2007), Erzincan-İliç Çöpler mevkiinde yer alan altın madeninde AMD öngörüsü üzerine yaptığı çalışmada ABM testlerine (Maksimum asit potansiyeli (MAP), köpürme testi, nötralizasyon potansiyeli(NP)) yer vermiştir. Sahadan alınan örneklere ait jeolojik, jeokimyasal, mineralojik veriler ve ABM test sonuçları birlikte değerlendirilmiştir. Çalışma sahasında geniş alanlara yayılmış

kireçtaşı ve mermer örnekleri asit tüketici özellikte oldukları; diyorit ve metasedimanter birimlerin ise asit üretici karakterde oldukları tespit edilmiştir.

Gemici (2008), terkedilmiş civa madeni civarından aldığı su, maden atığı ve dere sedimentlerinde, metallerin mobilitesi üzerinde çalışmıştır. Sülfürlü minerallerin varlığından kaynaklanan düşük pH değerleri ve yüksek sülfat konsantrasyonları tespit etmiştir. Maden sularında, içme suyu standartlarına göre, yüksek As, Fe, Mn, Ni, Al konsantrasyonları; dere sedimentlerinde ise yüksek Hg, As, Ni ve Cr konsantrasyonları tespit edilmiştir.

Karadeniz (2011), Balya'da terkedilmiş maden sahasındaki maden atıklarının oluşturduğu yığınlarda, AMD oluşum potansiyelinin derinlikle değişimini incelediği tez çalışmasında statik testlere de yer vermiştir. Çalışmada, sahanın mineralojik, fiziksel ve kimyasal karakteri belirlenmiş; alınan temsili karot örnekleri üzerinde farklı statik yöntemlerle (standard ABM, pH6 deneyi, net asit üretme deneyleri, çamur pH'ı deneyi), asit üretme ve nötrleştirme kapasiteleri belirlenmiştir. Sonuç olarak, atık yığınlarının AMD üretme potansiyellerinin, derinlikle değişimlerinin birbiriyle benzerlik göstermediğini; kimi yığında AMD potansiyelinin derinlikle arttığı, kimisinin de azaldığını tespit etmiştir.

Kalyoncu-Ergüler (2012), Murgul Maden Sahası'ndaki Damar yatağından alınan cevher malzemesi üzerinde statik deneyler ve kolon deneyi yapmıştır. Çalışmada, farklı uzunluk ve çaplarda 24 kolon kullanmıştır; bu kolonlara orta (3,35 mm'den küçük) ve ince (0,625 mm'den küçük) tane boyunda örnekler koyulmuştur ve bu parametrelerin drenaj su kalitesine etkisini değerlendirmiştir. Sonuç olarak, ince tane boyu örneklerle dolu kolonlarda yüzey alanı geniş olduğu için, kimyasal bozunma süreçlerinin bu kolonlarda daha etkin olduğu ve AMD oluşumun daha hızlı gerçekleştiği tespit etmiştir. AMD oluşumu, orta tane boyuna sahip örneklerde, kolonların boyutlarına bağlı olarak, 43-65. haftalar arasında başlarken, ince tane boyuna sahip örneklerde yaklaşık 21 ile 38. haftalar arasında başladığını saptamıştır.

Çelebi (2013), Balya (Balıkesir) bölgesinden aldığı mineral örneklerinin (pirit, galenit, sfalerit, kalkopirit, kuvars, kalsit, beydellit), asit üretme ve asit nötralize etme kapasitelerini, statik testler olan, ABM (Asit baz muhasebesi) ve NAU (net asit üretimi) testleri ile belirlemiştir.

En yüksek net asit üretme potansiyeli (NAPP) kalkopiritte; en yüksek nötralizasyon kapasitesi ise kalsitte ölçülmüştür. En düşük NAG pH değeri pirit mineralinde ölçülmüştür.

Gül (2014), Balya'daki Pb-Zn madenine ait atık sahasında, AMD oluşumunu, jeokimyasal, moleküler-mikrobiyolojik tekniklerle araştırmış; maden atıklarından alınan örneklere statik testler uygulayarak örneklerin asit üretme potansiyelini belirlemiştir. Çalışmacı, çamur pH ölçümü, standart asit baz hesaplama testi, ph 6 testi (nötrleştirme potansiyeli), net asit üretme testlerini uygulamıştır. Net asit üretme test sonucuna göre, inceleme alanındaki bulunan 1,5 milyon ton flotasyon atığının 165,60 kg/ton asit ürettiği sonucuna varmıştır.

Demirel (2015), Küre'de yürüttüğü tez çalışmasında, madenin çevresel etkisini incelemiş, AMD öngörüsü testleri yürütmüş ve biyoliç deneyleri yapmıştır. Çalışma sahasının asit üretme potansiyeli, oluşan asitin olası kaynakları ve miktarı üzerinde durulmuştur. Çalışmacı, AMD öngörüsü için paste pH, ilksel nötralizasyon potansiyeli, standard ABA testi ve net asit üretimi testlerini uygulamıştır.

AMD öngörüsü çalışmalarının yanısıra, maden işletmelerinin çevresel etkilerinin araştırıldığı çalışmalar, ülkemizde yaygın olarak yapılmaktadır.

Kadirağagil (2011), Ergani-Maden bakır işletmesinin yeraltı sularına etkisini araştırdığı çalışmasında, bölgedeki yeraltı sularının, kadmiyum ve kurşun açısından, su kirliliği kontrol yönetmeliğinde verilen üst sınır değerleri aştıklarını ve 4. sınıf su sınıfına girdiklerini tespit etmiştir.

Şanlıyüksel Yücel ve Baba (2013), Çanakkale'nin Çan ilçesi civarındaki, terk edilmiş kömür sahasında oluşan göletler üzerinde ve AMD birikintilerinde çevresel etkiyi belirlemek amaçlı çalışma yapmışlardır. Sahadaki asit maden göletlerinde, düşük pH düzeyleri (1,99-4,35 arası) ve yüksek elektrikselsel iletkenlik (674 ve 7310 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arası) değerleri tespit etmişlerdir. Başlıca demir ve alüminyum olmak üzere, pek çok element konsantrasyonu, su kalitesi standartlarının üzerinde ölçülmüştür.

Çelik Balcı ve diğ. (2014), Balya'da yürüttükleri çalışmada, maden çevresindeki atık malzemelerle, atıkların çevresinde oluşan asidik birikintilerin metal içeriklerinin

oldukça benzer olduklarını; dolayısı ile maden atıklarının, ana kirlilik kaynağı olduğunu ortaya koymuştur. Bunun yanısıra yürüttükleri statik testlerde, pasa ve flotasyon örneklerinin AMD üretme potansiyelleri olduğunu kanıtlamışlardır. Sahada yapılan mikrobiyolojik çalışmalarla, sülfürlü minerallerin oksitlenmesi, ikincil minerallerin oluşumu ve elementlerin taşınımı süreçlerinde etkili bakteri türleri tespit edilmiştir.

Karakaya ve Çelik Karakaya (2014), Giresun civarındaki masif sülfid yatakları ile ilişkili yüzey sularıyla yaptıkları çalışmada, madenle ilişkili yüzey suları ve AMD oluşumlarından alınan örneklerle, bölgedeki kirlilik durumunu tespit etmiştir. Saha genelinden alınan sularda çoğunlukla, düşük pH, yüksek elektiriksel iletkenlik, yüksek sülfat ve özellikle Pb, Zn, Fe ve Cu açısından olmak üzere, oldukça yüksek konsantrasyonlarda metal konsantrasyonlarından bahsedilmiştir.

1.3.2. Statik ve kinetik test çalışmaları

Statik ve kinetik deneyler, oldukça ciddi bir problem olan AMD'nin öngörülmesi çalışmalarında en önemli araçlardır.

Statik testler, AMD öngörüsü çalışmalarında ilk olarak yapılan testleridir ve statik test sonucuna göre kinetik testlere devam edilip edilmeyeceğine karar verilir. AMD oluşum potansiyelinin ve oluşması muhtemel drenaj kimyasının tahmininde kullanılan statik tekniklerin gelişimi 1970'li yılların sonuna uzanmaktadır. Günümüzde ASTM (American Standards of Testing Materials) ve EPA (Environmental Protection Agency) tarafından standart yöntem haline getirilen bu tahmin araçlarından en yaygın olarak kullanılanı, asit-baz muhasebesine (Acid-Base Accounting) dayanan statik testlerdir (Sobek ve diğ., 1978; USEPA, 1994; Lapakko, 2002; Mendez-Ortiz ve diğ., 2007; Chotpantarat, 2011). Kinetik testlere göre daha ucuz, uygulaması basit ve daha hızlı bir yöntem olan statik testler, malzemelerin asit üretme ve oluşan asiti nötrleştirme potansiyeli hakkında bilgi vermektedir (USEPA, 1994; Morin ve Hutt, 2001; Lapakko, 2002; Yörükoğlu ve Karadeniz, 2003; Saria ve diğ., 2006; Kalyoncu-Ergüler ve diğ., 2014).

Kinetik deneyler, statik deneylerin ardından, asit üretme potansiyeli olduğu kanısına varılan örnekler üzerinde yürütülen testlerdir. Pek çok araştırmacı, AMD drenaj

kimyasını, AMD oluşum kinetiğini, oluşan asitin tüketme hızını, çalışılan malzemenin reaktivitesini, metal çözünürlüğünü ve liç davranışı gibi unsurları tespit edebilmek için, arazi koşullarının laboratuvarında temsil edilmesi yada arazide gerekli fiziksel koşulların sağlanması temeline dayanan kinetik testlerin gerekliliğini vurgulamıştır (USEPA, 1994; Salomons, 1995; Lapakko, 2002; Kalyoncu-Ergüler ve diğ., 2014). Statik testlere göre, daha fazla hacimde örnek ve daha uzun zaman gerektiren kinetik testler ile, sülfür minerallerinin oksidasyon oranı ve hızı, deney süresince oluşan drenaj suyunun kalitesi belirlenebilmektedir (USEPA, 1994; Morin ve Hutt, 2001; Lapakko, 2002; Yörükoğlu ve Karadeniz, 2003; Saria ve diğ., 2006).

En sık kullanılan kinetik testin, nem hücresi testi olduğunu belirten araştırmacılar, bunun dışında büyük ölçekli nem hücreleri, kolonlar, deney şişesi çalkalama (shake flask), soksilet (soxhelet) testlerinin ise daha az tercih edilen yöntemler olduğunu rapor etmişlerdir (USEPA, 1994; Lapakko, 2002; Sapsford ve diğ., 2009).

Sobek ve diğ. (1978), yayınladıkları çalışmalarında, geliştirdikleri asit baz muhasebesi testini adım adım anlatmıştır. Yayında, saha çalışmalarının yapılış şekli, örneklerin deney ve analizlere hazırlanması ve standard deneyler tarif edilmiştir. Standard ABA metodu olarak adlandırılan Sobek metodu, geçen yıllar boyunca değiştirilerek farklı yaklaşımlar geliştirilmiştir.

Sapsford ve diğ. (2009), yaptıkları çalışmada, İrlanda'dadaki bir atık sahasından alınan örnekler üzerinde, nem hücresi esasına dayanan, farklı boyuttaki yıkama hücrelerini kullanarak, örneklerin ayrışma ve metal salınım oranları üzerinde etkili jeokimyasal kontrol mekanizmalarını belirlemişlerdir.

Chotpantararat (2011), yaygın olarak kullanılan statik testlerin yapılış yöntemlerini, olumlu ve olumsuz yönlerini tanıttığı makalede, asit baz muhasebesi testlerinin Sobek ve diğerleri tarafından 1974'de ilk kez yapılıp ve 1978'de geliştirildiğini belirtmiştir. Son yıllarda pek çok test yönteminin geliştirildiğini fakat sahadan toplanan örnekler hangi test yönteminin uygun olduğunun, örneklerin mineralojisi ve jeokimyasal özellikleri gibi pekçok parametreye göre değerlendirilmesi gerektiğine işaret etmiştir.

1991 yılında yayınlanan ARD öngörüsü kılavuzu (Lawrance ve Wang, 1991), ARD gelişimi, öngörüsü hakkında detaylı bilgiler içermektedir. AMD öngörüsünde yararlanılan statik ve kinetik testler, ayrıntılı olarak tanımlanmıştır. Statik testlerin, asit üreten ve asit tüketen bileşenlerin dengesine dayanan testler olduğu ve en sık kullanılan statik testin asit baz muhasebesi testi olduğu belirtilen raporda, ABM testlerinin pek çok versiyonlarının olduğu fakat temellerinin çoğunlukla aynı olduğu belirtilmiştir. Statik testlerin drenaj kalitesi hakkında herhangi bir öngöründe bulunamadığı, hızlı-basit ve ucuz biçimde su kalitesinin kabul edilebilir olup olmayacağı konusunda evet/hayır cevabı verebilecek testler olduğu belirtilmiştir. ARD öngörüsü kılavuzunda kinetik testlerin ise maden atıklarının ayrışma karakteristiklerinin zamanın fonksiyonu olarak öngörülmesi esasına dayanan testler olduğu ve en yaygın kullanılan kinetik testin nem hücresi testi olduğu belirtilmiştir.

Lapakko (2002)'nin metalik maden yataklarına ait kaya ve atıkların karakterizasyonu ile ilgili genel bilgileri içeren çalışmasında, statik ve kinetik testlere de yer verilmiştir. Statik testlerin sadece bir izlem aracı olduğundan ve çoğunlukla kinetik testlerle doğrulanması gerekliliğinden; statik testlerle asit üreten yada asit nötralize eden minerallerin var olup olmadığı ve bu minerallerin çözünme oranları hakkında bilgi edinilemeyeceğinden bahsetmiştir. Kinetik testlerin, saha şartlarında gerçekleşen ayrışmanın hızlandırılması esasına dayanan; örneklerin çözünmesi üzerine yoğunlaşan ve potansiyel drenaj kalitesi öngörüsü yapmaya yarayan testler olduğu belirtilmiştir. Kinetik testlerin laboratuvarda yada arazide yürütülebilen testler olduğundan bahsedilerek, sık kullanılan kinetik testleri kısaca anlatmıştır (Tablo 1.4). Laboratuvar koşullarında en sık kullanılan kinetik testlerin nem hücresi testi ve modifiye nem hücresi testi olduğunu belirtmiştir.

Morin ve Hutt (2001), çeşitli maden sahalarında yapılmış pek çok çalışmayı ve teorik bilgileri harmanlayarak, maden sahalarında oluşan drenajları hangi faktörlerin kontrol ettiğini; sahalarda bulunan suların maden sahalarındaki hareketlerini; drenaj kimyalarının statik testlerle öngörüsü metodlarını ayrıntılı biçimde açıklamıştır. Statik testlerin tümünün temelini standard Sobek yöntemi olduğunu ve aslında herbir statik testin kendine göre dezavantajları ve kısıtlamaları olduğunu belirtmiştir. ABM testlerinin sülfür türleştirmesi yardımıyla, malzemenin asit üretme kapasitesinin, zamandan bağımsız olarak, ölçülmesi olduğu vurgulanmıştır. Kinetik

testlerin türleri ve bunların kendine özgü özelliklerinin de anlatıldığı kitapta; piritin reaksiyon oranında, piritin kaynağının (sedimenter yada hidrotermal kaynaklı) etkili olmadığı; tane boyutunun ciddi olarak etkilediği, pH düzeyinin ise küçük bir etkisinin olduğu belirtilmiştir.

Tablo 1.4. Sık kullanılan statik testlere ait bazı bilgiler (Chotpanarat, 2011; Lawrance ve Wang, 1996; Lapakko, 2002)

	Asit Baz Muhasebesi	Modifiye ABM	B.C. Research Initial	Net Asit Üretimi
Asit üretme potansiyeli	Toplam kükürt*31,25	Sülfid sülfür*31,25	Toplam sülfür*31,25	Örnekteki sülfürün H ₂ O ₂ ile oksitlenmesi sağlanır.
Nötralize etme potansiyeli	Köpürme deneyi sonucu belirlenen hacimde HCl eklenerek kaynatılır. Soğuduktan sonra pH=7'ye titre edilir.	Köpürme deneyi sonucu belirlenen hacimde HCl eklenerek 24 saat oda sıcaklığında çalkalayıcıda tutulur. pH=8,3'e titre edilir.	Saf su ile 15 dk çalkalanan örnek, 1 N H ₂ SO ₄ ile pH=3,4'e titre edilir	%30-50'lik H ₂ O ₂ ' ile 1 saat çalkalanan örnek pH =7'ye titre edilir.
Olumlu yönleri	Uygulama basittir. Çok sayıda örnek kısa sürede test edilebilir. Az ekipman gerektirir, maliyeti düşüktür. Verilerin yorumlanması kolaydır.	Uygulama basittir. Çok sayıda örnek kısa sürede test edilebilir. Az ekipman gerektirir, maliyeti düşüktür. Verilerin yorumlanması kolaydır.	Uygulama basittir. Çok sayıda örnek kısa sürede test edilebilir. Az ekipman gerektirir, maliyeti düşüktür. Verilerin yorumlanması kolaydır.	Uygulama basittir. Çok sayıda örnek kısa sürede test edilebilir. Az ekipman gerektirir, maliyeti düşüktür. Verilerin yorumlanması kolaydır.
Olumsuz yönleri	Kinetik veri elde edilmez. Farklı tane boylarını yansıtmaz. AP ve NP değerleri birbirine yakınsa sonuçları yorumlamak zor olabilir Test sürecindeki kaynatma işleminden dolayı, NP olduğundan yüksek çıkabilir. AP, toplam sülfür ile hesaplandığından, barit ve jips gibi asit üretmeyen mineraller varsa, AP olduğundan yüksek hesaplanır. Siderit gibi Fe-karbonat mineralleri asit nötralizasyon kapasitesinin olduğundan yüksek hesaplanmasına neden olabilir.	Kinetik veri elde edilmez. Farklı tane boylarını yansıtmaz. AP ve NP değerleri birbirine yakınsa sonuçları yorumlamak zor olabilir. Melanterit, jarosit gibi asit üreten sülfat mineralleri mevcutsa, asit üretme potansiyeli olduğundan düşük hesaplanır.	Kinetik veri elde edilmez. AP ve NP değerleri birbirine yakınsa sonuçları yorumlamak zor olabilir.	Kinetik veri elde edilmez. Örneğe verilen H ₂ O ₂ , örnekteki tüm reaktif sülfürler oksitlenmeden bozulaşabilir. Bu yüzden asit üretme potansiyeli olduğundan düşük hesaplanabilir.

1.4. Asit Maden Drenajı

Maden işletmelerinin pek çok çevresel etkisi vardır. Çevresel etkilerin başlıcaları arasında, topografik bozulma; bitki örtüsünde zayıflama yada yok olma; gürültü kirliliği; katı-gaz yada sıvı haldeki kirleticilerin pedosfer, atmosfer, biyosfer ve/veya

hidrosfere yayılması ve bu yayılmaya bağılı olarak gelişen kirlilikler (hava kirliliğı, yüksek konsantrasyonda metal kirliliğı, AMD vb.) ve toksisite sayılabilir.

Bir maden yatağıının çevresel etkisi ve bu etkinin şiddeti pekçok özelliğe bağılı olarak değışir. Bunlardan bazıları şöyledir (Plumlee,1999):

1. Mekan kayanın porozite, hidrolik iletkenliğı; cevherleşmenin şekli (damar, saçınım halinde yada masif); fay ve çatlakların varlığı: Ayrışma ajanlarının sisteme erişimini kontrol eder.
2. Maden yatağıının büyüklüğü: Maden yatağıının çevresine olan etkisinin şiddetinde etkilidir.
3. Minerallerin ayrışmaya karşı dayanıklılığı: Mineralin türüne, dokusuna bağılı olarak ayrışmaya olan dayanıklılık; dolayısıyla çevresel etkinin oluşma süreci değışir.
4. Demir sülfid varlığı: Demir sülfidlerin oksidasyonu sonucu, eğer ortamda nötralize edici unsurlar yoksa, ortam asidik hale gelir. Demir sülfidler aynı zamanda güçlü bir oksidan olan ferrik demirin kaynağıdır.
5. Diğer sülfidler: Çoğunluğı asit oluşturur.
6. Karbonat, alüminosilikat ve diğer sülfid olmayan mineraller: Bu minerallerin çoğunluğı ortamdaki asiti tüketir.
7. İkincil mineraloji: Çözünebilen ikincil mineraller, asit yada metalleri tutabilir ve çözündüklerinde tekrar bırakabilirler. Çözünemeyen ikincil mineraller, reaktif mineraller üzerinde bir tabaka oluşturup onları ayrışma koşullarına dayanıklı hale getirebilirler.

Asit maden drenajı, gerekli tedbirler alınmadan yapılan maden işletme faaliyetlerinin pekçok olumsuz etkisinden birisidir. Yapısında, sülfürlü metalik mineral (özellikle pirit ve pirotin) bulunan malzemenin, su ve oksijen ile temasıyla okside olması ve katalizör görevi gören bakterilerin varlığı sonucunda AMD gelişir (Şekil 1.10). AMD, sülfürlü mineralleri içeren her tür metalik maden yataklarında, kömür ve uranyum yataklarında, kontrolsüzce terkedilen pasa yığınlarında, cevherli malzemedede, atık havuzlarında gelişebilir. Bunun dışında, AMD, sülfürlü mineralleri içeren kayaların, insan etkisi olmaksızın, oksitlenmesi sonucu da gelişebilir.

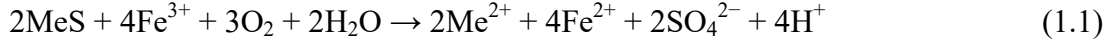


Şekil 1.10. a- Portekiz'deki Sao Domingo madeninden (URL-6), b- İspanya'daki Rio Tinto Nehri'nden (URL-7) c- Çanakkale Çan'daki kömür sahasından (URL-8) d- Artvin Kuvarshan sahasından AMD fotoğrafları

AMD oluşumu, Tablo 1.5'de sunulan pek çok parametreye bağlı olan, oldukça karışık fiziksel, kimyasal, biyolojik süreçler ve etkenlerle denetlenmektedir.

AMD oluşumunda önemli olan sülfürlü mineraller, asit üretme kapasiteleri, reaksiyon oranları, ve ayrışmaya dayanıklılıkları açısından birbirinden oldukça farklıdır. Pirit (FeS_2), markasit (FeS_2), pirotit (Fe_{1-x}S) en reaktif minerallerdir ve oksitlenmeleri sonucu, asidik karakterli sular gelişir. Fakat kovellin (CuS), millerit (NiS) ve galen (PbS) piritte göre daha az reaktiftir (Lottermoser, 2007; Plumlee, 1999).

AMD oluşum sürecinde, aerobik ortam koşullarında sadece, metal/sülfür oranı 1'den küçük olan demir sülfidlerin (pirit ve markasit) ve sülfotuzların (enarjit) oksidasyonu asit üretmektedir (Tablo 1.6). Metal/sülfür oranı 1 olan diğer sülfürlü minerallerin (ZnS , PbS) oksidasyonu asit üretmemektedir (Plumlee, 1999). Ancak Fe^{+3} , ün varlığında, iki değerlikli metal sülfürler, oksidasyon kapasitesinin bir kısmının Fe^{+3} tarafından sağlandığı, aşağıdaki reaksiyona (Eşitlik 1.1) göre çözünmekte ve asit üretmektedir (Singer ve Stumm 1970);



Me: Metal (Zn, Pb, Cd)

Ortamda bulunan demir sülfid miktarı (Demir sülfid, oksitleyici ajan olan +3 değerlikli demir üretir) ve demirin hidrolizi (demir hidrolizi sonucunda asit üretilir) asit üretimi konusunda kritik bir rol oynar . Genel olarak, yüksek oranda demir sülfid içeren mineral birliktelikleri yada demiri ana bileşen olarak içeren sülfidler (kalkopirit veya demirce zengin sfalerit), düşük yüzdede demir sülfid içeren yada demirli sülfid içermeyen birlikteliklerden daha asidik sular oluştururlar (Plumlee, 1999; Lottermooser, 2007).

Tablo 1.5. AMD jeokimyasını kontrol eden süreçler ve faktörler

Fiziksel	Kimyasal	Biyolojik
Jeolojik özellikler	Oksijen ve suyun varlığı, bolluğu, taşınımı	Reaksiyonları hızlandıran mikroorganizma varlığı
Mineralojik yapı	Sıcaklık	Mikrobiyal adsorpsiyon ve metal alımı
Hidroloji	Pirit ve diğer sülfürlü minerallerin oksidasyonu	
İklimsel özellikler	Nötralizasyon kapasitesi olan minerallerin varlığı, bolluğu ve nötralize etme kapasitesi	
Maden çıkartma yöntemi (Açık işletme veya galeri)	Buharlaşma, buharlaşma sonucunda çökeltme, tekrar çözünme	
Malzemenin tane boyu, porozitesi ve yüzey alanı	Taşınım sırasında mineral çökeltimi ve çözünmesi (dissolüsyonu)	

Ayrıştığı yada çökelediği zaman asit üreten fakat sülfid olmayan bazı mineraller vardır. Örneğin, Fe^{3+} ve alüminyum hidroksitinin çökeltimi asit üretir. Çözünebilir Fe^{+2} , Mn^{+2} , Fe^{3+} ve Al^{+3} sülfat tuzlarının (jarosit ($\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$), alunit ($\text{KAl}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$, halotrisit $\text{FeAl}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$), kokumbit $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ gibi) çözünmesi sonunda da hidrojen iyonu açığa çıkar (Lottermoser, 2007, Tablo 1.7).

Sülfid minerallerinin oksidasyona olan duraylılıklarını etkileyen temel parametreler şunlardır (Plumlee, 1999; Lottermoser, 2007):

1. Mineralojik özellikler: Kristal yapısı daha stabil mineraller daha az reaktiftir.
2. Dane boyu ve doku: Aynı sülfid mineralinin ince daneli (1mm'den küçük) olanı, iri daneli olanına göre daha hızlı oksitlenir. Çünkü, ince daneli mineralde, oksitlemeyi sağlayan unsurlarla temas alanı fazladır (Paktunç, 1998; Plumlee, 1999).

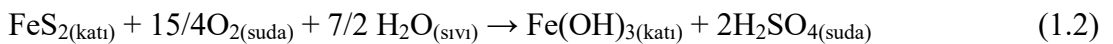
3. İz elementlerin varlığı: Sülfid minerallerinde iz element varlığı kristal yapısını zayıflatır ve mineralin oksidasyona karşı dayanıklılığını azaltır.
4. Mineral birliktelikleri: Ortamda ayrılmış mineral bulunması, diğer minerallerin de reaktivitesini artırır.
5. İkincil mineraller: Düşük çözünürlüklü ikincil mineraller, sülfid minerallerinin üzerini kaplayarak ayrışmalarını geciktirebilir veya engel olabilir.

Metalik maden sahalarında AMD oluşumunu tetikleyen, doğal suların asidik karakter kazanmasını sağlayan en önemli reaksiyon, pek çok metalik maden yatağında bol miktarda bulunan piritin (FeS₂) oksidasyonudur (Plumlee, 1999; Rimstidt ve Vaughan, 2002; Lottermoser, 2007; Sheoran ve diğ., 2010).

Tablo 1.6. Oksitlenince asit üreten yaygın sülfür mineralleri (Plumlee, 1999)

Oksijenle oksitlenince asit üreten sülfidler	
Pirit, Markasit	FeS ₂
Pirotin	Fe _{1-x} S
Bornit	Cu ₅ FeS ₄
Arsenopirit	FeAsS
Enarjit	Cu ₃ AsS ₄
Tetrahedrit	(Cu,Fe,Zn) ₁₂ Sb ₄ S ₁₃
Realgar	AsS
Orpiment	As ₂ S ₃
Ferrik demirle oksitlenince asit üreten sülfidler	
Oksijenle oksitlenince asit üreten tüm sülfidler ve,	
Sfalerit	ZnS
Galen	PbS
Kalkopirit	CuFeS ₂
Kovellin	CuS
Zinober	HgS

Pirit oksidasyonu, pekçok indirgenme yükseltgenme reaksiyonu, hidroliz ve kompleks iyon oluşumunu içeren karmaşık bir işlemdir (Nordstorm, 1982). AMD oluşumuna sebep olan piritin oksitlenmesine ait genel reaksiyon şöyledir;

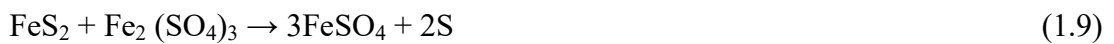
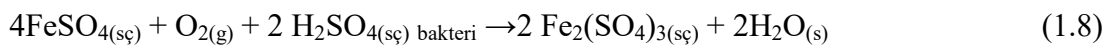
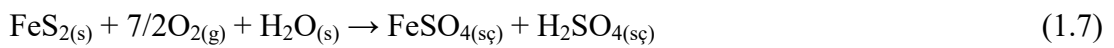
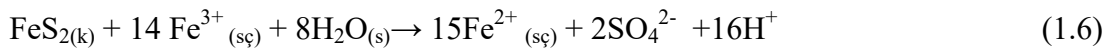
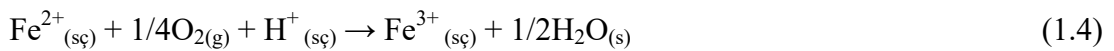
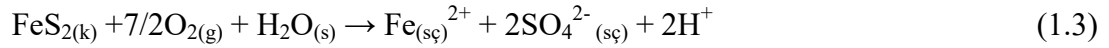


Bu reaksiyona göre, 1 mol piritin oksitlenmesi sonucu 2 mol sülfürik asit ve 1 mol ferrik hidroksit oluşmaktadır. Fakat bu reaksiyon tek basamakta geçekleşmemektedir.

Tablo 1.7. Sülfürlü minerallerin oksidasyon reaksiyonları ve diğer bazı minerallerin çözünme reaksiyonları (Plumlee, 1999; Lottermoser, 2007)

Mineral	Formül	Asit üretme/tüketme reaksiyonu	Mol asit
Pirit	FeS ₂	FeS ₂ +3,5 O ₂ +H ₂ O = Fe ⁺² +2 SO ₄ ²⁻ +2H ⁺	2
		FeS ₂ +3,75 O ₂ +0,5 H ₂ O = Fe ⁺³ +2 SO ₄ ²⁻ +H ⁺	1
		FeS+3,75 O ₂ +3,5 H ₂ O = 2 SO ₄ ²⁻ +4 H ⁺ +Fe(OH) _{3(k)}	4
		FeS ₂ +14 Fe ⁺³ +8 H ₂ O = 15 Fe ⁺² +2 SO ₄ ²⁻ +16 H ⁺	16
Arsenopirit	FeAsS	FeAsS+ 3,25 O ₂ +1,5 H ₂ O= Fe ²⁺ +HAsO ₄ ⁻² +SO ₄ ⁻² +2H ⁺	2
		FeAsS+3,5 O ₂ + H ₂ O= Fe ⁺³ + HAsO ₄ ⁻² + SO ₄ ⁻² + H ⁺	1
		FeAsS+13 Fe ⁺³ +8 H ₂ O=14 Fe ⁺² +HAsO ₄ ⁻² + SO ₄ ⁻² + 15 H ⁺	15
		FeAsS+3,5O ₂ +3 H ₂ O=SO ₄ +2 H ⁺ + FeAsO ₄ •2H ₂ O	2
Sfalerit, Kovellin	ZnS,CuS	MS+2 O ₂ = M ²⁺ + SO ₄ ⁻² (M = Zn, Cu, Pb)	0
		MS+8 Fe ³⁺ +4 H ₂ O= M ²⁺ +8 Fe ²⁺ + SO ₄ ⁻² + 8 H ⁺	8
Kalkopirit	CuFeS ₂	CuFeS ₂ +4 O ₂ = Cu ²⁺ + Fe ²⁺ +2 SO ₄ ⁻²	0
		CuFeS ₂ +16 Fe ³⁺ +8 H ₂ O= Cu ²⁺ +17 Fe ²⁺ +2 SO ₄ ⁻² +16H ⁺	16
Galen	PbS	PbS+2 O ₂ = PbSO ₄	0
Nativ sülfür	S ⁰	PbS+0,5 O ₂ +2 H ⁺ = Pb ²⁺ + H ₂ O+S ⁰	-2
		S ⁰ +H ₂ O+1,5 O ₂ = 2H ⁺ +SO ₄ ⁻²	2
Jarosit	KFe ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆	KFe ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆ +3H ₂ O=K ⁺ +3Fe(OH) ₃ +2SO ₄ ⁻² +3H ⁺	3
Siderit	FeCO ₃	FeCO ₃ +H ⁺ = Fe ²⁺ + HCO ₃ ⁻	-1
		FeCO ₃ +2 H ⁺ +0,25 O ₂ = Fe ³⁺ + 0,5 H ₂ O + HCO ₃ ⁻	-2
Alunit	KAl ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆	FeCO ₃ +0,25 O ₂ +2,5 H ₂ O = Fe(OH) ₃ +H ⁺ + HCO ₃ ⁻	1
		KAl ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆ +6 H ⁺ = K ⁺ +3Al ³⁺ +2 SO ₄ ⁻² +6 H ₂ O	-6
Melanterit	FeSO ₄ .7H ₂ O	KAl ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆ +3H ₂ O=K ⁺ +3Al(OH) ₃ +2SO ₄ ⁻² +3 H ⁺	3
		FeSO ₄ .7H ₂ O+0,25O ₂ =Fe(OH) ₃ +4,5H ₂ O+SO ₄ ⁻² +2H ⁺	2
Kokumbit	Fe ₂ (SO ₄) ₃ .9H ₂ O	Fe ₂ (SO ₄) ₃ .9H ₂ O=2Fe(OH) ₃ +3H ₂ O+3SO ₄ ⁻² +6H ⁺	6

Aşağıdaki kimyasal reaksiyonlar (1.3-1.11) pirit minerali özelinde AMD oluşumunu temsil etmektedir (Jambor ve Blowes, 1994). Diğer reaksiyonlara örnekler Tablo 1.7’de verilmiştir.



Piritin oksidasyonunda, ortamda bakteri yoksa 1.3 ve 1.6 reaksiyonları etkin iken; bakteri varsa piritin oksidasyonunu 1.7 ve 1.11 arasındaki kimyasal reaksiyonlar tanımlamaktadır (Singer ve Stumm 1970; Stumm ve Morgan 1981; Nordstrom ve Alpers, 1999).

Piritin oksidasyonu ile serbest kalan Fe^{+2} , Fe^{+3} 'e yükseltgenerek üretilen asiditeyi azaltmaktadır (Eşitlik 1.4). Bu reaksiyonun kinetiğinin yavaş olması, piritin oksidasyonunu sınırlamaktadır. Buna karşın Fe^{+3} varlığında pirit oksidasyonu çok hızlı meydana gelmektedir ve daha fazla asitlik üretmektedir (Eşitlik 1.6) (Nordstrom, 1982 ve 1999; Plumlee 1999).

1.3 ve 1.4 nolu reaksiyonlar sadece asidik pH koşullarında meydana gelebilirken, 3 nolu reaksiyon yalnızca pH 2'nin altında etkilidir ve bu asidik ortam şartları reaksiyona katalizör görevi gören *Acidithiobacillus ferrooxidans* tarafından sağlanmaktadır (Nordstrom, 1982). *A. ferrooxidans* aerobik ve kemoototrof demir oksitleyen bir bakteridir, asidik ortamlarda, Fe^{+2} oksidasyon hızını 10^5 - 10^8 kat hızlandırır ve demir hidroksisülfat mineralleri oluşumunu kolaylaştırır (Huang ve Zhou, 2012).

pH 4'ün üzerinde Fe^{+3} hidrolize olabilir ve nötral pH'larda düşük çözünürlükte olan Fe-hidrat (ferrihidrat ve götit) olarak çökebilir (Eşitlik 1.4). Bu durum sıvı fazda oksidan (Fe^{+3}) konsantrasyonunun azalmasına neden olur. Bu reaksiyon pH 3,5'in altında ters yönde gerçekleşerek çökelen mineralin tekrar çözünmesi sağlar (Eşitlik 1.4).

Piritin oksidasyonunda etkili olacak oksidanın türü (O_2 ya da Fe^{+3}) pH'a bağlıdır; Fe^{+3} düşük pH'larda, O_2 ise nötral pH'larda baskın oksidan türüdür (Singer ve Stumm, 1970; Nordstrom, 1999).

1.7 ve 1.9 numaralı reaksiyonlardaki bakteri, *Acidithiobacillus ferrooxidans* türü olup mevcut sülfürü enerji kaynağı olarak kullanmaktadır. Bu bakteriler, ortam koşullarının yaşamları için en uygun şartları sağlaması durumunda reaksiyonu hızlandırır ve AMD'nin oluşumunda önemli bir rol oynarlar. Piritin, bakteri katalizörlüğünde oksidasyonu, kimyasal oksidasyonundan daha hızlı meydana gelmektedir (Lotterman, 2007). pH 0,5–5,5 aralığında yaşayabilen bu bakterilerin

aktivitesi -20°C 'nin altında durur, 60°C 'nin üzerindeki sıcaklıklarda ise son bulur (Nordstrom ve Alpers, 1999).

Bu süreçler sayesinde bir çok metalik sülfür minerali çözünebilmektedir. Buna ek olarak, pirit, kalkopirit, sfalerit, pirotit ve sülfotuzların bünyesindeki genellikle düşük konsantrasyonlardaki (ppm, bazen de % düzeyinde) As, Cd, Mn, Zn, Hg, Sb, Ag, Ni, Mo gibi elementler serbest kalmakta ve mobil hale geçmektedir.

Oluşan drenaj suyu, yüksek toplam çözünmüş madde konsantrasyonu (100 - 100.000 mg/l), yüksek metal konsantrasyonları (Cu, Cd, Pb, Ni, As, Zn, Fe, Mn, Al vb.) ve genellikle düşük pH değeri (~ 3) ile karakteristiktir. Oldukça yüksek konsantrasyonlarda metal içeren bu drenaj sularının, doğa üzerinde, özellikle doğal yüzey sularında ve bu sularla bağlantılı hertür biyolojik unsurda, ciddi olumsuz etkiler yaratma potansiyeli vardır. AMD sularının yüzey suyuna karışmaları halinde, sucul canlıların optimal yaşam koşulları bozulabilir, bu canlılar üzerinde toksik etkiler görülebilir, besin zinciriyle birikme olabilir ve ileri aşamalarda canlı ölümleri görülebilir. Sadece sucul yaşam değil, AMD sularıyla kirlenmiş yüzey suları ile bağlantı halindeki karasal bitkiler ve hayvanlar da ciddi tehditle karşı karşıya kalabilir.

Maden sahalarında asit nötralizasyonu farklı mineraller ve dolayısıyla farklı mekanizmalar ile gerçekleşir. En önemli pH tamponlama reaksiyonları, karbonat mineralleri, alüminyum hidroksit, demir oksihidroksit ve alüminosilikat minerallerinin ayrışması reaksiyonlarıdır (Blowes ve diğ., 2003). Tıpkı sülfid minerallerinde olduğu gibi, asit nötrleştirme kapasitesine sahip minerallerin de farklı ayrışma reaksiyonları, hızları ve davranışları söz konusudur (Tablo 1.8).

Tablo 1.9' da görülen tamponlama kapasiteleri, minerallerin tamamıyla çözündükleri ve ikincil mineral olarak çökelmedikleri varsayılarak hesaplanan, en yüksek kapasiteleri temsil etmektedir. Bu en yüksek tamponlama kapasitelerine göre, plajioloklasın kalsitten 2 kat, K-feldispatın kalsitten 4 kat daha fazla asit tamponlama kapasitesine sahip olduğu söylenebilir. En yaygın olarak bulunan kalsit, dolomit ve siderit gibi karbonat minerallerinin ayrışması, sistemin pH düzeyini; Ca, Mg, Fe ve var olan diğer katyonların konsantrasyonunu artırma potansiyeline sahiptir.

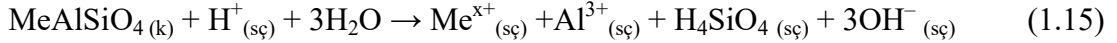
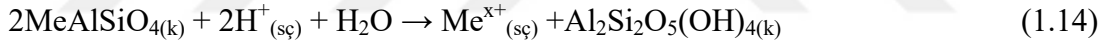
Kalsitin ayrışması;



Kalsitin düşük pH değerlerinde ayrışması;



Kalsit, en yüksek çözünürlük ürünü değerine sahiptir, onu sırasıyla, dolomit, siderit takip eder (Blowes ve diğ., 2003). Çözünürlüğü en yüksek olan ilk olarak reaksiyona girer (Tablo 1.8). Karbonat mineralleri tüketilince, alüminyum hidroksitler (Gibbsit, böhmit) ve onlar da tüketilince demir oksit-hidroksitler (ferrihidrit, götit) çözülmeye başlar. Silikat minerallerinin (olivin piroksen, amfibol, killer, mika gibi) ayrışma oranları kalsite göre düşük olduğu için, asit tamponlama kapasiteleri de, kalsite göre düşüktür (Paktunç, 1998; Lottermoser, 2007) (Tablo 1.8). Bu yüzden, silikat mineralleri, AMD ortamlarında ancak karbonat mineralleri tüketildikten sonraki, daha uzun süreçte etkin olurlar. İki tip silikat minerali ayrışma reaksiyonundan söz edilebilir (Lottermoser, 2007);



(Me = Ca, Na, K, Mg, Mn yada Fe), (x^+ : oksidasyon numarası)

Eşitlik 1.14'deki gibi ayrışma reaksiyonunda, silikat minerali tamamen çözünür ve çözünebilir ürün oluşur. Eşitlik 1.15'deki gibi ayrışma reaksiyonunda ise silikat minerali başka bir faza dönüşür ve bu reaksiyon silikat ayrışmasında en sık karşılaşılan türdür (Lottermoser, 2007).

Birincil mineraller, oluşum şartlarının dışında şartlara maruz kalırlarsa, denge durumlarını kaybederek, çözünme yada ayrışmayla ikincil mineralleri oluştururlar. AMD ortamlarında, ikincil mineraller, gerek oluşmaları gerek bozunmaları süreçlerinde, oluşan asitin ve metallerin tüketilmesinde, su ortamına geçmesinde, dolayısıyla, oluşacak olan drenaj suyunun kimyasında, önemli rol oynar (Hammaerstrom ve diğ., 2005; Carbone ve diğ., 2013). İkincil mineraller, sülfat tuzları, metal oksit, hidroksit ve hidroksi-sülfatları, halitler, arsenatlar, fosfatlar ve

karbonatlar olarak sınıflanabilir (Blowes ve diğ., 2003; Lottermoser, 2007). İkincil minerallerin türü, ortamın mineralojisine, pH'ına ve metal iyonlarının varlık ve bolluğuna göre değişebilir. Sudaki çözünürlükleri düşük olan ikincil minerallerin bazıları (killer, jarosit vb.) ortamdaki metalleri bünyesinde biriktirmektedir.

Tablo 1.8. Maden sahalarında görülen bazı minerallerin çözünürlük ürünleri (Paktunç, 1998; Lottermoser, 2007)

Mineral	Reaksiyon	log K
Oksitler ve hidroksitler		
Götit	$\text{FeOOH}_{(k)} + 3\text{H}^+_{(s\phi)} \leftrightarrow \text{Fe}^{3+}_{(s\phi)} + 2\text{H}_2\text{O}_{(s)}$	-1,0
Ferrihidrit	$\text{Fe}(\text{OH})_{3(k)} + 3\text{H}^+_{(s\phi)} \leftrightarrow \text{Fe}^{3+}_{(s\phi)} + 3\text{H}_2\text{O}_{(s)}$	3-5
Gibsit	$\text{Al}(\text{OH})_{3(k)} + 3\text{H}^+_{(s\phi)} \leftrightarrow \text{Al}^{3+}_{(s\phi)} + 3\text{H}_2\text{O}_{(s)}$	7,94
Böhmit	$\text{AlOOH}_{(k)} + 3\text{H}^+_{(s\phi)} \leftrightarrow \text{Al}^{3+}_{(s\phi)} + 2\text{H}_2\text{O}_{(s)}$	7,83
Sülfatlar		
Jips	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}_{(k)} \leftrightarrow \text{Ca}^{2+}_{(s\phi)} + \text{SO}_4^{2-}_{(s\phi)} + 2\text{H}_2\text{O}_{(s)}$	-4,58
Sölestin	$\text{SrSO}_4_{(k)} \leftrightarrow \text{Sr}^{2+}_{(s\phi)} + \text{SO}_4^{2-}_{(s\phi)}$	-6,62
Barit	$\text{BaSO}_4_{(k)} \leftrightarrow \text{Ba}^{2+}_{(s\phi)} + \text{SO}_4^{2-}_{(s\phi)}$	-0,97
Jarosit	$\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_{6(k)} + 6\text{H}^+_{(s\phi)} \leftrightarrow \text{K}^+_{(s\phi)} + 3\text{Fe}^{3+}_{(s\phi)} + 2\text{SO}_4^{2-}_{(s\phi)} + 6\text{H}_2\text{O}_{(s)}$	-11
Karbonatlar		
Kalsit	$\text{CaCO}_3_{(k)} \leftrightarrow \text{Ca}^{2+}_{(s\phi)} + \text{CO}_3^{2-}_{(s\phi)}$	-8,48
Dolomit	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2_{(k)} \leftrightarrow \text{Ca}^{2+}_{(s\phi)} + \text{Mg}^{2+}_{(s\phi)} + 2\text{CO}_3^{2-}_{(s\phi)}$	-17,09
Siderit	$\text{FeCO}_3_{(k)} \leftrightarrow \text{Fe}^{2+}_{(s\phi)} + \text{CO}_3^{2-}_{(s\phi)}$	-10,89

Tablo 1.9. Bazı minerallerin maksimum nötralizasyon kapasitesi (Paktunç, 1998)

Mineral	Formül	1 mol H ₂ SO ₄ 'u tamponlamak için gereken mol
Kalsit	CaCO ₃	1
Dolomit	Ca _{0,5} Mg _{0,5} CO ₃	1
Klorit	Mg ₅ Al ₂ Si ₃ O ₁₀ (OH) ₈	0,125
Muskovit	KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH) ₂	0,2
Kaolinit	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	0,67
K-Feldspat	KAlSi ₃ O ₈	0,5
Plajioklas (An0)	NaAlSi ₃ O ₈	0,5
Plajioklas (An100)	CaAl ₂ Si ₂ O ₈	0,25
Götit	Fe(OH) ₃	0,67

AMD sahalarında yaygın olarak gözlenen, yüksek çözünürlüğe sahip bazı metalik-sülfotuzları ise mevsimsel değişikliklere bağlı olarak, metal depolanması ve salınımında önemli rol oynamaktadır (Lottermoser, 2007; Murray ve diğ., 2014) (Tablo 1.10). Sülfat tuzları, asidik suların buharlaşması ile oluşurlar ve kurak dönemde asitliği ve metalleri depolarlar. Yağışlı dönemde ise, sisteme giriş yapan suyla birlikte hızla çözünerek yüksek konsantrasyonlarda metal ve sülfat salınımına neden olurlar (Tablo 1.10). Bu metal sülfat tuzlarının kimyası, buharlaşma sırasında, suyun pH ve kimyası hakkında bilgi verir.

Çözünebilir sülfat mineralleri basit formüllerle ifade edilebilir (Murray ve diğ., 2014);

$MSO_4 \cdot nH_2O \rightarrow M =$ İki değerlikli metaller (Fe, Mn, Co, Ni, Mg, Cu, Zn), $n = 1-7$

$A_2(SO_4)_3 \cdot nH_2O \rightarrow A =$ Üç değerlikli katyonlar (Al^{+3} yada Fe^{+3}), $n = 6-17$ (Kokumbit, alunojen)

$AR_2(SO_4)_2 \cdot nH_2O \rightarrow A = Fe^{+2}, Mg^{+2}, Mn^{+2}, Zn^{+2}, Co^{+2}, R = Al^{+3}, Fe^{+3}, Cr^{+3}$ (Holotriçit)

$AR_2(SO_4)_6(OH)_2 \cdot 20 H_2O$ (Kopiapit grubu)

Çözünürlüğü düşük sülfat minerallerini ise iki ana gruba ayırmak mümkündür (Murray vd., 2014):

1. Demir ve alüminyumun zayıf kristalli oksid-hidroksisülfatları: Şvermanit, ferrihidrit, jips, alunojen.
2. İyi kristallenmiş mineraller: Jarosit alt grubunu içeren alunit grubu. Jarosit çökeli, solüsyondaki metal konsantrasyonunu, çökeltme yoluyla düşürdüğü için, sülfid yataklarında önemlidir. pH 1-3 arasında çökeltirler.

AMD sahalarında ikincil fosfat oluşumları nadiren görülür (Blowes ve diğ., 2003). Arsenatlar ise fosfatlara göre daha yaygındır. Arsenopirit ($FeAsS$) en yaygın görülen türüdür. İkincil karbonat minerallerinden en yaygını, siderittir ($FeCO_3$).

Metal oksit ve hidroksitleri arasında en yaygınları götit, ferrihidrittir. Ferrihidritin duraylılığı götite göre daha düşüktür; şvermanite göre daha yüksek pH değerlerinde çökeltir.

AMD ortamlarında, Fe⁺³ mineralleri çoğunlukla jarosit [KFe₃(SO₄)₂(OH)₆], götit [α -FeOOH], ferrihidrit [Fe₅OH₈·4H₂O] ve şvermanit [Fe₈O₈(OH)₈-2x(SO₄)_x·nH₂O] 1≤x≤1,75] şeklinde bulunurlar. Jarosit, pH'ın 3'den düşük ve sülfat konsantrasyonunun yüksek olduğu koşullarda; ferrihidrit ve götit ise nötrale yakın pH koşullarında çökeltirler (Jönsson vd., 2005; Jönsson, 2006; Smith vd., 2006). Şvermanit, pH 3-4 arasında çökeltir ve özellikle minör elementleri (As, Pb, Cr gibi) adsorbe ederek, bunların ortamdaki konsantrasyonlarını düşürür (Jönsson vd., 2005; Peretyazhko ve diğ., 2009). Aynı zamanda hidroliz reaksiyonuna uğrayarak sucul ortamda asidite artışına sebep olur (Peretyazhko vd., 2009). AMD ortamında götitin varlığı şvermanit ile yakından ilgilidir, şvermanit hidroliz sonucu daha duraylı bir form olan götite dönüşür (Jönsson, 2005; Peretyazhko vd., 2009). Anoksik koşullarda ve Fe⁺² katalizörlüğünde şvermanitin götite dönüşümü daha hızlı gerçekleşir (Peretyazhko vd., 2009)



Farklı Fe(III) çökeltileri, ortamdaki metal iyonlarını adsorbe eder. Adsorpsiyon, ortamdaki mineral ve metal çeşidine göre değişkenlik gösterir; pH arttıkça düşer (Jönsson, 2006). Fe(III) çökeltileri, bu özellikleri ile AMD iyileştirmesinde faydalıdırlar. Sorpsiyon, yüzey çökeltim ve/veya tekrar çökeltme ile AMD ortamında sudaki metal konsantrasyonunun düşmesini sağlarlar (Jönsson, 2006).

Tablo 1.10. Sülfürlü maden atıklarında oluşabilecek ikincil mineraller (Lottermoser, 2007)

1. SÜLFATLAR			
1.1. +2 değerlikli metal katyonlu basit sulu metal sülfatlar		1.2. (Devam)	
Mineral	Formül	Mineral	Formül
Poitevinit	$(\text{Cu}, \text{Fe}^{2+}, \text{Zn})\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Kokümbit	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$
Malanterit grubu		Alünojen	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 17\text{H}_2\text{O}$
Malanterit	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Romboklaz	$\text{HFe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Bootit	$\text{CuSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Butlerit	$\text{Fe}(\text{SO}_4)(\text{OH}) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Biyaberit	$\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	1.3. Karışık +2 ve +3 değerlikli sulu metal sülfatlar	
Malardit	$\text{MnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Römerit	$\text{Fe}_3(\text{SO}_4)_4 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$
Epzomit Grubu		Halotriçit Grubu	
Epzomit	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Halotriçit	$\text{FeAl}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$
Morenozit	$\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Pikerinijit	$\text{MgAl}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$
Goslarit	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Apjohnit	$\text{MnAl}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$
Hegzahidrit Grubu		Diyetriçit	$(\text{Zn}, \text{Fe}, \text{Mn})\text{Al}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$
Hegzahidrit	$\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Bilinit	$\text{Fe}_3(\text{SO}_4)_4 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$
Ferrohegzahidrit	$\text{FeSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Kopiyapit Grubu	
Çıvaletiseyit	$\text{MnSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Kopiyapit	$\text{Fe}_5(\text{SO}_4)_6(\text{OH})_2 \cdot 20\text{H}_2\text{O}$
Moorhouseyir	$\text{CoSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Ferrikopiyapit	$\text{Fe}_5(\text{SO}_4)_6\text{O}(\text{OH})_2 \cdot 20\text{H}_2\text{O}$
Biyantiç	$\text{ZnSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	1.4. Fe- ve Al- hidroksisülfatlar	
Kalkantit Grubu		Jarosit	$\text{KFe}_5(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$
Kalkantit	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Natrojarosit	$\text{NaFe}_5(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$
Pentahidrit	$\text{MgSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Hidronyum jarosit	$(\text{H}_3\text{O})\text{Fe}_5(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$
Siderotil	$\text{FeSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Plumbojarosit	$\text{PbFe}_6(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_{12}$
Rozenit Grubu		Alunit	$\text{KAl}_5(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$
Rozenit	$\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Jurbanit	$\text{Al}(\text{SO}_4)(\text{OH}) \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Starkeyit	$\text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Şıvermanit	$\text{Fe}_8\text{O}_8(\text{SO}_4) \cdot (\text{OH})_6$
Boyleyit	$\text{ZnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Alüminit	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)(\text{OH})_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
Kiyerserit Grubu		Bazalüminit	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)(\text{OH})_{10} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Kiyerserit	$\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	1.5. Diğer sülfatlar ve hidroksisülfatlar	
Szomolnokit	$\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Anglezit	PbSO_4
Guninijit	$\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Stronsiyonit	BaSO_4
1.2. +3 değerlikli metal katyonlu basit sulu metal sülfatlar		Anhidrit	CaSO_4
Komeit	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Bazanit	$\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$

Tablo 1.10 (Devam) Sülfürlü maden atıklarında oluşabilecek ikincil mineraller (Lottermoser, 2007)

1.5. (Devam)		As mineralleri (Devam)	
Mineral	Formül	Mineral	Formül
Jips	CaSO ₄ .2H ₂ O	Arsenolit	As ₂ O ₃
Tenardit	Na ₂ SO ₄	Klodedit	As ₂ O ₃
Aftitalit	NaK ₃ (SO ₄) ₅	Sb mineralleri	
Voltayit	K ₃ Fe ₈ Al(SO ₄) ₁₂ . 18H ₂ O	Servantit	Sb ₂ O ₄
Tamarujit	NaAl(SO ₄) ₂ . 6H ₂ O	Valentinit	Sb ₂ O ₃
Konyayit	Na ₂ Mg(SO ₄) ₂ . 5H ₂ O	Senarmontit	Sb ₂ O ₃
Blödit	Na ₂ Mg(SO ₄) ₂ . 4H ₂ O	3. KARBONATLAR	
Lövit	Na ₁₂ Mg ₇ (SO ₄) ₁₃ . 15H ₂ O	Kalsit	CaCO ₃
Ögsterit	Na ₄ Ca(SO ₄) ₃ . 2H ₂ O	Magnezit	MgCO ₃
Sinjenit	K ₂ Ca(SO ₄) ₂ . H ₂ O	Siderit	FeCO ₃
Anerit	Cu ₃ (SO ₄)(OH) ₄	Ankerit	Ca(Fe,Mg)(CO ₃) ₂
Brokantit	Cu ₄ (SO ₄)(OH) ₆ . 2H ₂ O	Dolomit	CaMg(CO ₃) ₂
2. OKSİT, HİDROKSİT ve ARSENATLAR		Smitzonit	ZnCO ₃
Mineral	Formül	Otavit	CdCO ₃
Fe mineralleri		Serüzit	PbCO ₃
Götüt	α-FeOOH	Malakit	Cu ₂ (CO ₃)(OH) ₂
Lepidokrosit	γ-FeOOH	Azurit	Cu ₃ (CO ₃) ₂ (OH) ₂
Ferrosit	δ-FeOOH	Hidrozinisit	Zn ₅ (CO ₃) ₂ (OH) ₆
Akaganeyit	β-FeOOH	Orikalsit	(Zn,Cu)(CO ₃) ₂ (OH) ₆
Ferrihidrit	Fe ₅ HO ₈ . 4H ₂ O	4. SİLİKATLAR	
Al mineralleri		Mineral	Formül
Gibsit	γ-AlO(OH)	Nakrit	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄
Diyaspor	α-AlO(OH)	Kaolinit	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄
Cu mineralleri		Krizokola	CuSiO ₃ . 2H ₂ O
Tenorit	CuO	Plançheyit	Cu ₈ Si ₈ O ₂₂ . 2H ₂ O
Kuprit	Cu ₂ O	Diyoptaz	Cu ₆ Si ₈ O ₁₈ . 6H ₂ O
As mineralleri		5. NABİT ELEMENTLER	
Mineral	Formül	Mineral	Formül
Skorodit	FeAsO ₄ . 2H ₂ O	Bakır	Cu
Mansfeldit	Al(AsO ₄) ₂ . 2H ₂ O	Kükürt	S
Roentalit	Ca ₃ (AsO ₄) ₂ . 10H ₂ O		

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Saha Çalışması

Saha çalışmaları, maden sahalarının çevresel etkilerinin tespit edilmesi ve sahaların AMD potansiyellerinin belirlenmesi amacıyla, gerekli olan gözlemler, yerinde ölçümler ve örneklemelerin yapılması temeline dayanılarak yapılmıştır.

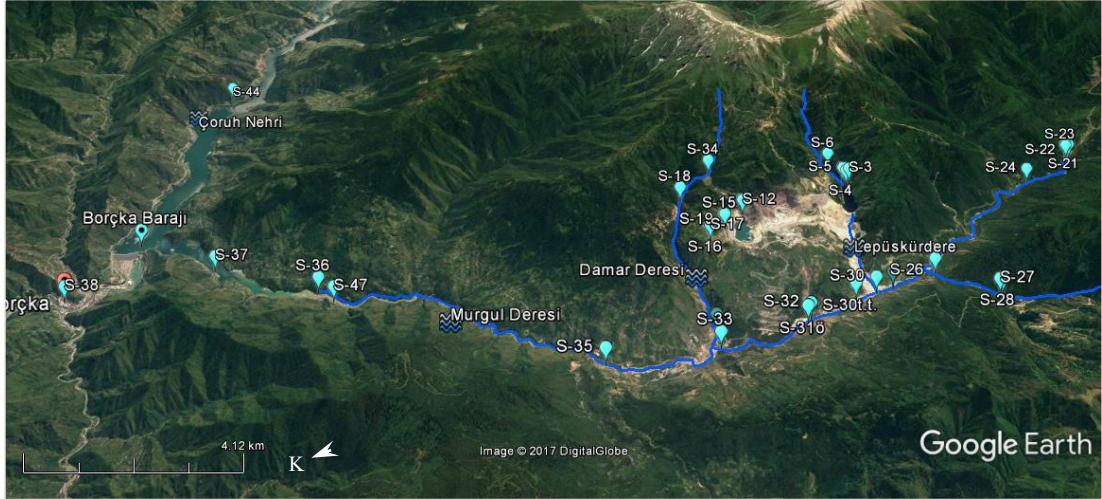
Çevresel etkinin mevsimlere bağlı değişimini gözlemek amacıyla, su örneklemeleri, 2011 ve 2013 yıllarının kurak döneminde (Ağustos), 2012 yılının yağışlı döneminde (Mayıs) yapılmıştır. Çalışmanın başlangıcında, madencilik faaliyetlerinin çevresel etkilerinin kurak ve yağışlı dönemi temsilen 2 dönemde izlenmesi (Ağustos-2011 ve Mayıs-2012) planlanmıştır. Ancak çalışmaların yapıldığı dönemlerde işletilmekte olan Murgul sahasında önemli değişiklikler olduğu bilgisinin edinilmesi üzerine üçüncü bir örnekleme dönemine (Ağustos-2013) ihtiyaç duyulmuştur.

Madenlerin çevresel etkilerinin belirlenmesi amacıyla, çalışma sahalarından, su, atık su, sediment, çökel, flotasyon atığı örnekleri alınmıştır (Şekil 2.1, Şekil 2.2, Şekil 2.3, Şekil 2.4). Murgul sahası içinde görülen AMD oluşumları ve drenaj sularından su ve çökel örneklemeleri yapılmıştır. Bunun yanısıra, maden sahasının madenle ilişkili akarsular üzerindeki etkisini saptamak amacıyla, Murgul Deresi boyunca; Murgul Deresi'nin Borçka Barajı'na kavuşum bölgesinden; yan kollar olan Lepüşkürdere ile Damar Deresi'nden su ve sediment örneklemeleri yapılmıştır.

Kuvarshan sahasında ise, saha yakınından geçen Fabrika Deresi'nden su, sediment ve çökel örneklemeleri yapılmıştır. Saha içinde bulunan, AMD birikintileri ve galerilerden kaynaklanan sulardan ve çökellerden de örnekler alınmıştır. Maden sahaları etkisinde olan Borçka Barajı'nın memba ve mansap kesimlerinden de su örnekleme yapılarak maden sahalarının etkisi saptanmıştır. Tüm bunların yanısıra, Murgul Çakmakkaya sahasında bulunan atık barajını karakterize etmek amacıyla flotasyon çamuru ve atık su örneği alınmıştır.

Derelerde yapılan örnekleme çalışmaları, madenin yüzey sularına etkisini tespit edebilmek için, maden sahalarının etkisi altında olmayan (kontrol alanlarından) ve maden sahası etkisindeki bölümlerinden yapılmıştır (Şekil 2.1).

Arazi çalışması sırasında alınan su örneklerinin pH, elektriksel iletkenlik, çözülmüş oksijen ve sıcaklık parametreleri, Thermo Scientific - Orion Five Star model multimetre ile yerinde ölçülmüştür. Su örnekleri, ana anyon analizleri için filtrelenerek ve asit eklenmeden, hava almayan polietilen örnek kaplarına, yaklaşık 100 ml hacminde alınmıştır. Sularda, çözülmüş fazda metal analizleri için, 100 ml örnek, filtrelenip ve pH yaklaşık 2 olacak biçimde asitlenerek, hava almayan polietilen örnek kaplarına alınmıştır. Filtreleme, Whatman marka 0,45 µm selüloz asetat kağıt filtreler ve şırınga filtreleri ile yapılmıştır. Sulardaki toplam metal konsantrasyonlarını tespit edebilmek için ise örnekler filtrelenmeden ve yine pH 2 civarında olacak biçimde asitlenerek alınmıştır. Su örnekleri, arazide, buz kalıpları içeren sıcaklığı koruyan kaplar içinde tutulmuş ve bu şekilde laboratuvara getirilerek, analiz edilene kadar buzdolabında 4 °C’de saklanmıştır.

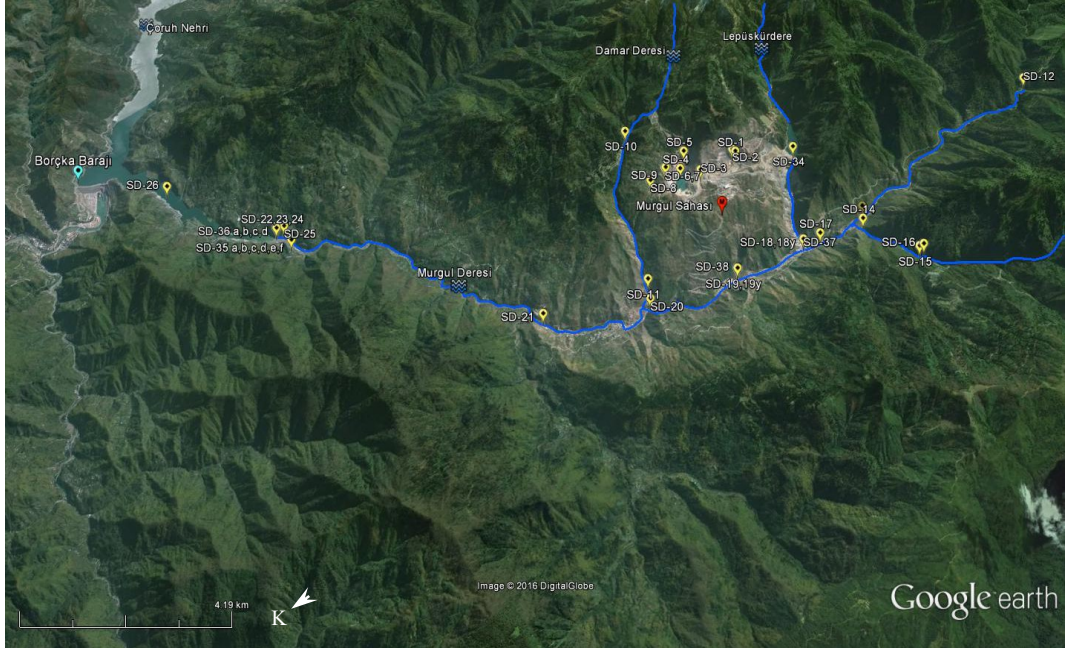


Şekil 2.1. Murgul Sahası ve çevresindeki su örnekleme noktaları

Arazinin karakterizasyonunda kullanılmak üzere cevher, yan kayaç ve toprak (Karadeniz bakır işletmelerinin eski izabe tesisi çevresinden) örnekleri ile maden pasa ve proses atıkları, flotasyon çamuru (Murgul Sahası'nda) örnekleri alınmıştır. Murgul sahasından alınan yan kayaç örnekleri, çalışma alanında sürdürülmekte olan sondaj çalışmalarının deliklerinden alınmıştır ve yaklaşık 20 m derinliği temsil etmektedirler.

Dekapaj, pasa ve proses atıklarının örnekleme, rastgele olarak seçilen noktalardan alınan örneklerin yaklaşık 10'ar kilogram olacak biçimde karıştırılmasıyla yapılmıştır.

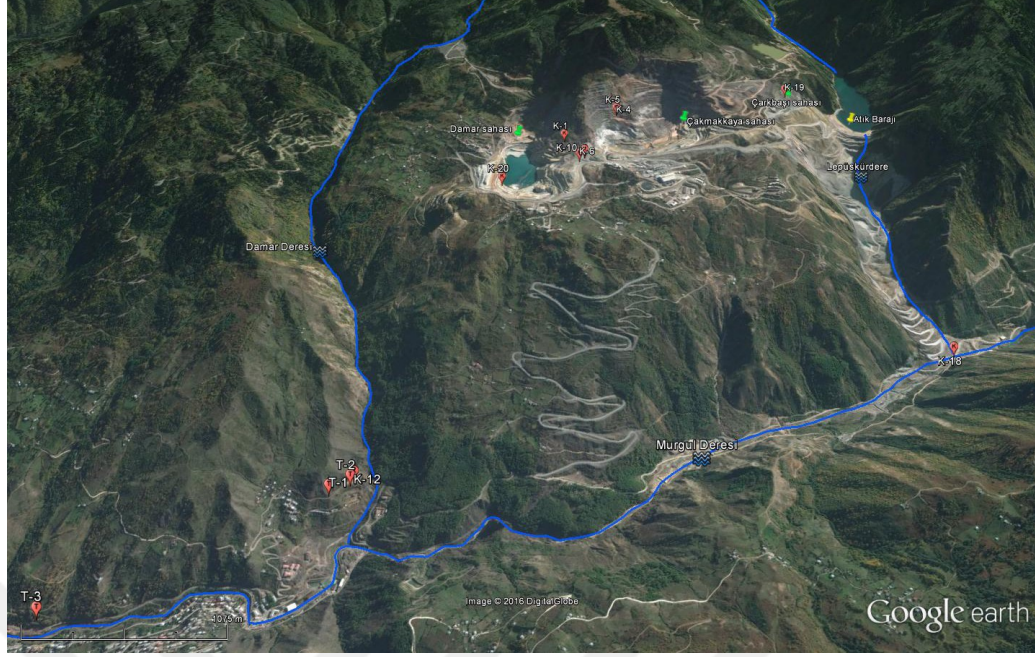
Karadeniz Bakır İşletmelerine ait eski izabe tesisi çevresinden pasa ve toprak örnekleme yapılmıştır. Toprak örnekleme, ayrılmış üst yüzey toprağı sıyrıldıktan sonra, yaklaşık 30 cm derinlikten kompozit olarak yapılmıştır. Toprak örnekleme, izabe tesisine uzak bir noktadan da yapılarak, tesisin toprak kirliliğine yol açıp açmadığı incelenmiştir. Bu sahanın örneklemeindeki amaç, uzun süreli atmosferik etkileşime maruz kalmış pasa yığınlarından kaynaklanan kirlenmenin boyutunu; kayaçların jeokimyasında ve asit üretme potansiyelinde meydana gelen değişimi ölçmektedir.



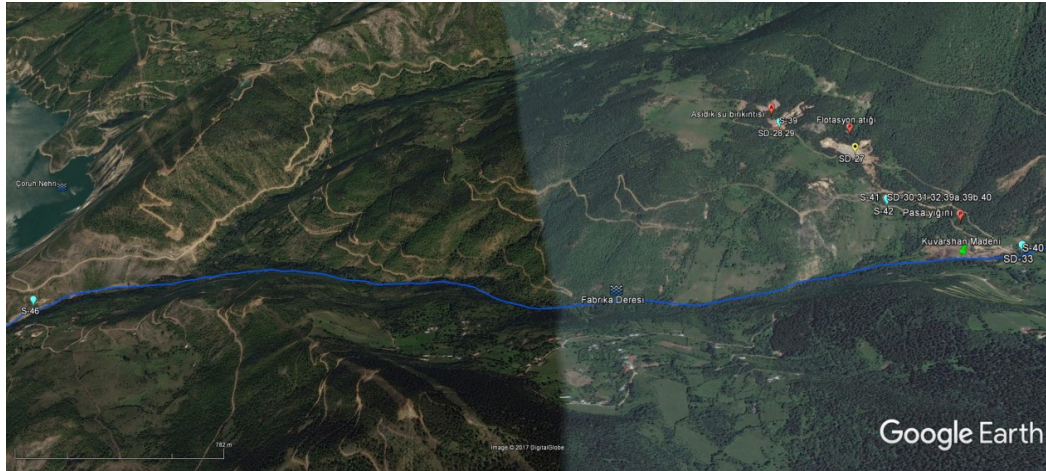
Şekil 2.2. Murgul Sahası ve çevresindeki sediment ve çökel örnekleme noktaları

Tüm katı örnek alma işlemleri, olası kirlenmelerin önüne geçebilmek için, plastik ve paslanmaz çelik aletlerle yapılmış; polietilen örnek poşetleri ve örnek kapları içinde taşınmışlardır. Alınan katı örnekler mineralojik ve jeokimyasal açıdan incelenmesi yapılan dek, oda sıcaklığında kurumaya bırakılmışlardır.

Arazi çalışmalarında alınan örneklerin koordinat bilgileri Ek-I'da; ayrıntılı örnekleme haritaları ise Ek-A'da verilmiştir.



Şekil 2.3. Murgul Sahası ve çevresindeki kaya ve toprak örnekleme noktaları



Şekil 2.4. Kuarshan Sahası ve çevresindeki su, kaya, sediment ve çökel örnekleme noktaları

2.2. Laboratuvar Çalışmaları

Laboratuvarda yapılan çalışmalar dört ana başlık altında toplanabilir:

1. Madencilik faaliyetlerinin sebep olduğu çevresel etkinin nitelik ve niceliğinin belirlenmesi amacıyla, araziden alınan su, sediment, çökel ve toprak örneklerinin, kimyasal, mineralojik, jeokimyasal özelliklerinin belirlenmesi.
2. AMD testlerine tabi tutulan örneklerin mineralojik, petrografik ve jeokimyasal açıdan karakterizasyonu

3. Örneklerin AMD oluşturma potansiyellerinin ve kinetiklerinin statik ve kinetik testlerle belirlenmesi.

4. Nem hücresi deneyi sırasında her bir döngü sonunda alınan süzüntü sularının kimyasal özelliklerinin belirlenmesi. Deney bitiminde ise örneklerin mineralojisinin ve jeokimyalarının belirlenmesi

2.3. Analitik Yöntemler

2.3.1. Su analizleri

Araziden alınan su örneklerinin ve laboratuvarında yürütülen testler sonucu alınan tüm su örneklerinin elemental analizleri (Ag, Al, As, B, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Rb, Se, Sn, Sb, Sr, Ti, Tl, U, V ve Zn) Perkin Elmer Elan DRC-e model ICP-MS cihazı ile yapılmıştır. Ölçümlerin doğruluğu NIST 1643 referans örneği ile test edilmiştir. Ana anyon analizleri (F^- , Br^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_2^- , NO_3^- , PO_4^{3-}) ise Dionex ICS-1100 model iyon kromatografi cihazı ile yapılmış, ölçümlerin doğruluğu, Dionex 7-anyon standardı ile test edilmiştir.

Araziden alınan su örneklerinde, toplam element konsantrasyonları da ölçülmüştür. Bunun için, filtrelenmeden alınmış olan örnekler üzerinde mikrodalga asitte çözündürme işlemi yapılmıştır. Sularda, askıdaki maddenin yoğunluğuna bağlı olarak iki farklı EPA çözündürme yöntemi kullanılmıştır.

İlk çözündürme yöntemi olan EPA 3051A (Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, Soils, and Oils) yöntemi ile (EPA, 2007a), yoğun biçimde kirlenme görülen dere veya deşarjlardan alınan balçık ve sulu çamur (slurry) şeklindeki örnekler çözündürülmüştür. Bu yöntemle göre, yaklaşık 0,5 gr örnek üzerine 9 ml suprapur HNO_3 ve 3 ml suprapur HCl eklenmiş ve mikrodalga çözündürme cihazında işleminden geçirilmiş (0.-5,5. dakikalar arasında $175\text{ }^\circ C$ ve 1000 W; 5,5.-20. dakikalar arasında $175\text{ }^\circ C$ ve 1000 W) ve elde edilen elüent ultra saf su ile 50ml'e tamamlanarak ICP-MS analizi için hazır hale getirilmiştir. Bu yöntemle sadece 2011 döneminde alınan S-10, S-19, S-30, ST-31, S-32, S-33, S-35, S-36 ve S-45 örnekleri çözündürülmüştür.

İkinci çözdürme yöntemi olan EPA 3015 (Microwave Assisted Acid Digestion of Aqueous Samples and Extracts) (EPA, 2007b) yöntemi ise içinde askıda katı madde bulunduran su örnekleri üzerine uygulanmıştır. Bu yöntemde, 45 ml örnek üzerine 5 ml suprapur HNO₃ eklenerek çözdürme işlemi gerçekleştirilmiştir (0.-10. dakikalar arasında 160 °C ve 1000 W; 10.-20. dakikalar arasında 165 °C ve 1000 W) ve ICP-MS analizi için hazır hale getirilmiştir.

Arazi çalışmalarında alınan su örneklerinin alkaliniteleri, örnekleme gününün akşamında yapılmıştır. HACH marka alkalinite kiti ve 0,16 N H₂SO₄ kullanılarak alkalinite ölçümleri yapılmıştır. Kinetik AMD testleri sırasında alınan süzüntü sularının ise, alkaliniteleri 0,16 N H₂SO₄ ile, asiditeleri 1 N NaOH ile titrasyon yapılarak ölçülmüştür (AWWA, 1995).

2.3.2. Jeokimyasal, mineralojik ve petrografik analizler

Yan kayaç örneklerinden ince kesitler, cevher örneklerinden ise cevher mikroskobu çalışmaları için parlak kesitler, rutin adımlar ve yöntemlerle (boyut indirgeme, kalıba alma, epoksiye gömme, aşındırma ve parlatma) hazırlanmıştır. Sediment ve AMD çökellerinde de benzer adımlar takip edilerek parlak kesitler hazırlanmıştır.

Sahadan alınan örneklerinin tamamı ayrıca XRD ve XRF analizlerine tabi tutularak örneklerin mineralojisi ve jeokimyası tespit edilmiştir.

Karbonatlara bağlı ateşte zayıt değerleri (LOI) 1050°C'de 1,5 saat bekletilerek hesaplanmış ve % cinsinden ifade edilmiştir.

XRF ve XRD analizleri için 105 °C fırında 24 saat boyunca nemi giderilen örnekler, çeneli kırıcıda 15 mm.'den küçük boyuta indirgindikten sonra titreşimli disk değirmende, %75'i 45 mikrondan küçük olacak biçimde öğütülmüştür.

XRF analizleri için 1/10 oranında bağlayıcı malzeme/örnek karışımından 5,5 gram tartılarak, küçük alüminyum kaplardaki toz borik asit dolgusu üzerine eklenmiş ve Herzog TP 40/2d hidrolik manuel pellet hazırlayıcıda 250 kN basınçla 30 saniye tutularak 4 x 0,5 cm boyutlarında diskoidal pellet haline getirilmiş Bruker S8 Tiger marka dalgaboyu dispersif X-ışını floresans (WD-XRF) cihazı ile analizler yapılmıştır.

XRD analizleri için, 45 mikron altına indirgenmiş örneklerden yaklaşık 5 gram alınarak, Bruker D8 X-ışını kırınımı (XRD) cihazı ile 2-70° 2 θ için 0,019°/s adım hızıyla oda sıcaklığında XRD analizi yapılmıştır.

XRD ve XRF analizleri, İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeokimya Araştırmaları Laboratuvarı'nda (JAL), Prof. Dr. Emin Çiftçi tarafından yapılmıştır.

2.4. Asit Maden Drenajı Öngörü Testleri

2.4.1. Statik testler

Statik testler, maden sahalarından alınan katı örneklerin asit üretme ve asiti nötralize etme kapasitelerini tespit etmek için yapılmıştır. Bu testler genellikle ön bir bilgi edinmek amacıyla yapılır ve sonuçların ek çalışmalarla doğrulanması gerekir.

Tablo 2.1. Asit baz muhasebesi testi uygulanan örnekler

Örnek	Tür	Alındığı Yer
K-1	Cevherli dasit	Çakmakkaya
K-4	Mor dasit	Çakmakkaya
K-5	Yeşil dasit	Çakmakkaya
K-6	Cevherli dasit	Damar
K-10	Cevherli dasit (Cu tenör= %3,5)	Çakmakkaya
K-11	Cevherli dasit (Cu tenör= %0,7)	Çakmakkaya
K-12	Cevherli dasit	KBİ Eski işletme
K-15	Flotasyon atığı	Kuvarshan
K-16	Mekan kaya	Kuvarshan
K-17	Pasa	Kuvarshan
K-18	Dekapaj	Murgul
K-19	Cevherli dasit	Çarkbaşı
K-20	Cevherli dasit	Damar
SD-1	Asidik birikinti çökeli	Çakmakkaya
SD-2	Asidik birikinti çökeli	Çakmakkaya
SD-5	Asidik birikinti çökeli	Damar
SD-28	Asidik birikinti çökeli	Kuvarshan
SD-29	Asidik birikinti çökeli	Kuvarshan
SD-34	Flotasyon çamuru	Atık Barajı

Tez kapsamında, statik testlerde, Sobek (1978) tarafından geliştirilen standard asit-baz muhasebesi (ABM) yöntemi ve modifiye ABM (Lawrance ve Wang, 1996) yönteminden yararlanılmıştır, testlerin doğruluğu, referans materyal Canmed Standart NBM-1 ile kontrol edilmiştir. Statik testlerin uygulandığı örnekler Tablo 2.1'de verilmiştir.

Statik testler, maden sahalarından toplanan yan kayaç, pasa/dekapaj/flotasyon atığı ve AMD çökellerine uygulanmıştır. Bu testler;

*Paste pH

*Asit üretme potansiyelinin (AP) hesaplanması: Toplam sülfür analizi, toplam karbon, inorganik karbon ve organik karbon analizleri, sülfür türleştirilmesi (Sülfat-S, Sülfid-S)

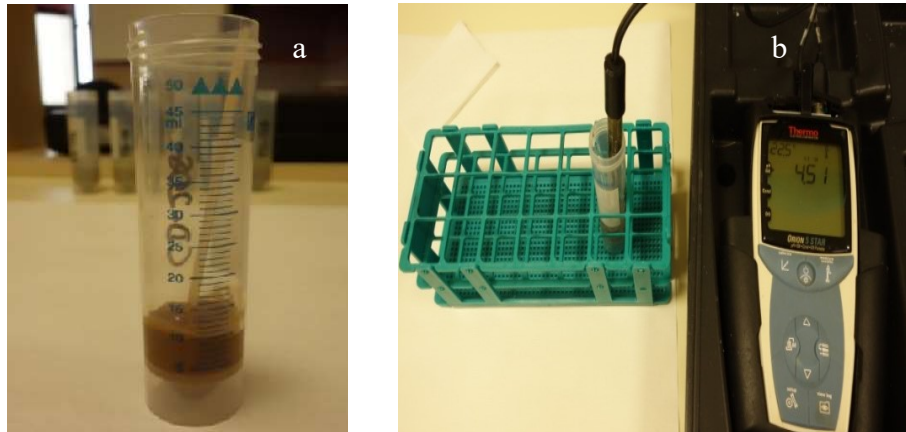
*Nötralizasyon potansiyelinin (NP) hesaplanması: Köpürme testi ve test sonucuna göre nötralizasyon potansiyeli deneyi olarak sıralanabilir.

Statik testlerin herhangi biri, tek başına, ilgili örneğin asit üretme yada nötralize etme kapasitesi hakkında bir bilgi edinmek için yeterli değildir. Statik testlerin tümünden elde edilen sonuçların bir arada değerlendirilmesi ve ayrıca kinetik testlerle desteklenmesi gereken testlerdir.

2.4.1.1. Paste pH

Paste pH, örneğin kolay çözünebilen bileşenlerinin varlığını gösteren bir ölçümdür. Örneğe ait toplam asit yada alkalinite üretme potansiyelini vermez; hızlı bir biçimde, asit-alkali karakterli minerallerin tepki gösterme kapasitesi hakkında bilgi verir.

Bu test, Standart Sobek (Sobek ve diğ., 1978) metoduna göre yapılmıştır. 10 gr öğütülmüş örnek üzerine 5 ml saf su eklenerek suya doymun macun kıvamına getirilen örneğin pH'ı ölçülmüştür (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. a- Paste pH için örneğin hazırlanması b- Paste pH ölçümü

2.4.1.2. Asit potansiyeli (AP)

Bir örneğin asit potansiyelinin belirlenmesi, örneğin sülfür türlerinin ve bunların bolluğunun belirlenmesi temeline dayanır. Tez kapsamında, asit potansiyeli (AP) örneğin sülfid-sülfür yüzdesi kullanılarak tespit edilmiştir. Böylelikle, örneğin asit üretme potansiyeline katkıda bulunmayan jips gibi sülfat mineralleri yüzünden, yüksek asit üretme potansiyeli hesaplanmasının önüne geçilmiştir. Asit potansiyeli (AP), kg CaCO₃/ton örnek, cinsinden ifade edilir;

$$AP \text{ (kg CaCO}_3\text{/ton kaya)} = \% \text{ Sülfid-S} \times 31,25 \quad (2.1)$$

Eşitlik 2.1'de de görüldüğü üzere, bir örneğin asit üretme potansiyelini ölçebilmek için sülfür türleştirmesinin yapılması, sülfid sülfür yüzdesinin tespit edilmesi gerekmektedir. Maksimum asit potansiyeli (MAP) ise, Eşitlik 2.1'de sülfid sülfür yüzdesi yerine toplam sülfür kullanılarak hesaplanır.

Örneklerin toplam sülfür, toplam karbon ve organik karbon analizleri LECO SC-144DR model cihazla yapılmıştır. Toplam C ve S analizleri, 0,10 gr öğütülmüş örnek üzerine 1 gr COM-CAT hızlandırıcı eklenerek yapılmıştır. COM-CAT hızlandırıcı, örneğin tamamen yanmasını sağlayarak toplam sülfür analizlerinde örneğin yeterince yanmamasından kaynaklanabilecek hataların giderilmesini sağlar. Hızlandırıcı ile karıştırılan örneklerin toplam karbon, toplam sülfür bollukları ölçülmüştür.

Örneklerin, organik ve inorganik karbon türleştirmesi ise şöyle yapılmıştır: 0,25 gr örnek, 1:3 HCl: H₂O karışımı ile ıslatılmış ve ardından ısıtıcı tabla üzerinde kurutulmuştur. Bu ıslatma ve kurutma işlemi, örneklerde köpürme görülmeğe kadar devam ettirilmiştir; böylelikle örneklerdeki inorganik karbon giderilmiştir. Kalan malzeme analiz edilerek organik karbon miktarı bulunmuştur. Ardından örneğin toplam karbon (TK) yüzdesinden organik karbon (TOK) yüzdesi çıkarılarak, örneğin inorganik karbon (TİK) yüzdesine ulaşılmıştır;

$$TİK \text{ (\% CaCO}_3\text{)} = \text{Toplam İnorganik Karbon (\%)} \times 8,33 \quad (2.2)$$

Sonuç olarak, Eşitlik 2.2'de verildiği gibi toplam inorganik karbon yüzdesi, 8,33 değeri ile çarpılarak % CaCO₃ cinsinden inorganik karbon miktarı hesaplanır.

Örneklerdeki inorganik karbon miktarının belirlenmesindeki amaç, örneklerin nötrale etme kapasitesini etkileyen CaCO₃ yüzdesinin belirlenmesidir.

Sülfür türleştirmesinde ise, örneğin toplam sülfür varlığı, sülfat sülfür ve sülfid sülfür olarak ayrıştırılır. Sülfat-sülfür bolluğunun bulunması için, 5 gr öğütülmüş örnek üzerine 20 ml 3N HCl eklenerek kaynama noktasına getirilmiş ve hemen ısıtıcı tabla üzerinden alınmıştır. Oda sıcaklığına gelen örnekler kütlesi bilinen plastik bir şişeye aktarılmış, toplam kütle 105 gr olana kadar saf su eklenmiştir. Bu karışım gece boyunca, askıdaki katı maddelerin çökmesi için bekletilmiştir (Şekil 2.6). Daha sonra, şırınga yardımıyla filtrelenerek alınan sıvı örnekler iyon kromatografi cihazı ile analiz edilerek sülfat konsantrasyonu ölçülmüştür. Eşitlik 2.3 ile örneklerin sülfat sülfür (SO₄-S) yüzdesi hesaplanmıştır. Toplam sülfür değerinden sülfat sülfürün çıkarılması ile de sülfid sülfür yüzdesi hesaplanmıştır;

$$\%SO_4 - S = \left(\frac{\left(\frac{\text{mg } SO_4}{L} \times \frac{1L}{1000ml} \times \frac{1}{3} \times \text{hacim}(ml) \right)}{\text{Örnek Kütlesi}(mg)} \right) \times 100 \quad (2.3)$$



Şekil 2.6. Sülfür türleştirmesi çalışmasına ait fotoğraflar

Asit maden drenajı oluşumunu etkileyen en önemli olay, örneklerin bünyesindeki pirit gibi sülfid minerallerin oksidasyonudur. Sahada yapılan örneklemeden kaynaklanabilecek değişkenlik dikkate alındığında, hesaplamalarda güvenli tarafta kalmak için, AP'nin toplam kükürt değeri kullanılarak hesaplanması makul görülebilir. Fakat, örneklerde asiditeye katkıda bulunmayan sülfat minerallerinin (jips vb.) önemli oranda var olması, toplam kükürt kullanılarak hesaplanan AP' nin (MAP) normalden yüksek çıkmasına, hatalı bulguya yol açar. Bu nedenle,

örneklerdeki sülfid minerallerinden kaynaklanan kükürt oranının belirlenmesi, asit üretme potansiyelinin daha doğru hesaplanmasında önem taşır.

2.4.1.3. Nötralizasyon potansiyeli (NP)

Örneklerin nötralizasyon potansiyelinin belirlenmesi, örneklerin HCl ile ısıtılması, böylelikle asit ile nötralizasyon potansiyeli olan minerallerin reaksiyona girmesi temeline dayalıdır. Modifiye Sobek methodu kullanılmıştır (Lawrence ve Wang, 1996).



Şekil 2.7. Köpürme testine ait fotoğraflar

NP tespit edilmesi için gereken bir dizi işlemin ilk aşaması köpürme (fizz) testidir. Köpürme testi, yaklaşık 1 gr öğütülmüş örnek üzerine birkaç damla % 25'lik HCl eklenip örneğin köpürme durumu tespit edilerek yapılmıştır (Şekil 2.7, Tablo 2.2). Üzerine asit damlatılan örneklerin köpürme durumu izlenerek ve dinlenerek köpürme durumu 0-3 arasında derecelendirilmiştir.

Tablo 2.2. Köpürmenin derecelendirilmesi

Köpürme Durumu	Köpürme Derecesi
Yok	0
Az	1
Orta derece	2
Fazla	3

Köpürme testi sonrasında, 2 gr öğütülmüş örnek 250 ml konik flaska konup üzerine 90 ml saf su ve köpürme testi sonucuna göre Tablo 2.3'de belirtilen hacimlerde, 1N HCl eklenmiştir. Örnekler, daha sonra çalkalayıcıya konularak 2 saat sonunda ikinci kez Tablo 2.3'de belirtilen miktarda 1N HCl eklenmiştir. Çalkalayıcıya tekrar konan örnekler 22 saat sonra alınarak pH'ları ölçülmüştür. Eğer pH 2,5'dan yüksekse, hacmi ölçülüp kaydedilerek HCl eklenmiş ve pH 2-2,5 arasına getirilmiştir. 24 saat sonra çalkalayıcıdan alınan örnekler, saf su ile 125 ml'e tamamlanmış, pH ölçülerek

2-2,5 arasında olduğundan emin olunmuştur. Örnekler son olarak 0,1 N yada 0,5 N NaOH ile pH=8,3'e titre edilmiştir (Lawrance ve Wang, 1996). Daha sonra Eşitlik 2.4'e göre örneğin nötralizasyon potansiyeli hesaplanmıştır.

Tablo 2.3. Köpürme durumuna göre eklenen HCl hacimleri

Köpürme Durumu	t=0 için 1N HCl hacmi (ml)	2. saat için 1N HCl hacmi (ml)
Yok	1	1
Az	2	1
Orta derece	2	2
Fazla	3	2

$$NP(\text{kgCaCO}_3/\text{ton}) = \frac{[(N \times \text{HClhacmi}(\text{ml})) - (N \times \text{NaOHhacmi}(\text{ml}))] \times 50}{\text{örnekkütlesi}(\text{gr})} \quad (2.4)$$

Burada N_i: HCl ve NaOH normalitelerini temsil etmektedir.

Yapılan tüm statik testlerin sonuçları değerlendirilirken, örneklerin AP yada NP değerlerini birbirinden bağımsız değerlendirmek yerine, bunların tümünü bir arada ele alan değerlendirmeler yapmak daha anlamlıdır. Bu bağlamda, statik test sonuçları, AP ile NP'yi biraraya getiren, iki değer ile anlamlandırılır.

İlk değer Net Nötralizasyon Potansiyeli (NNP) değeridir (Lotermoser, 2007);

$$NNP (\text{kg CaCO}_3/\text{ton}) = NP - AP$$

NNP < -20 ise örneğin asit üretme potansiyeli yüksektir.

NNP > 20 ise örneğin asit üretme potansiyeli düşüktür.

NNP -20 ile 20 arasında ise asit üretme potansiyeli hakkında karar verilemez.

AMD potansiyel değerlendirmesinde yararlanılacak ikinci değer ise Nötralizasyon Potansiyeli Oranıdır (NPO) (Şekil 2.8) (Price, 1997);

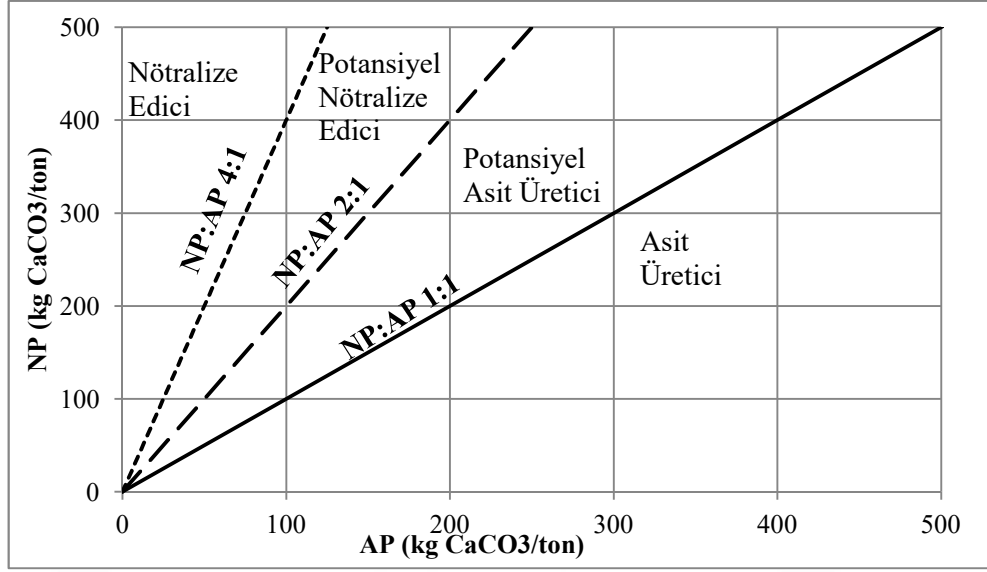
$$NPO = NP/AP$$

NPO < 1 örnek asit üreten karakterdedir.

1 < NPO < 2 örneğin asit üretme potansiyeli vardır.

2 < NPO < 4 örneğin nötralize etme potansiyeli vardır.

NPO > 4 örnek nötralize edici karakterdedir.



Şekil 2.8. Statik test sonuçlarının değerlendirilmesinde kullanılan grafik

2.4.2. Kinetik test (nem hücresi deneyi)

Kinetik testler, doğadaki ayrışma koşullarının, laboratuvar ortamında benzeri oluşturulması esasına dayanan, örneklerin AMD oluşturma potansiyelleri ve kinetikleri; drenaj sularının kalitesi ve bunların zamana bağlı değişimleri hakkında bilgiler edinilen testlerdir. Statik test sonuçlarına göre, asit üretici karakteri olduğuna dair ön bilgi edinilen yada asit üretme potansiyeli hakkında fikir edinilemeyen örneklere nem hücresi testi uygulanmıştır. Statik test sonuçlarına göre AMD oluşturma potansiyeline sahip olmadığına karar verilen mor dasit (K-4) ve yeşil dasit (K-5) örneklerine nem hücresi deneyi yapılmamıştır. AMD oluşturma potansiyeli olduğu belirlenen 12 örnek arasından 8'i, örneklerin mineralojik ve jeokimyasal özellikleri, AMD oluşturma potansiyelleri ve türleri (pasa, yan kayaç, flotasyon malzemesi vb.) dikkate alınarak seçilmiştir (Tablo 2.4).

Nem hücresi testi, ASTM D 5744-07 'Standard Test Method for Laboratory Weathering of Solid Materials Using a Humidity Cell' (ASTM, 2001) yöntemine bağlı kalınarak yürütülmüştür. Çalışma, standarda bağlı kalınarak oluşturulan 10 hücreli düzeneğe başlatılmış fakat hücrelerden bir tanesindeki problem giderilemediği için 9 hücre ile devam edilmek zorunda kalınmıştır. Nem hücresi deney düzeneği, nem hücresi, nemlendirici kolon, kurutucu kolon ve kuru hava dağıtım borusu, ayırma hunisi, toplama kapları, pompa kısımlarından oluşur (Şekil 2.9).

Tablo 2.4. Nem hücresi testi yapılan örnekler

Örnek	Tür	Alındığı Yer
K-1	Cevherli dasit	Çakmakkaya
K-10	Cevherli dasit (Cu tenörü= % 3,5)	Çakmakkaya
K-12	Cevherli dasit	KBİ Eski işletme
K-15	Flotasyon atığı	Kuvarshan
K-16	Mekan kaya yığı	Kuvarshan
K-17	Pasa	Kuvarshan
K-18	Dekapaj	Murgul
K-19	Cevherli dasit	Çarkbaşı
SD-34	Flotasyon çamuru	Atık Barajı

Nem hücresi: Her biri 10 cm çapında ve 20 cm uzunluğunda, üst kısımlarında su verilmesi için, alt kısımlarında su alınması için, alt yanlarında ise kuru ve nemli hava girişi için delikler bulunur. Her nem hücresinde, tabandan 2,5 cm yukarıda duran, suyun süzülmesine imkan veren ama katı örneğin kaybını engelleyen delikli pleksiglas diskler bulunmaktadır. Bu disklerin üzerinde örneklerin süzülerek alınmasına olanak sağlayan 25 mikron gözenek çaplı polipropilen filtre yer almaktadır.

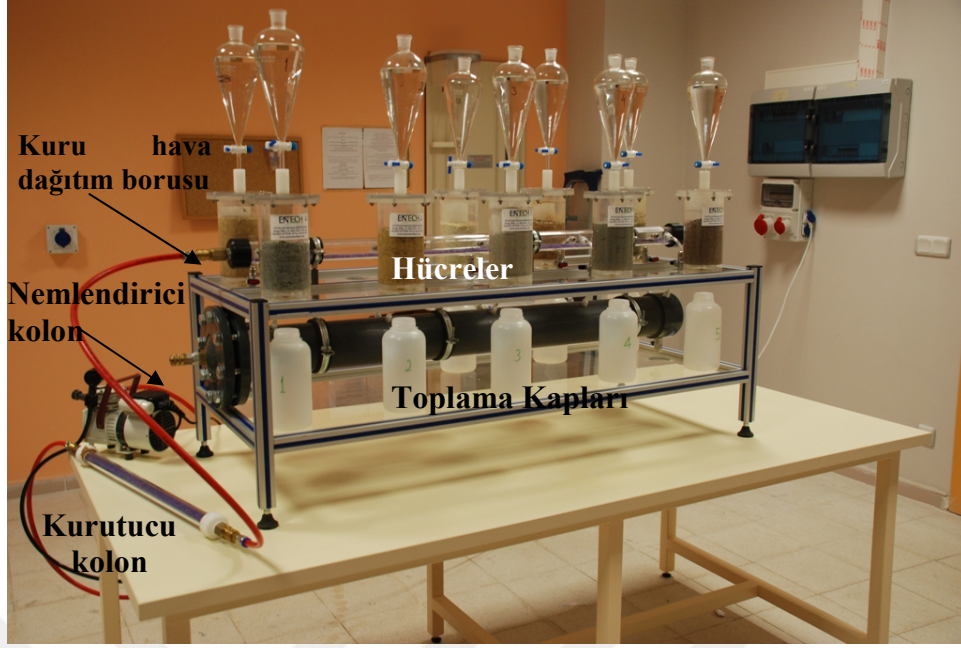
Nemlendirici kolon: 12 cm çaplı ve 130 cm uzunlukta PVC'den yapılmış, içi yarısına kadar su ile dolu bir kolondur. Bu kolonun içinde, üzerinde delikler bulunan bir diğer ince borucuk bulunmaktadır. Pompa ile nemlendirici kolana verilen hava, su içerisindeki delikli borucuktan geçerek, neme doymun hale gelir ve buradan polietilen hortumlar ile eşit oranlarda nem hücrelerine aktarılır.

Kurutucu kolon ve kuru hava dağıtım borusu: Kuru hava döngüsünde, hava öncelikle içi silika jel ile dolu kurutucu kolondan geçirilerek nemi alınır ve sonrasında kuru hava dağıtım borusu (130 cm uzunluk x 5 cm çap) kanalıyla nem hücrelerine gider.

Ayırma hunisi: Her döngü sonunda yapılan yıkama işleminde saf su, hücrelere kontrollü biçimde, camdan yapılmış ayırma hunileri ile verilir.

Toplama kapları: Her döngü sonunda yapılan yıkama işlemiyle oluşan süzüntü alındığı plastik kaplardır.

Pompa: Kuru hava ve nemli hava döngüleri boyunca kesintisiz olarak çalışan, 1-10 l/dk hava gönderme kapasitesi olan pompa.



Şekil 2.9. Nem hücresi düzeneğinin genel görüntüsü

Nem hücresi testinde, örnekler 0,65 mm'lik elekten geçirilmiş, oda sıcaklığında kurutulmuş ve nem hücrelerine yaklaşık 1000 gr olarak eklenmiştir. Doldurma işleminin ardından, örneklerde kolaylıkla çözünebilir ayrışma ürünlerini alabilmek için, örneklerle ilk olarak yıkama yapılmıştır. Her bir nem hücresine 500 ml ultra saf su, ayırma hunileriyle verilmiş, 2 saat sonra su toplama kanalları açılarak süzüntü suları toplanmıştır (Şekil 2.10). Alınan ilk süzüntü suları, '0. döngü' olarak tanımlanmıştır. İlk olarak yapılan yıkama işleminin ardından kuru hava döngüsüne başlanmıştır. 3 günlük kuru hava döngüsünde, pompadan çıkan hava önce silika jel ile dolu kurutucu kolondan geçirilip ardından, kuru hava dağıtım borusu ile kolonlara verilmiştir. Kuru döngüsünün ardından yine 3 gün süren nemli hava başlatılmıştır. Nemli hava döngüsünde, pompadan çıkan hava önce içi su dolu nemlendirici kolondan geçirilip daha sonra hücrelere dağıtılmıştır. Her bir döngü sonunda nem hücreleri tartılarak örnek kütlelerindeki değişim izlenmiştir. Her nemli döngü sonunda da, yıkama işlemi tekrar edilmiştir. Bu şekilde, 3 gün kuru hava, 3 gün nemli hava verilmesi ve ardından yıkama işlemi yapılan her döngü bir haftalık süreci kapsamaktadır. Yıkama işlemi sonucu alınan süzüntü suları, tartılmış, pH, EC ve ORP ölçümleri yapılmış, alkalinite/asidite tayinleri yapılmış, 0,45 µm gözenek çaplı tek kullanımlık selüloz asetat şırınga filtreden geçirilmiştir. Filtrelenen suların bir kısmı metal analizleri için, suprapur nitrik asit eklenerek; bir kısmı da anyon analizleri için asit eklenmeden 4°C'de buzdolabında saklanmıştır.



Şekil 2.10. Nem hücresi testinde, yıkama işleminde verilen ultra saf suların toplanması

2.5. Jeokimyasal Modelleme Çalışmaları

Jeokimyasal modelleme çalışmalarının ana amacı, laboratuvar ve arazi çalışmalarında elde edilen sonuçları birlikte değerlendirerek, maden sahalarında AMD drenaj suların kimyasını kontrol eden prosesleri belirlemek, hangi minerallerin çözünmesi, çökmesi ya da oksidasyonunun AMD oluşumunu hızlandırdığını ya da yavaşlattığını tahmin etmektir. Modelleme çalışmalarında The Geochemist's Workbench (GWB) (URL-10) programı kullanılmıştır. Modelleme çalışmalarında drenaj su kimyaları ve atıkların mineralojik bileşimi, ana girdileri oluşturmaktadır. Jeokimyasal modelleme çalışmasında, nem hücresi deneyine tabi tutan örneklerin Eh-pH stabilite diyagramları, AMD oluşumu kontrol eden ana reaksiyonların ürünlerinin zaman içerisinde değişimi, drenaj kimyasına şekil veren mineral çözünme ve çökme süreçlerinin test sürecinde nasıl geliştiği, mineral doygunluk indislerinin hesaplanmasıyla ortaya konulmuştur.

3. BULGULAR

3.1. Mineralojik Özellikler

Saha çalışmalarında, kayaç ve cevher örnekleri, sediment-çökel örnekleri ve toprak örnekleri alınmıştır. Tüm bu örneklerin mineralojik bileşenlerinin neler olduğu, bulunuş şekilleri ve bollukları; çevresel öneme sahip elementlerin bollukları mineralojik incelemelerle ortaya koyulmuştur. Bu amaçla, örneklerde XRD ve XRF analizleri; mikroskop incelemeleri yapılmıştır.

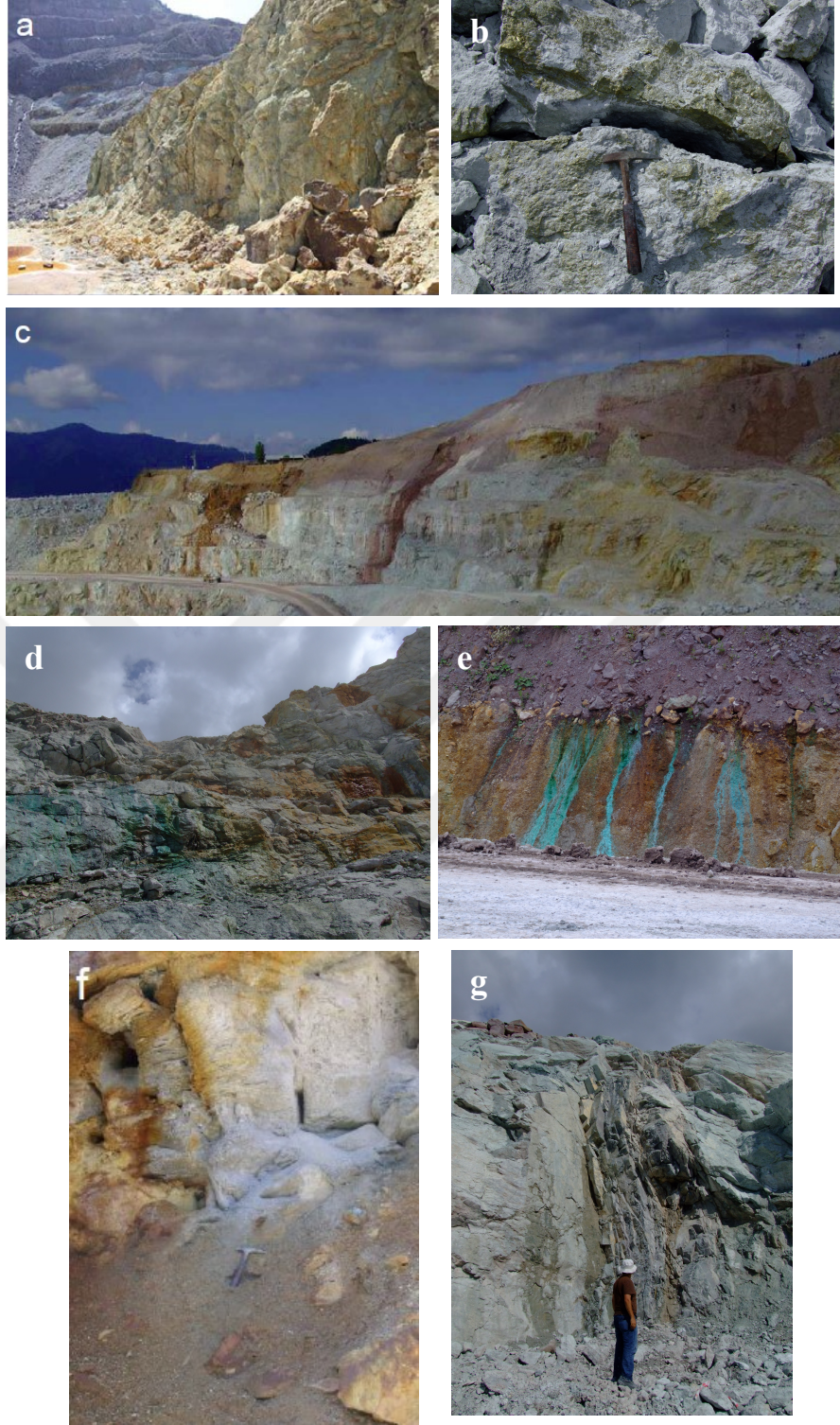
Mikroskop çalışmaları, polarize mikroskopta kayaç örneklerinden hazırlanan ince kesitler üzerinde yapılan petrografik incelemeler; cevher ve sediment örneklerinden hazırlanan parlak kesitler üzerinde yapılan cevher mikroskobu incelemelerini kapsamaktadır.

3.1.1. Petrografik incelemeler

3.1.1.1. Cevherli dasitler

Çalışma sahalarındaki cevherli dasitler, cevher oluşumlarını barındıran (host-rock), oldukça bozuşmuş ve pirit saçınımları içeren ve sahalarda en yaygın görülen kayaçlardır (Şekil 3.1a,b). Cevherli dasitler diyabaz daykları tarafından kesilmektedir (Şekil 3.1g) ve kalınlığı yer yer 30-40 metreyi bulan dasitik tüf ile örtülmüştür. Dasitik tüflerin üzerinde, bol çatlaklı, sütunsu soğuma çatlakları gösteren mor-yeşil dasitler yer almaktadır. Dasitik kayaçların en üstünde ise, kırmızı renkli kireçtaşları bulunmaktadır.

Killeşme sahadaki en yaygın alterasyon türü olmakla beraber, cevher oluşumlarına olan yakınlıklarına göre, silisleşme ve serisitleşme, yer yer de hematitleşme ve malakitleşme gözlemlenmektedir (Şekil 3.1 c,d,e).

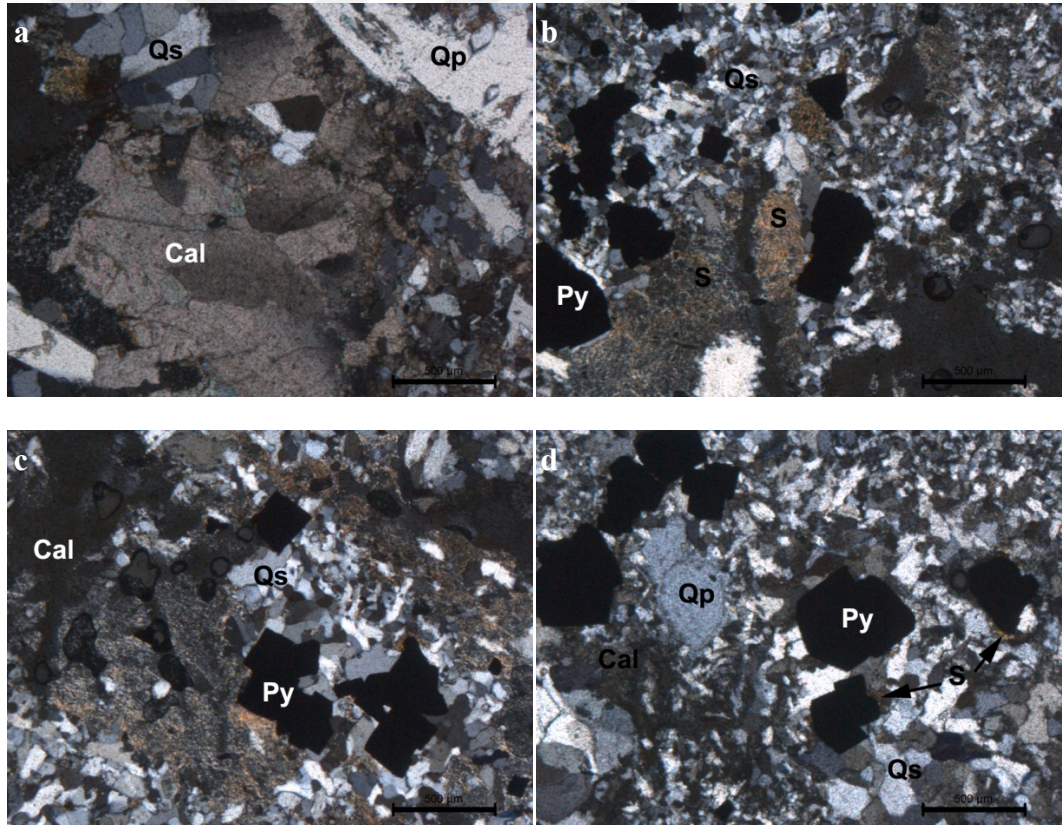


Şekil 3.1a- Damar sahasında, K bakış yönünde, açık renkli, ileri silisifiye cevherli dasitler ve b- Piritli cevherli dasit c,d ve e- Maden sahasında cevherli dasitlerde gözlenen alterasyonlar f- Dasitik tüf g- Damar sahasında cevherli dasiti kesen diyabaz daykısı

Çakmakkaya sahasından alınan, K-1 cevherli dasit örneğinde silisleşme sonucu oluşan ikincil kuvarslar (Qs), birincil kuvarslar (Qp) ve boyutları birkaç mm'ye varan

disemine piritler (Py) (Şekil 3.2) (bir kaç mm'ye varan boyutlarda), oldukça karbonatlaşmış (Cal) ve serisitleşmiş (S) plajiyoklazlar (Plg) tespit edilmiştir (Şekil 29). Kuvarlar 0,2-0,5 mm, kalsitler 0,3-0,4 mm aralığında değişen boyutlarda gözlenmiştir. İkincil kuvarların çoğu ince kristalli, boyuna uzun, subtomorf ve ksenomorf olarak bulunurken, az bir kısmı otomorfudur. Kalsitler daha çok intergranüler boşlukları doldurmaktadır. Hamur maddesi, oldukça altere ve çoğu yerde ikincil mineraller olan kuvars, kalsit ve serisitle maskelenmiştir.

İkincil kalsit ve kuvarlar, pirit saçınımları yaygın izlenmekte ve serisitleşme sonucu plajiyoklazların tamamen yok olduğu gözlenmektedir (Şekil 3.2). Kayaçta birincil doku adlandırılması yoğun alterasyonu nedeniyle yapılamamış; bu yüzden makroskobik gözleme dayanarak “cevherli dasit” olarak adlandırılmıştır.



Şekil 3.2. Çakmakkaya sahasından alınan cevherli dasit (K-1) örneğine ait fotomikrograf kolajı

3.1.1.2. Yeşil ve mor dasitler

Yeşil dasitler, cevherli dasitleri keserek çıkan ve mor dasitlerle geçişli olan, daha genç ve daha az altere kayaçlardır (Şekil 3.3, Şekil 3.4). Murgul Sahası'nda yaygın

izlenirken, Kuvarshan sahasında gözlenmemiştir. Yeşil dasitlerin tipik özellikleri, açık yeşil renkli, son derece sağlam, konkoyidal keskin kırılma yüzeyleridir (Şekil 3.3).

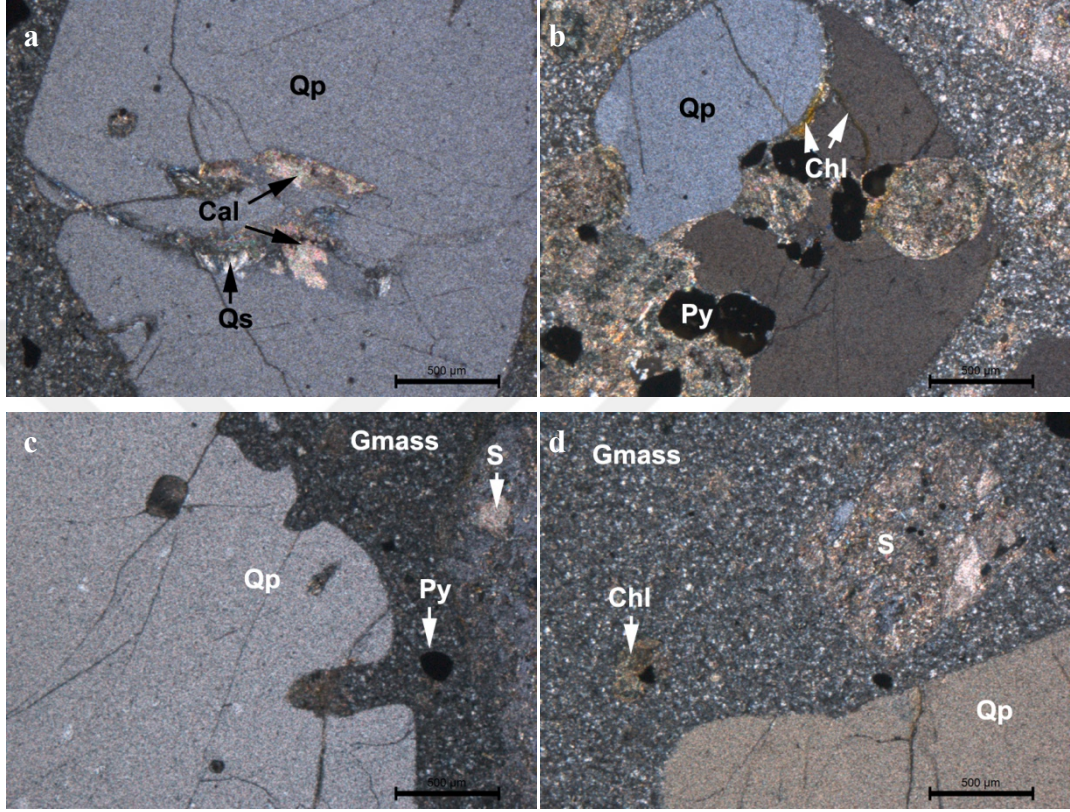


Şekil 3.3. Yeşil dasitlerin mor dasitlerle geçişli bulunmaları

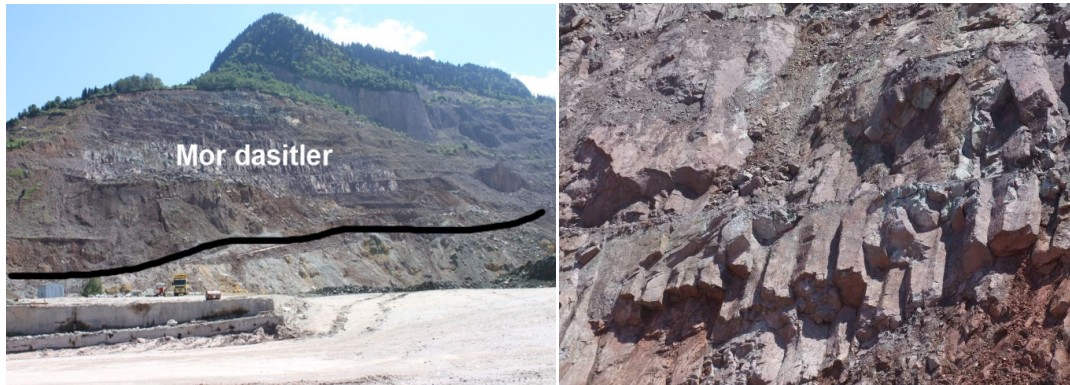
Yeşil dasit örneğinin ince kesit incelemesi sonucunda, birincil ve ikincil kuvarsların, hem fenokristal olarak hem de hamur malzemesi (Gmass) içinde buldukları görülmüştür. Modal bollukları ~%30 civarında olan kuvarslar, çatlaklıdır ve magmatik korozyon izleri taşımaktadırlar (Şekil 3.4c). Plajiyoklazlar (~%35-40), kalsiyumca zengin olduklarının bir göstergesi olarak, epidotlaşma ve karbonatlaşma izler taşımakta, serisitleşme de izlenmektedir. Plajiyoklazlar dış şekillerini kısmen muhafaza etmişlerdir. Amfiboller (~%2-3) neredeyse tamamen klorite (Chl) dönüşmüştür. Az miktarda (~%1) ince kristaller halinde biyotitler gözlenmiştir. Opak mineral (pirit) ~%4-5 civarında değişen boyutlarda bulunmaktadır. Kayaç altere dasit ve mikrodokusu hiyaloporfirik (Şekil 3.4a-d) olarak tanımlanmıştır.

Mor dasitler de tıpkı yeşil dasitler gibi, Murgul Sahası'nda yaygın izlenirken, Kuvarshan sahasında oldukça az gözlenmişlerdir. Cevherli dasitleri keserek çıkan ve yeşil dasitlerle geçişli olan, daha genç ve nispeten az altere kayaçlardır (Şekil 3.5). Mor dasitler, soluk mor renkli, son derece sağlam ve keskin kenarlar oluşturarak kırılan özelliktedir. Soğuma çatlakları gösterir (Şekil 3.5). Mor dasitler, porfirik dokulu, iri kristalli kuvars (~%25-30) ve plajiyoklazlardan (~%35-40) oluşmaktadır. İri kristaller (~2-4 mm) ile ince kristaller (0,2 -0,5 mm) bir arada bulunmaktadır. Kuvarsların bir kısmı elipsoyidal (taşınma nedeniyle) şekillidir, kenarları boyunca magmatik korozyon belirtisi göstermektedir. Plajiyoklazlar, dış şekillerini muhafaza etmelerine karşın, oldukça serisitleşmiş ve karbonatlaşmış olarak bulunurlar (Şekil 3.6). Bazı amfiboller (Amp) (~%5-6) bozuşma sonucu opak mineral kapanımları

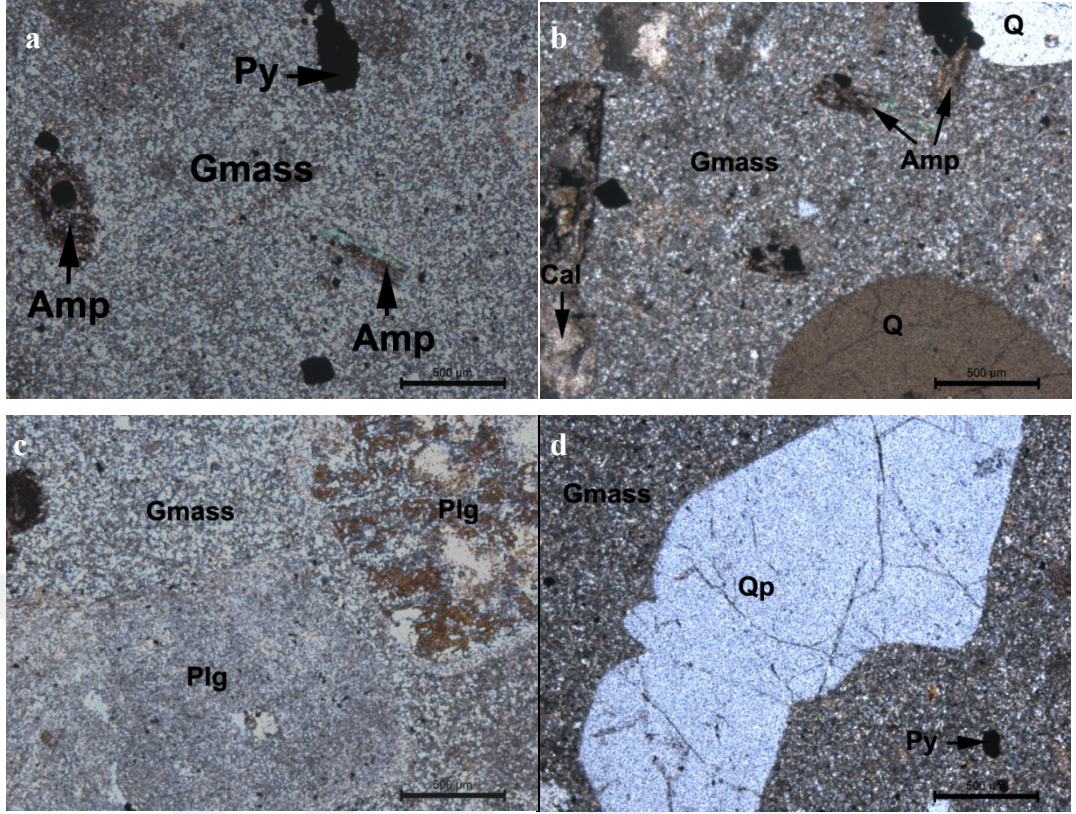
içermektedirler. Matriks içerisinde otomorf ve subtomorf opak mineraller (~%7-8) (muhtemelen pirit) bulunmaktadır (Şekil 3.6). Bunların bir kısmı oldukça küçük kristal saçınımları halinde bulunmaktadır. Kayaç, hyaloporfirik dokulu dasit, olarak adlandırılmıştır.



Şekil 3.4. Çakmakkaya sahasından alınan yeşil dasit (K-2) örneğine ait fotomikrograf kolajı



Şekil 3.5. Mor dasitlerin Murgul-Çakmakkaya sahasındaki K bakış yönündeki görünümleri



Şekil 3.6. Çakmak kaya sahasından alınan mor dasit (K-4) örneğine ait fotomikrograf kolajı

3.1.2. Cevher mikroskobu incelemeleri

Cevher, kayaç ve sediment örneklerinden hazırlanan parlak kesitler üzerinde cevher mikroskobu incelemeleri yapılmıştır. Bu çalışmaların amacı, çalışılan malzemede metalik mineralleri nitelik ve nicelik olarak belirlemek, oksidasyon derecelerini ve dokusal özelliklerini tespit etmektir.

3.1.2.1. Cevher örnekleri

Murgul Sahası'ndaki 3 yataktan alınan örnekler birbirine benzer özelliktedir. Kaya örneklemelerinin yapıldığı 2011-Ağustos döneminde, üç yataktan iki tanesi (Damar ve Çakmak kaya) işletilmekte olan Murgul Sahası'nda, masif ve oksitli kısımlar alınmış ve yaklaşık -1100 metre kotunda, ağsal zonlarda (Şekil 3.7), porfiri değerlerde (% 0,5 - %1,5 Cu) işletme yapılmaktaydı. Sahada yerel olarak zengin damarlara rastlanmakla birlikte, cevherleşme genel olarak damarcıklar ve saçınım şeklinde bulunmaktadır.



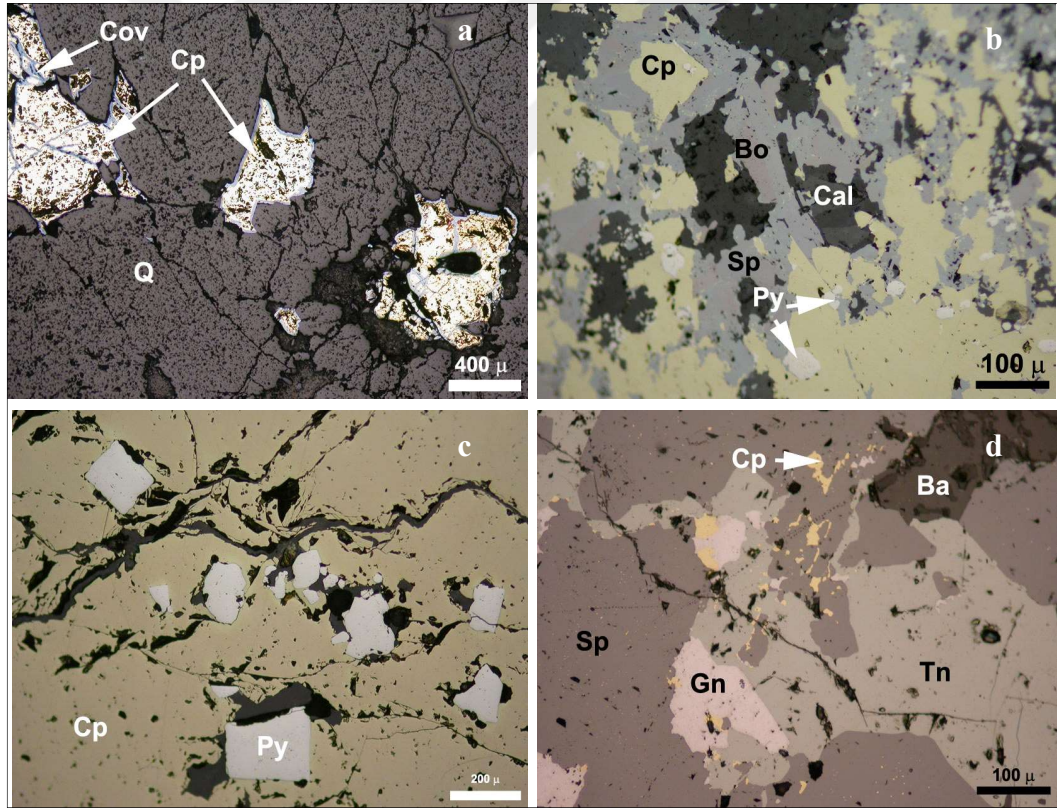
Şekil 3.7. Damar (Murgul) Sahası'ndaki ağsal yapılar örnek

Murgul Sahası örnekleri üzerinde yapılan, cevher mikroskobu incelemeleri sonucunda, mm'ye varan boyutlarda pirit, kalkopirit, kalkosit, kovellin; genel olarak ince kristalli olmakla birlikte, yerel olarak masif yapıda da olabilen, bornit, tetraedrit-tenantit tespit edilmiştir (Şekil 3.8a-c). Gang mineralojisi esas olarak kuvars ile temsil edilmekle birlikte, yerel ve çok nadir olarak, kalsit, dolomit, barit ve jips mevcuttur. Arjilik ve serisitik alterasyon sonucu olarak XRD ile tespit edilen kaolinit ve muskovitin türleri de bulunmaktadır.

Murgul Sahası'ndan alınan cevher örneklerinde, kalkopirit dışındaki minerallerde, bozuşma belirtileri gözlenmemiştir. Masif zonlarda ornatım dokuları hakimken, ağsal zonlarda saçınım, damar-damarcık dokuları yaygındır. Cevher mineralleri çoğunlukla ince-kristallidir. Kuvarshan sahasından alınan örneklerde yapılan cevher mikroskobu çalışmalarında, ana cevher mineralinin pirit olduğu görülmüştür; kalkopirite ise nadiren rastlanmıştır. Piritlerin birkaç mikrondan birkaç milimetreye değişen boyutlarda olduğu ve oksitlenmedikleri izlenmiştir. Çalışma döneminde alınan örneklerin yanısıra, sahanının işletildiği dönemlerde (1940'lı yıllar) alınmış bir örnek de incelenmiş, sülfür minerallerinin kalkopirit, sfalerit, bornit ve piritten oluştuğu, gang minerallerinin ise kalsit, barit ve kuvars olduğu sonucuna varılmıştır (Şekil 3.8d; Tablo 3.1). Örneklerde tespit edilen, ornatım dokulu, ince kristalli yapı bölgedeki diğer VMS yataklarıyla oldukça benzerdir.

Tablo 3.1. Murgul-Damar, Çarkbaşı, Çakmakkaya ve Kuvarshan sahalarından alınan cevher örneklerinde tespit edilen cevher ve gang mineralleri (M: Majör; m: Minör; E: Eser)

Mineral	Damar	Çakmakkaya	Çarkbaşı	Kuvarshan
Pirit (Py)	M	M	M	M
Kalkopirit (Cp)	M	M	m	M
Bornit (Bo)	m	E		
Sfelarit (Sp)	m	E		M
Fahlerz (Tn-Tt)	m			
Galen (Gn)	E			
Kalkosit (Cc)	m	M	m	
Kovellin (Cov)	m	M	m	
Kuars (Q)	M	M	M	M
Jips (Gp)	m			
Barit (Ba)	m			
Kalsit (Ca)	m	M	m	



Şekil 3.8. Proje sahalarında bulunan cevher yataklarından alınan örneklerde gözlenen tipik cevher mineralleri ve cevher dokuları (a- Murgul-Çakmakkaya, b- Kuvarshan, c,d- Murgul-Damar)

3.1.2.2. Kayaç örnekleri

Murgul ve Kuvarshan Sahaları'ndan alınan örneklerin 8 tanesinden parlak kesitler hazırlanarak, incelemeleri yapılmış ve sülfür minerallerinin bolluk, tane boyu ve oksidasyon durumları incelenmiştir. Sonuçlar, Tablo 3.2 ve Şekil 3.9-3.12'de sunulmuştur.

Kayaçlar oldukça alteredir ve boşluklu yapıdadırlar. Piritlerin bir kısmı, oksidasyona uğrayarak, götit (Goe), hematit (Hem) ve limonit (Lim)'e dönüşmüşken, özellikle kuvars içinde saçınım halinde olan bazı piritler ise, alterasyondan etkilenmedikleri için, birincil yapılarını korumuşlardır (Şekil 3.9d). Bazı piritlerde, çözünme sonucu oluşan boşluklu bir yapı gelişmiştir, bu en net K-19 (Çarkbaşı cevherli dasit) örneğinde görülmüştür (Şekil 3.9b). K-19 minör oranda pirit, eser oranda kalkopirit ve sfalerit içermektedir.

Kayaç örneklerinde ana sülfid minerali pirittir; kalkopirit ve sfalerit nadir görülürken, galene hiç rastlanılmamıştır. Piritler, çoğunlukla saçınımlı (eş zamanlı oluşum modu) yapıdadır; nadiren kümelenmeler, damarcık, damar ve intergranüler boşluk dolgusu (özellikle kalkopirit) şekillerinde gözlenmektedir (Şekil 3.9). Piritlerin kristal boyu değişken olup, 1-2 μ 'dan bir kaç mm'ye değişen boyutlar ölçülmüştür. Serbest halde bulunan piritlerin bazılarında oksidasyona ve dolayısıyla çözünme boşluklarına rastlanmıştır; kapanlanmış piritler daha tazedir.

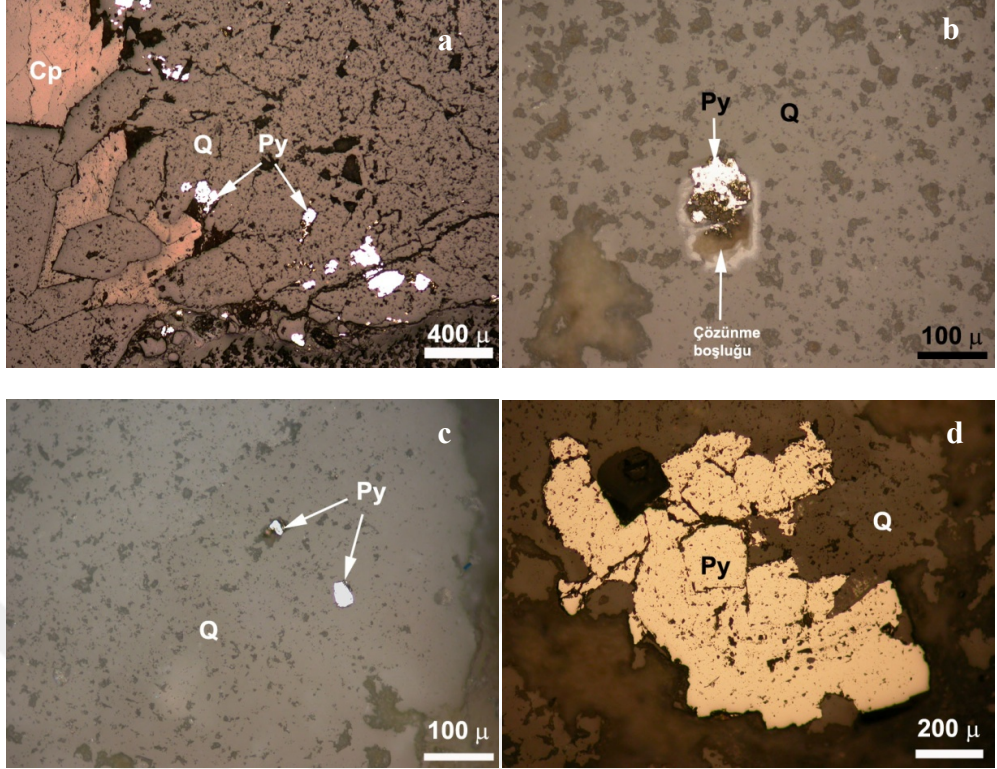
K-10 (Çakmakkaya-cevherli dasit) örneğinde ana sülfid minerali pirittir, az miktarda kalkopirit bulunur (Şekil 3.10a,b). Sülfid minerallerinde bozuşma belirtisi azdır ve kristaller çoğunlukla öz şekillidir ve yarı özşekillidir (Şekil 3.10b). K-6 (Damar) örneğinde bozuşma belirtisi görülmemiştir. Hem saçınımlı hem de kümelenmiş halde majör oranda pirit, minör oranda sfalerit ve kalkopirit vardır (Şekil 3.10c).

Alterasyon düzeyi yüksek olan K-12 örneğinde, silisik ve arjilik (killeşmiş) altere matriks içinde kuvars (Q) ile birlikte çok az sayıda saçınımlı pirit (Py) ve bu piritlerde çözünme boşlukları gözlenmiştir (Şekil 3.11). Pirite benzer olarak minör-eser düzeyde götit vardır (Tablo 3.2).

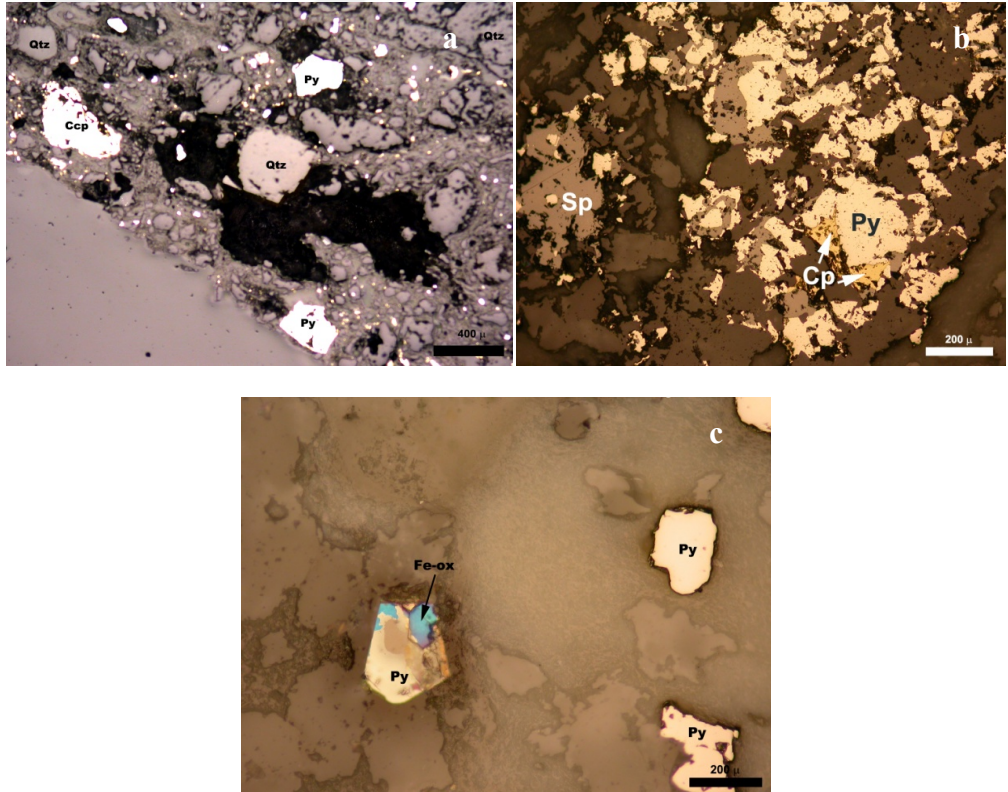
Kuvarshan'dan alınan K-15 örneğinde, majör miktarda bulunan piritler 1-2 mikrondan birkaç milimetreye kadar değişen boyutlardadır ve çoğunlukla bozuşmamıştır (Tablo 3.2). Eser miktarda kalkosit mevcuttur (Şekil 3.12b). K-17 örneğinde, ana sülfid minerali pirittir, eser düzeyde sfalerit, minör düzeyde hematit ve magnetit vardır; magnetitlerin bazıları kısmen veya tamamen hematitlemiştir (Tablo 3.2, Şekil 3.12c,d). Kuvarshan örnekleri içinde piriti ve götiti minör oranda içeren tek örnek, yüksek alterasyon oranı olan, K-16 örneğidir (Şekil 3.9c).

Tablo 3.2. Murgul-Damar, Çarkbaşı, Çakmakkaya ve Kuvarshan sahalarından alınan kayaç örneklerinde, parlak kesit incelemeleriyle tespit edilen metalik mineraller (M: Majör; m: Minör; E: Eser; Y: Yüksek; O: Orta; D: Düşük)

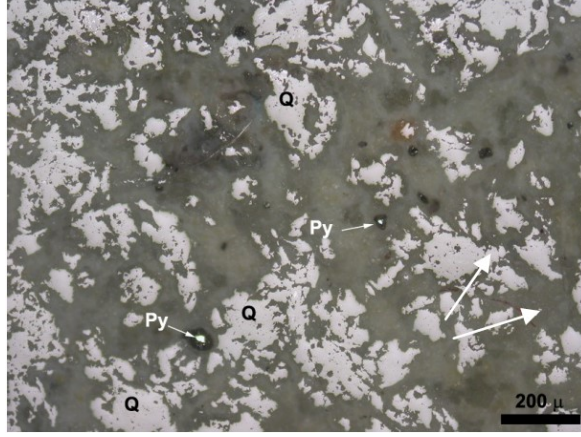
	K-6	K-10	K-11	K-12	K-15	K-16	K-17	K-19
Pirit	M	M	M	m-E	M	m	M	M
Kalkopirit	m	m	m					E
Kalkosit					E			
Sfalerit	m	m	E				E	E
Fahlerz		m						
Hematit							m	
Magnetit							m	
Götüt		E		m-E		m		
Limonit		E						
Oksidasyon	D	D	O	O	D	Y	O	D
Alterasyon	O	O	O	Y	Y	Y	O	O
Sülfür min. tane boyu	5 μ - 1 mm	5 μ - 100 μ	5 μ - 300 μ	1-40 μ	1-2 μ - 2mm	2 - 100 μ	10- 500 μ	10 μ - 2 mm



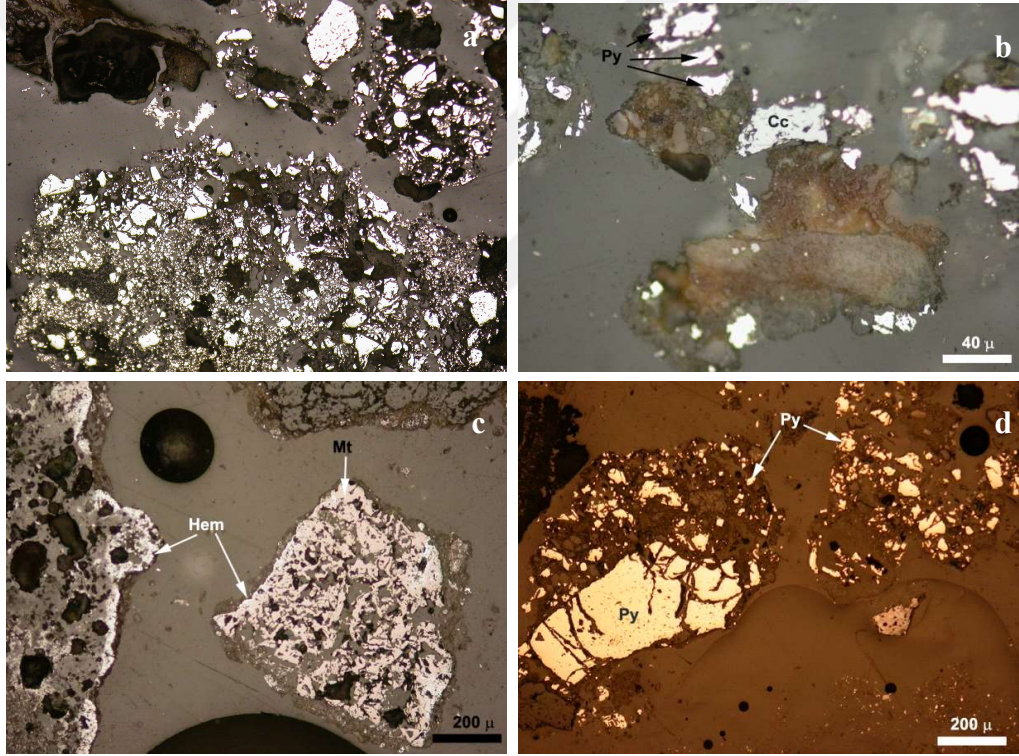
Şekil 3.9. Kayaç örneklerinde sülfür minerallerinin bulunuş şekilleri. (a,b- K-11, c- K-16, d- K-19)



Şekil 3.10. a,b- Murgul Çakmakkaya (K-10) ve c- Damar (K-6) cevherli dasit örneklerinin parlak kesit fotomikrografları



Şekil 3.11. Eski işletme Cevherli dasit pasa örneğine (K-12) ait parlak kesit fotomikrografları



Şekil 3.12. Kuvarshan flotasyon atığı (a,b- K-15) ve pasa (c,d- K-17) örneklerinin parlak kesit fotomikrografları

3.1.2.3. Sediment örnekleri

Sediment örneklerinden yapılan parlak kesitlerde rastlanılan metalik mineraller ve bazı seçilmiş özellikleri Tablo 3.3 ve Tablo 3.4’de özetlenmiştir. Metalik minerallerin yaygın bulunuş şekilleri Şekil 3.13a-e’de gösterilmektedir.

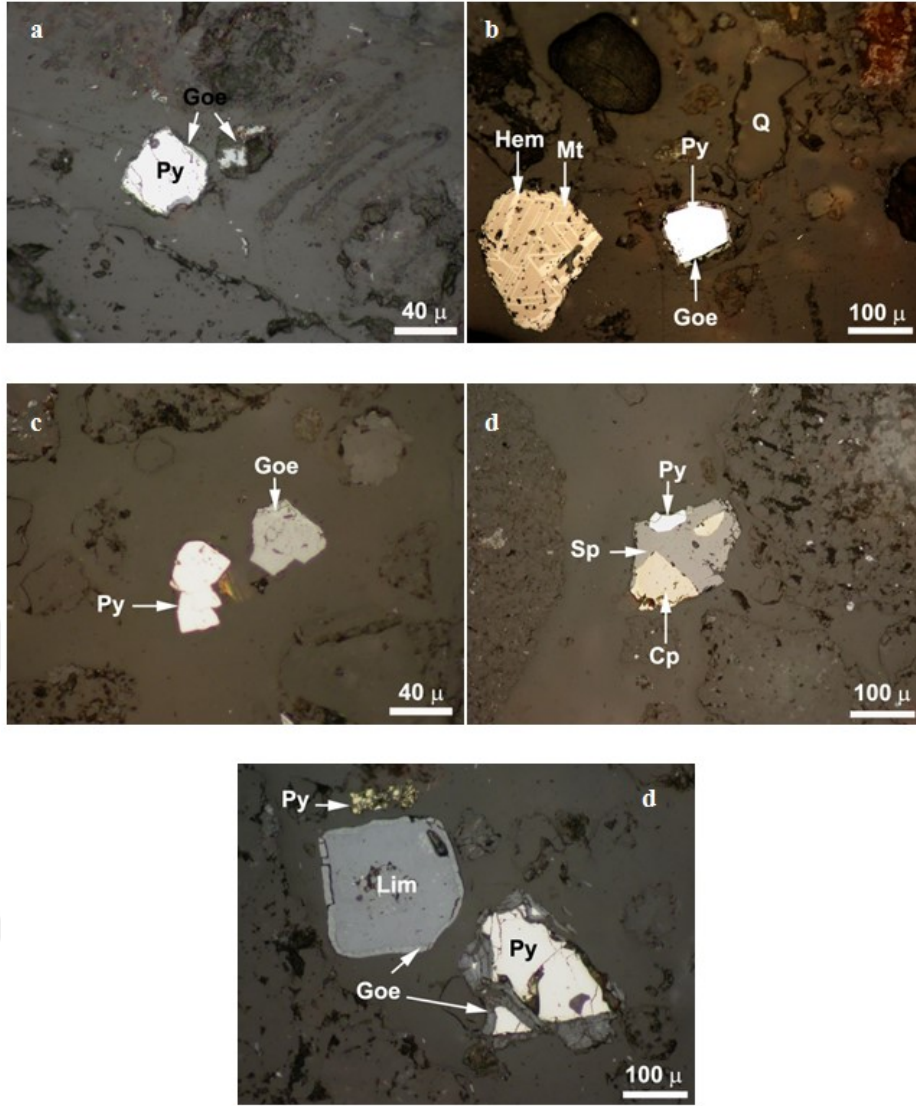
Sediment parlak kesitlerinde rastlanılan yaygın sülfür minerali pirittir, nadir olarak kalkopirit ve sfalerit gözlenmektedir (Şekil 3.13d). Oksit olarak en yaygın magnetit ve hematit, daha az miktarlarda götit ve limonite, özellikle pirit'in oksitlenme ürünü olarak, rastlanmaktadır (Şekil 3.13b). Kapanlanmış tanelerin daha az altere olduğu, serbest tanelerin daha kısmenden tamamene değişen derecelerde bozduğu gözlenmiştir (Şekil 3.13e). Piritlerin farklı derecelerde bozuma derecelerine sahip olmaları, tanelerin örneklendiği alanlarda farklı dönemlerde çökelmelerinin sonucu olarak yorumlanmıştır. Taneler yaygın olarak köşeli şekildedir (Şekil 3.13c-d).

Tablo 3.3. Sediment örneklerinde tespit edilen metalik mineraller (Mmm bolluk: Metalik mineral modal bolluk; M: Majör; m: Minör; E: Eser; Y: Yüksek; O: Orta; D: Düşük)

Mmm bolluk (%)	SD-3	SD-7	SD-8	SD-9	SD-10	SD-11	SD-12	SD-13
	1-2	<1	5-6	<1	5	4-5		<1
Pirit	m	M	M	m	M	M	M	m
Kalkopirit		E	m	E		m		E
Sfalerit		E	m	E			E	
Hematit	E	E	m	m	E	E	m	m
Magnetit		M	m	m			m	m
Götit	E	E		E	E	E		
Limonit	E	E		E	E	E		
Oksidasyon	O-Y	D	D	O	O-Y	O	O	O-Y
Sülfür min. tane boyu	5 μ -2mm	20 μ -100 μ	10 μ -300 μ	10 μ -250 μ	20 μ -250 μ	2-100 μ	10-500 μ	10 μ -100 μ

Tablo 3.4. Sediment örneklerinde tespit edilen metalik mineraller (Mmm bolluk: Metalik mineral modal bolluk; M: Majör; m: Minör; E: Eser; Y: Yüksek; O: Orta; D: Düşük)

Mmm bolluk (%)	SD-14	SD-16	SD-17	SD-26	SD-27	SD-29	SD-32	SD-33	SD-34
	<1	5	2-3	<1	40-50	~30	<1	1-2	10-15
Pirit	m	M	M	m	M	M	M	M	M
Kalkopirit	E	E				E			E
Sfalerit	E	E	m		E			E	E
Hematit				E				m	
Magnetit		E		E				m	
Götit		E	E	E					
Limonit		E	E	E					
Oksidasyon		Y	D	O-Y	D	D	D	O-Y	D
Sülfür min. tane boyu	10 μ -100 μ	5 μ -2mm	10 μ -100 μ	20 μ -200 μ	1-40 μ	10 μ -100 mm	2-50 μ	10-500 μ	10-100 μ



Şekil 3.13. Sediment örneklerinde sülfürlü minerallerin bulunuş şekillerini gösteren parlak kesit fotomikrografları (a- SD-11, b- SD-33, c,e- SD-9)

3.1.3. XRD analizleri

3.1.3.1. Kayaç örnekleri

Proje sahalarından alınan kayaç örneklerinin 12'si üzerinde XRD ölçümleri yapılmış, sonuçlar tablolar ve difraktogramlar halinde sunulmuştur (Tablo 3.5, Tablo 3.6 , Ek-E). Tablo 3.5 ve Tablo 3.6'dan görüldüğü gibi, kayaçların silisleşme-kaolinleşme-serisitleşmelerinin bir sonucu olarak kuvars, kaolinit ve muskovit tüm kayaçlarda en yaygın minerallerdir. Kayaçlarda saçınımlı pirit ve pirit'in bozuşma ürünleri değişen miktarlarda bulunmaktadır.

Tablo 3.5. Cevherli dasitlere ait XRD pik çözümlenmeleri ile tespit edilen mineraller (M: majör, m: minör)

Mineral	K-1	K-10	K-11	K-6	K-12	K-19
Kuvars	M	M	M	M	M	M
Kalsit	M	m	M	m	M	
Feldispat						m
Kaolinit	m	M	m	M	M	m
Klinoklor			m			
Muskovit	m	m	m	m	M	m
Hematit				M		
Jips	M		m	M	M	M
Pirit	M	m	m	m	M	M
Jarosit					M	
Alunit	m			M		M
Kalkopirit	m	M		M	m	m

Tablo 3.6. Kaya örneklerinde XRD pik çözümlenmeleri ile tespit edilen mineraller (M: majör, m: minör)

Mineral	K-15 Kuarshan Flotasyon Atığı	K-16 Kuarshan Mekan kaya	K-17 Kuarshan Pasa	K-18 Murgul Dekapaj	K-4 Çakmakkaya Mor Dasit	K-5 Çakmakkaya Yeşil Dasit
Kuvars	m	M	M	M	M	M
Kalsit	M			M		M
Feldispat				m	m	M
Kaolinit	m	m	M	m		M
Klinoklor				m		
Muskovit	m	M	m	m	m	M
Hematit			M			M
Jips	m	m	M			
Pirit	m	m	M	M	M	
Jarosit	M	m	M			
Dolomit		m		m	m	M
Tridimit	m					
İlit-Mont.	m		M			
Siderotil	m					
Stilpnomelan		m				

3.1.3.2. Sediment örnekleri

Proje sahalarından beslenen, bunları kat eden derelerden ve dere kavşaklarından sediment örnekleri alınmıştır. Bunlarda X-ışını kırınım analizleriyle tespit edilen mineraller Tablo 3.7-3.9 ve Ek-E'de sunulmuştur. Sedimentlerde, genel olarak, metalik faz olarak pirit ve piritin bozuşması sonucu oluşan Fe-oksitler; buna ilaveten kuvars, kalsit, feldispat, jips ve fillosilikat mineralleri yaygın olarak bulunmaktadır.

Damar Deresi yankolundan alınan örneklerin çok büyük oranda benzerlik gösterdikleri, götit, jips, jarosit gibi AMD ürünleri içerdikleri görülmüştür. Damar Deresi'nin kontrol kesiminden alınan SD-10 örneği ile, maden atıklarıyla kirlenmiş

alandan alınan SD-11 örneği arasında da mineralojik olarak benzerlik yüksektir, bu da maden kaynaklı kirlenmenin sınırlı kaldığını destekleyen bir veridir.

Tablo 3.7. Damar Deresi'nden alınan sedimentlerde XRD pik çözümlenmeleri ile tespit edilen mineraller(M: majör, m: minör)

Mineral	SD-10 Anakol	SD-9 Yankol	SD-6 Yankol	SD-7 Yankol	SD-8 Yankol	SD-11 Anakol
Kuvars	M	M	M	M	M	M
Kalsit	M	M	M	M	M	M
Feldispat	M	M	M	M	M	M
Kaolinit	m	M	M	M	M	m
Klinoklor	m	M	M	M	M	m
Muskovit	M	m	m	m	m	M
Götit		M	M	M	M	
Jips		M	M	M	M	
Pirit	M	M	M	M	M	M
Jarosit	M	M				
Alunit					m	
Dolomit						M
Hematit		M	M	M	M	

Murgul Deresi sedimanlarına ait mineral bileşimleri Tablo 3.8'de verilmiştir. Tabloda, SD-18'den itibaren olan sedimentler, derenin maden atıklarınca kirlenmiş kesimini; bundan öncekiler ise derenin maden etkisi dışında kalan alanı temsil etmektedir. Maden etkisi dışında kalan anakol sedimanları, birbirleriyle oldukça benzer bileşimdedir; majör olarak kuvars ve kaolinit; minör olarak feldispat ve klinoklor bu örneklerin ortak bileşenleridir. Murgul Sahası atıkları karıştıktan sonraki kesimlerden alınan örnekler, pirit içermeleri ile temiz kesime göre farklılık göstermektedir. SD-15 ve SD-16 örnekleri, Akarşen maden sahası ile ilişkili olan (Murgul Deresi'nin yankolu) yüzey sularından alınmıştır. Bu örnekler, majör oranda kalsit, pirit, dolomit içermeleri ile Murgul Deresi anakol örneklerinden farklılık göstermektedirler.

Tablo 3.8. Murgul Deresi'nden alınan sedimentlerde, XRD pik çözümlenmeleri ile tespit edilen mineraller(M: majör, m: minör)

Mineral	SD-12 Anakol	SD-13 Anakol	SD-14 Anakol	SD-15 Yankol	SD-16 Yankol	SD-17 Anakol	SD-18 Anakol	SD-20 Anakol	SD-21 Anakol	SD-25 Anakol
Kuars	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Kalsit			M	M	M					
Feldispat	M	m	m	m		m	m		M	M
Kaolinit	M	M	M	M		M	M	m	M	M
Klinoklor	m	m	m	m	m	m			M	
Muskovit	m			M	M	M	M	m	m	M
Jips							m			
Pirit	M			M	M		M	m	m	M
Jarosit										
Dolomit				M	M				M	
Ferropargazit				m						
Montmorillonit				M						
Biyotit								m		

Tablo 3.9. Borçka Barajı Havzası ile Murgul Deresi kesişim alanından alınan çökellerde, XRD pik çözümlenmeleri ile tespit edilen mineraller (M: majör, m: minör)

Mineral	SD-22 Atıkların oluşturduğu istif	SD-23 Atıkların oluşturduğu istif	SD-24 Atıkların oluşturduğu istif	SD-26 Murgul Deresi ile taşınan çökel
Kuars	M	M	M	M
Kalsit				M
Feldispat				M
Kaolinit			M	
Klinoklor	M	M		m
Muskovit	M	M	M	M
Pirit	M	M		
Pargazit				m
Malakit			e	

Hem Murgul, hem de Kuvarshan sahası AMD'lerinin tabanındaki koyu turuncu renkli çökellerde, diğer atık, alterasyon ürünü ve deşarj malzemelerinde XRD analizi yapılmıştır (Şekil 3.14-3.15, Tablo 3.10, Ek-E). AMD ürünlerinden olan kalkantit tüm AMD çökellerinde görülmüştür (Ek-E, Tablo 3.10). Bu çökellerden yapılan XRD analizlerinde, piritin majör düzeyde SD-1'de ve Kuvarshan örneklerinde (SD-28 ve SD-29) bulunduğu görülmüştür. Majör düzeylerde K-Jarosit (Çakmakkaya, Kuvarshan), kalkantit (Çakmakkaya) ve hematit (Damar sahası) minerallerine de rastlanılmıştır.



Şekil 3.14. AMD çökel örneklerinin alındığı yerlere ait fotoğraflar (a,b-Çakmakkaya, c-Damar, d-Kuvarshan)

Tablo 3.10. Murgul sahasından alınan AMD çökelinde, atık, alterasyon ürünü ve deşarj malzemelerinde, XRD pik çözümlenmeleri ile tespit edilen mineraller (M: majör, m: minör)

Mineral	SD-1 Çakmakkaya AMD çökeli	SD-2 Çakmakkaya AMD çökeli	SD-3 Çakmakkaya Alterasyon ürünü	SD-4 Damar Maden atığı	SD-5 Damar AMD çökeli	SD-19 Murgul Madenden deşarj edilen malzeme	SD-28 Kuvarshan AMD çökeli	SD-29 Kuvarshan AMD çökeli	SD-34 Atık Barajı Flotasyon atığı
Kuars	M	M	M	M	M	M	M	M	M
Kalsit			M	M		M			
Feldispat	M		m		M		M	m	
Kaolinit		M	M	m	M	M	M	M	M
Kliniklor	M	M	M		M			m	
Muskovit	M	M	M	m	M	M	M	M	M
Jips		M	M	m		M			m
Götit			M						
Pirit	M		M	M		m	M	M	M
Jarosit	M		m				M		
Dolomit			M	M		M			
Alümit									
Hematit					M				
Kalkantit		m							
Biyotit						m			
İlit							M		
Kalkantit								m	
Siklerotil								m	
Ramsbekit									m

Fabrika Deresi'nden alınan dere sedimentinde ve Kuvarshan sahasında, eskiden var olan galerilerle ilgisi olduğu düşünülen drenaj sularının tabanında oluşan çökelimlerde XRD analizi yapılmıştır (Tablo 3.11, Tablo 3.12 ve Şekil 3.16).

Bu örnekler içinde tüm örnekleme dönemlerinde, hem XRF ve hem de XRD analizi yapılabilen tek örnek SD-32 örneğidir.

Fabrika Deresi sediment örneğinde de ana sülfid minerali pirittir ve piritten başka bir sülfid mineraline rastlanmamıştır. SD-27 örneği atık yığınları (K-15 örneğinin etrafında) arasındaki yüzey suyu civarından alınmış, oldukça yoğun kükürt kokulu ve sarı renkli bir çökeldir. Bu örneğin XRF analizinde % 41 SO_3 ve % 21 Fe_2O_2 ile uyumlu olarak XRD analizinde de majör oranda hematit görülmüştür.



Şekil 3.15. Murgul sahasından alınan atık ve çökellerin alındığı yerlere ait fotoğraflar (a,b-SD-3, c-SD-34, d-SD-4, e-SD-19)

Tablo 3.11. Fabrika Deresi'ne ait XRD pik çözümlenmeleri ile tespit edilen mineraller (M: majör)

Mineral	SD-33
Kuvars	M
Kaolinit	M
Klinoklor	M
Muskovit	M
Pirit	M
Tridimit	M

Tablo 3.12. Kuvarshan saharından alınan atık ve çökellerde, XRD pik çözümlenmeleri ile tespit edilen mineraller (M: majör)

Mineral	SD-27 Kuvarshan	SD-30 Kuvarshan Galerilere bağlı oluşan çökelim	SD-31 Kuvarshan Galerilere bağli oluşan çökelim	SD-32 Kuvarshan Galerilere bağli oluşan çökelim
	2011	2013	2011	2011
Kuvars	M	M	M	M
Kalsit			M	M
Kaolinit	M		M	M
Klinoklor			M	
Jips		M	M	M
Pirit	M	M	M	M
Aragonit				M
Kalkoalümit		M		
Tridimit			M	
Hematit	M			
Klinoptilolit	M			

Sahada, galerilerden deşarj olan sulardan çökelen malzemelerden kurak ve yağışlı dönemi temsilen yapılan XRD analizlerinde kalkosyanit (CuSO_4), siderotil ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), rozenit ($\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), goslarit ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), kalkoalüminit ($\text{CuAl}_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_{12} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), kokümbit ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) ve jips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) gibi sülfat tuzları tespit edilmiştir (Ek-E). Özellikle, SD-30 örneğinde, 2013-Ağustos döneminde oldukça yoğun olarak bu tuzlar tespit edilmiştir. SD-32 örneği, diğer örneklerden farklı olarak, her üç dönemde de majör olarak aragonit içermektedir.



Şekil 3.16. Kuvashan sahasından alınan çökellerin alındığı yerlere ait fotoğraflar (a-SD-32, b-SD-30, c-SD-27)

3.1.3.3. Toprak örnekleri

Murgul madeni eski izabe tesisleri civarından ve kontrol amaçlı Murgul dışından alınan toprak örneklerinden 3'ü üzerinde yapılan X-ışını kırınımı analizlerinin sonucu Tablo 3.13, Ek-E'de verilmiştir. Tablo 3.13'den görülebileceği üzere toprak esas bileşenler silis, kil ve killerin türediği silikat minerallerinden oluşmaktadır.

Tablo 3.13. Toprak örneklerinde XRD pik çözümlenmeleri ile tespit edilen mineraller (M: majör, m: minör)

Mineral	T-1	T-2	T-3
Kuvars	m	M	M
Kalsit	M	M	M
Feldispat	m	M	M
Kaolinit	m	M	M
Montmorillonit	M	M	M
Kliniklor	m	M	M
Muskovit			M
Hematit	m	M	M

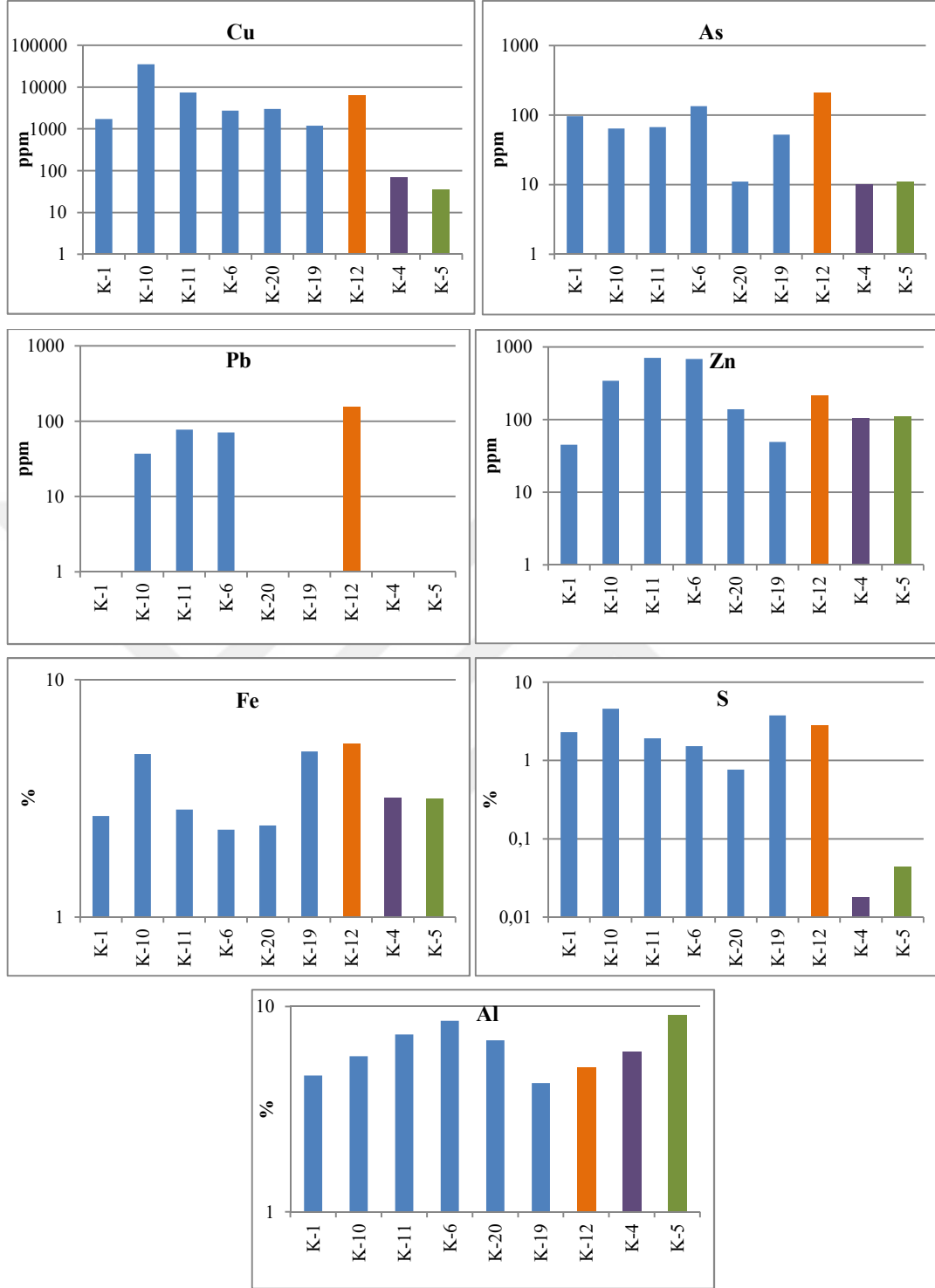
3.2. Katı Örneklerin Jeokimyasal Özellikleri

Murgul ve Kuvarshan sahalarından alınan AMD çökelleri, pasa-dekapaj-flotasyon çamuru örnekleri, kayaç örnekleri, maden sahalarından bırakılan atıklar ve dere sedimentleri üzerinde, jeokimyasal özellikleri belirlenmek üzere, XRF analizleri yapılmıştır (Ek-B).

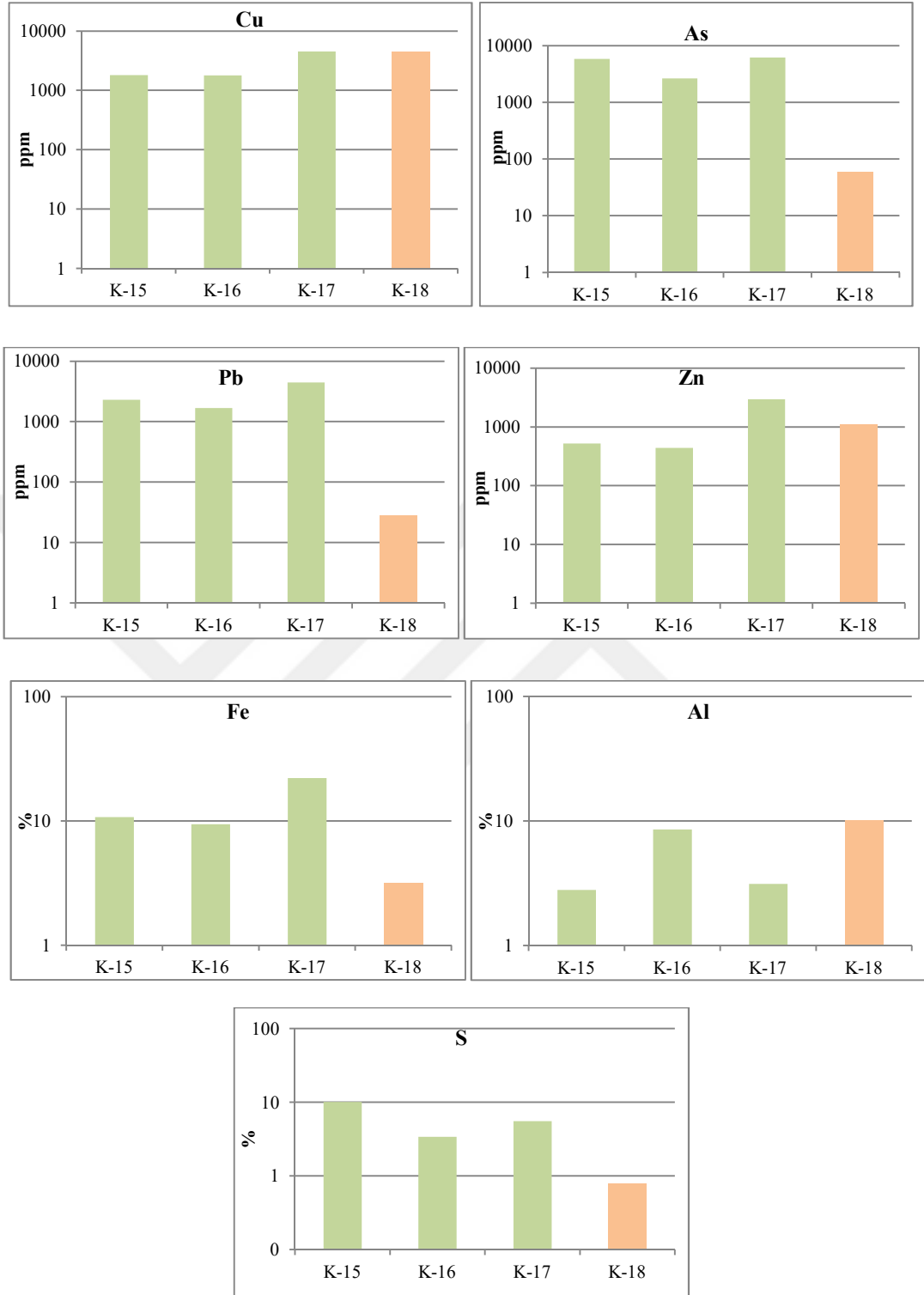
Maden sahalarından yapılan deşarjların, dere sedimentleri üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla, derelerin maden atıklarıyla kirlenmeden önceki temiz kesimlerinden ve maden atıkları karıştıktan sonraki kirlenmiş kesimlerinden örnekleme yapılmış ve bu örnekler jeokimyasal açıdan incelenmiştir.

Maden sahalarında, cevher oluşumlarını barındıran cevherli dasitler ile bunların üzerlerinde yer alan mor ve yeşil dasitler, metal içerikleri açısından, önemli farklılık göstermektedir. Bu özellikle Cu, S, Zn, Pb ve As elementlerinde açık bir şekilde görülmektedir (Şekil 3.17). Örneğin, cevherli dasit örneklerinin Cu (1188-35400 ppm) ve S (% 0,8-4,6) konsantrasyonları, mor ve yeşil dasit örneklerinin Cu (35-71 ppm) ve S (%0,018-0,044) konsantrasyonlarından, sırasıyla, ortalama 160 ve 95 kat daha fazladır. As, Pb ve Zn için ise bu farklılık ortalama 3-7 kat arasında değişmektedir. Cevherli dasit örnekleri, Al içerikleri açısından mor dasite benzerlik gösterirken, yeşil dasitten 1,5 kat daha düşük Al içeriğine sahiptir. Dasitlerin Fe içeriklerinde istatistiksel anlamda önemli bir farklılık gözlenmemektedir (Şekil 3.17).

Maden sahasından alınan dekapaj ve pasa örnekleri, metal içerikleri açısından oldukça zengindir (Şekil 3.18, Tablo B.1). Dekapaj/pasa/flotasyon atığı örneklerinin Cu konsantrasyonu 1787-4508 ppm (ortalama 3128 ppm) ve Zn konsantrasyonu ise 440-2949 ppm (ortalama 1250 ppm) arasında bulunmaktadır. Kuvarshan örnekleri, özellikle yüksek As, Pb, Fe ve S konsantrasyonları ile Murgul dekapaj örneğinden (K-18) ayrılmaktadır (Şekil 3.18). Kuvarshan örneklerinin ortalama Pb (2807 ppm), As (4908 ppm), S (% 6,4) ve Fe (% 14,1) konsantrasyonları, Murgul dekapaj örneğinden sırasıyla yaklaşık 100, 83, 8 ve 4,5 kat daha fazladır.



Şekil 3.17. Murgul sahasından alınan cevherli dasit (K-1, K-10, K-11, K-6, K-19, K-20), mor ve yeşil dasit (K-4, K-5) ile KBİ eski işletme cevherli dasit pasa (K-12) örneklerinde dikkat çeken bazı elementlerinin konsantrasyonları



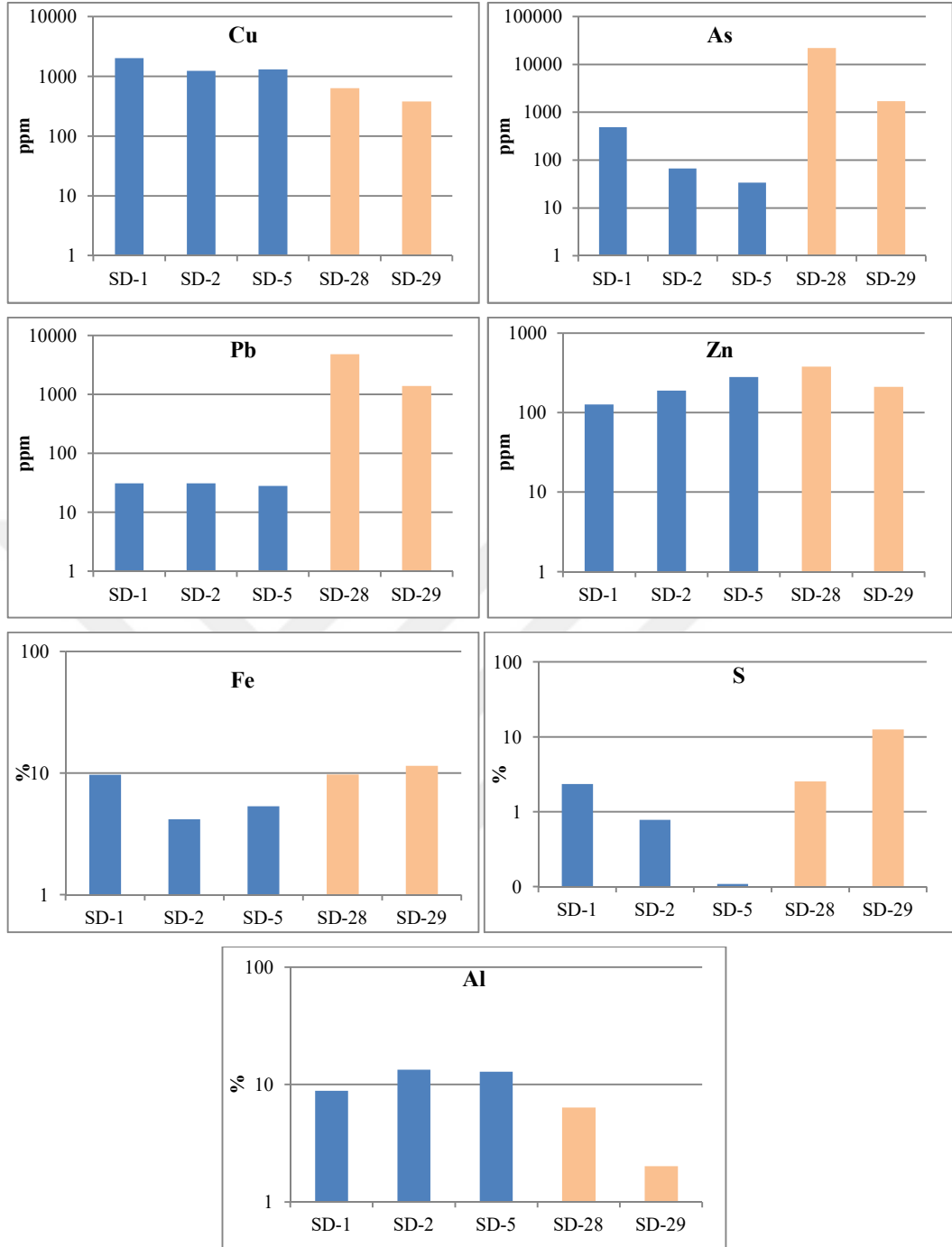
Şekil 3.18. Murgul sahasından alınan dekapaj (K-18) ve Kuvarshan sahasından alınan, flotasyon atığı (K-15), mekan kaya (K-16), pasa (K-17), örneklerinde dikkat çeken bazı elementlerin konsantrasyonları

Maden sahaları içinde yada pasaları üzerinde gelişen asidik drenaj ürünleri metal içerikleri açısından geliştikleri ortamlara benzerlik göstermektedir. Kuvarshan AMD çökelleri, yüksek As, Pb ve Zn konsantrasyonları ile; Murgul AMD çökelleri ise Cu ve Al konsantrasyonları ile diğer sahalardan farklılaşmaktadır (Tablo B.2, Şekil 3.19). Oluşan çökellerin jeokimyası farklı sahalarda oluşan AMD'lerin kimyası ile uyumludur. Kuvarshan AMD çökellerinin As (1705 ppm, 22040 ppm) ve Pb (1395 ppm, 4785 ppm) konsantrasyonları, Murgul AMD çökellerinin (As: 197 ppm, Pb: 30 ppm) konsantrasyonlarının oldukça üzerindedir. Kuvarshan AMD çökellerinden ortalama 2 kat daha fazla Cu bulunduran Murgul AMD çökellerinin, bakır konsantrasyonları ise 1306 ppm ile 2080 ppm arasında değişmektedir (Tablo B.2, Şekil 3.19).

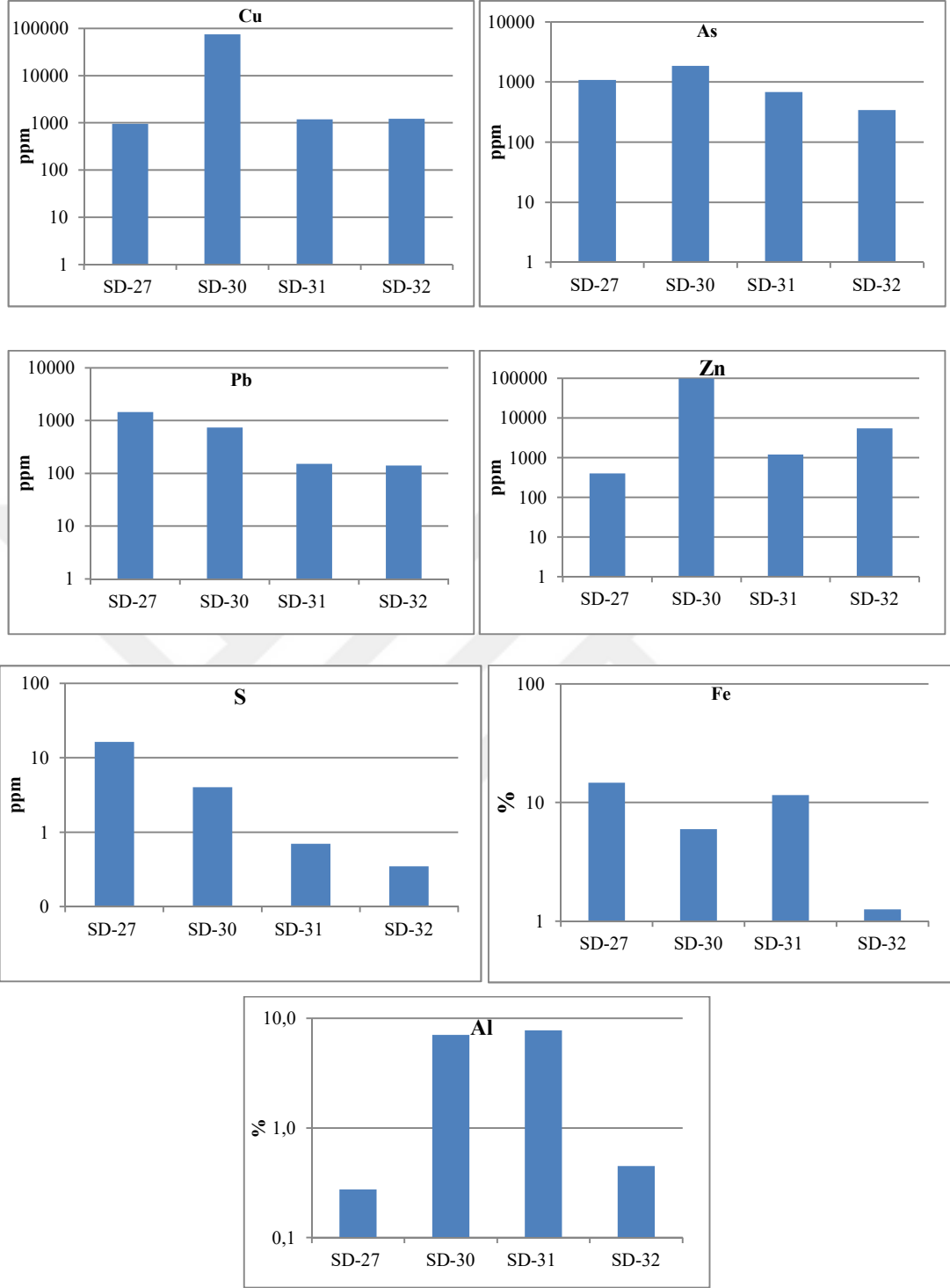
Kuvarshan sahasında, galerilerden gelen mavi renkli drenajların (SD-30) ve diğer çökellerin (SD-31, SD-32) de, sahada oluşan AMD çökelleri gibi zengin metal içeriğine sahip oldukları görülmüştür. Sahada, mavi renkli drenaj suyunun çevresinde oluşmuş çökel örneği (SD-30), yalnızca 2013 yılının kurak döneminde XRF analizi için yeterli miktarda alınabilmektedir. Bu döneme ait örnekte yapılan XRF analizi sonucunda, oldukça yüksek Cu (% 7,44) ve Zn (% 9,88) konsantrasyonları ölçülmüştür. Bu konsantrasyonlar dolayısıyla bu örnek, maden sahalarında görülen tüm AMD ürünlerinden ayrılmaktadır (Tablo B.3, Şekil 3.20).

Saha çalışmalarının yapıldığı üç dönemde alınabilen SD-32 örneğinin, mevsimsel değişimini izleme imkanı bulunmuştur. Her üç dönemde de, SD-32 örneğinin, diğer örneklerle göre oldukça yüksek olan CaO konsantrasyonu (yaklaşık %50) dikkat çekicidir, bu değer örneğe ait XRD analizinde majör oranda olduğu saptanan aragonit, kalsit ve jips mineralleri ile örtüşmektedir. Bu örnekte, As, Ba, Cu, Pb ve Fe konsantrasyonları, en yüksek değere yağışlı dönemde çıkmıştır. Bunun yağışla birlikte artan su pH'ı ile ilgili olduğu düşünülmektedir.

SD-27 örneği, K-15 (flotasyon atığı) yığınının arasından süzülen yüzey suyunun tabanından alındığı için, K-15 ile SD-27 örnekleri, bileşim olarak da oldukça benzerdir. Örnek, oldukça yüksek kükürt, demir, kurşun, arsenik ve baryum konsantrasyonu ile belirgindir.



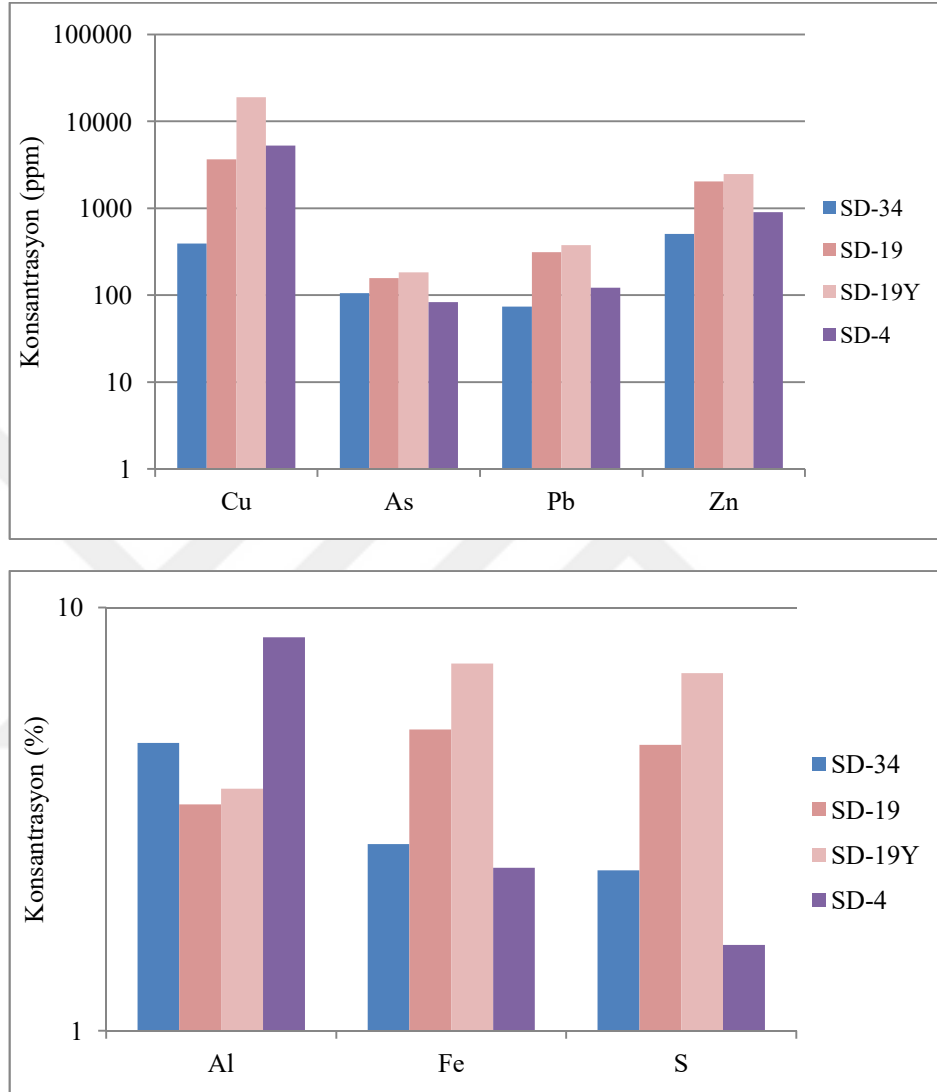
Şekil 3.19. Murgul (SD-1, SD-2, SD-5) ve Kuvarshan (SD-28, SD-29) sahalarında AMD'lerin çevresinde çökelen malzemelerin içeriğinde öne çıkan bazı elementlerin konsantrasyonları



Şekil 3.20. 2011-Ağustos döneminde, Kuvarshan sahasında galerilerden sızan suların çevresinde biriken çökellerinde öne çıkan elementlerin konsantrasyonları

Madencilik faaliyetlerinin, maden sahalarının çevresindeki yüzey suyu kaynaklarına etkisini belirlemek amacıyla hem yüzey sularına yapılan deşarjların, hem de dere sedimentlerinin element konsantrasyonları tespit edilmiştir. Deşarj edilen malzemelerin, yüzey suları ve sedimentlerin kalitesi üzerindeki etkisi, ilerleyen

bölümlerde, çevresel etki başlığı altında detaylı olarak ele alınacaktır. Bu kısımda sadece deşarjların ve derelerin temiz kısımlarından alınan sediment örneklerinin jeokimyası ele alınmıştır (Şekil 3.21, Şekil 3.22, Tablo B.4).



Şekil 3.21. Murgul maden sahalarından ve flotasyon tesisini çevreleyen yüzey su drenaj sistemine deşarj edilen atıklarda (SD-4: Damar drenaj, SD-19: Murgul madeninden drenaj ve SD-34: atık barajı flotasyon çamurunda) önemli bazı elementlerin konsantrasyonları

Murgul maden sahasından ve işletme tesisinden deşarj edilen atık çamurları (SD-34, SD-19, SD-4) metal konsantrasyonları açısından oldukça zengindir. En dikkat çekici element, doğal olarak, bakırdır (Şekil 3.21, Tablo B.4). Deşarjların Cu konsantrasyonu %0,9 ile %1,90 arasında değişmektedir. Bu örneklerde, yüksek konsantrasyonlar sergileyen diğer elementler ise Zn (509-2471 ppm), S (% 1,6-7) ve Ba (% 0,26-1,1)'dir. Pb (122-377 ppm) ve As (83-184 ppm) konsantrasyonları ise

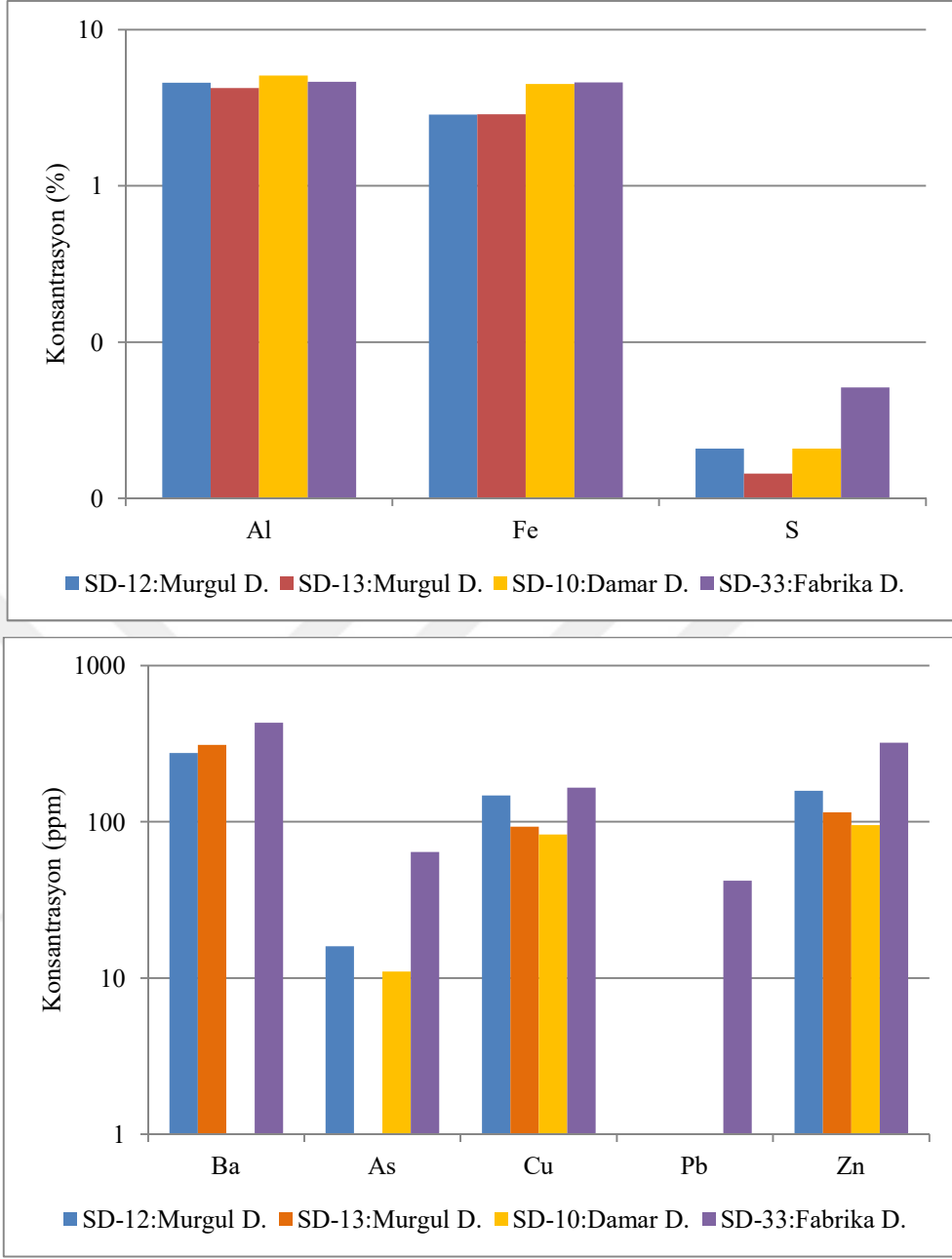
diğer elementlere göre nispeten daha düşük düzeylerde seyretmiştir (Şekil 3.21). Maden sahasından yapılan deşarjlar ve atık su barajında depolanan flotasyon çamuru, yüksek Ba (% 0,25-1,1) içeriği ile belirgindir.

Madenlerden yapılan deşarjların metal konsantrasyonları ile atık barajında depolanan flotasyon çamurunun (SD-34) metal konsantrasyonu arasında kayda değer farklılıklar gözlenmektedir (Şekil 3.21). Örneğin, atık barajından alınan flotasyon çamurunun metal içeriği maden deşarjlarından Cu için 9 ile 48 kat, Zn ve Pb için ise yaklaşık 2 ile 5 kat daha düşüktür.

Derelerin, maden etkisi altında kalan kısımlarından ve madenden etkilenmemiş temiz alanlarından alınan örnekler, metal içerikleri açısından ciddi farklılıklar göstermektedir (Şekil 3.22, Tablo B.4). Bu durumda Murgul maden sahasından yapılan deşarjların etkisi büyüktür.

Murgul Deresi'nin maden etkisi altındaki drenajlarının sedimentlerinin metal konsantrasyonlarında özellikle Cu, S, Zn, As ve Ba elementleri kısmen de Pb ve Mo açısından önemli artışlar meydana gelmiştir (Tablo B.4). Al ve Fe elementlerinde ise aksine ters bir anomali gözlenmiştir. Bunun nedeni majör deşarjların Fe ve Al konsantrasyonlarının derelerin temiz kısımlarındaki sedimentlerin Al (%8-9,58) ve Fe (% 4,1-6,41) konsantrasyonlarından önemli derecede düşük olmasından kaynaklanmaktadır (Şekil 3.22).

Murgul Deresi, Damar Deresi ve Kuvarshan'daki Fabrika Deresi'nin, maden atıklarıyla kirlenmeden önceki yukarı drenajlarından (kontrol alanlarından) alınan örnekler incelendiğinde, oksit konsantrasyonları açısından göze çarpan bir farklılık tespit edilmemiştir. Metal konsantrasyonları incelendiğinde ise, Fabrika Deresi'nin diğer örneklere göre, As, Pb, Cu, Pb ve Ba açısından daha yüksek konsantrasyonlara sahip olduğunu görülmüştür (Şekil 3.22).



Şekil 3.22. Maden sahaları çevresindeki derelerin maden etkisi dışında kalan yukarı drenajlarından alınan dere sedimentlerinin metal içerikleri

3.3. Maden Sahalarının Yüzeysel Sularına Etkisi

Murgul ve Kuvarshan Sahaları'nda AMD oluşum izlerini araştırmak ve maden sahalarının çevrelerindeki yüzeysel sularının kalitesi üzerindeki etkilerini ortaya koymak için üç dönem örnekleme çalışması yapılmıştır. Kurak dönem örnekleme, 2011 ve 2013 yıllarının Ağustos aylarında; yağışlı dönem örnekleme ise 2012 yılının Mayıs ayında gerçekleştirilmiştir.

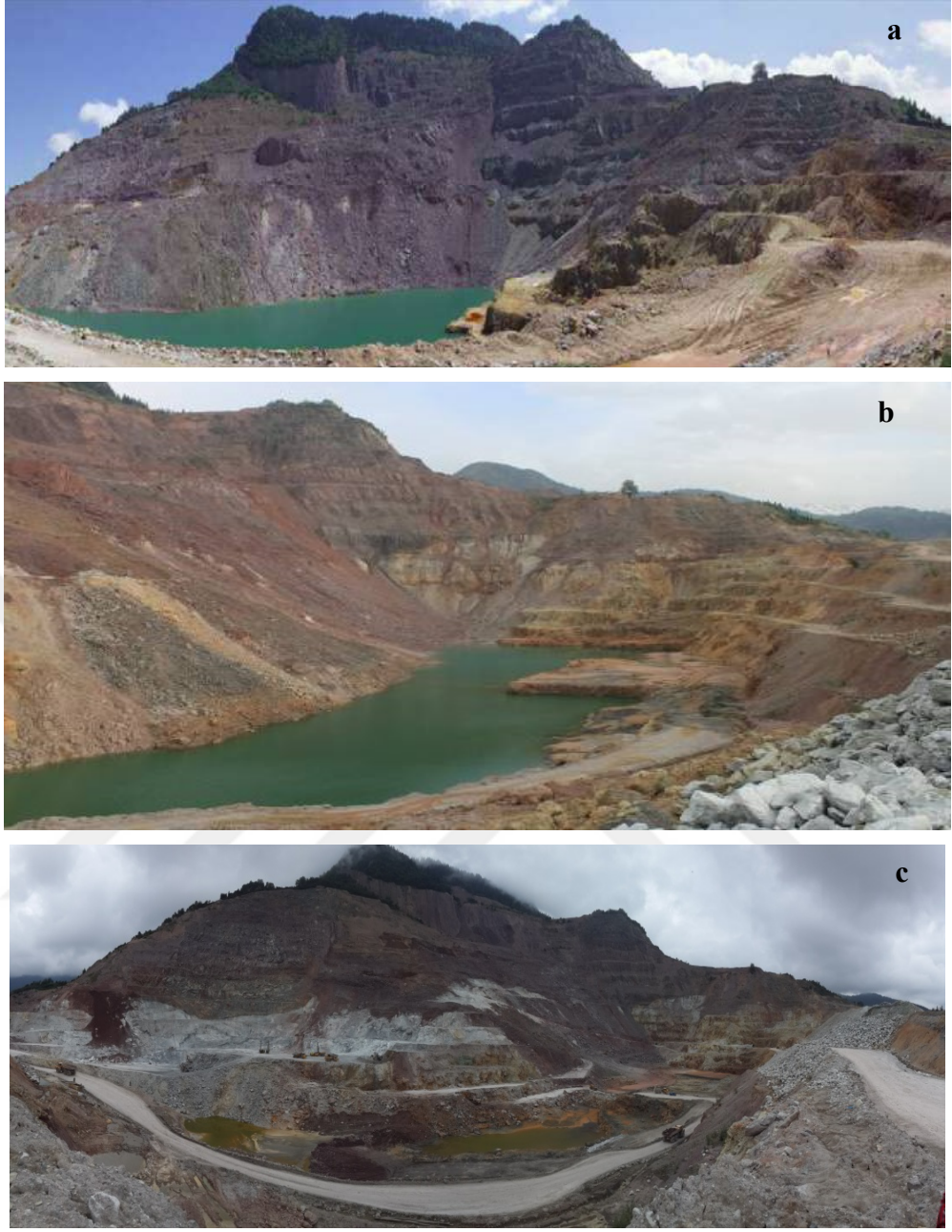
Maden sahalarında ve sahaları çevreleyen yüzey suyu drenaj sistemlerinin su kalitesinde, hem mevsimsel hem de işletmeden kaynaklı değişimler, çalışma süresince, net olarak gözlemlenmiştir. Bu sebeple, madenlerin su kalitesi üzerindeki etkilerini incelemeye önce, çalışma süresince maden sahalarında gerçekleşen gelişmelerden bahsetmekte fayda vardır.

Çalışma sahalarında karşılaşılan mevsimsel değişimler; yağışlı dönemde, kar erimelerine bağlı olarak dere debilerinin artması dolayısıyla dere sularındaki kirletici konsantrasyonlarında azalma; kurak dönemde ise lokal olarak oluşan asidik su birikintilerin kuruması veya yok olması şeklinde izlenmiştir.

Madencilik faaliyetlerinin sürdürülüyor olmasından kaynaklanan ve çalışma sürecini etkileyen değişimler ise topoğrafik değişimler, sahaların işletmeye kapatılması veya açılması, ciddi kirlenmeye sebep olan unsurlarda iyileşme yapılması şeklinde sıralanabilir. Murgul Sahası'nda, her üç örnekleme döneminde de, bu değişimler gözlemlenmiştir. 2011 ve 2012 yıllarında Çarkbaşı ve Damar Sahaları işletiliyorken, 2013 yılında ise sadece Çakmakkaya Sahası işletilmekteydi. Çakmakkaya Sahası, 2011 ve 2012 yıllarında, heyelan riski taşıması sebebiyle işletilmiyordu. 2013 yılında, Çakmakkaya sahasında bulunan gölet tahliye edilerek heyelan riski kontrol altına alınmış ve cevher çıkarma işlemine başlanmıştır (Şekil 3.23).

2013-Ağustos döneminde, Damar Sahası, flotasyon çamurunun depolandığı bir atık su göleti haline dönüştürülmüş (Şekil 3.24), Çarkbaşı Sahası ise Lepisküredere vadisinde bulunan dekapaj sahasındaki heyelan riski nedeniyle, döküm sahası haline getirilmiş ve saha tamamen doldurulmuştur (Şekil 3.25).

Bu nedenle 2011 ve 2012 örnekleme dönemlerinde saha içerisinde örneklenen bazı AMD oluşumları 2013 yılında kaybolmuş dolayısıyla ilgili dönemde bazı birikintilerden örnekleme yapılamamıştır.



Şekil 3.23. Çakmakkaya sahasında çalışma süresince meydana gelen yapısal değişiklikler (a-2011, b-2012, c-2013)

Çalışma boyunca, Murgul Deresi'ndeki kirlenmenin en büyük kaynağı olan, Lepisküredere vadisi üzerindeki, atık su barajı ile ilgili, örnekleme dönemleri sürecinde yaşanan değişimler oldukça önemlidir. Ağustos-2011'de atık su barajında, silis ve piritçe zengin flotasyon çamurunun depolanmaktaydı (Şekil 3.26).

Flotasyon çamuru, üzerinde görülen oldukça belirgin pirit kümelenmeleri sebebiyle, AMD oluşturma ihtimaline dayanılarak, incelenmeye değer bulunmuştur.

2011-Ağustos döneminde, atık su barajının derivasyon tüneline meydana kaçak nedeniyle, Murgul Deresi hem fiziksel olarak hem de su kalitesi olarak oldukça ciddi bir bozulmaya maruz kalmıştır (Şekil 3.27). Ancak sızıntının giderilmesiyle ve deşarjların azalmasıyla birlikte, 2012 ve 2013 yıllarında hem fiziksel olarak hem de su kalitesi açısından iyileşme tespit edilmiştir (Şekil 3.28).

Murgul Deresi'nin su kalitesini olumsuz yönde etkileyen diğer bir unsur ise, Ağustos-2013 döneminde karşılaşılan, Murgul Deresi-Lepisküredere vadisi bağlantı noktasında açılan tahliye galerisinden, Murgul Deresi'ne olan boşalımlardır (Şekil 3.29).



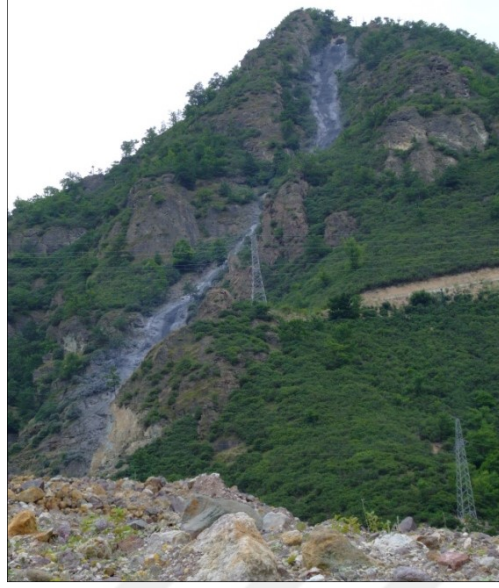
Şekil 3.24. Damar sahasında çalışma süresince meydana gelen yapısal değişiklikler (a-2011, b-2013)



Şekil 3.25. Çarkbaşı sahasında çalışma süresince meydana gelen yapısal değişiklikler (a-2011, b-2013)



Şekil 3.26. Lepiskükdere vadisi üzerindeki atık su barajı



Şekil 3.27. Derivasyon tüneline Ağustos-2011 örnekleme döneminde meydana gelen flotasyon çamuru kaçağı



Şekil 3.28. Lepisküdere ve Murgul Deresi karışım noktasından farklı örnekleme dönemlerinde alınan görüntüler (a-2011, b-2012, b-2013)

Lepisküredere vadisinde yığılı olarak bulunan dekapaj malzemesinde gerçekleşen kütle hareketini kontrol etmek için, 2013 yılında, malzeme içinde birikmiş yeraltı sularını drene etmek amacıyla, Lepisküredere vadisi ile Murgul Deresi kesişim alanında, bir galeri açılmıştır (Şekil 3.29a). Demir konsantrasyonu oldukça yüksek olan bu yeraltı sularının, doğrudan Murgul Deresi'ne deşarj edilmesi sonucunda, demir oksit çökelmiş ve dere yatağını kırmızıya boyamıştır (Şekil 3.29b). Bu durumun su kalitesi üzerindeki olumsuz etkisi aşağı drenajlarda dahi kendisini hissettirmiştir (Şekil 3.29). 2012 yılında, atık barajından olan kaçağın giderilmesi sonucu, dere su kalitesinde gözlenen olumlu yöndeki iyileşme, bu deşarj faaliyeti ile birlikte gerileme göstermiş ve etkisi deşarj noktasına yakın alanlarda etkili olmuştur.

Bu iki ana kirlenme kaynağının yanı sıra, Lepisküredere'nin Murgul Deresi'ne karıştığı noktadan, yaklaşık 1,5 km aşağıda, cevher üretim tesislerinden kaynaklanan flotasyon atıkları kaçaklarının üç örnekleme döneminde de, Murgul Deresi'ne karışmaya devam ettiği görülmüştür (Şekil 3.29c).

Murgul Deresi'ne, maden kaynaklı kirleticileri taşıyan yan kollardan bir diğeri de, Damar Deresi'dir. 2013 yılına kadar, Damar sahasından belirli aralıklarla Damar Deresi'nin yan koluna yapılan anlık deşarjlar, dar bir alanda etkili ve kirletici konsantrasyonu düşük deşarjlardır. Sahada görülen diğer kirletici unsurlara göre daha zayıf olan bu deşarjların olumsuz etkisi, Murgul Deresi'ne daha da zayıflamış olarak ulaştığı tespit edilmiştir (Şekil 3.30). 2013 yılında, Damar Sahası'nın kapanmasıyla da, deşarjların sonlandığı görülmüştür (Şekil 3.30). Murgul Deresi'nin Borçka Baraj Havzasına olumsuz etkilerden biri de, fazla miktarda gerçekleşen sediman taşınımıdır. 2013 yılında, o zamana kadar oldukça ciddi boyutlarda olan sediman taşınımını kontrol altına alabilmek adına, DSİ tarafından Murgul Deresi üzerinde ıslah çalışmaları yapılmıştır (Şekil 3.29d).

Tez çalışmaları kapsamında incelenen Kuvarshan sahasında gözlemlenen değişimler ise, saha terkedilmiş olduğu için, işletme kaynaklı değil, hava koşulları ile ilgili değişimlerdir. Artvin meteoroloji istasyonundan alınan verilere göre bölgede 2011 yılında uzun yıllar yağış ortalamasının (732 mm) oldukça üzerinde bir yağış (~900 mm) gerçekleşirken, 2012-2013 yılları nispeten kurak geçmiştir (~650 mm) (Şekil 1.3).

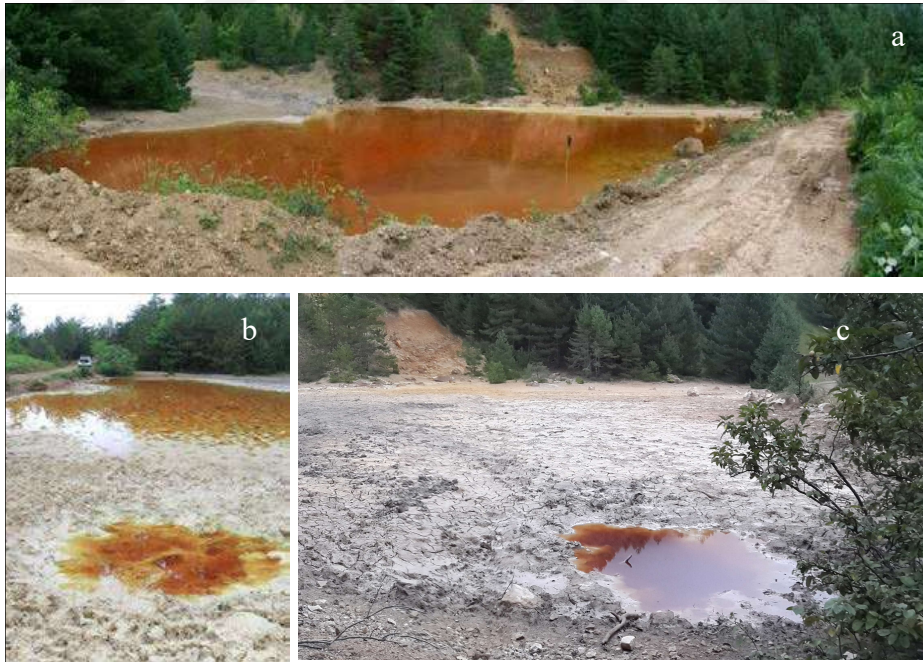
Hava koşullarındaki bu değişikliğin etkisi, Mayıs-2011 ve Ağustos 2013 örnekleme dönemlerinde, sahadaki AMD oluşumlarının kurumaya yüz tutması biçiminde etkili olmuştur (Şekil 3.31).



Şekil 3.29. Ağustos-2013 döneminde, a- Lepüsküredere vadisi Murgul Deresi kesişim noktasında açılmış tahliye galerisi, b- Galeriden boşalan demirce zengin suyun dere yatağını kırmızıya boyaması, c- Cevher üretim tesisinden sızan ve Murgul Deresi'ne boşalan flotasyon atık suyu, d- DSİ tarafından Murgul Deresi üzerinde yapılan ıslah çalışmaları



Şekil 3.30. Damar sahası birikinti sularının, (a-2011, b-2012 yıllarındaki); Damar Deresi yan koluna yapılan anlık deşarjların (c-2011, d-2012, e-2013 yıllarındaki) durumları



Şekil 3.31. Kuvurshan maden sahasındaki asidik su birikintilerinde mevsimsel meydana gelen değişimler(a-2011, b-2012, c-2013)

3.3.1. Maden sahalarındaki yüzey sularının jeokimyası ve su kalitesi

Murgul maden sahasını çevreleyen en önemli yüzey suları Murgul Deresi, Damar Deresi ve Lepisküredere'dir. Lepisküredere ve Damar Deresi, maden atık sularını

Murgul Deresi'ne ulaştıran yan kollardır (şekil 1.6). Murgul Deresi, maden sahasından akış aşağı yaklaşık 10 km uzaklıkta bulunan, oruh Nehri üzerindeki, Borçka Barajı'nın rezervuarına kavuşmaktadır. Murgul madeninin etkisi, Borçka Barajı'nın rezervuarına kadar ulaştığından, örnekleme çalışması, hem Murgul Deresi'nin doğuş noktasından Borçka Barajı su kavuşum noktasına kadar olan drenaj kesitinde, hem de yan kollar olan, Damar Deresi ve Lepiskürdere üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Kurak dönemi temsilen 2011 ve 2013 yıllarının Ağustos aylarında, yağışlı dönemi temsilen 2012 yılının Mayıs ayında alınan su rnelerinin genel kimyasal özellikleri ve majör iyon konsantrasyonları Ek-C'de verilmiştir.

3.3.1.1. Murgul Deresi

Murgul Deresi'nin, maden sahasının etki alanı dışındaki yukarı drenajlarında (kontrol alanı) genellikle düşük elektriksel iletkenlikli (EC) bazik bir karakter sergilediği grlmştir.

Murgul Deresi kontrol rnelerinin pH değerleri, kurak dönemde 6,7-8,3 arasında; yağışlı dönemde ise, pH 6,5-8,7 arasında değişkenlik göstermiştir. Elektiriksel iletkenlik değerleri, kontrol alanında, kurak dönemlerde 73-258 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında; yağışlı dönemde ise 39-91 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişkenlik göstermiştir. Çözünmüş oksijen, yağışlı dönemde 7,4-8,9 mg/L aralığında iken, 2011-Ağustos döneminde 6,5-8,5 mg/l aralığındadır.

Murgul Deresi kontrol alanı, genellikle, Ca-Mg-SO₄-HCO₃, Ca-Mg-HCO₃-SO₄ tip su fasiyesi sergilemiştir (Tablo C.1, Tablo C.2, Tablo C.3, şekil 3.33). Yağışlı ve kurak dönemde alınan rnelerin su tiplerinde çoğunlukla önemli bir değişim gözlenmemiştir. Değişim görülen rnelerde ise, yağışlı dönemde baskın majör anyon sıralamasında sülfattan bikarbonata doğru bir değişim grlmştir. Murgul Deresi kontrol rneleri, oldukça düşük alkalinite değerine (10-37 mg/L CaCO₃) sahiptir. rnelerin asit nötralize etme kapasitesi, yağışlı dönemde, seyrelmenin etkisiyle, düşüş göstermiştir (ortalama 13 mg/L CaCO₃) (şekil 3.34).

Murgul Deresi üzerinde, madencilik faaliyetlerinin yarattığı olumsuz etkilerin, en ciddi boyutta gözleendiği dönem 2011-Ağustos dönemidir. 2011-Ağustos döneminde, atık barajı derivasyon tüneline gerçekleşen yoğun flotasyon kaçağına ait atıklar (S-30), Lepisküredere vadisi boyunca ilerleyip Murgul Deresi'ne karışmıştır ve bu atıklar Borçka Barajı su toplama sınırına dek izlenmiştir.(Şekil 3.35). Borçka Barajı rezervuarı ile Murgul Deresi'nin kavuşum alanında, geçmişte çökelmiş atık çamurları içindeki piritlerin ayrışması sonucu oksidasyonun izleri katmanlar halinde tespit edilmiştir (Şekil 3.35).

Atık barajından alınan su örneğinin kimyasına benzer bir karaktere sahip olan ve Ca-SO₄ tipi su fasiyesi sergileyen bu kaçaklar (S-31), aşırı bazik (pH= 10,83) özelliğiyle dikkat çekmektedir (Tablo C.1). Suların bu aşırı bazik özelliği, atık barajında flotasyon çamurunu çöktürmek için eklenen polimerik kimyasaldan kaynaklanmaktadır.

Bu dönemde, Murgul Deresi'ne kirletici taşıyan ama kirletici yükü daha az olan bazı unsurlar da vardır. Bunlar, Lepisküredere-Murgul Deresi kesişiminden sonra yaklaşık 1,5 km aşağıda, işletme tesisinden meydana gelen daha küçük çaplı flotasyon atık suyu deşarjları (S-32, Şekil 3.36a); Damar sahasında biriken suların Damar Deresi yankoluna anlık deşarjlarıdır (Şekil 3.36e). Damar sahasında biriken atıkların deşarjı ile, Damar Deresinde bulanıklaşma (Şekil 3.36b, Şekil 3.36c), ve dere tabanında ince çamur birikimleri hem Damar Deresi yankolunda (Şekil 3.36d) , hem de Damar Deresi anakolunda gözlenmiştir (Şekil 3.36c)

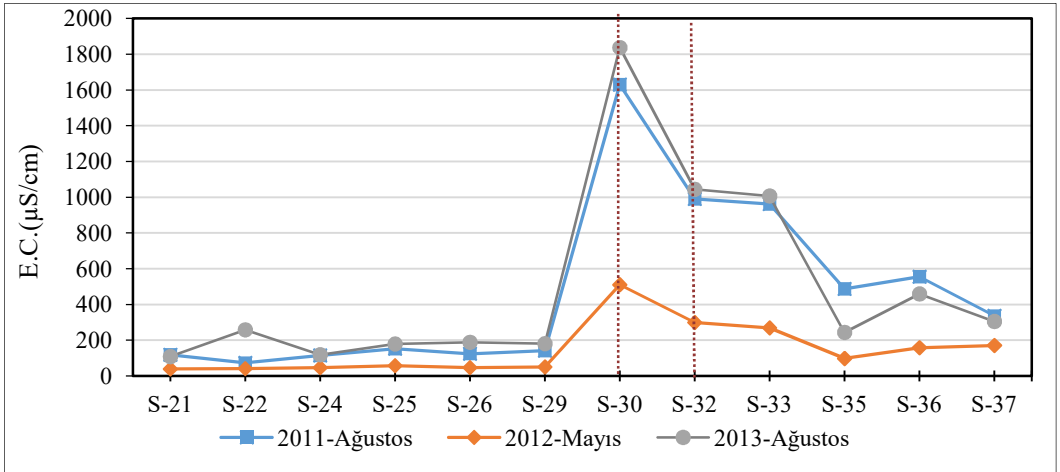
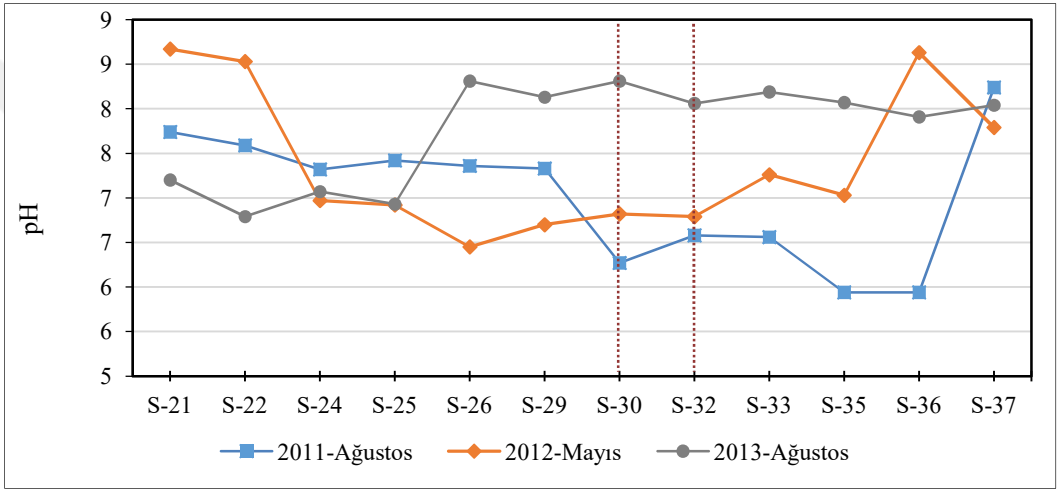
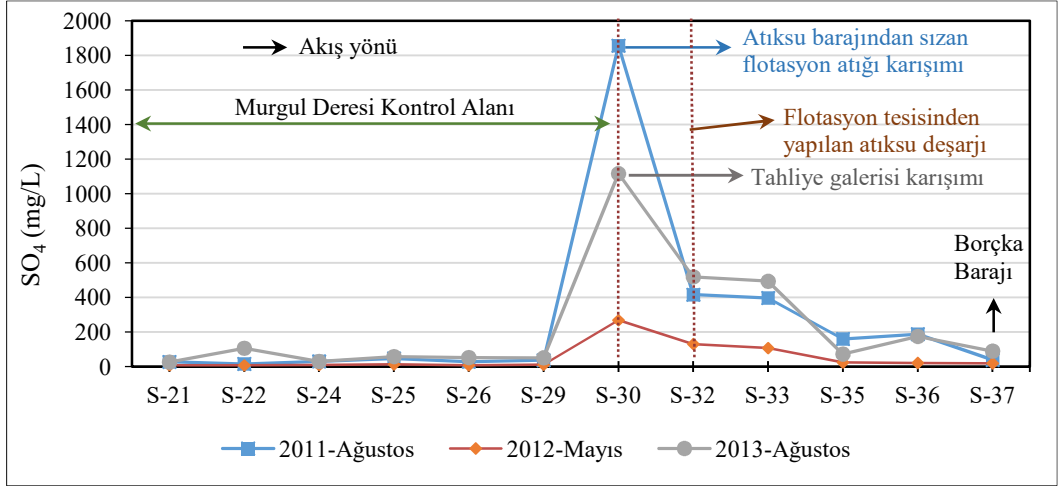
2011-Ağustos döneminde Murgul Deresi pH'ında, maden atıkları karıştıktan sonra, bir birimlik düşüş meydana gelmiş (pH 7,3'den 6'ya) (Şekil 3.32), bu düşüşe suların majör iyon konsantrasyonlarında artış eşlik etmiştir (Şekil 3.37). En ciddi artış sülfat ve kalsiyum iyon konsantrasyonunda gözlemlenmiştir (Şekil 3.37). Murgul Deresi, su kimyasında ölçülen bu değişimin etkisi, EC profilinde de, açıkça görülmektedir (Şekil 3.32). Maden atıkları karışmadan önceki son örnekleme noktasında EC değeri 142 µS/cm iken maden atıkları karışımı noktasında 1680 µS/cm'e kadar yükselmiştir. Aynı şekilde sülfat konsantrasyonu da, 36 mg/L'den 1857 mg/L'ye yükselmiştir (Şekil 3.32). Maden atıkları karışımının su kimyası üzerindeki etkisi, Borçka Barajı kavuşumuna doğru seyrelmenin etkisiyle azalarak devam etmiş, Murgul Deresi'nin

EC'si 555 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'ye, sülfat konsantrasyonu ise 187 mg/L'e kadar düşmüştür (Şekil 3.32). Flotasyon çamuru karışımının etkisi, Murgul Deresi'nin alkalinitesinde az da olsa bir artışa neden olmuş (26 mg/L CaCO_3 'dan 50 mg/L CaCO_3 'a yükselme söz konusudur), ancak bu artış akış aşağı seyrelmenin etkisiyle düşüş göstermiştir (Şekil 3.33).

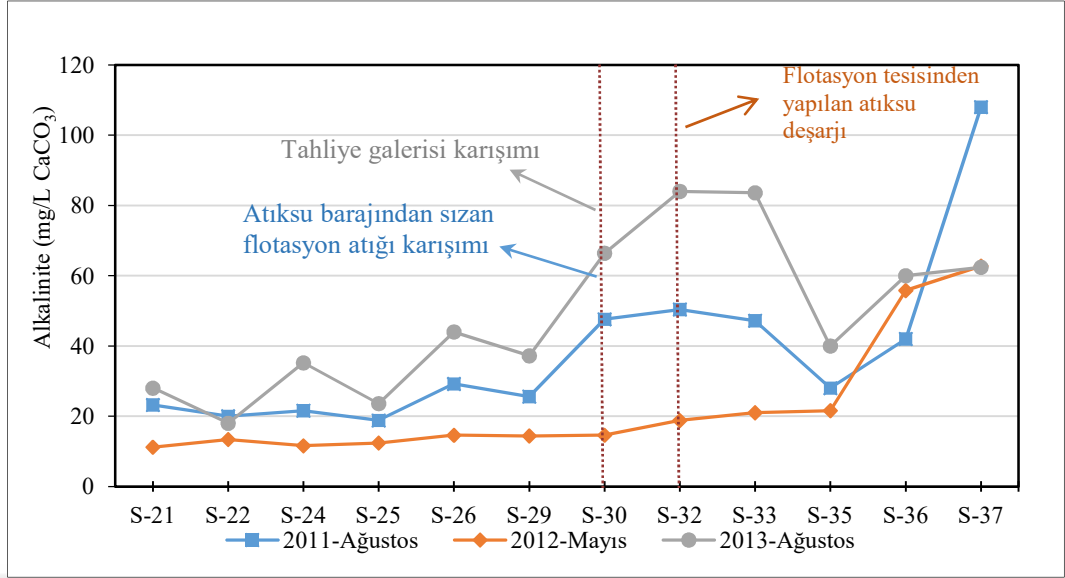
2011-Ağustos döneminde, Murgul Deresi akış yönünde, majör su kimyasında gözlemlenen değişim profili, hem sonraki yağışlı dönem (Mayıs-2012) hem de kurak dönem (Ağustos-2013) örneklemelerinde, seyrelme olsa da, benzer şekilde meydana gelmiştir (Şekil 3.32, Şekil 3.37). Her üç dönemde de Murgul Deresi, maden atıkları karışımı öncesinde Ca-Mg-SO₄-HCO₃, Ca-Mg-HCO₃-SO₄ tip su fasiyesine sahip iken, maden atıkları karışımı sonrası Ca-Mg-SO₄, Ca-SO₄ tipinde su fasiyesine dönüşmüştür (Şekil 3.34, 3.38). Borçka barajı ile kavuşum noktasında ise su fasiyesi tekrar Ca-Mg-SO₄-HCO₃ tipi fasiyesine dönüşmüştür (Şekil 3.34, 3.38).

2012-Mayıs döneminde, hem kontrol hem de maden atıklarıyla kirlenmiş alanda, nötre yakın ve alkali düzeylerde pH ölçülmüştür. Kontrol alanından alınan örneklerde, Na, Mg, Ca, SO₄, HCO₃, Cl iyonları açısından tüm dönemler arasında en düşük konsantrasyonlar ölçülmüştür (Şekil 3.37). Elektiriksel iletkenlik, alkalinite de en düşük değerlere sahiptir. Bu dönemde, Borçka Baraj havzası ile bağlantılı örnekler (S-36 ve 37) hariç, maden atıklarıyla kirlenmiş alandan alınan diğer örneklerin, alkaliniteleri (15-56 mg/L CaCO_3); elektiriksel iletkenlikleri (98-510 $\mu\text{S}/\text{cm}$), üç dönem içindeki en düşük değerlerdir. Ca, SO₄, Mg, Na, Cl HCO₃ konsantrasyonları da, en düşük değerleri vermiştir (Şekil 3.37). Yağışlı dönemde, karların erimesine bağlı olarak derelerin debilerinde gözlenen ciddi artış ve seyreltme etkisi sonucu, derelerin kimyasal içeriğinde kurak döneme göre azalmalara ve dolayısı ile EC değerlerinde düşüşe sebep olmuştur (Şekil 3.32).

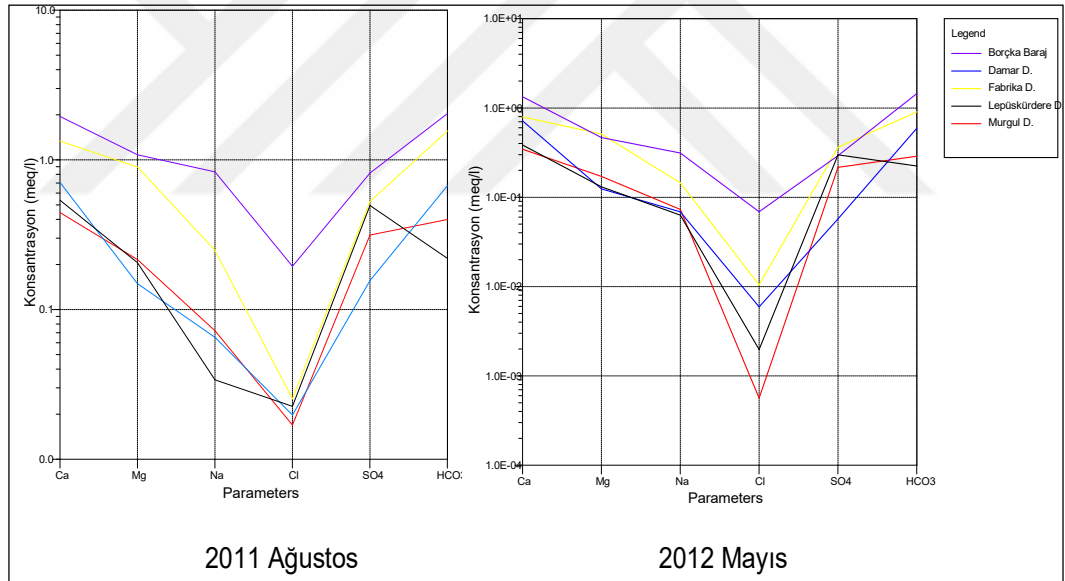
2013-Ağustos döneminde, Murgul Deresi'nin tümünde nötre yakın ve alkali pH (kontrol alanında 6,9-8,3; maden atıklarıyla kirlenmiş alanda 7,9-8,3 arasında) değerleri söz konusudur. Bu dönemde, genellikle 2011-Ağustos dönemi ile benzer özellikler ve değişimler görülmekle birlikte; maden atıkları ile kirlenmiş alanda, genellikle daha yüksek pH (2011-Ağustos 5,9-7,5 arasında) ve alkalinite (2011-Ağustos 26-59 mg/L CaCO_3) değerleri göze çarpmaktadır (Şekil 3.32-Şekil 3.33).



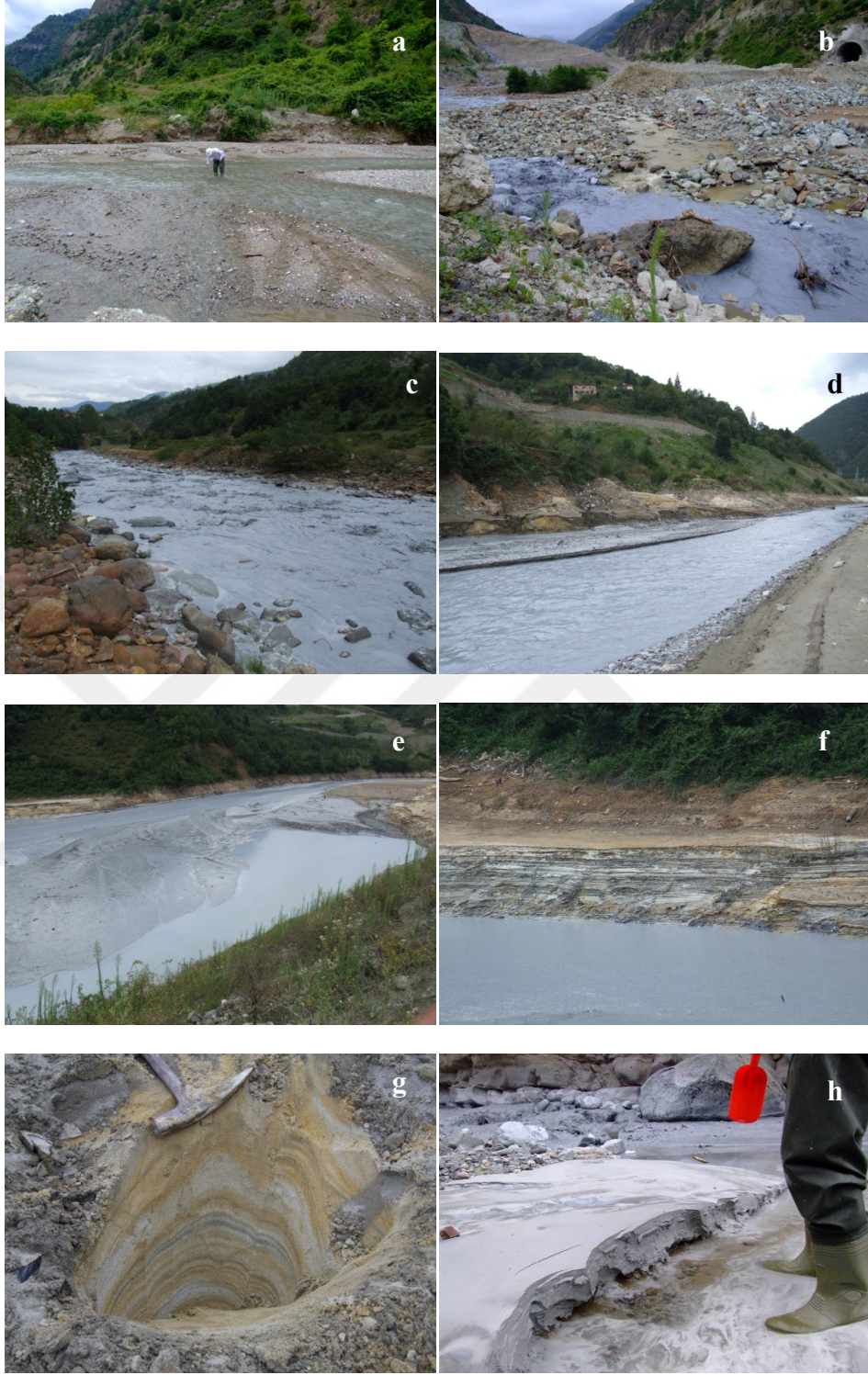
Şekil 3.32. 2011 ve 2013-Ağustos kurak dönem ve 2012-Mayıs yağışlı dönem örneklemesinde, Murgul Deresi örneklerinin pH ve EC değerlerinde, sülfat konsantrasyonlarında akış yönünde gözlenen dönemsel değişimler



Şekil 3.33. 2011 ve 2013-Ağustos kurak dönem ve 2012-Mayıs yağışlı dönem örneklemesinde Murgul Deresi örneklerinin alkalinite değerlerinde akış yönünde gözlenen dönemsel değişimler



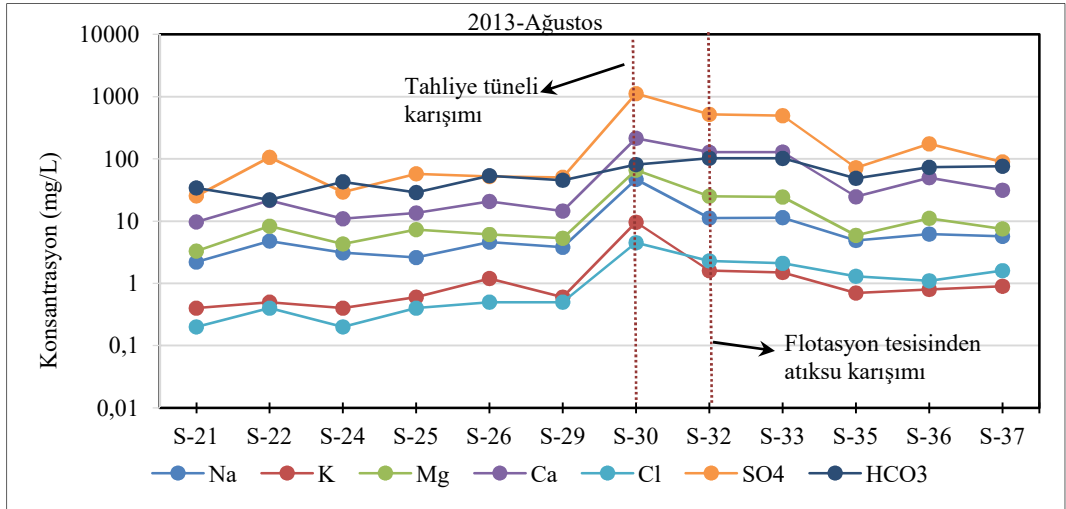
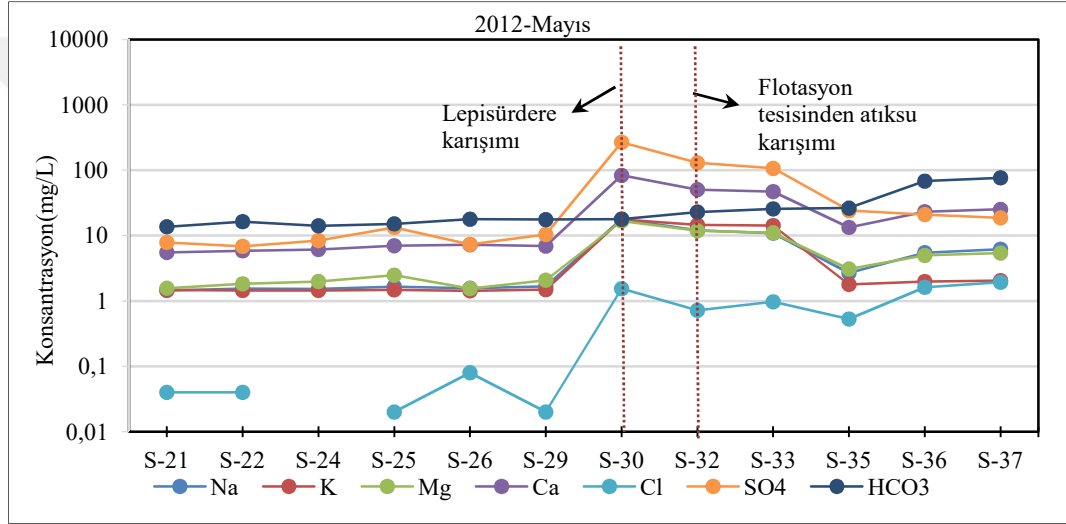
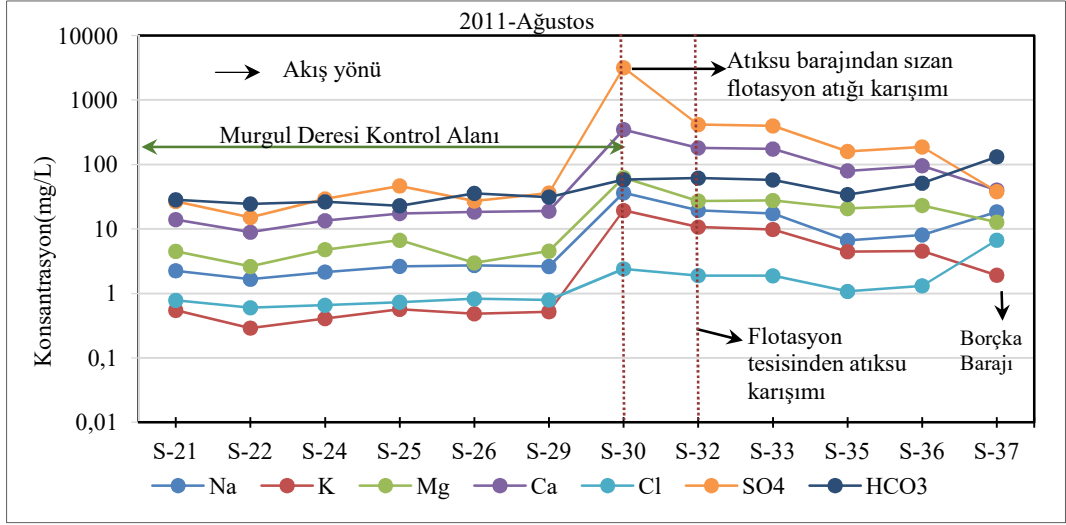
Şekil 3.34. İnceleme alanındaki yüzey sularının kontrol bölgelerinden farklı dönemlerde alınan örneklerin Schoeller diyagramı



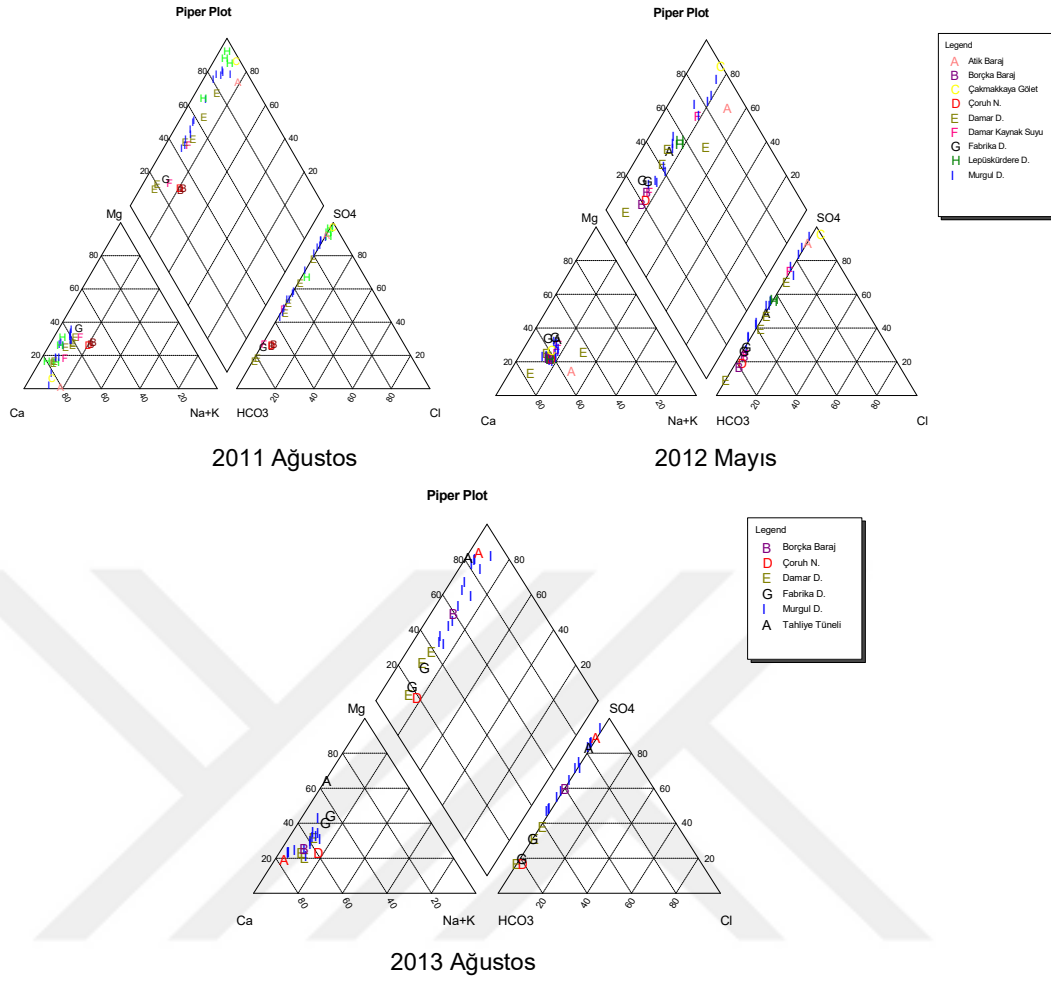
Şekil 3.35. Ağustos-2011 döneminde, Lepiskükdere vadisi boyunca gerçekleşen flotasyon çamuru kaçağının Murgul Deresi'ne etkisinin akış yönünde izlenmesi a- Murgul deresi Lepiskükdere karışım öncesi b- Murgul deresi Lepiskükdere karışım sonrası c- Murgul ilçesi çıkışı d, e- Borçka baraj rezervuarı karışımı öncesi. f- Borçka baraj rezervuarı karışım noktasında atık çökeliminin oluşturduğu katmanlar g- Dere yatağındaki güncel atık çamur çökelimi. h- Borçka baraj rezervuarı kavuşum noktasında geçmişte çökelmiş atık çamurları



Şekil 3.36. Murgul Deresi'ni etkileyen diğer küçük ölçekli deşarjlar (Ağustos-2011) a-Lepüskürdere'nin batısındaki yüzeysel drenajdan yapılan atıksu drenajının Murgul Deresine karışım noktası, b,c-Damar Deresi'nin Murgul Deresi'ne karışımı öncesi, d-Damar Sahası'ndan yapılan deşarj sırasında yankolda bulanıklaşma, e- Damar Sahası'ndaki atık suların Damar Deresi yan koluna deşarjı



Şekil 3.37. Murgul Deresi'nin majör iyon kimyasında, akış yönünde gözlenen dönemsel değişimler

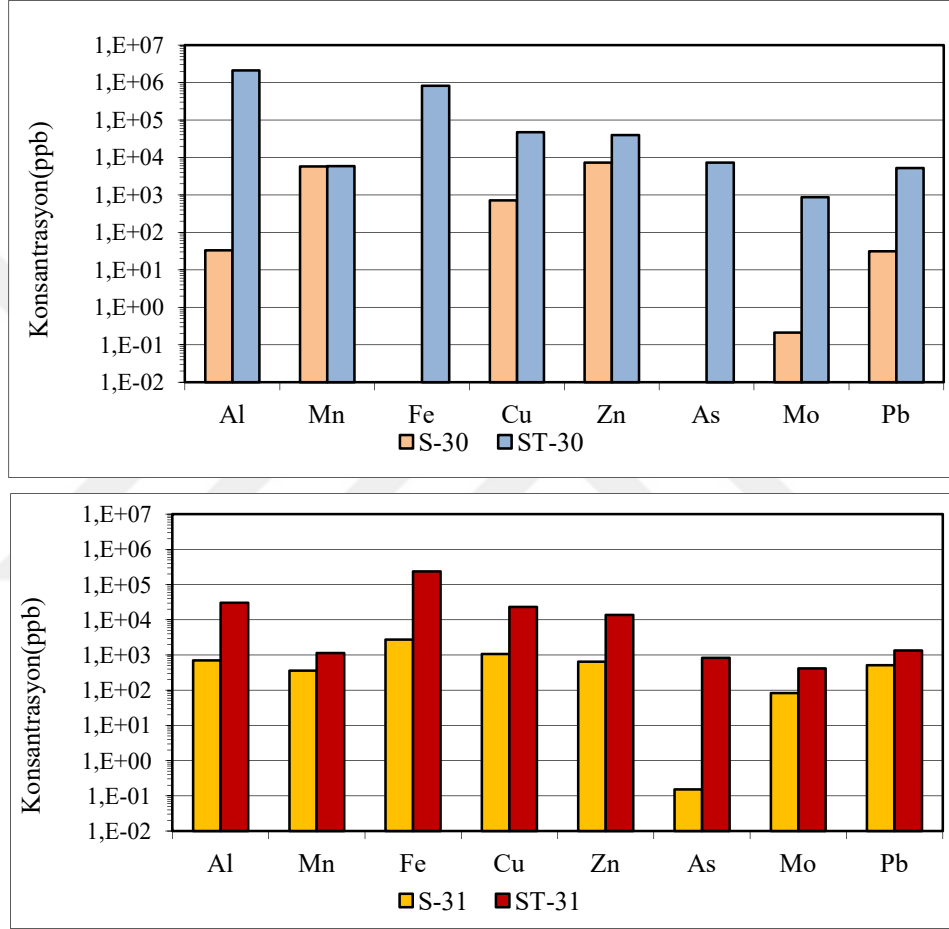


Şekil 3.38. İnceleme alanındaki yüzey su örneklerinin farklı dönemlerdeki su fasiyes değişimlerini gösteren Piper diyagramları

Tez çalışmasında, hem ana yüzey suyu olan Murgul Deresi'nin, hem de Murgul Deresi'ne kirletici taşıyan diğer unsurların metal konsantrasyonları tespit edilmiştir. Metal konsantrasyonları hem çözünmüş fazda (S-), hem de askıdaki maddeye tutunarak taşınan ve çevresel olarak salınım potansiyeli yüksek (environmentally available) fazda (ST-) tespit edilmiştir. Sahadan alındığında balçık halinde olan örnekler EPA 3051A yöntemine göre, süspansiyon halinde olan örnekler ise EPA 3015 yöntemine göre çözüldürülerek analize hazır hale getirilmiştir.

Murgul Deresi'nin kirletici durumu incelenmeden önce, Murgul Deresi'ne karışan kaçak ve deşarjların metal yüklerini incelemek, durum değerlendirmesi yapmak adına daha uygun bulunmuştur (Tablo D.1, Şekil 3.39).

Şekil 3.39'da, Murgul Deresi'ne kirlilik taşıyan en önemli unsurlar olan S-30 (Lepiskürdere flotasyon çamuru kaçağı) ve S-31 (Flotasyon tesisinden gelen atık su deşarjı) örneklerinde önemli kirleticiler grafiklenmiştir. Her iki örnekte de ana kirletici taşınım mekanizması, askıdaki katı maddeye tutunma yoluyla olan taşınımıdır. Her iki örnekte de, çözülmüş faz ile toplam faz arasında ciddi farklar vardır.



Şekil 3.39. 2011-Ağustos döneminde Murgul Deresi'ne yapılan maden kaynaklı deşarjların çözülmüş (S-) ve toplam (ST-) fazdaki bazı metal konsantrasyonları

Lepiskürdere karışım noktasından olan deşarjın toplam metal yükleri (özellikle Al, Fe, Mn, Cu, Zn, As, Pb, Mo) diğer deşarj noktalarına göre oldukça yüksektir (Tablo D.1, Şekil 3.39). Lepiskürdere vadisinden Murgul Deresi'ne karışan flotasyon kaçağı örneğinin (ST-30) toplam demir konsantrasyonu, flotasyondan gelen atıksu deşarjının (ST-31) toplam demir konsantrasyonundan yaklaşık 26 kat, bakır konsantrasyonu 13 kat, kurşun konsantrasyonu 17 kat, çinko konsantrasyonu 19 kat,

arsenik konsantrasyonu ise 73 kat fazladır. Hem deşarj debisi, hem de metal yükleri açısından dikkate alındığında Lepiskürdere noktasından (S-30) meydana gelen kirlenmenin, 2011-Ağustos döneminde, akış aşağıda Murgul Deresi su kalitesini etkileyen en önemli noktasal kaynak olduğu söylenebilir.

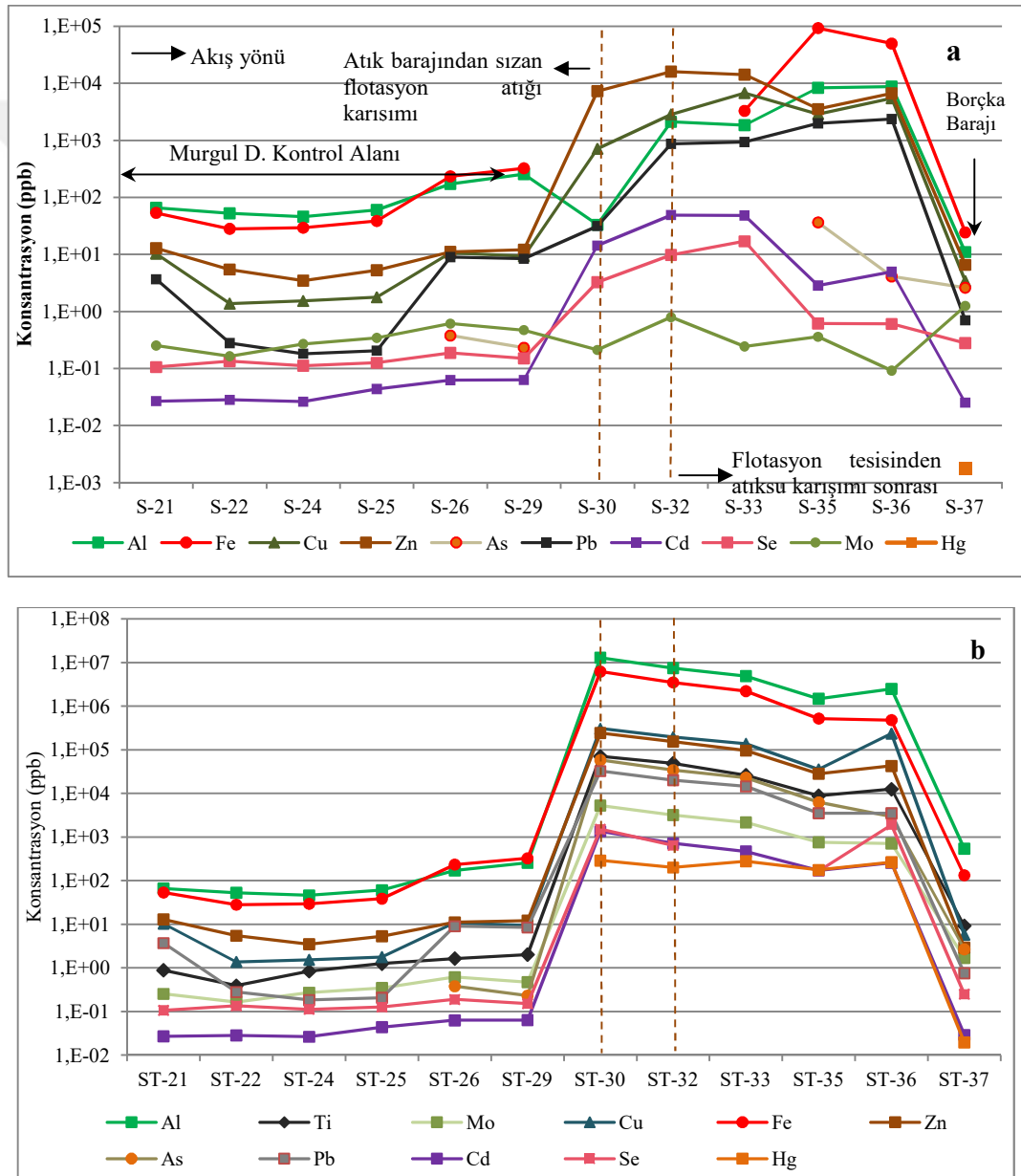
Murgul Deresi'nde 2011-Ağustos döneminde, kontrol alanından ve maden atıklarıyla kirlenmiş alandan örneklerin çözülmüş (S-) ve toplam (ST-) fazdaki element konsantrasyonları, Tabloda, örneklerin sıralaması, beslenme noktasından boşalım noktasına doğru olacak şekildedir; S-21 - S-29 örnekleri kontrol örnekleri, diğerleri maden atıklarıyla kirlenmiş alandan alınan örneklerdir.

Bu dönemde madenin etkisi altındaki alandan alınan örneklerin pek çoğu adeta balçık gibi oldukları için, bu tür örnekler (ST-30-ST-36) EPA 3051A metoduna göre; S-37 örneği ise EPA 3015 metoduna göre çözüldürülmüştür. Elde edilen konsantrasyonlar da, çamurdan salınabilecek (environmentally available) toplam element konsantrasyonlarını temsil etmektedir. ST-30 - ST-36 örneklerinin element konsantrasyonları çamur malzemesindeki konsantrasyonu (örn. mg/kg çamur) temsil etmektedir. Bünyesinde oldukça yoğun partiküler madde bulunduran (Şekil 3.35) bu örneklerdeki toplam metal konsantrasyonu, çözülmüş fazdaki metal konsantrasyonundan ciddi anlamda farklılaşmaktadır (Tablo D.2, Şekil 3.40b).

Murgul Deresi'nin madenden etkilenmeyen yukarı drenajlarından alınan su örnekleri, Tablo D.2'de belirtilen parametreler açısından I. sınıf su kalitesi sergilemiştir. Bu alandan alınan su örnekleri, askıda katı madde içermediğinden, çözülmüş fazdaki element konsantrasyonları aynı zamanda toplam konsantrasyonu temsil etmektedir.

Madenin etkisi altında kalan kısımda ise, atık su barajından meydana gelen flotasyon çamur kaçağının (S-30) Murgul Deresi'ne karışmasına bağlı olarak, su örneklerinin hem çözülmüş hem de toplam metal konsantrasyonunda ani artışlar gözlenmiştir. Bu örneklerde dikkat çeken elementler ise Al, Fe, Mn, Cu, Zn, Pb ve Cd'dir (Şekil 3.40, Tablo D.2). Bu metaller açısından, Murgul Deresi, Lepiskürdere'den itibaren Borçka Barajı su kavuşum noktasına kadar olan drenaj kesitinde, IV. sınıf su kalitesi (Yüzeysel Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği değerlerine göre) göstermektedir. Hem çözülmüş hem de toplam fazdaki bu kirlenici yüklerinin etkisi Borçka Barajı su toplama sınırına kadar hissedilmektedir (Şekil 3.40). Çözülmüş fazda taşınan

kirletici yüklerinden daha önemlisi askıdaki katı malzemeye tutunarak taşınan ve malzemeden liç olabilecek (environmentally available) metal konsantrasyonlarıdır. Tablo D.2’de Murgul Deresi’nden alınan sulu çamur (slurry) örneklerindeki toplam element konsantrasyonları görülmektedir. Bu örneklerde yüksek konsantrasyonları ile dikkat çeken elementler ise Al, Fe ve Cu ve Zn’dir (Şekil 3.40). Ağustos-2011 örneklemeinden elde edilen analiz sonuçları, Murgul Deresi’nin maden etkisi altındaki bölümünde hakim olan kirletici taşınım mekanizmasının, askıdaki maddeye tutunarak gerçekleştiğini göstermektedir.



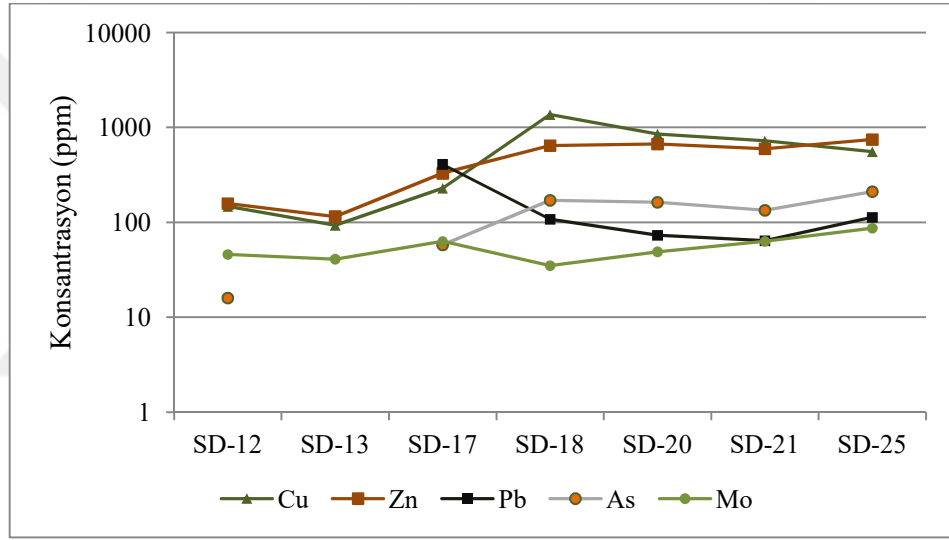
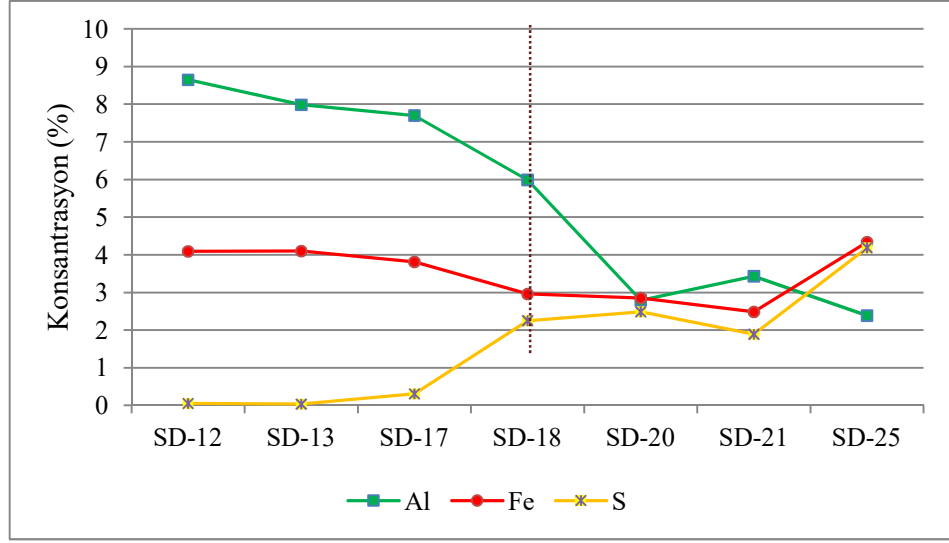
Şekil 3.40. Murgul Deresi su örneklerinin a- çözülmüş b- toplam element konsantrasyonlarının 2011-Ağustos döneminde akış yönünde değişimi

Maden kaynaklı kirlenmenin etkisi Murgul Deresi sedimentlerinde de görülmektedir (Tablo B.4, Şekil 3.41). Atık su barajından kaçakların Murgul Deresi'ne karışmaya başladığı Lepiskürdere noktasından itibaren (SD-18), özellikle S, Cu, As ve Zn elementlerinde, Murgul Deresi-Borçka Barajı kavuşum noktasına kadar belirgin bir artış gözlenmektedir (Şekil 3.41). As konsantrasyonu, Murgul Deresi'nin temiz kesiminden alınan SD-12 örneğinde 16 ppm iken, maden atıkları ile kirlenmiş alandan alınan SD-25 örneğinde 158 ppm'e yükselmiştir. Aynı şekilde, Cu 147 ppm'den 554 ppm'e; Zn 158 ppm'den 766 ppm'e; Ba 276 ppm'den 5995 ppm'e; S ise %0,05 ile başlayıp %4,2'ye kadar yükselmiştir. Benzer bir anomali Mo elementinde de az da olsa görülmektedir. Pb elementinde belirgin bir anomali tespit edilmemiştir.

Sedimentlerin Al ve Fe içeriklerinde ise metallerin aksine ters bir anomali izlenmiştir (Şekil 3.41). Bu durum Murgul Deresi'ne karışan flotasyon malzemesinin jeokimyasından kaynaklanmıştır. Atık barajında çökeltilen flotasyon malzemesinin Al (% 4,79) ve Fe (% 2,76) içerikleri, Murgul deresi kontrol noktalarından alınan sedimentlerin Al ve Fe içeriklerinden sırasıyla %70 ve %50 kadar daha düşüktür (Tablo B.4).

Murgul Deresi'nde 2012-Mayıs döneminde, kontrol alanından ve maden atıklarıyla kirlenmiş alandan alınan örneklerin çözünmüş (S-) ve toplam (ST-) fazdaki element konsantrasyonları, Tablo D.3'de verilmiştir. Tabloda, örneklerin sıralaması, beslenme noktasından boşalım noktasına doğru olacak şekildedir; S-21 - S-29 örnekleri kontrol örnekleri, diğerleri maden atıklarıyla kirlenmiş alandan alınan örneklerdir.

Madenin etkisi altındaki alandan alınan örnekler EPA 3015 metoduna göre çözüldürülmüştür, elde edilen konsantrasyonlar da, örneklerden salınabilecek (environmentally available) toplam element konsantrasyonlarını (ST-) temsil etmektedir.



Şekil 3.41. Murgul Deresi sedimentlerinde öne çıkan bazı elementlerin akış yönünde dağılımı (SD-18 öncesi Murgul Deresi kontrol alanını temsil etmektedir)

2012-Mayıs döneminde, Murgul Deresi boyunca alınan tüm örneklerde alkali pH değerleri ölçülmüştür; kontrol alanında 6,7-8,7 arasında; maden atıklarıyla kirlenmiş alanda ise 6,8-8,6 arasında değişmiştir. Elektriksel iletkenlik kontrol alanında 40-58 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişirken, maden atıkları karışımından itibaren 98-510 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aralığına yükselmiştir (Şekil 3.32). Murgul Deresi'nin kontrol alanı ile maden atıklarıyla kirlenmiş alanı arasında, majör iyon kimyalarında genel bir artış ölçülmüştür (Şekil 3.37).

Yağışlı dönemi temsilen 2012-Mayıs döneminde yapılan arazi çalışmasında, 2011 yılında Lepisküredere vadisinden Murgul Deresi'ne karışan flotasyon çamuru

kaçakların önleildiği görülmüştür (Şekil 3.28). Bu durumun Murgul Deresi'nin su kalitesi üzerindeki olumlu etkisi, çok net bir şekilde gözlenmiştir (Şekil 3.42, Şekil 3.43).

Bu dönemde, derelerin debilerinde gözlenen artış, suların majör iyon ve iz element konsantrasyonlarının düşmesini (2011-Ağustos dönemine göre) sağlamıştır (Tablo C.2). Değişimin etkisi Murgul Deresi boyunca ölçülen EC, sülfat ve majör iyon profillerinde belirgin bir şekilde görülmektedir (Şekil 3.32, Şekil 3.37). 2012-Mayıs döneminde, 2011-Ağustosa göre, majör iyonlar arasında, en belirgin düşüş sülfatta ölçülmüştür. 2012-Mayıs döneminde, Murgul Deresi boyunca ölçülen sülfat konsantrasyonunda, 2011 döneminde göre, yaklaşık 2-9 kat azalma görülmüştür.

Madencilik faaliyetlerin Murgul Deresi'ni etkilemeye başladığı Lepisküredere-Murgul Deresi kavuşum noktasında (S-30), Ağustos-2011 kurak dönem örnekleme dönemine göre, derenin elektriksel iletkenliğinde (510 $\mu\text{S}/\text{cm}$) ve alkalinitesinde (15 mg/L CaCO_3), üçer kat; sülfat konsantrasyonunda (268 mg/L) ise 7 kat düşüş meydana gelmiştir (Şekil 3.32, Şekil 3.34). pH değerinde ise ciddi bir değişim meydana gelmemiş (Şekil 3.32). Bu noktada ölçülen EC, sülfat, alkalinite ve pH değerleri Murgul Deresi'nin arka plan düzeyinden, drenajın en üst noktasından alınan örnekle (S-21) karşılaştırıldığında EC değerinde 13 kat ve sülfat konsantrasyonunda ise 34 kat artışın gözlemlendiği, pH ve alkalinite de ise kayda değer bir değişimin meydana gelmediği görülmüştür (Şekil 3.32).

Sonuç olarak, maden sahasının Murgul Deresi su kimyasına olan olumsuz etkisinin bu dönemde de, azalarak da olsa, devam ettiği görülmüştür. Murgul Deresi boyunca, su örneklerinin majör iyon konsantrasyonlarında azalma olsa da, değişim profilleri yağışlı ve kurak dönemde de birbirine benzerlik göstermiştir (Şekil 3.37).

2012-Mayıs döneminde, Damar sahasından Damar Deresi'ne olan anlık deşarjların ve işletmeden kaçan flotasyon atık suyunun Murgul Deresi'ne karışımının devam ettiği de izlenmiştir.

Maden sahasından kaynaklanan metal kirliliğinin boyutu 2012-Mayıs döneminde de araştırılmıştır. Kontrol amaçlı olarak, derenin madenden etkilenmeyen yukarı drenajlarından alınan su örnekleri, Tablo D.3'de belirtilen parametreler açısından,

yağışlı dönemde de I. sınıf su kalitesine sahiptir. Maden sahasının etkisi altında kalan kısımda, incelenen elementlerin çoğunun konsantrasyonunda bir artış gözlenmesine karşın, metal konsantrasyonları açısından, Murgul Deresi I. sınıf su kalitesini korumuştur (Şekil 3.44). Sadece karışım noktasına yakın bir noktada alınan örneklerde, Mn, Hg ve Cu açısından Murgul Deresi II. sınıf su kalitesi göstermiştir. Murgul Deresi'nin, 2011-Ağustos döneminde, Al, Fe, Mn, Cu, Zn, Pb ve Cd açısından, IV. sınıf su kalitesi sergilediği dikkate alınır, yağışlı dönemde, Murgul Dere suyu kalitesinde metaller açısından ciddi bir iyileşmenin söz konusu olduğu söylenebilir. İzlenen bu iyileşme, büyük oranda, Lepisküdere boyunca atık suyu barajından meydana gelen sızıntının kontrol altına alınması, kısmen de dere akımlarındaki artışa bağlı oluşan seyreltme etkisi sonucudur.

Çözünmüş fazdaki kirletici yüklerinin etkisi Borçka barajı su toplama sınırına doğru kaybolmaktadır (Şekil 3.42, 3.43). Çözünmüş fazda taşınan kirletici yüklerinden daha önemlisi partiküller boyutta taşınan malzemedan liç olabilecek (environmentally available) metal yükleridir. Tablo D.3'de Murgul Deresi'nden alınan filtrelenmemiş örneklerdeki metal konsantrasyonları görülmektedir (Şekil 3.44). Tablo D.3'de kontrol örneklerine göre yüksek metal konsantrasyonları ile dikkat çeken elementler Al, Fe, Cu, Mn, Zn, As ve Pb'dır. Bu durum yağışlı dönemde de metal taşınımının büyük oranda partiküller faza tutunarak gerçekleştiğini işaret etmektedir (Tablo D.3, Şekil 3.44).



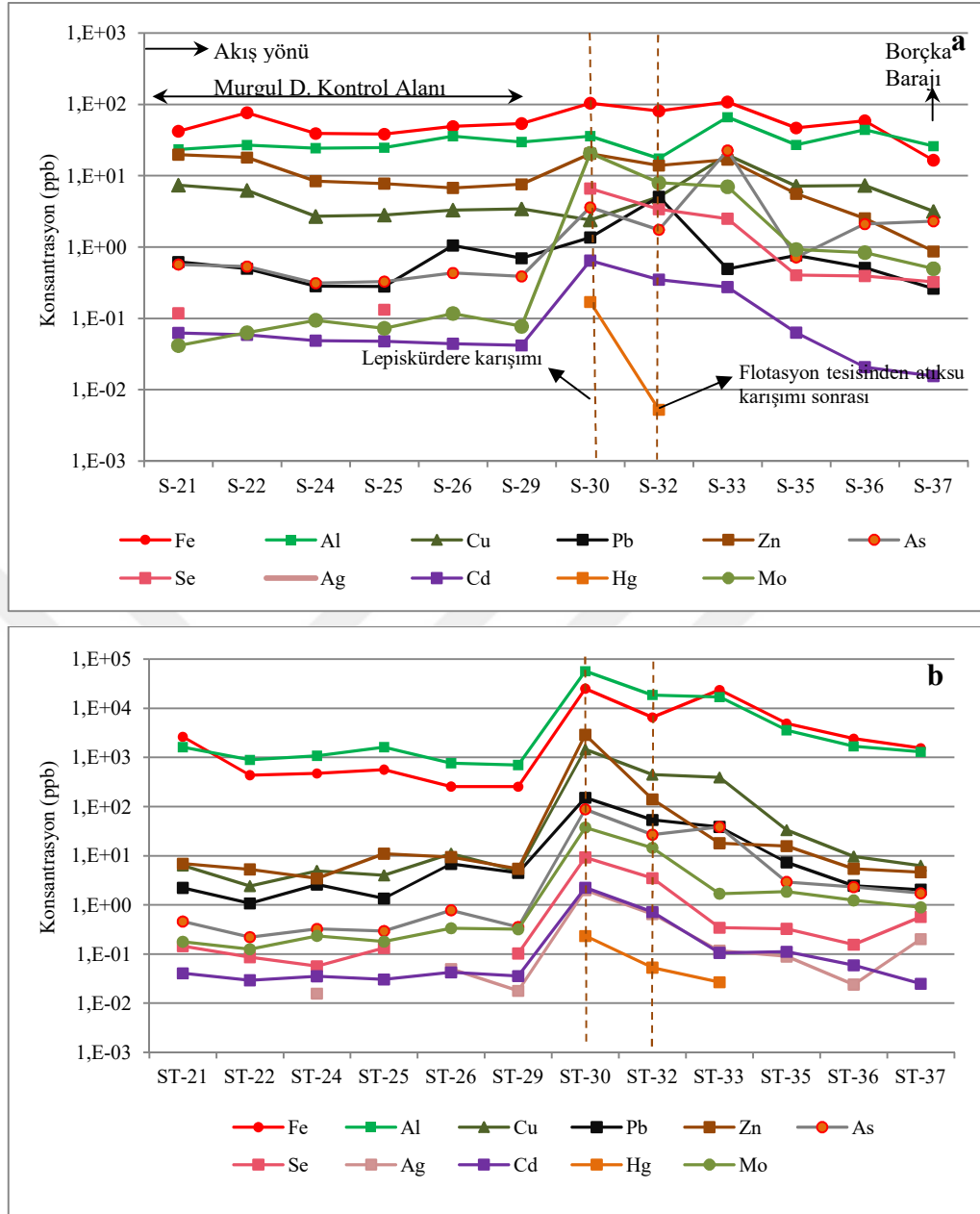
Şekil 3.42. Murgul Deresi'ne flotasyon atığı karışmadan önceki alanın a- 2011 ve b- 2012 yıllarındaki görünümü



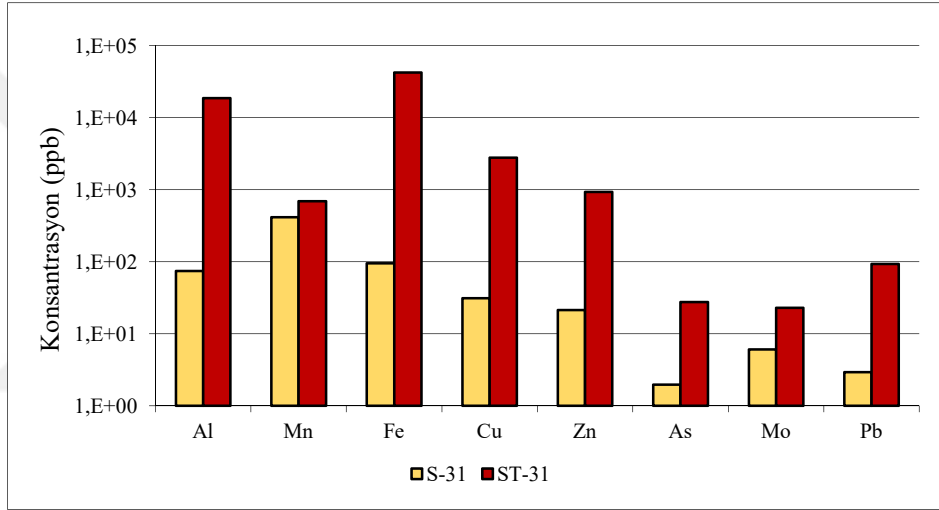
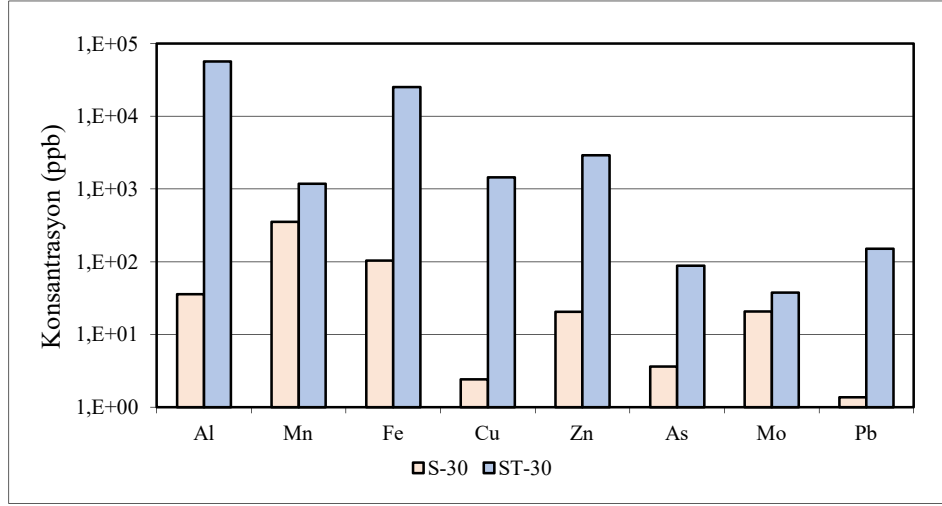
Şekil 3.43. Murgul Deresi-Borçka Barajı kavuşum alanının a-2011 ve b-2012 yıllarındaki görünümü

Murgul Deresi'ne Lepiskürdere vadisi üzerinden meydana gelen akışın flotasyon tesisinden atık suyu deşarjının kimyasal analiz sonuçları, dönemlere ayrılarak, Tablo D.1'de sunulmuştur. 2011-Ağustos döneminin aksine, yağışlı dönemde, Murgul Deresi'ne yapılan deşarjların metal konsantrasyonları çoğunlukla I. sınıf su kalitesi sınırları içinde kalmıştır. Flotasyondan gelen deşarjların ise Cu konsantrasyonu II. ve III. sınıf su kalitesi sınırları içindedir. Lepiskürdere'den ve flotasyondan gelen deşarjlar ise Mn ve Hg konsantrasyonları açısından II. sınıf su kalitesi sergilemektedir. Lepiskürdere'den Murgul Deresi'ne olan akış, 2012-Mayıs döneminde de, Murgul Deresi'ni etkileyen kirletici kaynakları arasında debisi en yüksek olanıdır.

Deşarj örneklerinin toplam (çözünmüş+partiküller faza tutunan) ve çözünmüş metal konsantrasyonları karşılaştırıldığında, metallerin büyük oranda (>%70) partiküller faza tutunarak taşındığı görülmektedir (Tablo D.1, Şekil 3.45). Partiküler fazda öne çıkan metaller Al, Fe, Cu, Zn, Mn, Pb, Mo ve As'dir (Tablo D.1, Şekil 3.45). Sonuç olarak, Ağustos-2011 kurak dönem örneklemesine göre Murgul Deresi'ni etkileyen kirletici kaynakların metal yüklerindeki azalma, 2012-Mayıs döneminde Murgul Deresi'nin su kalitesinin iyileşmesine katkı sağlamıştır.



Şekil 3.44. Murgul Deresi su örneklerinin a- çözülmüş (S-) b- toplam (ST-) element konsantrasyonlarının 2012-Mayıs döneminde akış yönünde değişimi



Şekil 3.45. 2012-Mayıs döneminde Murgul Deresi'ne yapılan maden kaynaklı deşarjların çözülmüş (S-) ve toplam (ST-) fazdaki bazı metal konsantrasyonları

2013-Ağustos döneminde kontrol alanında hem de maden atıkları karıştıktan sonraki alanda alkali pH değerleri ve orta düzeyde alkalinite (Kontrol: 18-44 mg/L CaCO₃; Maden atıkları karıştıktan sonra: 40-140 mg/L CaCO₃) ölçülmüştür (Şekil 3.34). Elektriksel iletkenlik değerleri kontrol alanından alınan örneklerde 19-45 µS/cm arasındayken; maden atıkları karıştıktan sonraki alanda 244-1837 µS/cm aralığına yükselmiştir (Şekil 3.32). Maden atıkları karıştıktan sonra majör iyon konsantrasyonlarında da artış ölçülmüştür (Tablo D.4).

2013-Ağustos döneminde, daha önceki örnekleme dönemlerinde olmayan, maden kaynaklı bir kirletici kaynağının (S-30 tahliye galerisi) Murgul Deresi'ne olan olumsuz etkisi tespit edilmiştir. Dekapaj sahası içinde depolanan yeraltı suları,

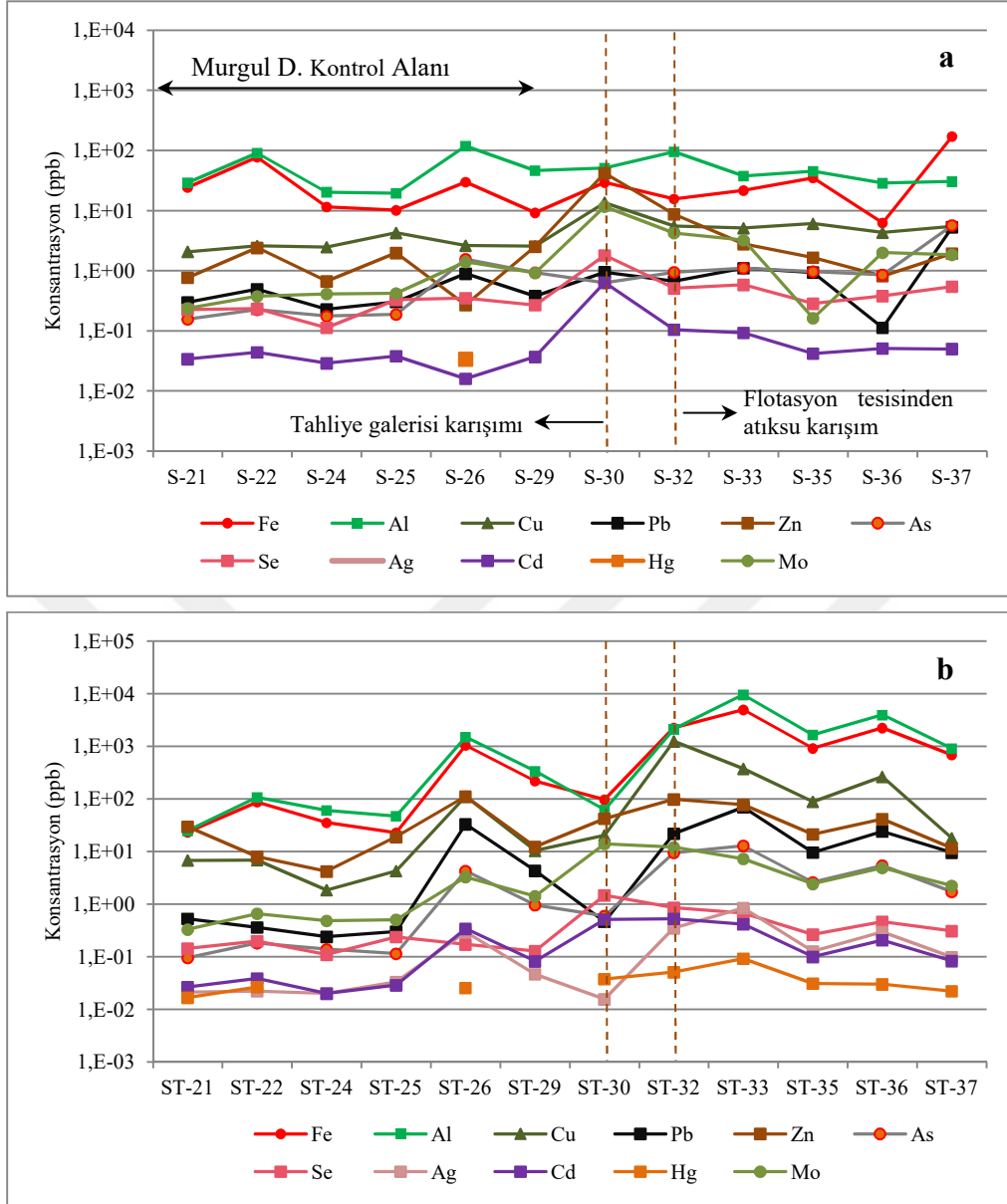
Lepiskürdere vadisi ile Murgul Deresi kavuşumunda açılan bir galeri vasıtasıyla, Murgul Deresi'ne deşarj edilmeye başlanmıştır. Bu durumun Murgul Deresi üzerindeki etkisi hem görsel olarak hem de su kimyası analizlerinde görülmektedir (Şekil 3.29). Demir içeriği zengin olan boşalımın, Murgul Dere yatağını kırmızıya boyayan demir oksit çökeller ile kaplaması, karışımın olduğu noktada daha belirgin olmakla birlikte, akış aşağıda bile rahatlıkla görülmektedir (Şekil 3.29). Bu dönemde Murgul Deresi'ne Lepiskürdere vadisinden meydana gelen akışın oldukça sınırlı düzeye olduğu görülmüştür. Ayrıca Damar sahasının kapanmasıyla, saha içi suların Damar Deresi'ne deşarjının son bulduğu (Şekil 3.30e); işletme tesisinden gelen flotasyon atık suyu deşarjının ise bu dönemde de Murgul Deresi'ni etkilemeye devam ettiği görülmüştür (Şekil 3.29c).

Galeriden tahliye edilen yeraltı suları bazik (pH: 7,78) karakterli olup, yüksek elektriksel iletkenliğe (1812 $\mu\text{S}/\text{cm}$) ve orta düzeyde bir alkaliniteye (171 mg/L CaCO_3) sahiptir (Tablo C.3). Ca-SO_4 tipi su fasiyesi sergileyen bu suların (Şekil 3.38) Murgul Deresi'ne karışımı sonrası, Murgul Deresi'nin pH değerinde arka plan düzeylerine göre önemli bir değişme meydana gelmezken; derenin EC değerinde, majör katyon ve sülfat konsantrasyonlarında 10 ile 22 kat arasında değişen artış meydana gelmiştir (Şekil 3.32). En büyük artış sülfat konsantrasyonunda gözlenmiştir (Şekil 3.37). Galeriden meydana gelen bu tahliyenin Murgul Deresi üzerindeki olumsuz etkisi, 2011–Ağustos dönemindeki flotasyon atık su kaçağının etkisine göre düşük olsa da, derenin su kimyasındaki değişim ve etkisi nispeten benzer düzeylerde gerçekleşmiştir (Şekil 3.32, 3.37).

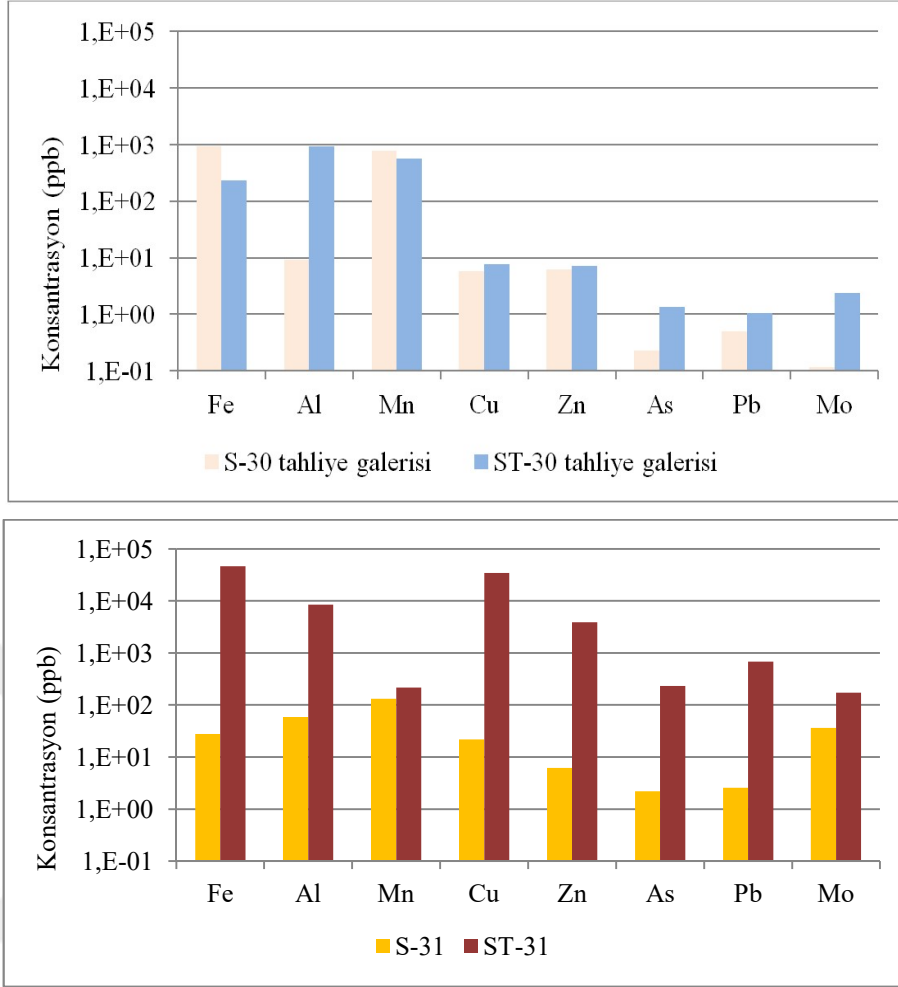
Murgul Deresi'nde 2013-Ağustos döneminde, kontrol alanından ve maden atıklarıyla kirlenmiş alandan alınan örneklerin çözünmüş (S-) ve toplam (ST-) fazdaki element konsantrasyonları, Tablo D.4'de verilmiştir. Madenin etkisi altındaki alandan alınan örnekler EPA 3015 metoduna göre çözündürülmüştür, elde edilen konsantrasyonlar, örneklerden salınabilecek (environmentally available) toplam element konsantrasyonlarını temsil etmektedir. Tabloda, örneklerin sıralaması, beslenme noktasından boşalım noktasına doğru olacak şekildedir; S-21 ve S-29 örnekleri kontrol örnekleri, diğerleri maden atıklarıyla kirlenmiş alandan alınan örneklerdir.

Ağustos-2013 döneminde, Murgul Deresi'nde çözülmüş fazda taşınan metal konsantrasyonlarında, maden kaynaklı deşarjların karışım noktaları ve akış aşağısında, arka plan düzeylerine göre su kalite sınıfını (I. sınıf) etkileyecek önemli bir artış görülmemiştir (Tablo D.4, Şekil 3.46). Mn ve Fe konsantrasyonlarındaki artış, Lepiskürdere yakınındaki tahliye galerisinden yapılan deşarjdan (S-30 tahliye tün.) kaynaklanmaktadır. Demir konsantrasyonundaki hızlı düşüş, demirin çökelerek su fazından ayrılmasından kaynaklanmaktadır (Şekil 3.29 a,b). Çözülmüş fazdaki yersel artışın etkisi, Borçka Barajı su toplama sınırına doğru seyrelmenin ve çökelimin etkisiyle önemli derecede azalmıştır (Şekil 3.46).

Murgul Deresi'nden alınan filtrelenmemiş örneklerdeki toplam metal konsantrasyonlarının, akış aşağı değişimi Şekil 3.46'da görülmektedir. Kontrol örneklerine nispeten yüksek metal konsantrasyonları ile dikkat çeken elementler, Al, Fe, Cu, Mn, As ve Pb'dir. Özellikle madenin etkisi altında kalan drenaj kısmında metal taşınımının büyük oranda partiküller faza tutularak gerçekleştiği görülmektedir. Murgul Deresi'nin kontrol kısmında sulardaki partiküller madde oranının düşük olması, nehrin bu kısmında katı faza tutularak taşınımı nispeten sınırlamıştır (Şekil 3.46, Tablo D.4). Bu sonuçlar, önceki örnekleme dönemleri ile de uyumludur. Bu dönemde maden etkisi altındaki drenajda su kalitesi, toplam metal konsantrasyonları açısından değerlendirildiğinde derenin Cu açısından IV. sınıf, Pb açısından II. sınıf su kalitesi sergilediği görülmüştür. Diğer metaller açısından I. sınıf su kalitesini korumuştur. Suyun kalitesindeki bu kısmi bozulmada tahliye galerisinden olan deşarjdan çok, tesisten gelen flotasyon atık suyu karışımının sorumlu olduğu görülmektedir (Şekil 3.29c, Şekil 3.47, Tablo D.4). Lepiskürdere'deki tahliye galerisinden yapılan deşarjlarda, metallerin ağırlıklı olarak çözülmüş fazda olduğu görülmektedir (Şekil 3.47). Bu durumda suların Eh'ındaki anoksikten oksik yöne olan değişiminin ve buna bağlı hızlı metal çökeliminin etkisi olduğu düşünülmektedir. Flotasyon tesisinden gelen atık suda ise metallerin, Mn dışında, ağırlıklı olarak askıdaki katı fazda bulunduğu görülmektedir (Şekil 3.47). Partiküler fazda öne çıkan metaller, flotasyon atığı için, Al, Fe, Cu, Zn, Pb, Mo ve As; tahliye galerisi deşarjı için ise Al, Fe ve Mn elementleridir (Şekil 3.47).



Şekil 3.46. Murgul Deresi su örneklerinin a- çözülmüş (S-) b- toplam (ST-) element konsantrasyonlarının 2013-Ağustos döneminde akış yönünde değişimi



Şekil 3.47. 2013-Ağustos döneminde Murgul Deresi'ne yapılan maden kaynaklı deşarjların çözülmüş (S-) ve toplam (ST-) fazdaki bazı metal konsantrasyonları

3.3.1.2. Damar Deresi

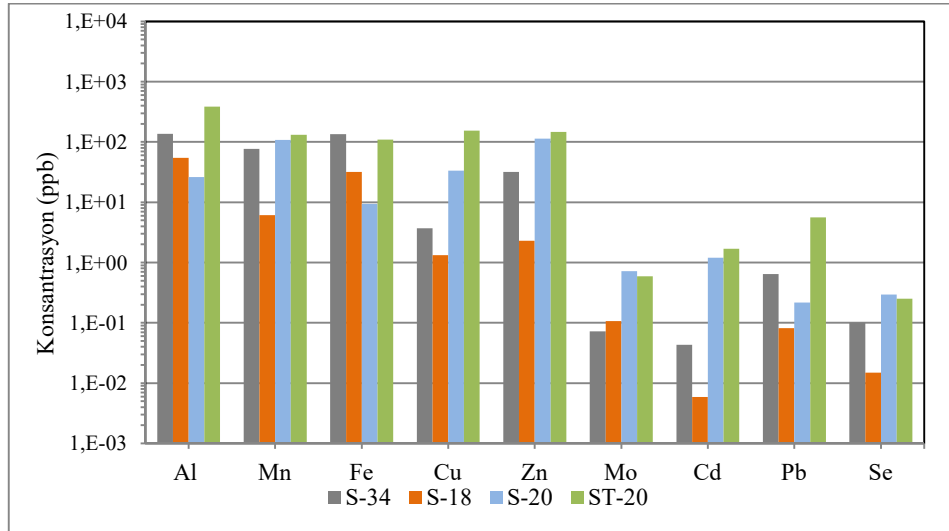
Murgul Deresi'ne kirletici taşıyan unsurlardan biri de Damar Deresi'dir (Şekil 3.30, 3.36 b,c,d ve e). Damar sahasından kaynaklanan atık suların, Damar Deresi yankoluna anlık olarak deşarj edilmesi sonucu oluşan kirlenme, önce Damar Deresi'ne, daha sonra da Murgul Deresi'ne taşınmaktadır.

Damar sahası içinde bulunan birikinti suları S-10 ve S-11 örnekleridir. Damar Deresi yankol örneklemesinde S-15 kontrol alanını temsil etmektedir. S-19 ve S-17, maden sahasından deşarj yapıldığı anda alınan örneklerdir. S-16, maden atıkları karışıktan sonraki alandan, deşarj yapılmadığı anda alınan örneği temsil etmektedir. S-45 ise maden sahasından deşarj edilen malzemedir (Tablo D.6).

Murgul Deresi'nde olduğu gibi, Damar Deresi'nde de örnekleme, hem kontrol (S-34 ve S-18) hem de maden atıklarıyla kirlenmiş alandan (S-20) yapılmış ve Şekil 3.48-Şekil 3.50 ve Tablo D.5'de Damar Deresi örneklerine ait element konsantrasyonları verilmiştir.

Bazık karakterdeki Damar Deresi (pH= 8,4), maden atık sularının karışmasından önceki kontrol alanında, Ca-HCO₃ su fasiyesi sergilerken, maden atıkları karışımı sonrasında, Murgul Deresi bağlantı noktasında, dönemsel olarak Ca-Mg-SO₄-HCO₃/Ca-Mg-HCO₃-SO₄ su özelliği göstermiş ve bazık özelliğini korumuştur. Dönemsel olarak Damar Deresi örnekleme noktalarındaki su fasiyeslerinde de önemli bir farklılaşma gözlenmemiştir (Ek-C).

Tüm örnekleme dönemlerinde, Damar Deresi'nin temiz kesiminde ölçülen çözünmüş ve toplam fazdaki metal konsantrasyonlarına göre, dere suyu I. sınıf su kalitesine sahiptir. Damar Deresi ile Murgul Deresi kavuşum noktasında da, Damar Deresi'nin I. sınıf su kalitesini korumuştur. Analiz sonuçları, Damar Deresi'nin deşarjlardan etkilenen kısımlarında metallerin büyük oranda, partiküler faza tutunmuş halde bulunduğunu göstermektedir (Tablo D.5).



Şekil 3.48. 2011-Ağustos döneminde, Damar Deresi'nin çözünmüş (S-) ve toplam (ST-) metal konsantrasyonlarının akış yönünde değişimi (S-34 ve S-18, Damar Deresi kontrol alanını; S-20 Damar Deresi'nin maden atıklarıyla kirlenmiş alanını temsil etmektedir)

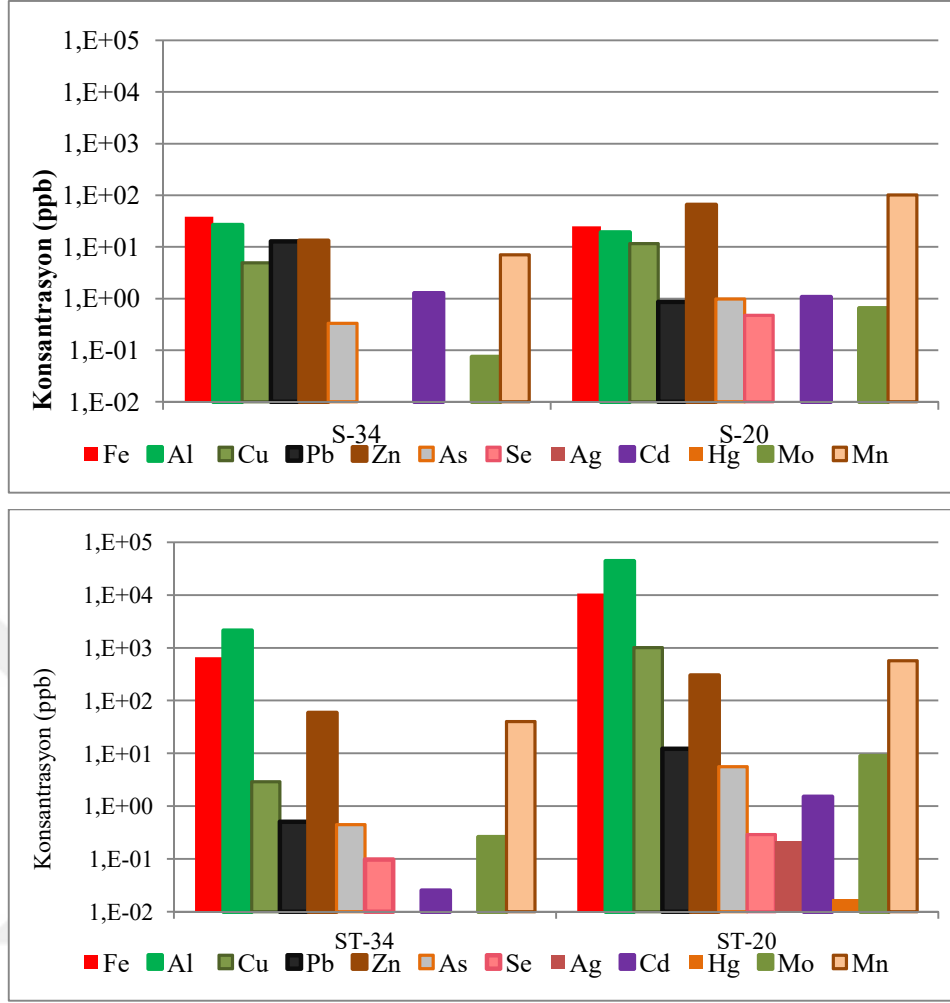
Damar Deresi'nin yan koluna, Damar sahasındaki su birikintilerinden anlık olarak deşarj edilen atık suyun miktarı, Lepisküredere vadisinde Ağustos-2011 döneminde

görülen flotasyon çamuru kaçağına göre oldukça düşük miktarda (Şekil 3.30) ve kirlletici potansiyeli açısından daha az önemlidir. Bu yüzden, Lepisküdereye göre, daha düşük potansiyele sahip bir kirlletici kaynağıdır.

2011 yılında, Damar Deresi'nin yan koluna anlık olarak yapılan deşarjlar sırasında yankoldan alınan örneklerde çözülmüş metal konsantrasyonlarının deşarj öncesine göre, özellikle, Fe, Mn, Cu, Zn, Al ve Pb açısından zenginleştiği görülmüştür (Tablo D.6, Şekil 3.51). Deşarj anında ve deşarj noktası yakınında, Damar Deresi'nin yan kolu, Cu açısından IV. sınıf; Al, Mn ve Pb açısından II. sınıf; Zn açısından ise III-IV. sınıf su kalitesi göstermiştir. Şekil 3.51'de görüldüğü gibi, Damar sahasından deşarj yapıldığı anda alınan S-17 ve S-19 örnekleri, deşarj yapılmadığı durumda alınan diğer örneklerle göre yüksek, Cu, As, Mn, Fe, Ni, Al ve Zn konsantrasyonlarına sahiptir. 2011-Ağustos döneminde, Damar Deresi yankoluna deşarj edilen örnekler içinde en fazla kirlletici yükü S-45 örneğindedir. Bu örnek toplam fazda, S-10 örneğine göre, yaklaşık 15 kat fazla As, 3,5 kat fazla Al, 3 kat fazla Fe, 4 kat fazla Pb ve 6 kat fazla Cr içermektedir.

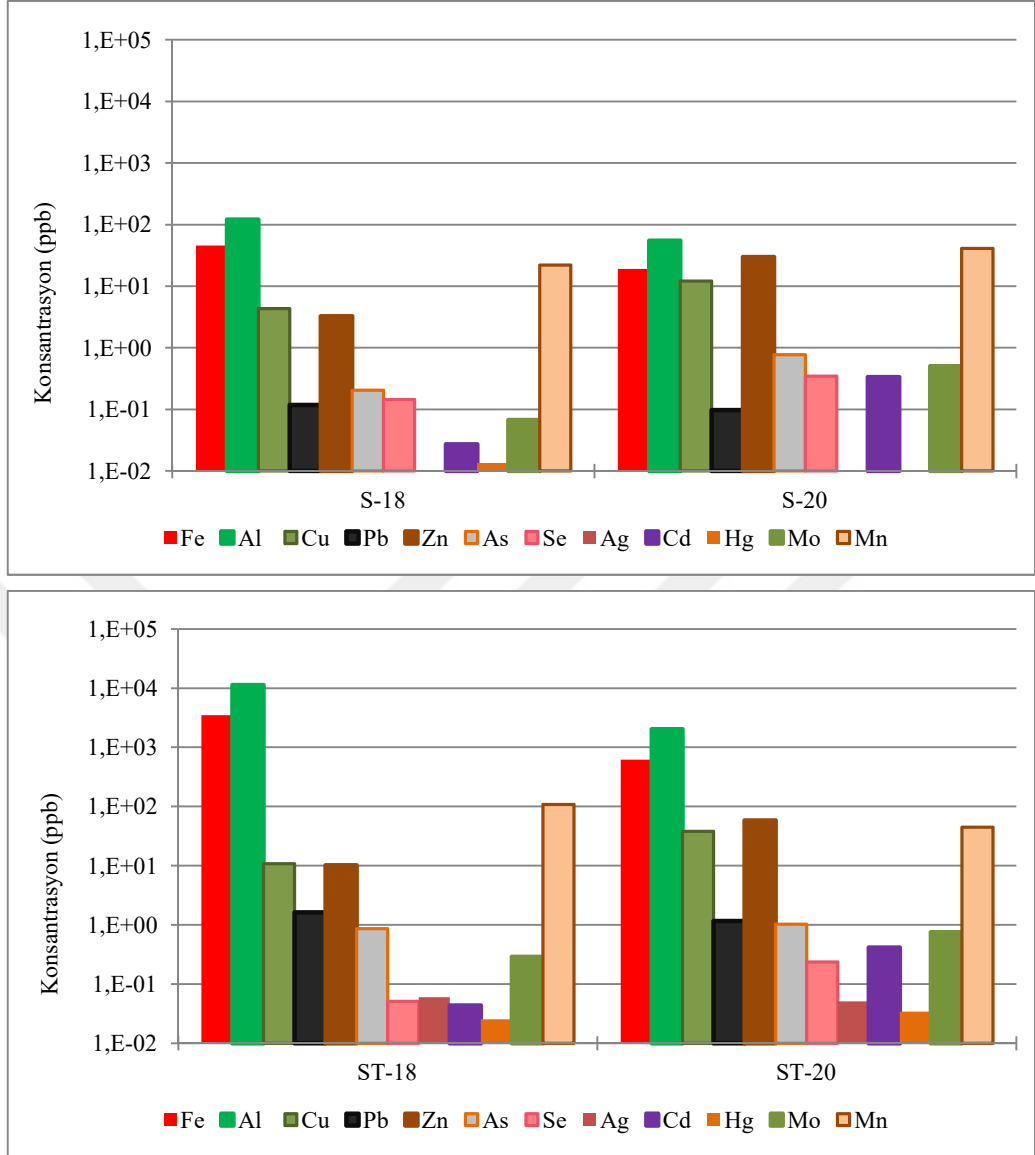
2011 ve 2012 yıllarında yapılan çalışmada yankoldan alınan S-19 örneğinde, Se, Ti ve Cr hariç diğer tüm elementler, 2012 yılında, hem çözülmüş hem toplam fazda düşüş göstermiştir. Yankollar aracılığı ile taşınan kirlleticiler en fazla 2011-Ağustos döneminde etkili olmasına ve 2013-Ağustos döneminde maden sahasından deşarj yapılmamasına karşın, S-20 (Damar Deresi'nin maden atıklarıyla kirlenmiş bölümünden alınan örnek) örneğinde, yıllar içinde çok belirgin bir değişim izlenmemiştir. 2013 -Ağustos döneminde, Ti, V, Mn, Cu ve Zn açısından azalma görülürken, diğer elementlerde belirgin bir değişim izlenmemiştir.

Diğer bir deyişle, Damar Deresi yan kolunun taşıdığı maden içi suların etkisi, Murgul Deresi ile birleşim noktasına kadar ulaşmaktadır (Şekil 3.36 b,c). Ancak, bu noktada (S-20), dere suyu kalitesindeki bozulma fazlaca hisedilmemektedir. Bunun sebebi, hem anlık yapılan deşarjların kirlletici yükünün fazla olmaması, hem de akış aşağı gerçekleşen seyrelmedir (Tablo D.5, Şekil 3.48-Şekil 3.50). Damar Deresi ana kol ve yan kolunda, su kalitesindeki bozulma yalnızca boşalım noktası ve bu noktanın yakınları ile sınırlıdır. Tablo D.5'de sunulan veriler de bu sonucu desteklemektedir.

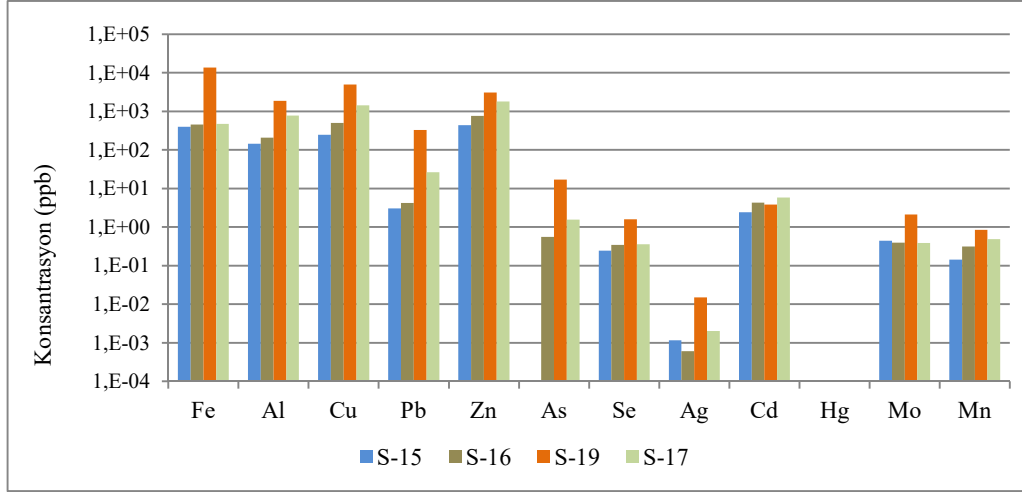


Şekil 3.49. 2012-Mayıs döneminde, Damar Deresi'nin çözünmüş (S-) ve toplam (ST-) metal konsantrasyonlarının akış yönünde değişimi (S-34, Damar Deresi kontrol alanını; S-20 Damar Deresi'nin maden atıklarıyla kirlenmiş alanını temsil etmektedir)

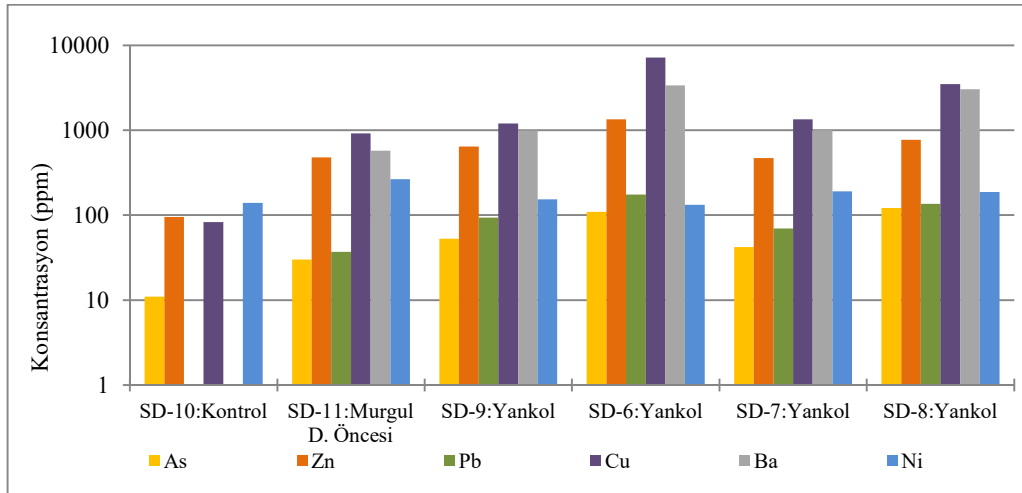
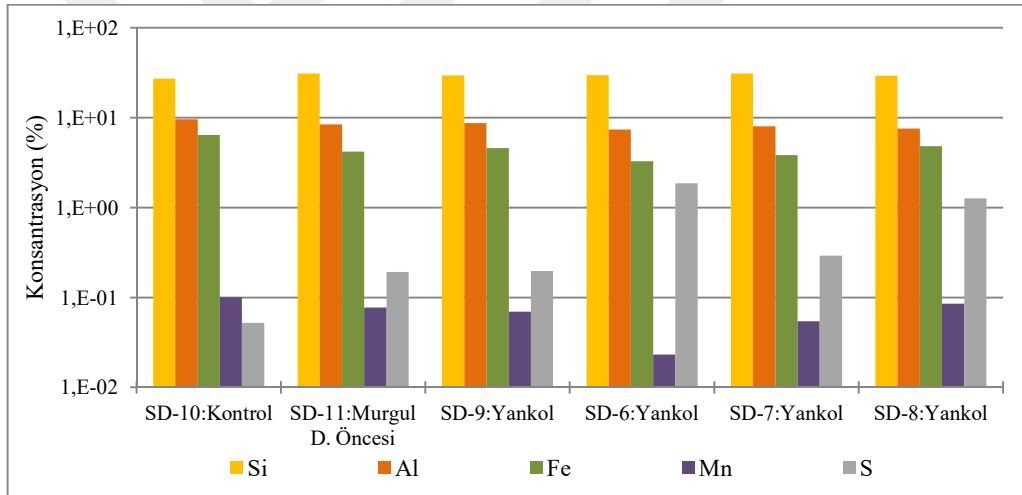
Ağustos-2011 örneklemede Damar sahasından Damar Deresi yan koluna yapılan drenajların dere sedimentleri üzerindeki etkisi de incelenmiştir. Damar deresi yan kolu üzerinden toplanan sediment örnekleri jeokimyasal açıdan Damar sahası drenaj malzemesine benzemektedir (Tablo B.4, Şekil 3.52). Damar Deresi ile Murgul Deresi kavuşma noktasından alınan sediment örneğinde (SD-11), derenin temiz kısmına (SD-10) göre metal değerlerinde (özellikle Cu, Zn, Pb ve As) artış gözlenmiştir (Şekil 3.52). Kükürt hariç diğer oksitlerde ise belirgin bir değişim gözlenmemiştir (Şekil 3.52). Damar sahası drenajının dere sedimentleri üzerindeki etkisi Damar Deresi'nin en düşük kotuna kadar hissedilmektedir (Şekil 3.36b,c). Ancak bu durum, 2013 yılında Damar sahasının kapanması ve deşarjların durmasıyla son bulmuştur.



Şekil 3.50. 2013-Ağustos döneminde Damar Deresi'nin akış yönünde çözülmüş (S-) ve toplam (ST-) metal konsantrasyonlarının değişimi (S-18, Damar Deresi kontrol alanını; S-20 Damar Deresi'nin maden atıklarıyla kirlenmiş alanını temsil etmektedir)



Şekil 3.51. 2011-Ağustos döneminde Damar Deresi yan koluna Damar sahasından yapılan anlık deşarj sonrası derenin akış yönünde çözünmüş metal konsantrasyonlarının değişimi (S-15 örneği Damar Deresi yan kolunun temiz kısmını, S-16 ve S-17 deşarj sonrası, S-19 ise deşarj anını temsil etmektedir.)



Şekil 3.52. 2011-Ağustos döneminde Damar Deresi sedimentlerinde anomali veren bazı elementlerin konsantrasyonlarının dağılımını

3.3.1.3. Lepiskürdere

Lepiskürdere'nin kontrol alanından sadece 2011-Ağustos ve 2012-Mayıs dönemlerinde örnekleme yapılabilmıştır. 2013-Ağustos döneminde, bölgeye ulaşımın güvenli olmaması dolayısıyla örnekleme yapılamamıştır.

Atık su barajını besleyen Lepiskürdere (Şekil 1.6, Şekil 3.26 ve Şekil 3.28), nötre yakın bir pH değeri ve oldukça düşük EC değeri (Kurak dönem: 82-136 $\mu\text{S}/\text{cm}$, Yağışlı dönem: 51 $\mu\text{S}/\text{cm}$) ve Ca-Mg-SO₄-HCO₃'lü bir su karakteri göstermiştir (Tablo C.1 ve Tablo C.2, Şekil 3.33). 2011-Ağustos döneminde atık su barajından alınan örnek (S-4) oldukça bazik karakterli olup (pH= 11), yüksek EC değeri (933 $\mu\text{S}/\text{cm}$) ve Ca-SO₄ tip bir su fasiyesi sergilemiştir (Tablo C.1). Çözünmüş oksijen değerleri ise Lepiskürdere'de 7 mg/L iken, barajdaki atık suda 0,63 mg/L olarak ölçülmüştür. Anaerobik koşulların hakim olduğu atık suyunun oldukça yüksek bazik karakteri, flotasyon işlemi sırasında kullanılan polimerik kimyasal malzemeden kaynaklanmaktadır.

Kurak dönemin aksine yağışlı dönemde (2012-Mayıs) ise atık baraj suyunun pH'ı 11'den 7,5'a, EC değeri ise 933 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ' den 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'ye düşüş göstermiştir (Tablo C.2). Çözünmüş oksijen değeri ise yağışlı dönemde ise 3 mg/L olarak ölçülmüştür. Bu dönemde atık suyu barajının su tipi ise Ca-Na-SO₄'a dönüşmüştür. Atık suyun pH ve EC değerlerindeki düşüş, kısmen artan kar suyu girdisinden, kısmen de uzun süredir atık barajına eklenen çöktürücü malzemenin eklenmemesinden kaynaklanmıştır. Atık baraj suyunun kimyasal özellikleri, 2011-Ağustos döneminde Lepiskürdere-Murgul Deresi karışım noktasında ölçülen flotasyon çamuru kaçaklarının kimyasına benzerlik göstermektedir.

Tablo D.7'de Lepiskürdere'nin 2011 ve 2012 yıllarında çözünmüş ve toplam element konsantrasyonları verilmiştir. Tabloda örnekler akış yönünde sıralanmıştır ve S-4 örneği atıksu barajından alınan örneği temsil etmektedir.

Lepiskürdere'nin kontrol alanı, hem kurak hem de yağışlı dönemde, iz element konsantrasyonları açısından I. sınıf su kalitesi sergilemiştir (Tablo D.7). Lepiskürdere'de partiküler maddeye tutunarak taşınan metal yükleri çözünmüş faza göre kısmen yüksek olsa da, bu durum su kalitesi sınıfını değiştirmemiştir (Tablo

D.7). Atık su barajında da her iki dönemde çözünmüş fazdaki metal yükleri genellikle I. sınıf su kalitesi sınırları içinde yer almıştır. Mo, incelenen metaller arasında en yüksek konsantrasyona (Kurak dönem=168 ppb; Yağışlı dönem= 28 ppb) sahip metaldir. Atık baraj suyunda özellikle Al, Fe, Cu, Zn ve Pb metalleri büyük oranda (> % 70) partiküler faza tutunarak bulunmuştur (Tablo D.7).

3.3.1.4. Borçka Barajı

Murgul madeninin Murgul Deresi üzerindeki etkisi, boşaldığı Borçka Barajı rezervuarına kadar izlenmektedir. Murgul madeninin geçmişte yarattığı çevresel kirliliğin boyutu, Murgul Deresi Borçka Barajı rezervuarı kavuşum noktasında çökelen onlarca metre kalınlığındaki atık çamur katmanlarıyla net olarak görülmektedir (Şekil 3.35f). Yerel halkla yapılan görüşmelerde, Murgul Deresi'nin, maden işletilmeye açıldığı yıllardan atık su barajının yapıldığı 2010 yılına kadar olan dönemde, flotasyon çamurundan dolayı, gri renkte aktığı öğrenilmiştir. Bu durum, 2011-Ağustos döneminde ise atık su barajından kaynaklanan kaçağın dolayı bir süre daha devam etmiştir. Borçka baraj rezervuarına yakın bir alanda, geçmişte meydana gelmiş deşarjların oluşturduğu çökellerde yapılan makroskobik incelemelerde, çamur içindeki piritlerin tamamen okside olduğu görülmüştür (Şekil 3.35f,h). Murgul Deresi hem taşıdığı sediment miktarı ile (Borçka Barajı yapımında hesaplanan yılda yaklaşık 3 milyon ton) hem de su kalitesinde özellikle belli dönemlerde görülmüş bozulma ile Borçka Barajı'nı etkilemektedir.

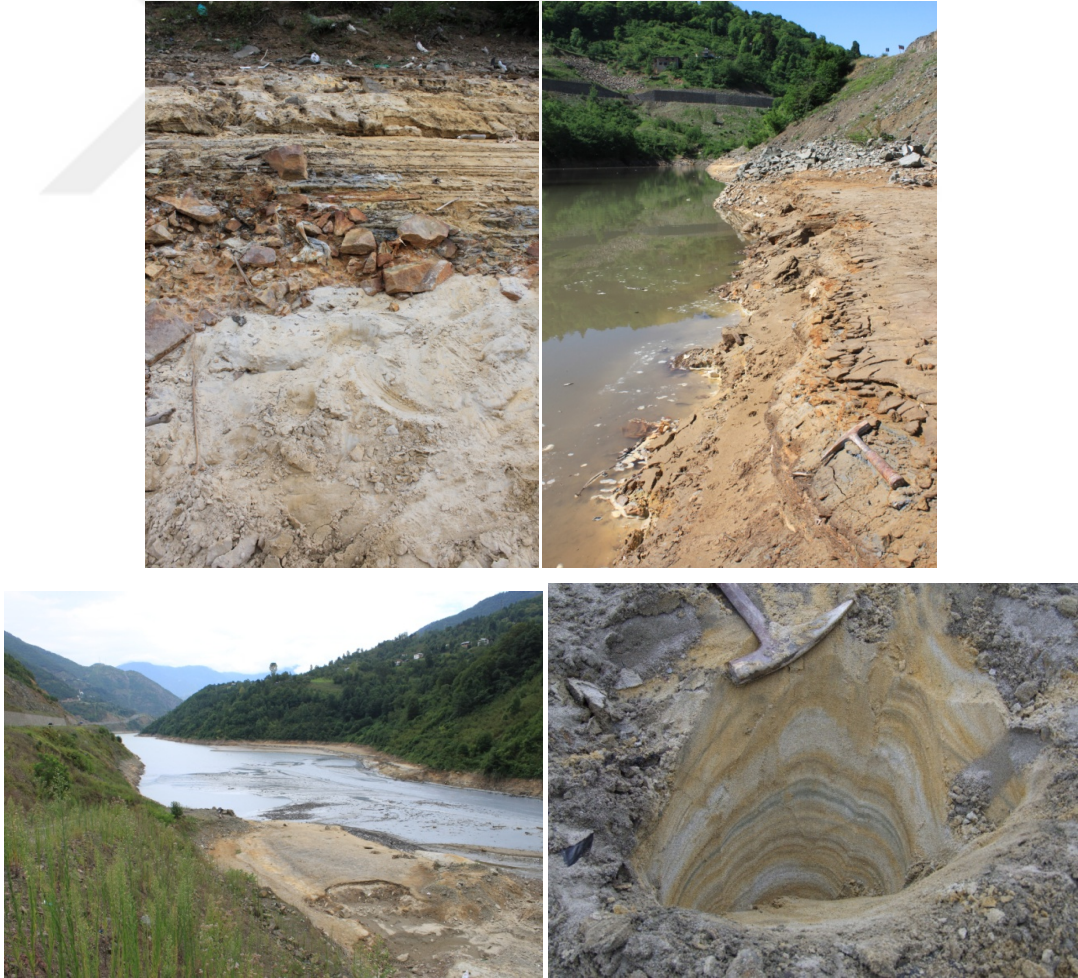
Çoruh Nehri üzerinde bulunan ve Murgul Deresi'nin boşaldığı Borçka Barajı suları, majör iyon kimyaları açısından maden sahası çevresindeki diğer yüzey sularından farklılaşmaktadır (Tablo C.1 ve Tablo C.3). Maden sahasıyla ilişkili olan derelere göre daha bazik bir pH değeri (8-8,9) sergileyen baraj suyu, Ca-Mg-Na-HCO₃-SO₄/Ca-Mg-HCO₃ tipinde su fasiyesi ve orta düzeyde EC değeri sergilemektedir (Tablo C.1- Tablo C.3). Baraj suyu fasiyesinde yağışlı ve kurak dönemlerde önemli bir farklılaşma gözlenmemiştir. Yağışlı dönemde, kar erimelerine bağlı olarak, baraj suyunun EC'sinde (185 µS/cm) kurak döneme (316-337 µS/cm) göre 2 kat düşüş gözlenmiştir (Şekil 3.32). Baraj suyun pH'ı ise biraz daha bazik karakter kazanmıştır.

Murgul madeninin, Borçka Barajı'nın su kalitesi üzerinde etkisinin incelemek amacıyla, barajın hem memba (S-44) ve mansap (S-38), hem de Murgul Deresi ile kavuşum alanından (S-37) rnekler alınmıştır. Tablo D.8'de Borçka Barajı örneklerinde ölçülen znmş ve toplam metal konsantrasyonları görülmektedir. Her 3 noktadan hem kurak hem de yağışlı dönemlerde alınan su örneklerinin metal konsantrasyonlarında önemli bir farklılık gözlenmemiştir ve baraj suyu kalitesi, incelenen metal konsantrasyonları açısından I. sınıf su kalitesi sergilemiştir. Borçka Barajı suyunda partiküler faza tutunarak bulunan ciddi bir metal konsantrasyonu da ölçülmemiştir (Tablo D.8). Bu sonuçlara dayanarak, Murgul Deresi'nde dönemsel olarak farklı boyutlarda gözlenen metal kirliliğinin etkisinin, ciddi oranda seyrelmeden dolayı, baraj suyunun su kalitesini bozmadığı söylenebilir. Ancak Murgul madeninden kaynaklanan atık amurlarının, hem Murgul Deresi boyunca hem de Borçka Baraj rezervuarında oluşturduğu çökel istiflerinin yaratacağı kirliliğin etkisinin uzun yıllar devam edeceği düşünülmektedir.

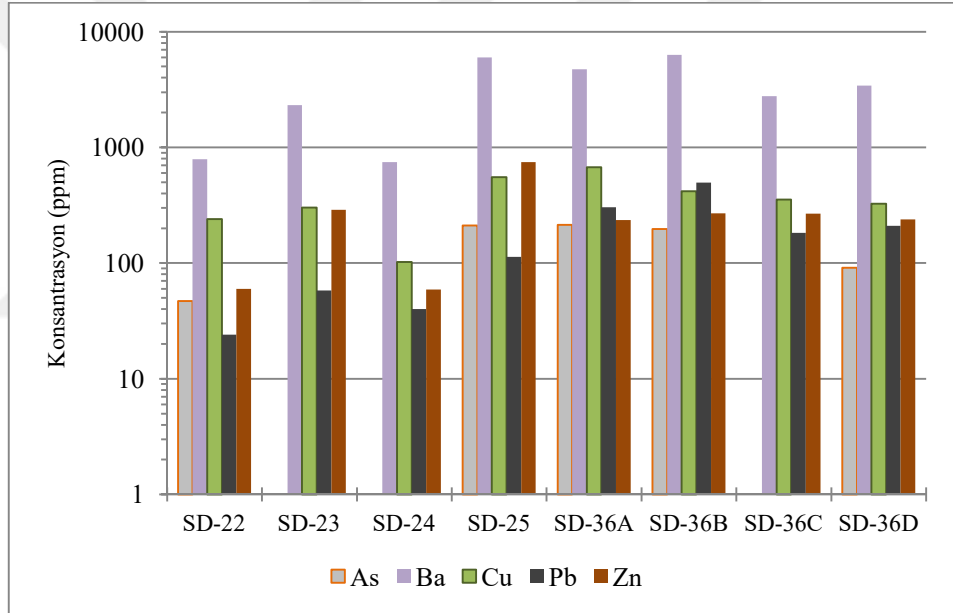
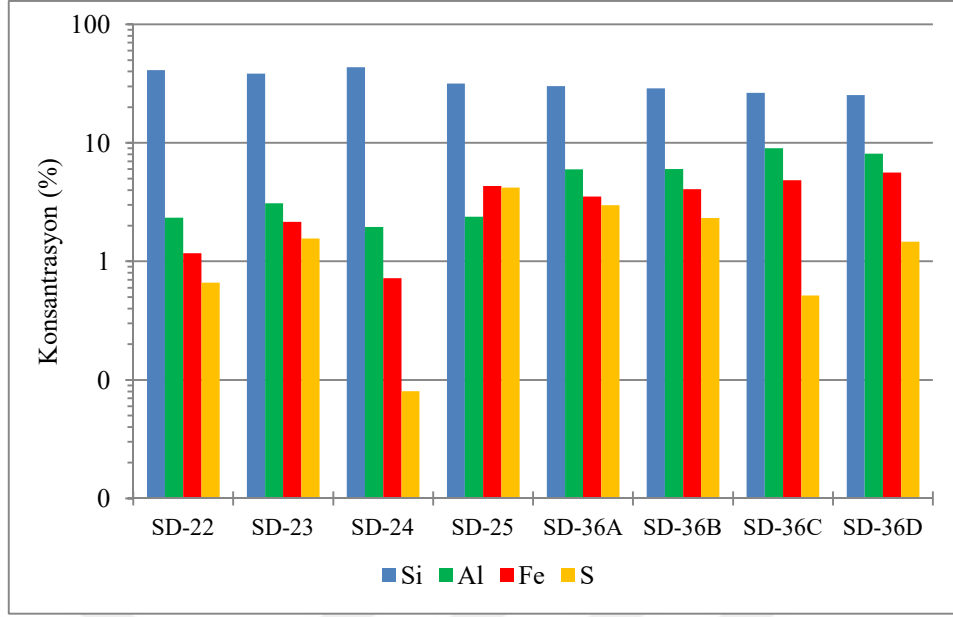
Murgul madeninden uzun yıllar boyunca deşarj edilen flotasyon çamurunun oluşturduğu istifler Murgul dere yatağı boyunca (şekil 3.55, şekil 3.35g) ve Borçka Barajı kavuşum alanında görülmektedir (şekil 3.53). Murgul Deresi–Borçka Barajı kavuşum alanının yukarısında gözlenen yaklaşık 2,5 m kalınlığındaki istifin derinlik profili boyunca jeokimyası ve mineral içeriği incelenmiştir. Böylelikle uzun yıllarda meydana gelen bu çökelimin kimyası hakkında bilgiler edinilmiştir.

keller kuvvetli oksidasyon izleri taşımaktadır. İstifin farklı derinliklerinden alınan örneklerin XRD analiz sonuçları, sedimentlerin baskın olarak kuvarstan (%76-91) oluştuğunu, pirit içeriğinin ise % 1 ile % 8 arasında değiştiğini göstermiştir. Kaolinit, feldispat, muskovit, jips ve barit ise bu örneklerde tespit edilen diğer mineral fazlarıdır. Bu örneklerin ortalama Al konsantrasyonu % 4,5 ($\pm 2,1$); Fe konsantrasyonu % 2,9 (± 1) ve S konsantrasyonu % 2,1 ($\pm 1,2$)'dir (şekil 3.55). Cu, Zn, Pb ve As metalleri ise nispeten yüksek konsantrasyonları ile dikkat çeken elementlerdir (şekil 3.55) ve ortalama konsantrasyonları sırasıyla 330 ppm (± 124), 329 ppm (± 45), 118 ppm (± 74) ve 117 ppm (± 34)'dir. Flotasyon malzemesi yüksek baryum içeriğiyle (4682 ppm ± 1898) karakterize olmaktadır ve dere sedimentlerinin madenden etkilenme derecesini değerlendirmede indikatör element olarak kullanılabilir (şekil 3.54, Tablo D.9).

Murgul Deresi-Borçka Barajı kavuşum alanında çökelen istifler de yukardaki açıklamalara benzer sonuçlar göstermiştir (Şekil 3.56, Tablo D.9). Bu örneklerde de baskın mineral fazı kuvars olmakla beraber, ana sülfid mineral fazını % 3 - % 8 arasında değişen konsantrasyonlarda pirit oluşturmaktadır. Bu örneklerin ortalama Al konsantrasyonu % 4,9 ($\pm 2,8$), Fe konsantrasyonu % 3,3 ($\pm 1,8$) ve S konsantrasyonu % 1,7 ($\pm 1,4$)'dür ve bu sonuçlar dolayısıyla Murgul Dere yatağı istifine oldukça benzerdir. Diğer metallerde de benzer anomaliler gözlenmiştir (Cu= 371 \pm 179 ppm; Zn= 271 \pm 213 ppm, Pb= 178 \pm 160 ppm, As= 152 \pm 78 ppm, Ba= 3384 \pm 2148 ppm). Bu çökeller hem mineralojik hem de kimyasal açıdan, incelenen Borçka Baraj havzası sedimentinden (SD-26) farklılaşmaktadır (Şekil 3.56, Tablo D.9). Sediment örneğinde belirlenen mineral fazları kuvars, kalsit, albit, muskovit, klinoklor ve pargasit'tir. Örnek, yüksek Al içeriği (% 7,72) ve nispeten düşük S (% 0,06), Ba (425 ppm), Cu (99 ppm), ve As (24 ppm) içeriğiyle flotasyon çökellerinden ayrılmaktadır.



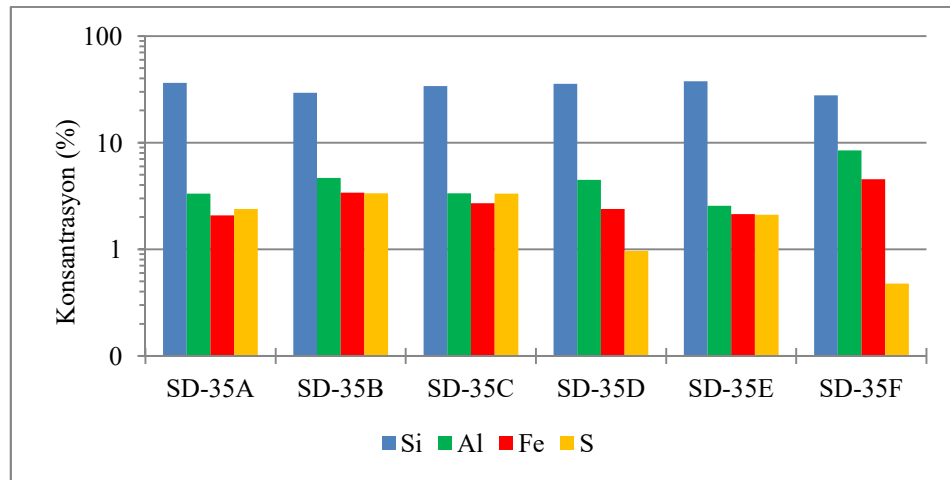
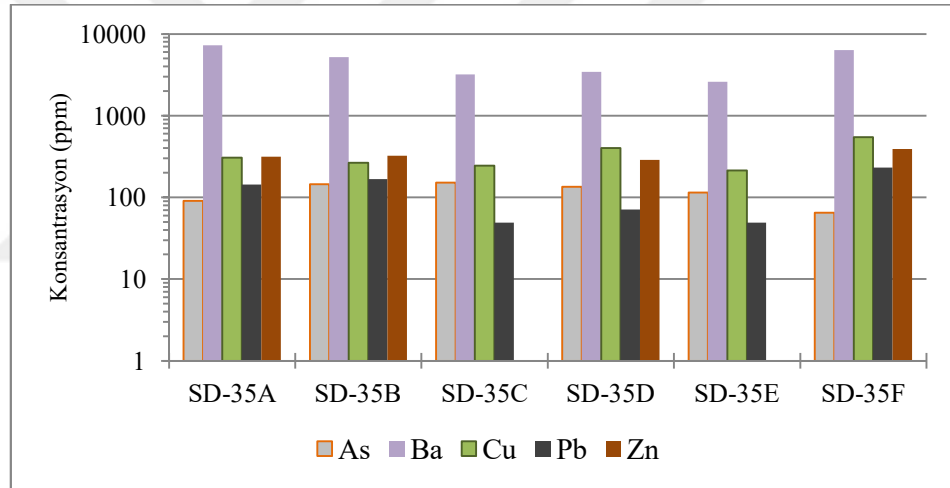
Şekil 3.53. Murgul Deresi ile Borçka Barajı kavuşumunda çökelmiş flotasyon malzemesi ve gözlenen kuvvetli pirit oksidasyon izleri



Şekil 3.54. Murgul Deresi yatağında çökelmiş flotasyon atık malzemesinin metal içeriğinin derinlikle değişimi (A: İstifin üst kesimini temsil etmektedir)



Şekil 3.55. Murgul Deresi yatağında uzun yıllar boyunca çökelmiş flotasyon atığından görünüm. Yaklaşık 2,5 m kalınlığındaki bu istifte (SD-35) kuvvetli derecede pirit oksidasyonunun izleri olan hematitleşme ve serbest kükürt oluşumları izlenmektedir



Şekil 3.56. Murgul Deresi yatağında çökelmiş flotasyon atık malzemesinin metal içeriğinin derinlikle değişimi (Şekil 3.55) (A: İstifin üst kesimini temsil etmektedir)

3.3.1.5. Kuvarshan Sahası

Kuvarshan sahası, 1908 yılında açılan ve 1941 yılında madencilik faaliyeti durdurulan, yaklaşık 73 yıldır terk edilmiş durumda bir sahadır. Sahada, izabe tesisi atıkları ve pasa yığınları kontrolsüz biçimde bırakılmış vaziyettedir (Şekil 3.57 a, b). Pasa yığınlarının büyük bir kısmını, kum-çakıl boyutundaki piritçe zengin dasitler oluşturmaktadır. Mevcut pasa yığınlarının büyük bir bölümü üzerinde, bitki örtüsü gelişmiştir ve heyelan oluşum izleri mevcuttur. Sahada işletme amacıyla açılan mevcut galerilerin pek çoğu göçmeler nedeniyle kapanmıştır (Şekil 3.57c). Pasa yığınları içinden meydana gelen sızıntı sularının yüzeye çıktığı yerlerde metalik sülfat tuzları ve aragonit/jips çökelimleri dikkati çekmektedir (Şekil 3.57 e, f). Debileri düşük, bakırca zengin, mavi renkli bu drenaj suları (Şekil 3.57e), Çoruh Nehri ile bağlantılı olan, maden sahasını güneyden sınırlayan, Fabrika Deresi'ne boşalmaktadır. Maden sahasında, piritli cevherli dasit pasa yığınları üzerinde gelişmiş kükürt oluşumları (Şekil 3.57d) ve asidik su birikintileri mevcuttur, ancak bu suların Fabrika Deresi ile bağlantısı yoktur (Şekil 3.57g). Kuvarshan sahasından kaynaklanan drenaj sularının, Fabrika Deresi su kalitesi üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla, kurak dönemlerde (2011, Ağustos-2013) ve yağışlı dönemde (2012-Mayıs), Fabrika Deresi'nin hem temiz alanından (S-40), hem de madenin etkisi altındaki Çoruh Nehri kavuşumu öncesinde (S-46) örnekleme yapılmıştır (Tablo D.11). Bunun yanısıra, sahadan kaynaklanan maden drenajları jeokimyasal olarak karakterize edilmiştir Bu sulardan farklı dönemlerde alınan örneklerin genel kimyasal özellikleri ve majör iyon kimyaları Tablo C.1-Tablo C.3'de sunulmuştur.

Bazik bir karaktere sahip olan Fabrika Deresi (pH= 7,1-8,3), her üç örnekleme döneminde de Ca-Mg-HCO₃-SO₄'lı bir su fasiyesi göstermiştir (Şekil 3.33, Şekil 3.38). Kurak dönemde, Fabrika Deresi'nin kontrol alanı, orta düzeyde EC (219-286 µS/cm) ve düşük alkalinite (78-105 mg/L CaCO₃) değeri sergilerken; yağışlı dönemde, derenin EC (112 µS/cm) ve alkalinite (45 mg/L CaCO₃) değerlerinde nerdeyse iki kat düşüş gözlenmiştir. Kuvarshan madenin etki alanındaki alanda ise Fabrika Deresi'nin kurak (EC= 423 µS/cm, alkalinite= 186 mg/L CaCO₃) ve yağışlı dönem (EC= 278 µS/cm, alkalinite= 106 mg/L CaCO₃) EC ve alkalinite değerlerinde derenin arka plan düzeyine göre yaklaşık iki kat artış görülmüştür. Bu alanda da,

Fabrika Deresi hem su fasiyesini, hem de alkali karakterini korumuştur (pH: 8,3-8,4) (Tablo C.1- Tablo C.3).

Kuvarshan sahasından, Fabrika Deresi'ne akan mavi renkli, galerilerden kaynaklandığı düşünülen drenaj suları ise, yüksek EC (3940-4340 $\mu\text{S}/\text{cm}$) değeri ve yüksek metal konsantrasyonlarıyla belirgindir (Tablo C.1-Tablo C.3). Kurak dönemde, hafif asidikten (6,5), zayıf baziğe (7,5) doğru oldukça değişken pH değerleri gösteren bu drenajların, alkalinite değerleri de (2011-Ağustos: 110 mg/L CaCO_3 , 2013-Ağustos: 580 mg/L CaCO_3); su fasiyesleri de (2011-Ağustos: Mg-Ca- SO_4 tipi, 2013-Ağustos: Mg-Ca- SO_4 - HCO_3 tipi) değişkenlik göstermiştir.

Yağışlı dönemde ise, yüksek çözünürlüğe sahip metal sülfat çökellerinin çözünmesi sonucu, drenajlar hafif asidik karakter kazanmış (pH= 4,9); EC değerleri kurak döneme göre artış göstermiştir (4340 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Bu dönemde drenajlar Mg-Ca- SO_4 su fasiyesi sergilemiştir. Yağışlı dönemde, yüksek çözünürlüğe sahip metal sülfat minerallerinin tekrar çözünmesiyle, maden drenajların metal konsantrasyonunda, kurak döneme göre, ciddi artışlar meydana gelmiştir (Şekil 3.58, Tablo D.11). Bu artış, özellikle Al (151 ppm), Cu (108 ppm), Zn (78 ppm), Mn (29 ppm), Fe (8,68 ppm), Cd (0,23 ppm) ve As (0,18 ppm) metallerinde kayda değer düzeylerde (Şekil 3.58). Bu dönemde, maden drenajında metaller çoğunlukla çözülmüş fazda bulunmaktadır. 2011 ve 2013 kurak dönemlerinde, maden drenajlarının metal konsantrasyonları arasında ciddi farklılıklar gözlenmemiş ve benzer anomali değişimleri görülmüştür (Şekil 3.58).

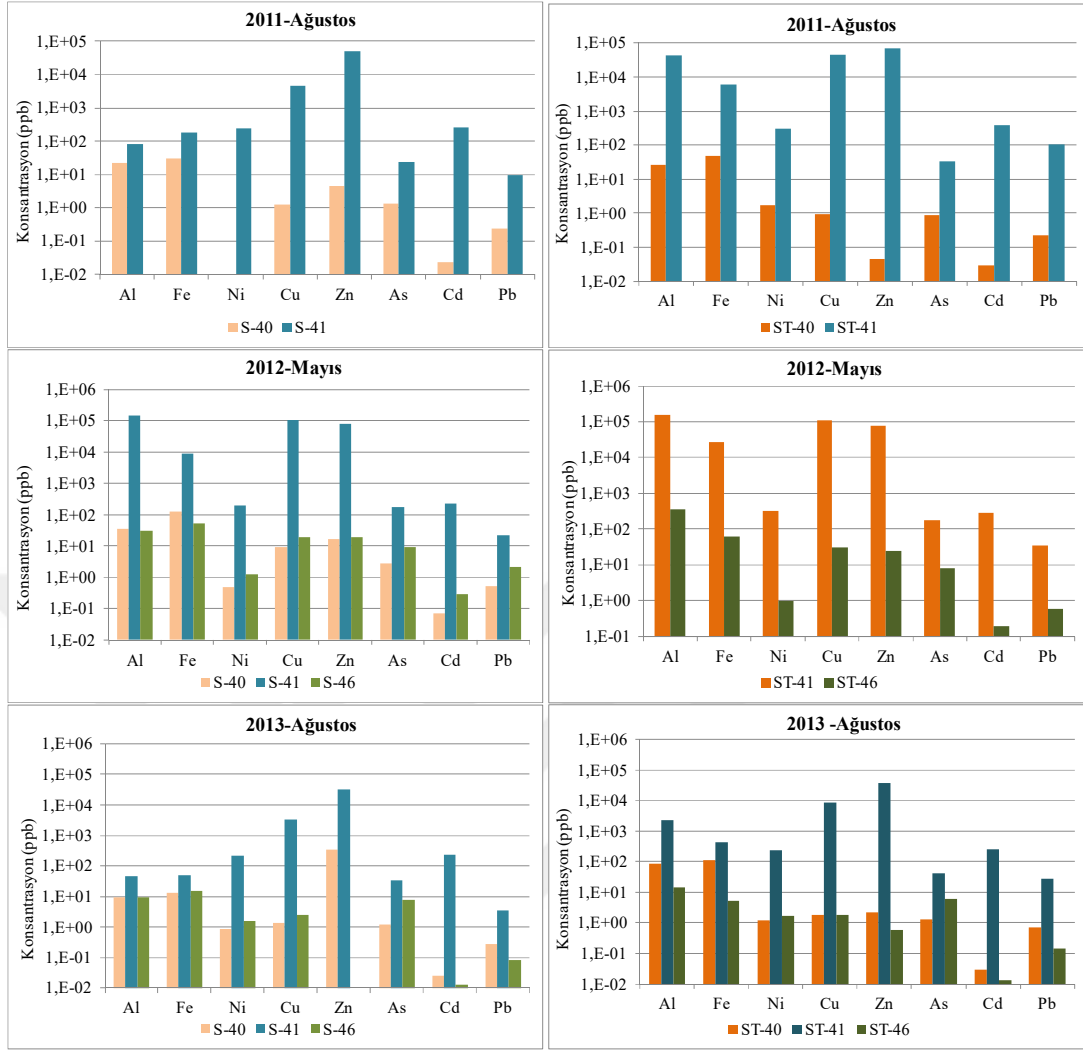
Kurak dönemde, maden drenaj sularında ölçülen metal konsantrasyonları ise, Zn (32-51 ppm), Mn (20-23 ppm), Cu (3,4-4,8 ppm), Al (0,05-0,08 ppm), Fe (0,05-0,18 ppm), Cd (0,24-0,26 ppm) ve As (0,02-0,03 ppm) olarak ölçülmüştür. Bu dönemde, Al, Fe, Cu ve Pb metalleri baskın olarak sudaki askıdaki maddenin bünyesinde; diğerleri elementlerin ise çözülmüş fazda buldukları tespit edilmiştir (Şekil 3.58).

Maden drenajlarının yüksek metal içeriklerine karşın düşük debili olması, Fabrika Deresi üzerindeki etkilerinin, karışım noktasıyla sınırlı kalmasını sağlamıştır. Fabrika Deresi, hem toplam hem de çözülmüş fazdaki iz element içeriği açısından, kontrol alanında, I. sınıf su kalitesine sahiptir. Fabrika Deresi, maden drenajının etkisi altındaki alanında da I. sınıf su kalitesini korumuştur.

Suların metal konsantrasyonunda, akış yönünde, hafif de olsa bir artış görülse de, bu su kalitesini bozacak bir artış değildir.



Şekil 3.57. Kuvvarshan sahasından görüntüler (a-izabe tesisine ait pasa yığı, b-cevherli dasitlere ait pasa yığı, c-eski bir galeri ağzı, d-cevherli dasit pasa yığı üzerinde gelişmiş kükürt oluşumları, e- bakır sülfatça zengin drenaj suyu, f- karbonatlı çökeller g-asidik su birikintisi)



Şekil 3.58. Fabrika Deresi'nin kontrol ve maden drenajları karışımından sonra alınan örneklerin çözülmüş (S-) ve toplam (ST-) metal konsantrasyonlarının değişimi

3.4. Maden Sahaları'ndaki AMD Oluşumlarının Jeokimyası

Murgul ve Kuarshan Sahaları'nda gözlemlenen asit maden drenajlarının çoğu, yayılımlarının sınırlı olması nedeniyle, sahaların çevresindeki yüzey sularını etkilememektedir (Şekil 3.59). Sadece Kuarshan sahasında, muhtemelen galerilerden kaynaklanan bakır sülfatça zengin drenaj (Şekil 3.57e), Fabrika Deresi'ne karışmaktadır. Ancak bu karışımın etkisi, önceki kısımda bahsedildiği üzere, karışım noktası ile sınırlı kalmıştır ve aşağı drenajlarda suyun I. sınıfolan su kalitesini değiştirmemiştir.

Üç örnekleme dönemi süresince, her iki sahadaki asidik birikintilerin giderek daraldığı veya yok olduğu gözlenmiştir (Şekil 3.23-Şekil 3.25). Bu sebeple, tüm

örneklerin her üç dönemde de alınması mümkün olmamıştır. Damar sahasında 2011-Ağustos döneminde asidik drenaj özellikleri sergileyen S-14 örneği, 2012-Mayıs döneminde oldukça yüksek pH (8,32), düşük EC (257 $\mu\text{S}/\text{cm}$), düşük sülfat (63 mg/L) ve element konsantrasyonları ile AMD özelliğini yitirmiştir (Şekil 3.61). Damar sahasında, 2012-Mayıs döneminde, daha önce görülmeyen bir AMD birikintisinden örnekleme yapılmıştır (S-48). Yağışlı dönemde, AMD oluşumlarının sınırlarının iyice daraldığı ve Çakmakkaya göletinin su düzeyinde ciddi düşüşlerin meydana geldiği; Çarkbaşı sahasındaki AMD birikintisinin (S-1), atık depolanması sonucu kapandığı gözlemlenmiştir (Şekil 3.25). 2013-Ağustos döneminde, birikintilerin kuruması veya ulaşımın güvenli olmaması sebebiyle, hiçbir asidik birikintiden örnekleme yapılamamıştır.

Maden sahalarında gözlenen AMD'lerin genel kimyasal özellikleri Tablo C.1 - Tablo C.3'de sunulmuştur.

Kurak dönemde (2011-Ağustos), AMD sularının pH değerleri 2,32-3,72 arasında; EC değerleri ise 1108-7600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişmiştir. En yüksek EC değeri Çakmakkaya (S-7 ve S-8) ve Kuvarshan (S-39) AMD'lerinden alınan örneklerde ölçülmüştür (Şekil 3.60, Şekil 3,61, Tablo D.12). Asidik su birikintileri Ca-SO_4 , Ca-Mg-SO_4 , Mg-Ca-SO_4 ve Mg-SO_4 su fasiyesleri sergilemiştir. Sularda ölçülen yüksek elektiriksel iletkenlikte, sülfat iyonunun payı büyüktür (Şekil 3.61). Dolayısıyla, en yüksek sülfat konsantrasyonları, pH değeri en düşük olan Çakmakkaya sahasındaki AMD'lerde (S-7 ve S-8) ölçülmüştür.

2012-Mayıs döneminde ise, suların pH değerleri 2,4-3,9 arasında; EC değerleri 487-7780 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişmiştir. AMD'lerin su fasiyeslerinde kurak döneme göre bir değişkenlik gözlenmemiştir. Kurak dönem örnekleriyle karşılaştırıldığında, yağışlı dönemde AMD'lerin pH değerlerinde genel olarak bir artış, EC değerlerinde ise bir azalma görülmüştür (Şekil 3.61).

Buna karşın Çakmakkaya göletinde ve Kuvarshan'daki AMD oluşumunda tersi bir durum söz konusudur (Şekil 3.61). Bu durum, su birikintilerinin yenilenme süresi ile ilişkilidir. Bu örnekleme noktalarında, su hacminde ciddi azalmalar meydana gelmesi, uzun süredir önemli bir su girdisinin (yağışın) olmadığını işaret etmektedir.

İncelenen AMD oluşumları arasında, metal yükleri en yüksek olanlar, Kuvarshan (S-39) ve Çakmakkaya sahalarındaki (S-7 ve S-8) AMD oluşumlarıdır. Damar sahası dışındaki tüm örneklerde, en yüksek konsantrasyon demirde ölçülmüştür. Tüm örneklerde, konsantrasyon sıralaması, Fe>Cu>Al>Mn>Zn şeklindedir (Tablo D.12). Bu sıralama toplam metal yükü sıralamasında da değişmemiştir (Şekil 3.62, Şekil 3.63).

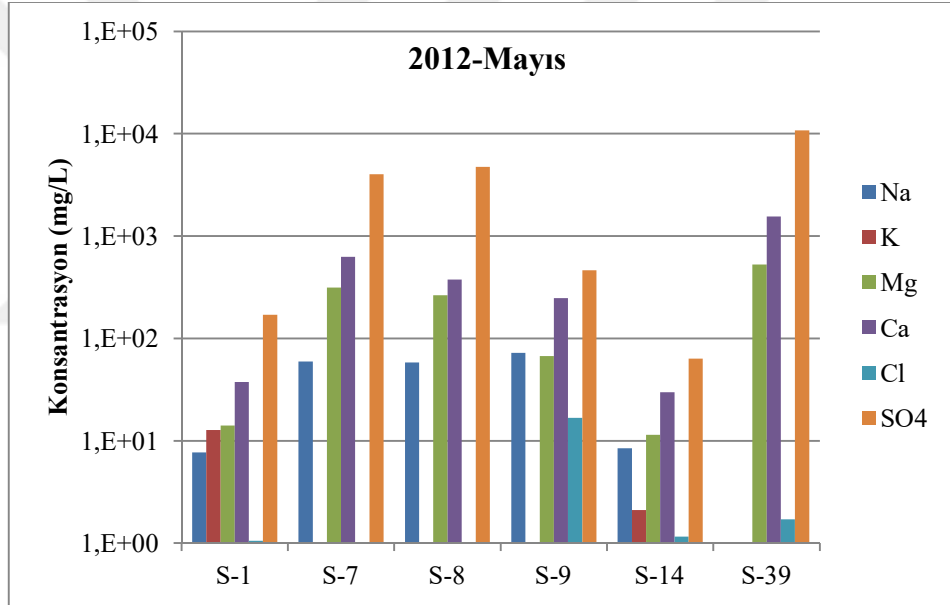
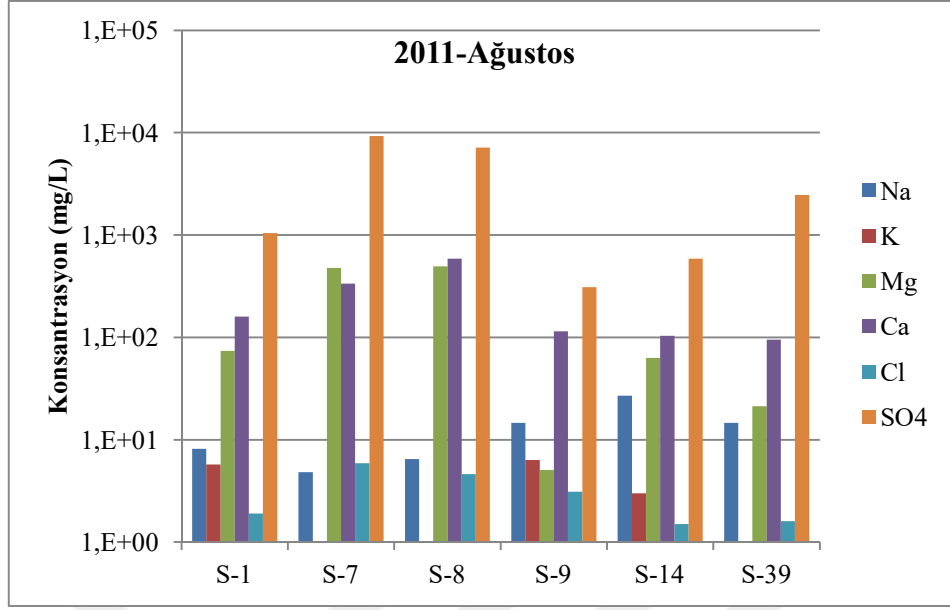
Kurak dönemde, çözülmüş metal yükü en fazla olan örnek, Al, Fe, Mn, Cu, Mo ve Cd açısından, Çakmakkaya örnekleri olmuştur. Yağışlı dönemde ise, çözülmüş metal yükü, Mn ve Cu hariç, diğer tüm elementler açısından, en yüksek olan örnek, Kuvarshan (S-39) örneğidir. Kuvarshan (S-39) örneğinde, Pb, As ve Se elementlerinin konsantrasyonları, her iki dönemde de, hem çözülmüş hem de toplam fazda, en yüksek düzeydedir.

İncelenen su örneklerinde, çözülmüş fazda en yüksek arsenik konsantrasyonu Kuvarshan (S-39= 359 µg/L (yağışlı dönem) - 924 µg/L (kurak dönem)) ve Çakmakkaya (S-7= 100 µg/L (yağışlı dönem) -560 µg/L (kurak dönem)) sahalarında gözlemlenmiştir. Damar ve Çarkbaşı sahalarında ise çözülmüş fazda arseniğe kurak dönemde rastlanmamıştır; yağışlı dönemde ise oldukça düşük konsantrasyondadır. Filtrelenmemiş örneklerde yapılan yakma işlemi sonuçları, kurak dönemde, arseniğin büyük oranda (%75-97) partiküller faza tutunarak (As= 11 µg/L-37 mg/L) bulunduğunu göstermektedir (Şekil 3.62, Şekil 3.63).

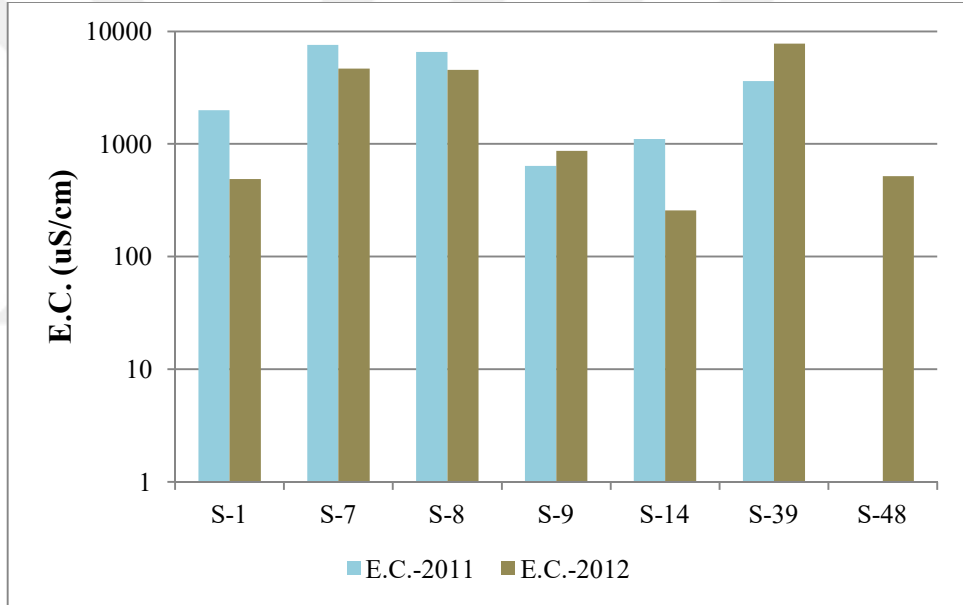
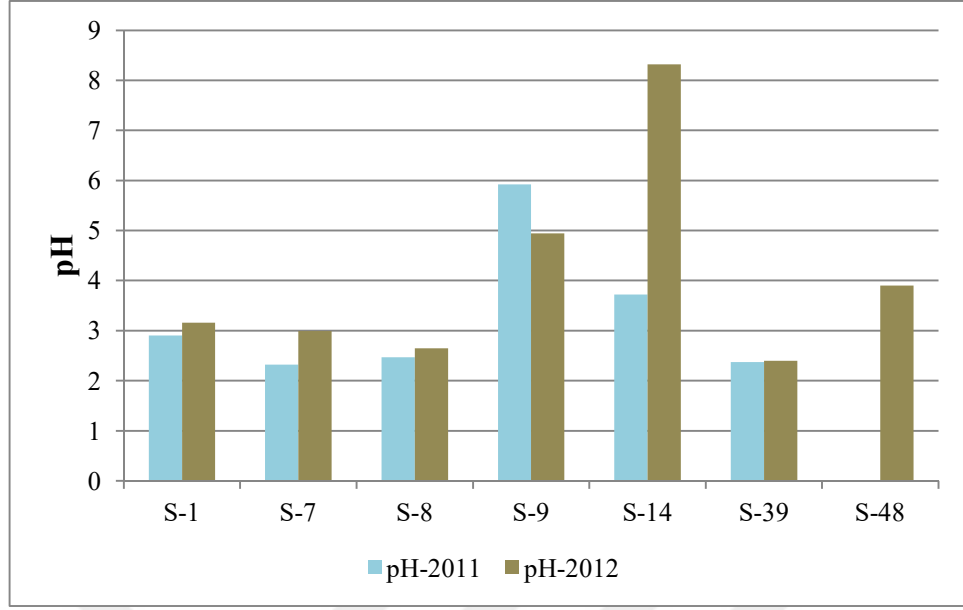
Toplam (çözülmüş+partiküller) fazda yapılan analizlerde, Cu, Al, Fe ve Pb (Damar sahası hariç) ve Mn elementleri dışında kalan metaller büyük oranda (>%70) partiküller faza (environmentally available) tutunmuş oldukları tespit edilmiştir (Şekil 3.62, Şekil 3.63, Tablo D.12).



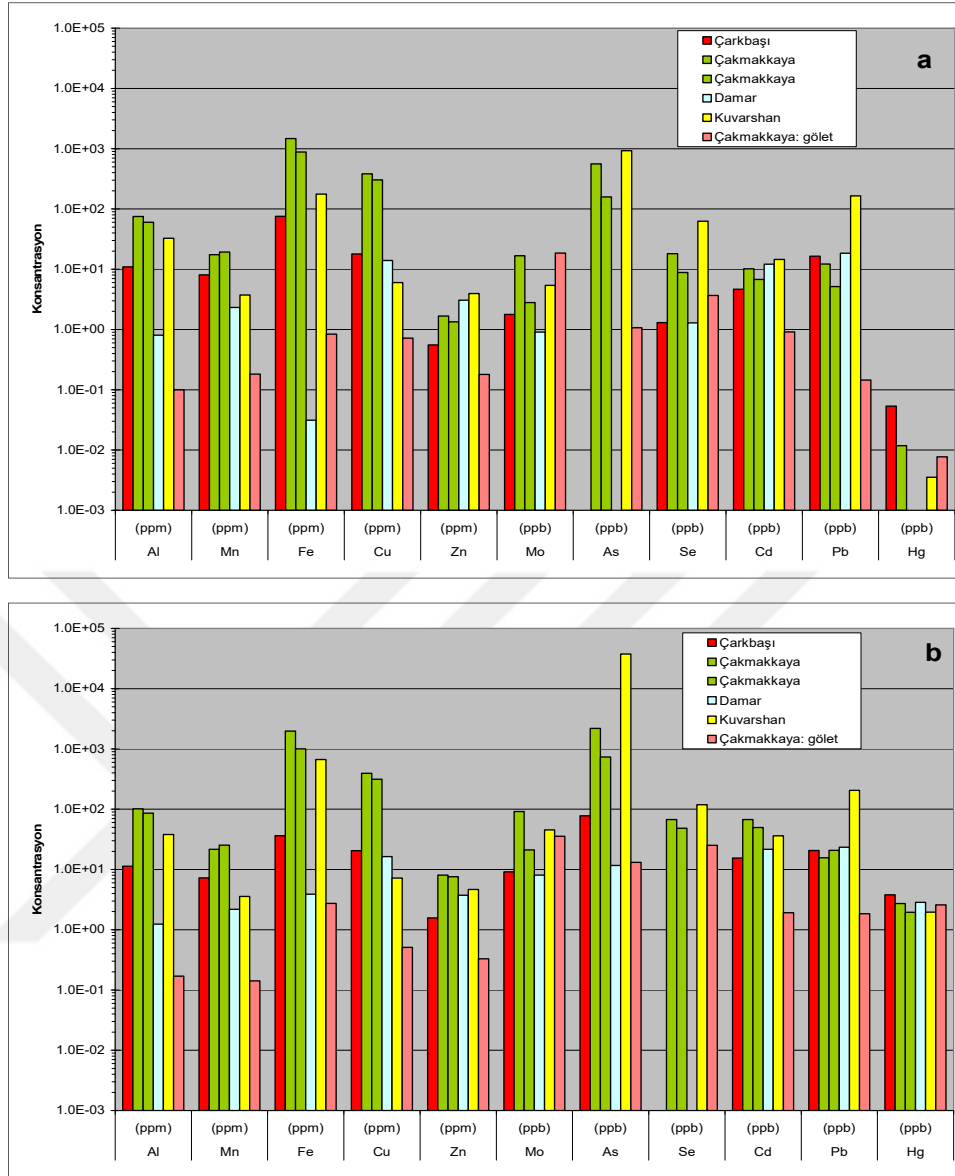
Şekil 3.59. 2011-Ağustos döneminde, a,b- Çakmakkaya c- Çarkbaşı d- Damar e- Kuvarshan sahalarında gözlemlenen AMD oluşumları



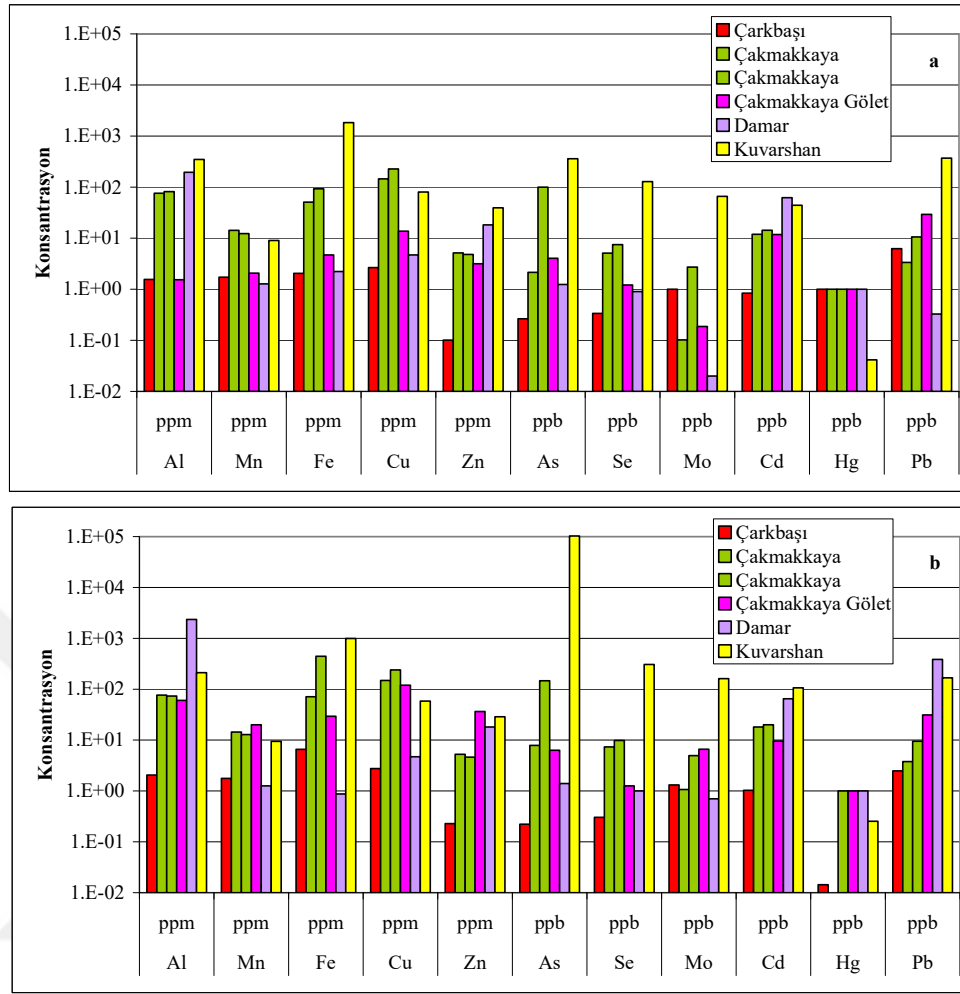
Şekil 3.60. Murgul (S-1, S-7, S-8, S-9, S-14) ve Kuvarshan (S-39) sahalarından alınan AMD örneklerinin kurak (2011-Ağustos) ve yağışlı (2012-Mayıs) dönemlerdeki majör iyon kimyası



Şekil 3.61. Murgul (S-1, S-7, S-8, S-9, S-14, S-48) ve Kuvarshan (S-39) sahalarından alınan AMD örneklerinin pH ve EC değerlerindeki dönemsel değişkenlik



Şekil 3.62. 2011-Ağustos döneminde, Murgul ve Kuvarshan sahalarından alınan AMD su örneklerinin a- çözülmüş ve b- toplam fazdaki iz element konsantrasyonları



Şekil 3.63. 2012-Mayıs döneminde Murgul ve Kuvvarshan sahalarından alınan AMD'lerin yağışlı dönemde a- çözülmüş ve b- toplam iz element konsantrasyonları

3.5. Maden Sahalarında AMD Oluşumunu Kontrol Eden Süreçler

Murgul (Çakmakkaya, Damar ve Çarkbaşı) ve Kuvvarshan sahalarında yürütülen arazi çalışmalarında, gerek cevherli dasit (Çakmakkaya, Damar, Çarkbaşı) gerekse pasa yığınları (Kuvvarshan) üzerinde AMD oluşumları gözlemlenmiştir (Şekil 3.59). Cevherleşme sahaları içinde gelişmiş olan asidik su birikintileri ve göletler (Çarkbaşı ve Çakmakkaya), genellikle yağışlardan, kısmen de kaynak suyu boşalmılarından beslenmektedir. Küçük ölçekli ve yüzey suları ile bağlantısı olmayan AMD birikintilerinin oluşum süreçleri, sahanın ilerleyen zamanlardaki olası durumunu öngörebilmek amacıyla incelenmiştir. Sahalardaki AMD oluşum süreçlerini anlamak amacıyla, AMD oluşumunda rol oynayan yan kayaç ve pasa malzemeleri, hem jeokimyasal (XRF) hem de mineralojik (XRD, parlak kesit) açıdan incelenmiştir.

Ayrıca, oluşan AMD çökelleri ve asidik drenajların hidrojeokimyası (Tablo C.1-Tablo C.3, Tablo D.12), mevsimsel olarak incelenerek yağışın, AMD su kimyasına etkisi ortaya konmuştur. Bu kısım bir önceki alt başlıkta ele alınmıştır.

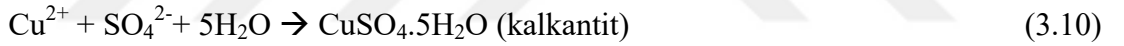
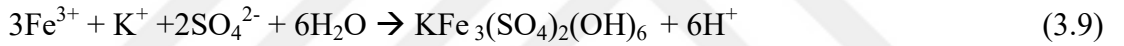
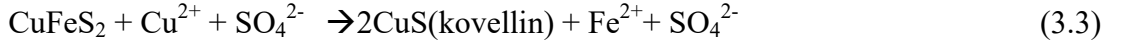
Murgul sahalarında gözlenen AMD oluşumlarında, cevherli dasitlerin bünyesinde baskın olarak bulunan pirit mineralinin oksidasyonu ana rol oynamıştır (Şekil 3.64c,d). Murgul sahalarındaki cevherli dasitlerde nadiren kalkopirit ve sfalerit bulunurken, galene rastlanmamıştır (Tablo 3.1). Murgul sahalarında incelenen AMD'lerde gözlenen yüksek asidite, sülfat ve demir zenginleşmesi, esas olarak pirit oksidasyonunun bir sonucudur. Sülfat zenginleşmesinde, ikincil olarak malzemelerin bünyesinde bulunan jips mineralinin çözünmesi ve diğer sülfid minerallerinin (kalkopirit, sfalerit vb.) oksidasyonu az da olsa etkili olmuştur. Demir zenginleşmesinde ise kısmen de olsa, kalkopirit oksidasyonunun da etkisi vardır. İncelenen asidik su birikintileri, genelde sığdır ve çözülmüş oksijen konsantrasyonları, kurak ve yağışlı dönemlerde 4-6 mg/L arasında değişmiştir. Bu durum AMD'lerin oluştuğu ortamın oksik olduğunu göstermektedir.

Asidik su birikintilerinin tabanında turuncu renkli çökelimler görülmektedir. Bu çökellerden alınan örnekler üzerinde yapılan XRD analizlerinde, majör düzeylerde K-Jarosit (Çakmakkaya), kalkantit (Çakmakkaya), götit ve hematit (Damar) minerallerine rastlanmıştır (Şekil 3.65 ve Şekil 3.66 ve Tablo 3.10). Bu mineraller, Murgul sahasında AMD oluşum süreçleri ve ortam koşulları hakkında bilgi sunmaktadır.

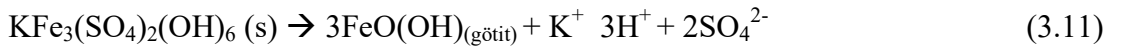
AMD çökellerinin (SD-1, SD-2, SD-5) jeokimyası Tablo B.2'de sunulmuştur. Murgul AMD çökelleri yüksek Al (% 8,8-13,3), Fe (% 4,2-5,3), K (% 2,5-5,42) ve Cu (% 0,12-0,2) içerikleriyle karakterize olmaktadır. Diğer önemli metallerin konsantrasyonları ise As (34-491 ppm), Pb (28-31 ppm) ve Zn (126-280 ppm) şeklindedir (Şekil 3.19).

Piritin oksidasyonu, ortamın jeokimyasal koşullarına (Eh-pH, su kimyası) bağlı olarak ferrihidrat ($5 \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 9 \text{H}_2\text{O}$) ve Şvermanit ($\text{Fe}_8\text{O}_8(\text{OH})_6\text{SO}_4$) gibi yarı duraylı ve aynı zamanda jarosit ($\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$), götit ($\alpha\text{-FeO}(\text{OH})$) ve hematit (Fe_2O_3) gibi daha duraylı minerallerinin oluşumunu kapsayan 3 ana aşamada meydana

gelmektedir: Sülfür oksidasyonu (Eşitlik 3.1-3.5); Fe⁺²'nin oksidasyonu (Eşitlik 3.6); Fe⁺³'ün hidrolizi ve ferrik minerallerinin çökelişi (Eşitlik 3.7-3.10);



K-Jarosit, Fe⁺³, sülfat ve potasyumca zengin; asidik (pH<3) ve oksik ortam koşullarında çökelen, yaygın bir sülfat mineralidir. Şekil 3.67'de jarosit mineralinin stabilite diyagramı görülmektedir. Jarosit, stabilite bölgesinin dışında kolaylıkla bozularak Fe(III) oksit yada hidroksitlere dönüşebilir. Örneğin jarositin götite dönüşümü aşağıdaki reaksiyon sonucu meydana gelmektedir;



Cevherli dasitlerin bünyesindeki feldispatların ayrışmasıyla ortama potasyum girdisi olmaktadır. Kaolinleşme ve serisitleşme cevherli dasitlerde yaygındır. Bunun bir sonucu olarak, kaolinit ve muskovit hem kayalarda, hem de AMD çökellerinde yaygın olarak bulunmaktadır. Jarosit çökelişi olan AMD'lerde potasyum konsantrasyonu oldukça düşüktür (<0,2 ppm - 13 ppm) (Tablo C.1, Tablo C.2). Bu durum, potasyumun jarositin bünyesine girerek çökmesinin sonucudur.

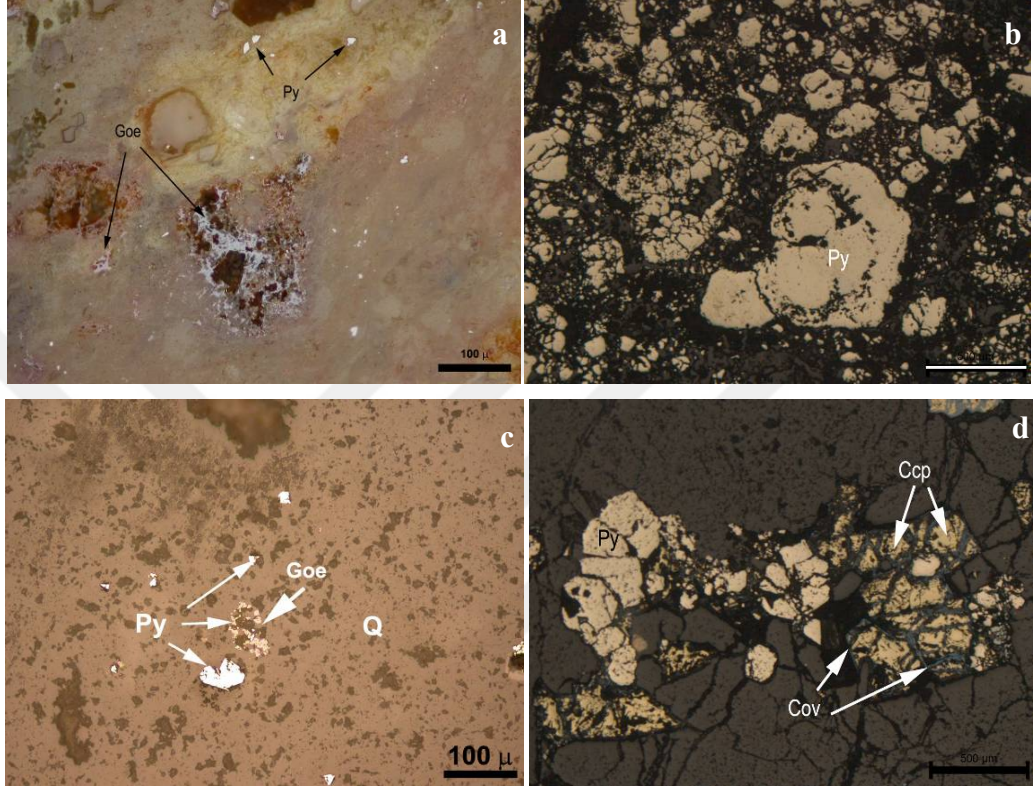
Jarosit çökelişi, ortamın asiditesini artırmaktadır, dolayısıyla en düşük pH değerleri (2-3), jarosit çökelişi olan AMD'lerde tespit edilmiştir.

Damar sahası AMD çökelişinin (SD-5) jeokimyası, Çakmakkaya sahasındaki AMD çökellerine (SD-1, SD-2) benzemektedir (Tablo B.2). Ancak, Damar sahasındaki AMD oluşumlarında jarosit minerali yoktur. Bunun birkaç nedeninin olduğu düşünülmektedir. Damar sahasında biriken sular, dasitik seri üzerindeki kırmızı kireçtaşı biriminden gelen nötr-bazik karakterli kaynak sularından beslenmektedir. Bu sular belirli aralıklarla saha dışına deşarj edilmektedirler. Su-kayaç etkileşim süresinin yetersizliği ve nötr-bazik karakterli suların sürekli yenilenmesi, piritin oksidasyonu ve jarosit oluşumu yada duraylılığı için gerekli mikro-asidik çevre koşullarını yeterince sağlamamaktadır. Suların sülfat konsantrasyonunun nispeten düşük olması da (300-400 mg/L) bunu desteklemektedir.

Oluşan AMD'lerin kimyasında, kayaç-su etkileşim süresi, su:kaya oranı ve yağışın önemli rol oynadığı görülmektedir. Bilindiği gibi pirit oksidasyonu sürecinde ortamda su ve oksijenin varlığı oldukça önemlidir. Çalışma sahaslarının bulunduğu bölge, Türkiye ortalamasının (1971-2013=646 mm) üzerinde yağış (ortalama 732 mm) almaktadır (Şekil 1.3). Bu durum, maden sahaslarında sülfid minerallerinin oksidasyonunu nispeten arttırmaktadır. Maden sahaslarında sadece çukur alanlarda AMD oluşumları gözlemlenmektedir. Bu durum kaya-su etkileşim süresinin ve reaksiyon kinetiğinin önemini işaret etmektedir. Yağışların azaldığı dönemlerde AMD'lerin asiditesi ve toplam çözünmüş madde içeriği de artmaktadır. Çakmakkaya göletinde bu durum net olarak gözlemlenmiştir. Gölet su düzeyinin düştüğü dönemde (2012-Mayıs), pH 5,9 dan 4,9'a düşmüş toplam çözünmüş madde miktarında %30 oranında bir artış meydana gelmiştir. Bu durum su:kaya oranındaki zaman içerisindeki azalmanın bir sonucudur.

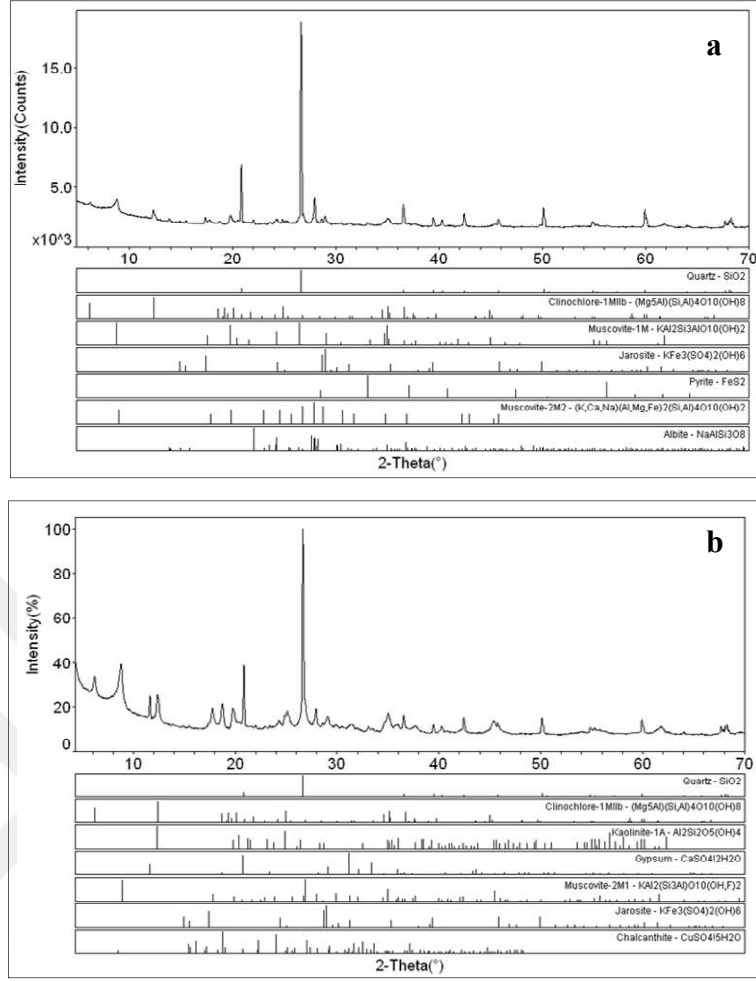
Piritin oksidasyonu sonucu oluşan asidik sular, kayaç ve pasa yığınları içindeki minerallerin bünyesindeki elementleri liç ederek toplam çözünmüş madde miktarı ve metal (Fe, Al, Cu, As, Zn, Mn) içeriği zengin drenajların oluşmasına neden olmuştur. AMD'lerin Ca-Mg-SO₄, yada Mg-Ca-SO₄ türü bir su fasiyesini sergilemeleri bunun bir sonucudur.

Özetle, Murgul sahasında sınırlı alanlarda gözlemlenen AMD'lerin oluşumunda, cevherli dasitlerde bulunan dissemine piritin oksidasyonu en önemli olgudur. Sahada, yukarıda belirtilen reaksiyonların tamamının AMD oluşum sürecinde etkili oldukları ve ortamın Eh-pH koşullarına uygun ürünlerin oluştuğu görülmektedir.



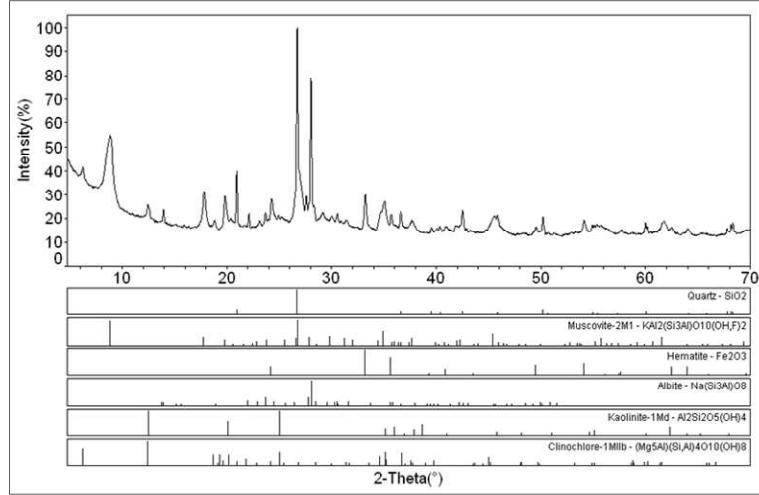
Şekil 3.64. a, b- Kuvashan cevherli dasitlerinde piritlerin bozulması ve saçınım halinde bulunmaları ve piritlerdeki çözünme boşlukları, c, d- Murgul cevherli dasitlerinde saçınımlı piritler ve kalkopiritler ile bunların bozulmaları (Py: pirit, Goe: götit, Q:Kuars, Ccp: kalkopirit, Cov: kovellin)

Kuvashan sahasında da Murgul sahasına benzer AMD oluşumu görülmektedir (Şekil 3.68). Pasa yığınları ve cevherli dasitler içinde pirit minerali baskın olarak bulunmakla birlikte az miktarlarda kalkopirit, sfalerit ve kalkosit minerallerine rastlanmıştır (Şekil 3.64a,b). Pirit mineralinin oksidasyonu sahada çok sınırlı bir alanda gözlemlenen AMD oluşumunda etkili olmuştur (Şekil 3.59). AMD çökellerinde jarosit oluşumları tespit edilmiş olması oluşum ortamının asidik, yükseltgen ve sülfatça zengin olduğu göstermektedir (Şekil 3.68); AMD'lerin su jeokimyası da bunu desteklemektedir. Pasa yığınlarından yapılan XRD analizlerinde de jarosit mineraline rastlanmıştır.

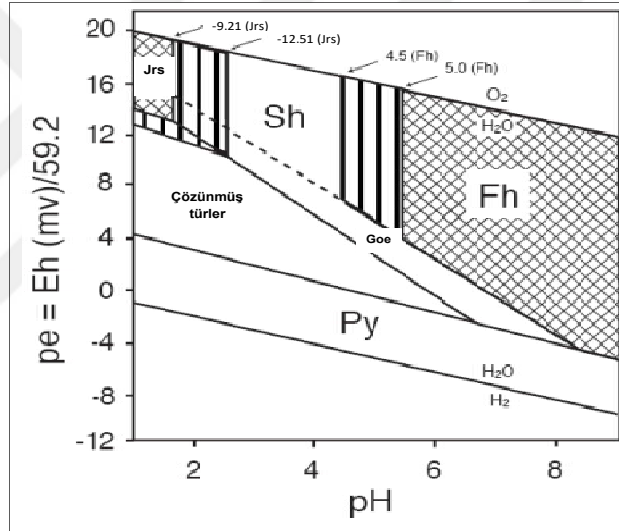


Şekil 3.65. Çakmakkaya sahasında güncel olarak oluşan AMD çökellerinin XRD grafikleri (a- SD-1, b-SD-2)

Asidik su birikintisi çevresindeki malzemede (SD-29) yapılan XRD analizinde, kalkantit ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) ve siderotil ($\text{FeSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) minerallerine rastlanmıştır (Şekil 3.68). Yüksek çözünürlüğe sahip bu metalik sülfat tuzları, hızlıca okside olan bakır yataklarında oluşmaktadır. Genellikle, madencilik faaliyetleri sonrasında asidik suların bakır damarlar üzerine etki etmesiyle oluşan minerallerdir. Oksidasyon, hidroliz ve buharlaşmayı kapsayan reaksiyon aşamalarının sonucunda oluşan sülfat mineral çökelimleri, mevsimsel koşullardan kolaylıkla etkilenir (Hammarstrom vd., 2005). Metal tutma kapasiteleri yüksek olan bu mineraller, yağışlı dönemlerde hızlıca çözünerek bünyesindeki yüksek konsantrasyonlardaki metalleri çevreye hızlıca salabilirler ve yakın çevresindeki ekosistemi olumsuz yönde etkileyebilirler (Hammarstrom vd., 2005).



Şekil 3.66. Damar sahasında güncel olarak oluşan AMD çökelinin (SD-5) XRD grafiği

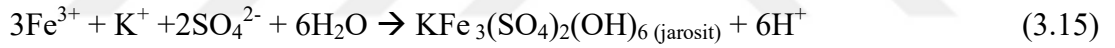


Şekil 3.67. Fe-S-K-O-H sistemi için pe-pH diyagramı (25 °C) (Goe: götit, Jrs: K-jarosit, Fh: ferrihidrat, Sh: şvermanit, Py: pirit. Yarı duraylı alanlar kesikli çizgi ile gösterilmektedir. Taralı alanlar jarosit ve ferrihidrat için daha düşük çözünürlük katsayısı seçildiğinde stabilite alanlarının genişlediğini göstermektedir (Bigham ve diğ., 1996))

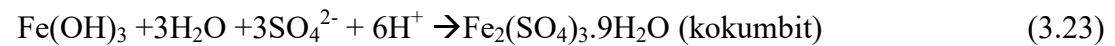
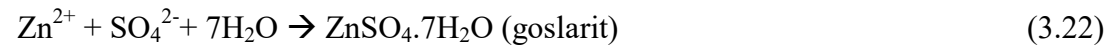
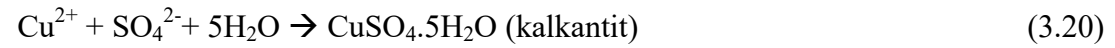
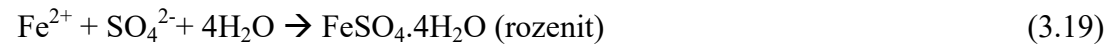
Kuvarshan sahasında bu tür güncel sülfat tuzlarının oluşumu yaygındır. İşletmenin galeriler açılarak yapıldığı Kuvarshan sahasında, galerilerin ağızları kapatıldığı için galeri girişleri tespit edilememiştir. Sahada, bu galerilerden geldiği düşünülen bakır sülfatça zengin suların oluşturduğu çökeller her üç dönemde de, gözlenmiştir. Bu çökellerden, kurak ve yağışlı dönemlerde alınan örnekler üzerinde yapılan XRD

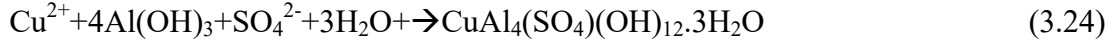
analizlerinde, kalkosyanit (CuSO_4), siderotil ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), rozenit ($\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), goslarit ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), kalkoalüminit ($\text{CuAl}_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_{12} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), kokümbit ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) ve jips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) gibi sülfat tuzları tespit edilmiştir (Şekil 3.69, Şekil 3.70). Mevsimsel olarak farklı sülfat minerallerinin çökelmiş olması, bu minerallerin oluşumunda, iklimsel değişimlerin (sıcaklık ve yağış) ve AMD jeokimyasındaki değişkenliğin (pH, sülfat ve metal konsantrasyonları) etkili olduğunu göstermektedir. Yağışlı dönemlerde, hızla çözünen bu metal sülfat tuzları, drenaj sularında metal konsantrasyonların aşırı yükselmesine neden olmuştur (Şekil 3.71). Bu artış özellikle Al, Cu, Fe, As ve Pb elementlerinde önemli düzeylerde.

Kuvarshan sahasındaki AMD'lerin oluşumunda aşağıdaki reaksiyonlar etkili olduğu düşünülmektedir;



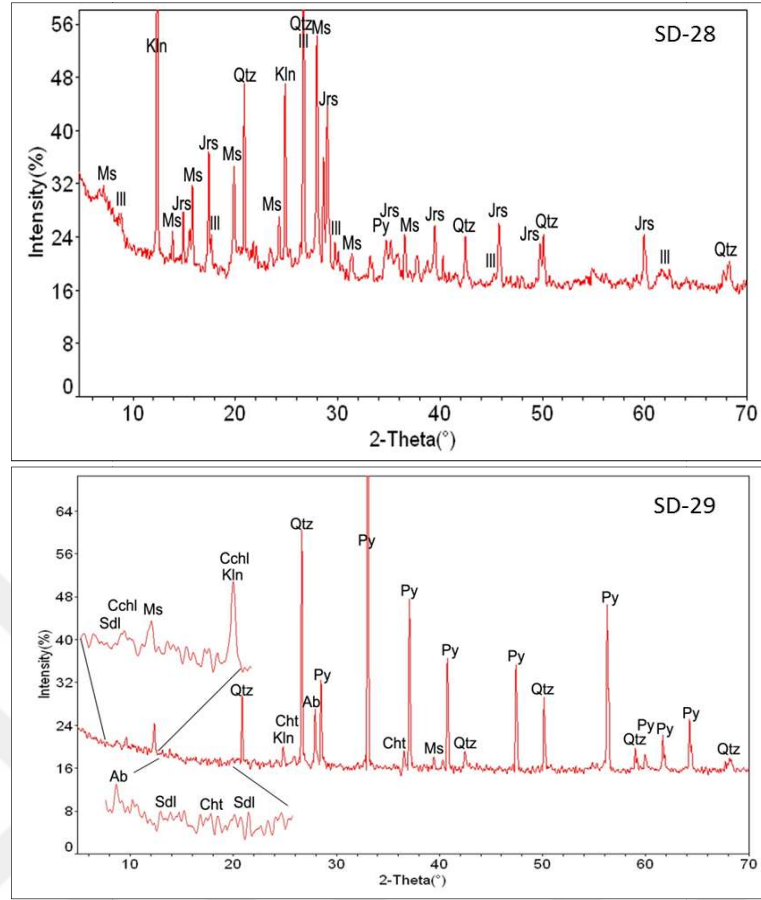
Sülfat minerallerinin oluşumunda ise aşağıdaki reaksiyonların ana olarak meydana geldiği düşünülmektedir;





Kuvarshan sahasındaki AMD'lerde baskın olan metaller Murgul sahasındakilere (Fe, Al, Cu, As, Zn, Mn) benzerdir (Şekil 3.72, Tablo B.2). Murgul sahasından farklı olarak Kuvarshan AMD çökelleri yüksek arsenik (% 0,17, % 2,2) ve kurşun (735 ppm, 4758 ppm) konsantrasyonlarına sahiptir. İncelenen maden sahaları içinde, en yüksek As konsantrasyonu Kuvarshan sahasında ölçülmüştür. Her iki sahadan alınan piritlerde yapılan mineral kimyası çalışmalarında, arseniğin yaygın olarak bulunduğu, özellikle Kuvarshan piritlerinin, arsenik açısından, Murgul'a göre 2 -3 kat daha zengin olduğu tespit edilmiştir (Tablo 3.33).

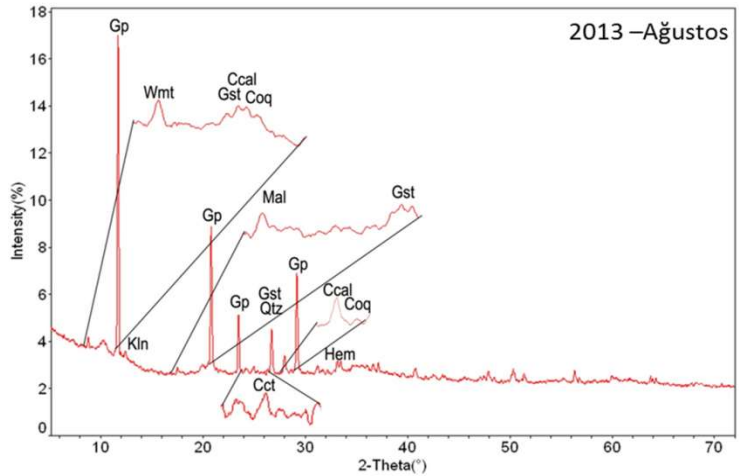
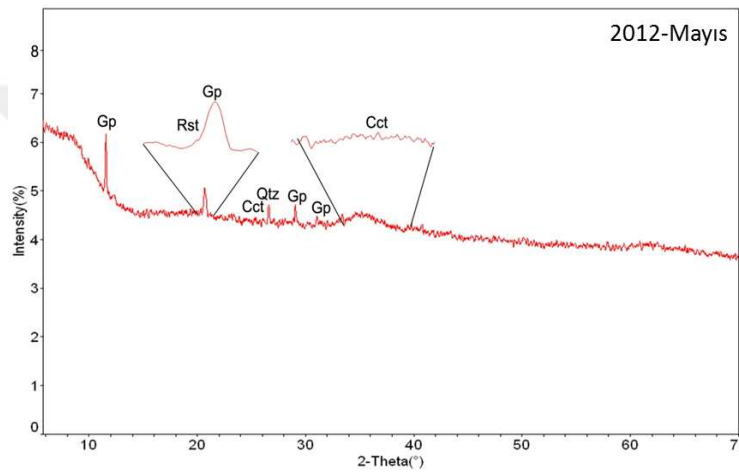
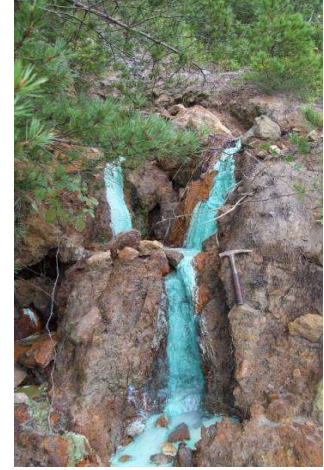
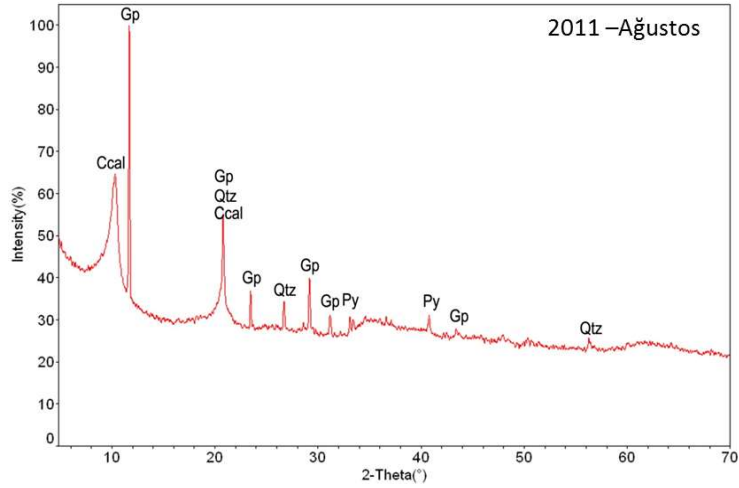
Her iki sahada AMD oluşumlarında tespit edilen arsenik kirlenmesinin ana kaynağının, gerek yan kayaçlar gerek pasa yığınlarında bol bulunan pirit olduğu düşünülmektedir. Ancak, Murgul ve Kuvarshan sahası cevherleşmelerinde önemli miktarlarda sülfotuz (fahlerz) mineralleri bulunmaktadır. Bu mineraller sabit bir bileşime sahip olmayıp, katı çözelti serisi ürünü olduklarından, ana elementlerini değişen miktarlarda içerirler. Tablo 3.33'de görüldüğü gibi bu mineraller esas olarak tenantit olup molekül ağırlığı olarak %20'ye varan miktarlarda As içermektedirler. Doğrudan cevherleşme zonlarından gelen sulara arsenik zenginleşmesinde tenantit mineralinin etkisi göz ardı edilmemelidir.



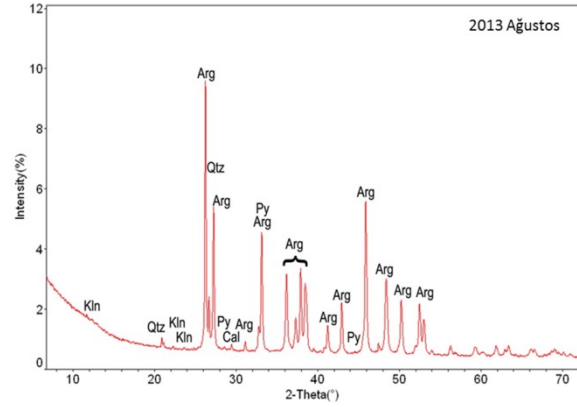
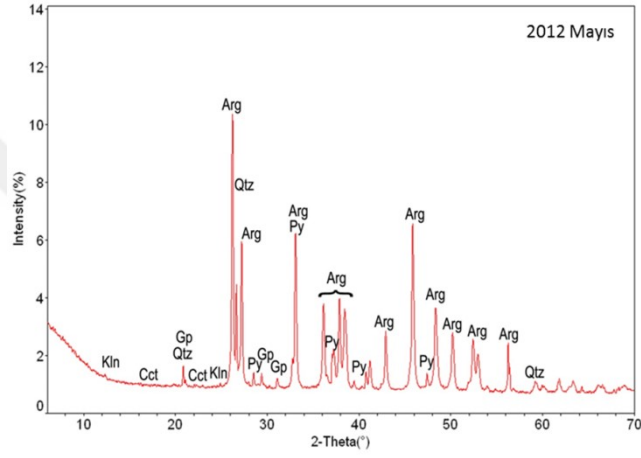
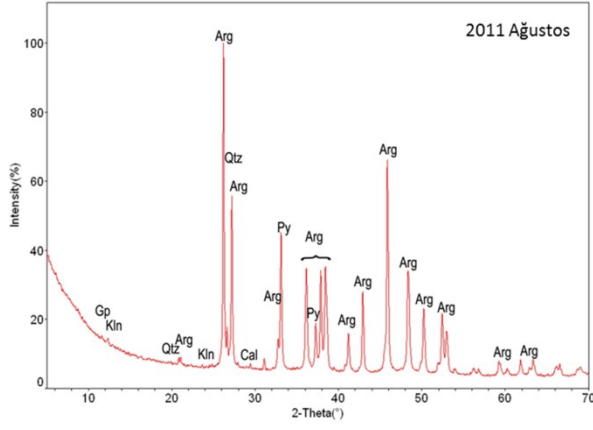
Şekil 3.68. Kuvarshan sahasındaki AMD çökellerinin XRD grafikleri (Gp: jips, Qtz: kuvars, Kln: kaolinit, Py: pirit, Ms: muskovit, Wmt: whitmoreit, Ab: albit, Sdl: siderotil, Cht: kalkantit, Cchl: klinoklor, Jrs: jarosit)

Tablo 3.33. Murgul ve Kuvarshan sahasından alınan pirit ve tenantit örneklerinin elektron mikroprop analiz sonuçları (Na: Analiz edilmedi; Nd: Tespit edilemedi)

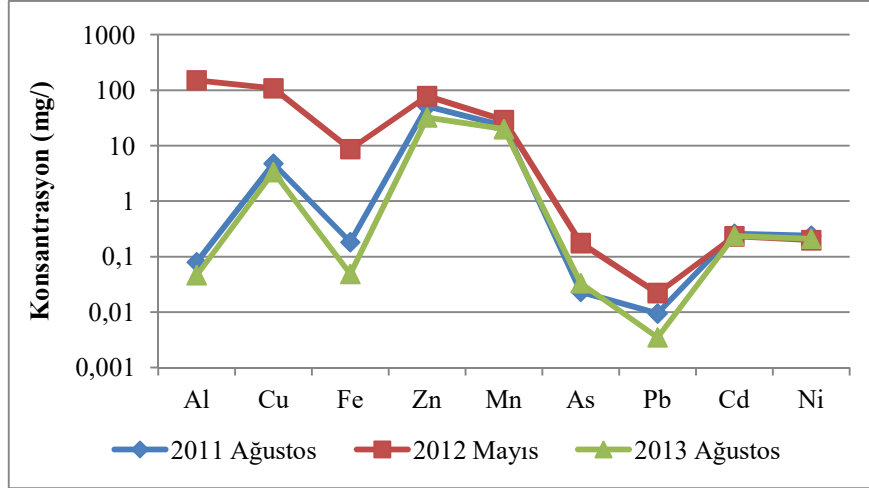
Element (%)	Murgul		Kuvarshan	
	Pirit	Tenantit	Pirit	Tenantit
Fe	46,26	0,49-0,53	46,12	1,80-1,94
Cu	0,223-1,5	32,94-40,41	0,13-0,31	36,30-44,33
S	52,19	29,06-46,95	48,44	26,33-42,73
As	0,01-0,09	13,50-19,52	0,06-0,69	15,84-22,81
Sb	Na	0,86-2,03	Na	Nd
Ag	Na	0,06-0,12	Na	Nd
Pb	Na	Nd	Na	Nd
Zn	Na	5,34-6,73	Na	3,29-4,14
Cd	Na	0,011-0,025	Na	0,13-0,26
Te	Na	Nd	Na	Nd
Co	Nd	Na	Nd	Na
Ni	Nd	Na	0,01-0,06	Na



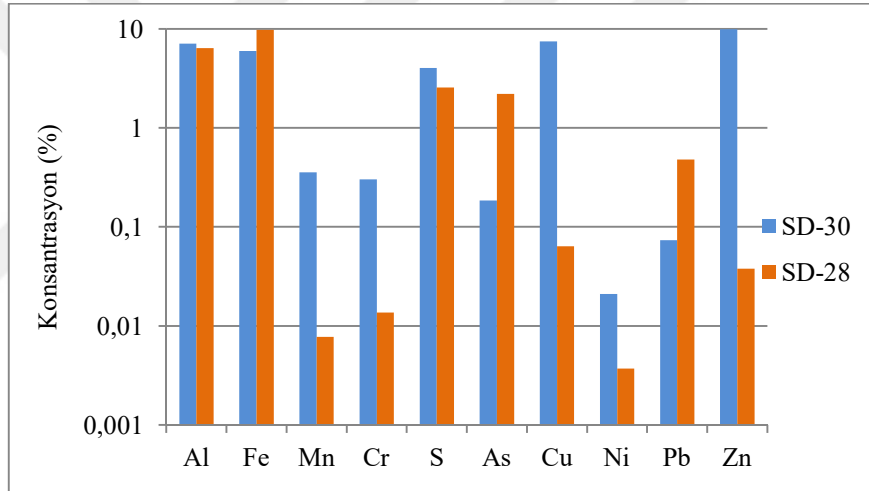
Şekil 3.69. Kuararshan sahası çevresinde, muhtemelen galerilerden gelen sulara bağlı oluşan çökelimlerin (SD-30) XRD grafikleri (Gp: jips, Qtz: kuvars, Klin: kaolinit, Py: Pirit, Wmt: whitmoreit, Sdl: Siderotil, Ccal: kalkoalunit, Cct kalkosyanit, Rst: rozenit, Gst: goslarit, Coq: kokümbit, Cchl: klinoklor, Hem: hematit, Mal: malakit)



Şekil 3.70. Kuvarshan sahasında muhtemelen galerilerden gelen sulara bağlı saha çevresinde oluşan çökelimlerin (SD-32) XRD grafikleri (Arg: aragonit, Qtz: kuvars, Py: pirit, Cal: kalsit, Klin: kaolinit, Cct: kalkosyanit, Gp: jips)



Şekil 3.71. Kuvarshan sahasındaki galerilere bağlı olarak oluşan SD-30 örneğinin alındığı AMD göletinin (S-41) metal içeriğindeki dönemsel değişim



Şekil 3.72. Kuvarshan sahasından alınan AMD çökeli (SD-28) ve mavi renkli drenaj su çökelinin (SD-30) metal konsantrasyonları

3.6. Eski Karadeniz Bakır İşletme (KBİ) Tesisleri Civarında Toprak Kirliliğinin Boyutu

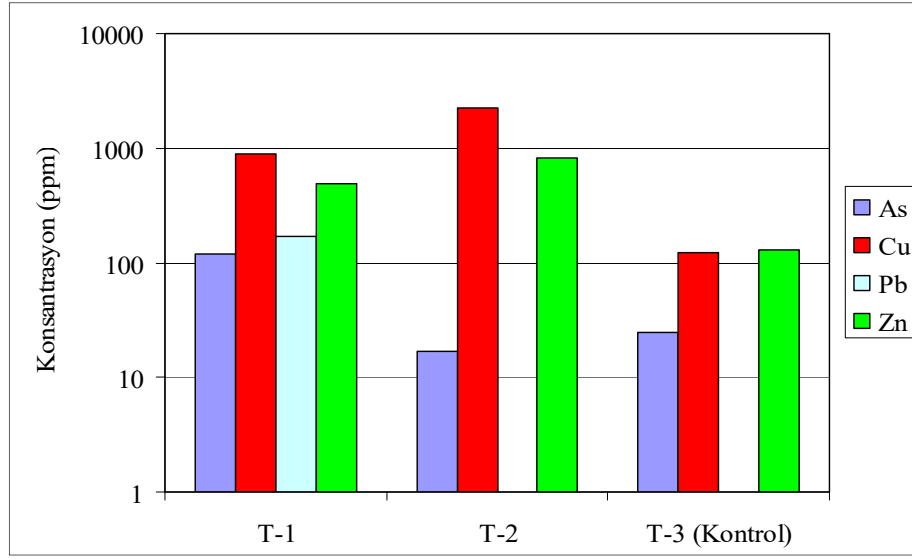
Murgul sahasında yürütülen çalışmalara ek olarak Murgul'un güneyinde bulunan eski Karadeniz Bakır İşletmeleri'ne ait izabe tesislerinin bulunduğu sahada toprak örnekleme yapılmıştır. Eski izabe tesisi, Damar Deresi-Murgul Deresi bağlantısına yakın bir yamaç üzerinde olup, Damar Deresi drenaj alanı içindedir (Şekil 1.6, Şekil 3.73). 1970'li yıllarda bakır ve pirit konsantresi ile sülfürik asit üretimi yapılan tesislerde, üretim 1980 yılların sonunda sona ermiştir. Kontrolsüz olarak terk edilmiş olan sahadan, pasa (K-12) ve kompozit toprak örnekleme (T-1 ve T-2) yapılmıştır.

Toprak kirliliğinin boyutlarını belirlemek amacıyla, sahanın etki alanı dışındaki bir alandan kontrol örnekleme yapılmıştır. Sahanın örneklemeindeki amaç, uzun süreli atmosferik etkileşime maruz kalmış pasa yığınlarından kaynaklanan toprak kirliliğinin boyutunu ve kayaçların jeokimyasında, asit üretme potansiyelinde meydana gelen değişimi belirlemektir. KBİ pasalarının (K-12) AMD üretme potansiyeli nem hücresi deneyi ile tespit edilmiştir.

Toprak örneklerinin jeokimyasal analiz sonuçları Tablo 3.34’de verilmiştir. Kontrol örneğine göre, özellikle Cu (7-18 kat) ve Zn (4-6 kat) elementlerinde önemli bir zenginleşme gözlenmiştir. Toprak örneklerinin Fe konsantrasyonunda ise arka plan (background) konsantrasyonuna göre %15-18’lik bir artış söz konusudur. As ve Pb elementlerinde ise lokal da olsa kirlenme belirtileri mevcuttur. Anomali veren elementlerin konsantrasyonları (Şekil 3.74) dikkate alındığında eski işletmeden kaynaklanan toprak kirliliğinin boyutunun orta düzeylerde olduğu görülmüştür.



Şekil 3.73. Karadeniz Bakır Eski İşletme Tesisleri



Şekil 3.74. KBİ sahasından alınan toprak örneklerinde anomali veren metallerin konsantrasyonlarının değişimi

Tablo 3.34. K.B.İ sahasından alınan toprak örneklerinin jeokimyasal analiz sonuçları (Oksitler %, elementler ise ppm olarak verilmiştir)

	T-1 KBİ, Eski işletme civarı	T-2 KBİ, Eski işletme civarı background	T-3 Kontrol örneği
SiO ₂	43,59	39,81	56,82
Al ₂ O ₃	18,85	20,12	19,12
Fe ₂ O ₃	10,04	9,76	8,47
MgO	5,08	3,19	2,51
CaO	6,43	8,89	1,36
Na ₂ O	0,98	0,3	0,56
K ₂ O	3,86	3,59	1,83
TiO ₂	0,78	0,91	0,82
P ₂ O ₅	0,15	0,15	0,06
MnO	0,18	0,18	0,16
Cr ₂ O ₃	0,03	0,03	0,02
LOI	9,63	12,42	8,051
Toplam	99,6	99,35	99,78
SO ₃	0,09	0,11	0,04
Ag	<10	<10	<10
As	119	17	25
Ba	257	659	427
Bi	<10	<10	<10
Cd	<10	<10	<10
Cl	<10	<10	<10

Tablo 3.34 (Devam) K.B.İ sahasından alınan toprak örneklerinin jeokimyasal analiz sonuçları (Oksitler %, elementler ise ppm olarak verilmiştir)

	T-1 KBİ, Eski işletme civarı	T-2 KBİ, Eski işletme civarı background	T-3 Kontrol örneği
Cu	893	2217	121
Co	<10	<10	<10
Er	<10	<10	<10
Ga	14	<10	13
Gd	<10	<10	<10
Ir	<10	<10	<10
Nb	<10	<10	10
Ni	103	93	102
Mo	<10	<10	<10
Tb	<10	<10	<10
Te	<10	<10	<10
Pb	169	<10	<10
Pd	<10	<10	<10
Rb	55	42	54
Sb	<10	<10	<10
Sc	<10	<10	<10
Se	<10	<10	<10
Sr	98	71	111
V	208	219	218
W	<10	<10	<10
Y	<10	<10	<10
Zn	492	826	130
Zr	51	76	119

3.7. Statik Testler

Çalışma yapılan sahalardan alınan yan kayaç, pasa/dekapaj/flotasyon atığı ve AMD çökeli gibi malzemeler üzerinde, örneklerin asit üretme ve nötralize etme potansiyellerini belirlemek amacıyla bir dizi statik test uygulanmıştır.

Bu testlerin ilk aşaması, örneklerin asit üretme potansiyelini yükselten sülfid sülfür; nötralize etme potansiyelini yükselten inorganik karbon oranlarının belirlenmesidir. Bu amaçla örnekler üzerinde bir dizi sülfür ve karbon türleştirme analizleri gerçekleştirilmiştir.

Statik testlerin ikinci aşaması ise örneklerin asit üretme potansiyelini belirlememize ve değerlendirmemize yardımcı olacak parametrelerin belirlenmesidir. Bunlar sırasıyla paste pH, köpürme oranı, asit potansiyeli, nötralizasyon potansiyeli, net nötralizasyon potansiyeli ve nötralizasyon potansiyel oranı değerlerinin deney ve hesaplamalarla belirlenmesidir.

3.7.1. Sülfür ve karbon türleştirme

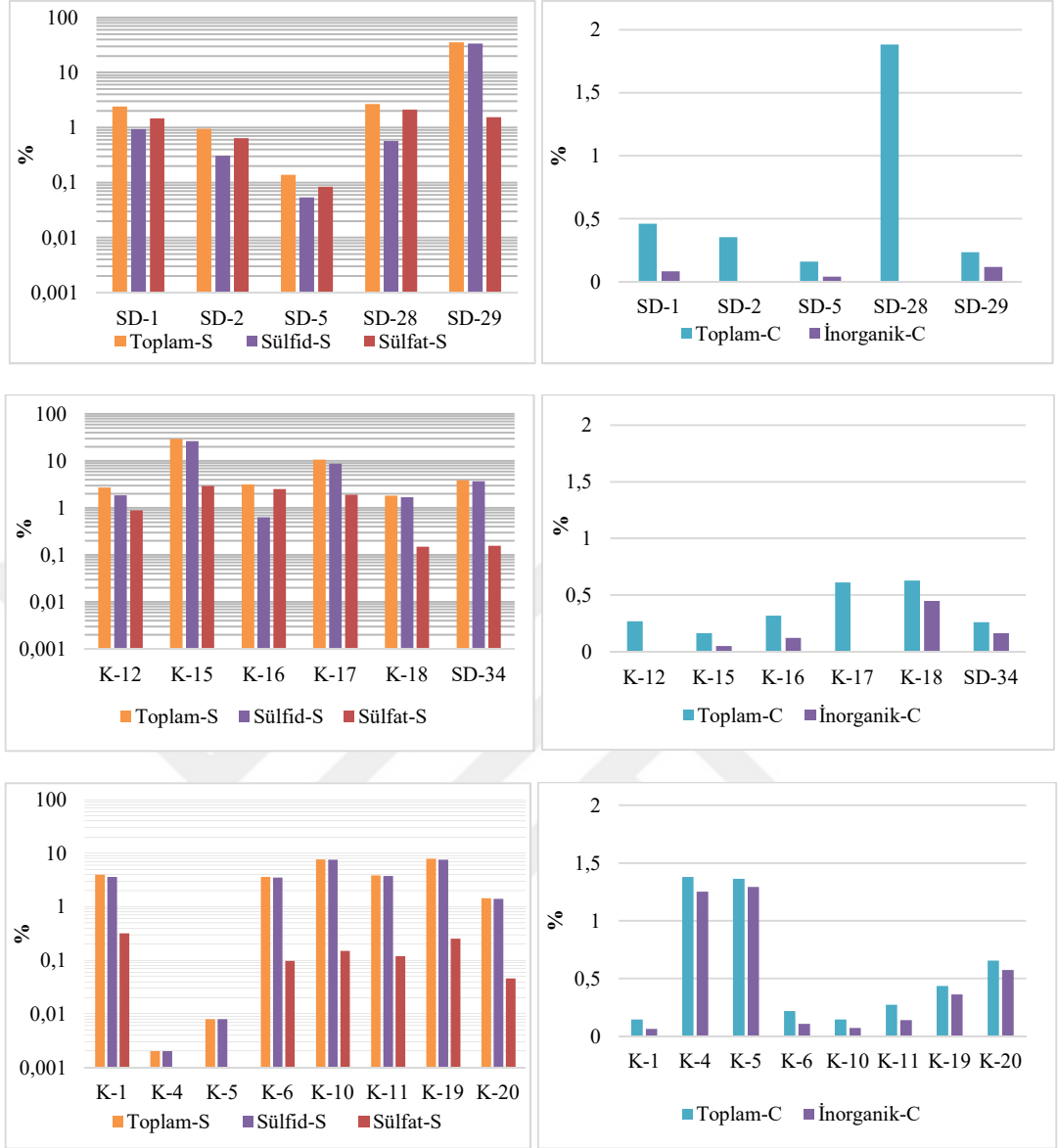
Örneklerin toplam kükürt değerleri % 0,002-35,26; sülfid sülfür yüzdeleri ise %0,002-33,72 arasında değişmektedir. En düşük kükürt ve sülfid sülfür yüzdeleri mor (K-4) ve yeşil dasit (K-5) örneklerinde ölçülmüştür (Tablo 3.35, Şekil 3.75). En yüksek toplam kükürt ve sülfid sülfür yüzdeleri ise Kuvarshan sahası örneklerinde (SD-29, K-15, K-17) ölçülmüştür. Farklı sahalardan alınan cevherli dasit örneklerinin toplam kükürt yüzdeleri % 1,45-7,84 arasında; sülfid sülfür yüzdeleri ise %1,40-7,58 arasında değişmektedir (Şekil 3.75).

İncelenen örnekler içinde en yüksek sülfat sülfür yüzdesi, farklı sahalardan alınan AMD çökellerinde (SD-1, SD-2, SD-5, SD-28) ölçülmüştür; sülfat sülfür oranı % 60-80 arasında değişmektedir (Tablo 3.35). Sülfat sülfür yüzdesi, örneklerin alterasyon derecesi ile ilişkilidir.

Örneklerin toplam inorganik karbon (TİK) konsantrasyonları (CaCO_3 olarak) genellikle düşüktür (Tablo 3.35). Mor ve yeşil dasit örnekleri, diğer örneklere göre yüksek (yaklaşık %1,3 civarında), TİK değerine sahiptir (Tablo 3.35).

Tablo 3.35. Örneklerin karbon ve sülfür türleştirmesi sonuçları

Örnek	Alındığı Yer	Tür	Toplam Sülfür %	Sülfat Sülfür %	Sülfid Sülfür %	Sülfid Sülfür Katkısı %	Toplam Karbon %	İnorganik Karbon %
ÇÖKEL ÖRNEKLERİ								
SD-1	Çakmakkaya	AMD Çökeli	2,40	1,46	0,94	39,10	0,46	0,08
SD-2	Çakmakkaya	AMD Çökeli	0,95	0,64	0,31	32,56	0,35	0,001
SD-5	Çakmakkaya	AMD Çökeli	0,14	0,08	0,05	39,23	0,16	0,04
SD-28	Kuvarshan	AMD Çökeli	2,69	2,12	0,57	21,23	1,88	0
SD-29	Kuvarshan	AMD Çökeli	35,26	1,53	33,72	95,64	0,23	0,12
CEVHERLİ DASİT, MOR ve YEŞİL DASİT ÖRNEKLERİ								
K-1	Çakmakkaya	Cevherli Dasit	3,94	0,32	3,62	91,89	0,15	0,07
K-4	Çakmakkaya	Mor Dasit	0,002		0,002	100	1,38	1,25
K-5	Çakmakkaya	Yeşil Dasit	0,008		0,008	100	1,36	1,29
K-6	Damar	Cevherli Dasit	3,58	0,10	3,49	97,27	0,22	0,11
K-10	Çakmakkaya	Cevherli Dasit	7,66	0,15	7,51	98,04	0,15	0,07
K-11	Çakmakkaya	Cevherli Dasit	3,85	0,12	3,73	96,92	0,27	0,14
K-19	Çarkbaşı	Cevherli Dasit	7,84	0,25	7,58	96,76	0,44	0,36
K-20	Damar	Cevherli Dasit	1,45	0,05	1,40	96,86	0,66	0,57
PASA, DEKAPAJ, FLOTASYON ATIKLARI								
K-12	Karadeniz Bakır Eski İşletme	Cevherli Dasit Pasa	2,74	0,89	1,86	67,65	0,27	0
K-15	Kuvarshan	Flotasyon Atığı	29,36	2,94	26,42	89,98	0,17	0,05
K-16	Kuvarshan	Mekan Kaya Örneği	3,15	2,52	0,63	20,10	0,32	0,12
K-17	Kuvarshan	Pasa	10,66	1,90	8,76	82,15	0,61	0
K-18	Murgul	Dekapaj	1,84	0,15	1,69	91,79	0,63	0,45
SD-34	Atık Barajı	Flotasyon Malzemesi	3,89	0,16	3,73	95,94	0,26	0,16



Şekil 3.75.Örneklerin karbon ve sülfür türleştirmesi sonuçları

3.7.2. Paste pH

Paste pH, tek başına belirteç bir özellik olmadığından, diğer statik test sonuçları ile ilişkilendirilerek değerlendirme yapılmıştır. İncelenen örneklerin büyük bir çoğunluğu asidik paste pH değerine sahiptir.

Kaya örneklerinin paste pH değerleri 3,06-8,54 arasında, atık/pasa örneklerinin 1,98-6,23 arasında, AMD çökellerinin ise 1,43-7,12 arasında değişmektedir. En düşük paste pH değeri Kuvarshan sahasından alınan AMD çökelinde (SD-29= 1,43) ve flotasyon atığında (K-15= 1,98) ölçülmüştür (Tablo 3.36). Damar sahasındaki AMD'den alınan SD-5 örneği nötral paste pH değeri (7,12) verirken, diğer AMD

çökelleri kuvvetli asit karakterlidir (Tablo 3.37). İncelenen kaya örnekleri içinde, cevherli dasitlerin paste pH değerleri ise, çoğunlukla, asidik olup, mor ve yeşil dasit örnekleri alkali karakterdedir. Atık/pasa ve dekapaj örnekleri içinde, K-18 (Murgul-dekapaj) örneği hariç diğer örnekler asidik paste pH değerine sahiptir. Murgul Sahası'ndaki atık su barajında çöktürülen flotasyon malzemesi (SD-34) de asidik paste pH değerine sahiptir (Tablo 3.36).

3.7.3. Asit potansiyeli (AP)

İncelenen örnekler arasında, en yüksek sülfid sülfür içeriği, AMD çökelleri içinde Kuvarshan AMD çökeline (SD-29= % 34), atık ve pasalar içinde Kuvarshan flotasyon atığında (K-15= % 26), kayalar içinde ise Murgul dekapaj (K-19= %7,58) örneğinde ölçülmüştür.

Asit üretme potansiyeli en yüksek olan örnekler ise, Kuvarshan sahasından alınan AMD çökeli (SD-29= 1054 kg CaCO₃/ton kaya) ve flotasyon atığıdır (K-15= 826 kg CaCO₃/ton kaya) (Tablo 3.36). Cevherli dasit örnekleri içinde ise %7,51 sülfid sülfür içeren K-10 örneği maksimum AP'ye sahiptir (234,65 kg CaCO₃/ton kaya).

Cevherli dasit örneklerinin asit üretme potansiyelleri 23-235 kg CaCO₃/ton kaya arasında değişmektedir. Ortalama 162 ± 67 kg CaCO₃/ton kaya civarındadır.

Murgul sahasından alınan AMD çökellerinin AP değerleri (1,7-29 kg CaCO₃/ton kaya), diğer çökel örneklerine göre nispeten düşüktür. Mor dasit ve yeşil dasit örnekleri ise, tüm örnekler arasında, hem en düşük sülfid sülfür yüzdesine, hem de en düşük asit potansiyeline (0,05 ve 0,26 kg CaCO₃/ton kaya) sahip örneklerdir.

Maksimum asit üretme potansiyeli (MAP), örneğin toplam sülfür içeriği baz alınarak hesaplanan bir değerdir. Örneklerin maksimum asit üretme potansiyeli (MAP) ile sülfid-S içerikleri birlikte grafiklendiklerinde, aralarında doğrusal bir ilişki olduğu görülmektedir. Örneklerin çoğunda, sülfat sülfür yüzdesinin düşük olması, örneklerin MAP ve AP değerlerinin birbirine yakın olmasına neden olmuş, bu yüzden grafiklendiklerinde de doğrusal ilişki izlenmiştir. Doğrudan sapma gösteren örnekler, toplam kükürt içeriğinde SO₄-S katkısının yüksek olduğu SD-1, SD-2, SD-28 ve K-16 örnekleridir (Tablo 3.35, Şekil 3.77).

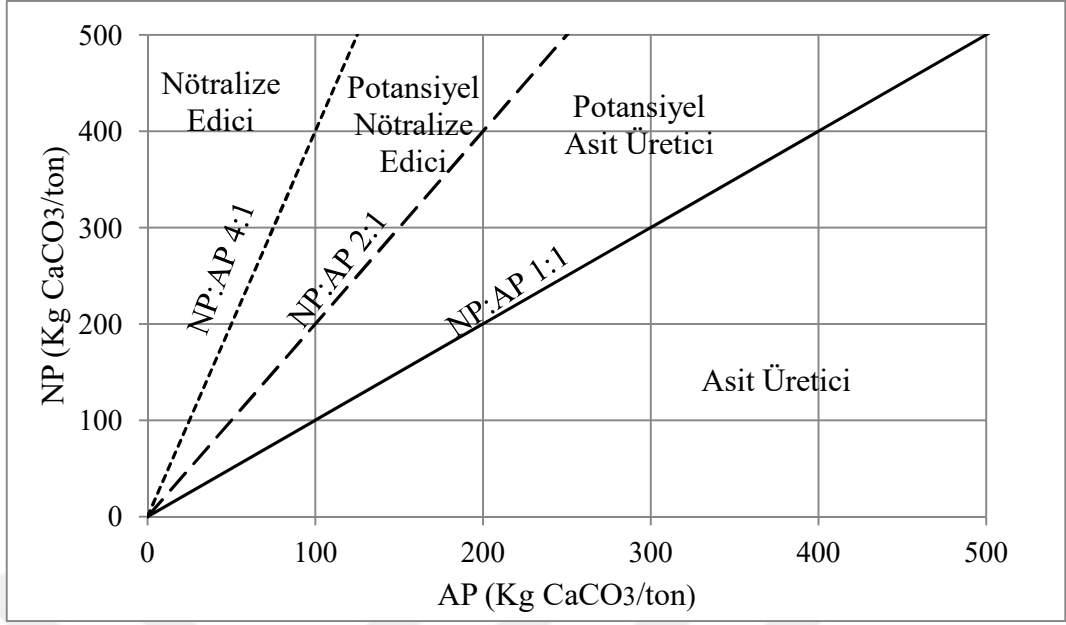
3.7.4. Nötralizasyon potansiyeli (NP)

Bir örneğin nötralizasyon potansiyeli değeri, bir dizi deney sonucunda yapılan hesaplama ile elde edilir. NP için yapılan ilk deney, köpürme testidir. Köpürme testinde, örnekler HCl damlatılarak köpürme dereceleri ölçülmüştür. Köpürmenin derecesi, örnekteki CaCO_3 miktarı ile artmaktadır. İncelenen örneklerin neredeyse tamamına yakınında, köpürme gözlenmemiştir yada oldukça zorlukla farkedilen bir köpürme gözlenmiştir: Mor dasit ve yeşil dasit örnekleri oldukça hafif bir köpürme göstermiş, diğer hiç bir örnekte köpürme izlenmemiştir .

Nötralizasyon potansiyeli (NP) ve asit potansiyeli (AP) değerleri, birbirinden bağımsız değerlendirmek yerine birlikte değerlendirilirse, örneğin potansiyeli hakkında daha doğru bir öngörüle bulunulur. Bunun için, asit potansiyeli ve nötralizasyon potansiyelini biraraya toplayan Net Nötralizasyon Potansiyeli (NNP) ve Nötralizasyon Potansiyeli Oranı (NPO) değerlerinden yararlanılır.

NPO'yu basitçe ve daha anlaşılır biçimde sunmak için, NP y-ekseninde ve AP ise x-ekseninde olacak biçimde, grafik üzerine yansıtılır ve doğruların altında kalan alanlara düşme durumlarına göre örneklerin potansiyeli hakkında karara varılır. Nötralizasyon potansiyel oranı grafiklerinin yorumlanması Şekil 3.79'de gösterilmiştir.

K-4 ve K-5 örneklerinin toplam sülfür değerleri oldukça düşük olduğu için türleştirme işlemine gerek duyulmamıştır. Bu örneklerin asit potansiyelleri toplam kükürt değerleri kullanılarak ölçülmüştür (Tablo 3.35). Nötralizasyon potansiyeli oranına göre de, bu iki örnek 4'den büyük değerler vererek, grafiksel olarak da asit nötralize edici karakterde çıkmıştır.



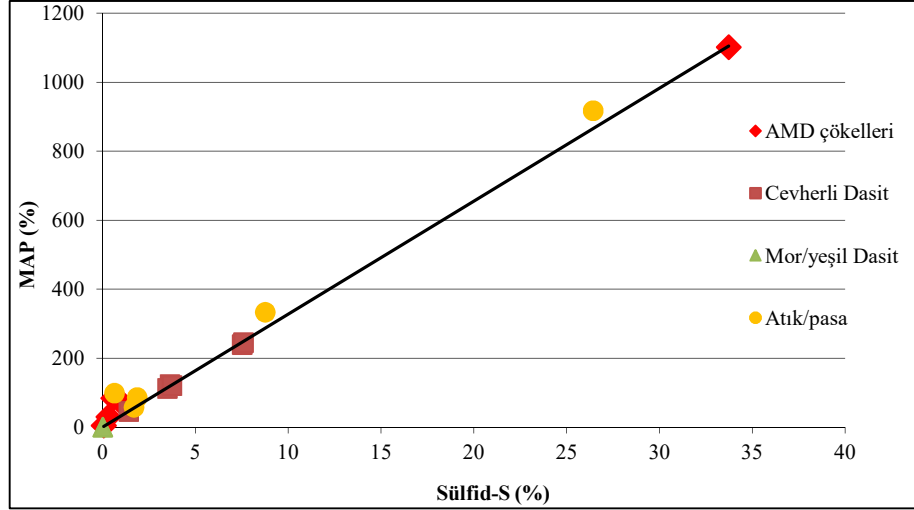
Şekil 3.76. NNP değerlendirmesinde kullanılacak NP-AP grafiği

İncelenen örneklerin üç tanesi, asit üretme potansiyeline sahip değildir. Asit üretme potansiyeli olmayan bu örnekler, düşük sülfid sülfür (< %0,05) içerikleri, alkali paste pH düzeyleri ve oldukça düşük nötralize etme potansiyelleri (NP:50-93 kg CaCO₃/ton) ile ayırt edilebilen, mor ve yeşil dasit örnekleri (K-4 ve K-5) ile Çakmakkaya sahasından alınan AMD çökelidir (SD-5) (Tablo 3.36, Şekil 3.78, Şekil 3.79). Bu örneklerin NPO değerleri, 4'ün çok üzerindedir. Bu üç örnek dışındaki diğer örneklerin NNP değerleri -25 ile -1099 kg CaCO₃/ton arasında; NPO değerleri ise -1,44 ile 0,43 arasındadır. Özellikle, Kuvarshan'dan alınan flotasyon atığı (K-15) ve pasa (K-17) örneklerinin ve AMD çökelinin (SD- 29) yüksek derecede asit üretici karakterde örnekler oldukları söylenebilir. SD-29, K-15 ve K-17 örneklerinin NNP değerleri sırasıyla -1099, -870 ve -287 kg CaCO₃/ton dur. Bu değerler asit üretme potansiyelinin yüksek olduğunu belirleyen NNP< -20 sınır değerinden yaklaşık 15 ile 55 kat daha düşüktür.

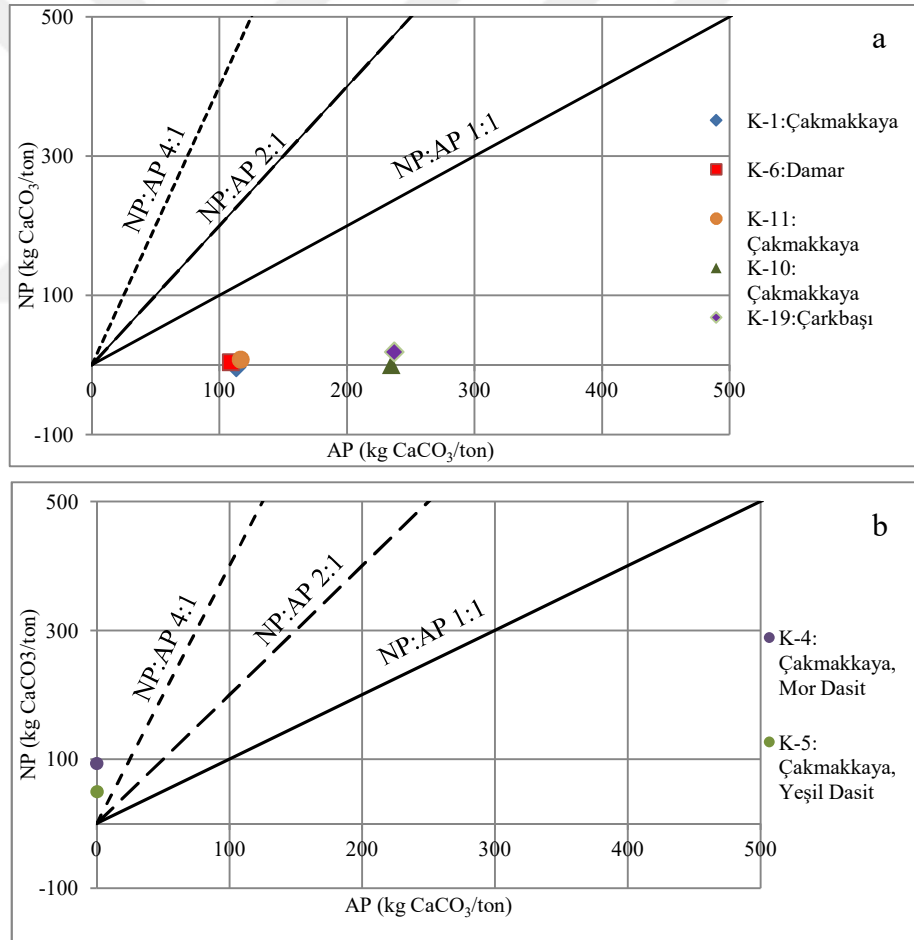
Özetle, mor ve yeşil dasit örneklerinin asit üretici bir karaktere sahip olmadığı; bunların dışındaki diğer tüm örneklerin ise asit üretici karakterde olduğu tespit edilmiştir. Asit üretici karaktere sahip olduğu tespit edilen 16 örnek arasından, mineralojik özelliklerine, sahadaki bolluklarına, test için yeterli miktarda olup olmadıklarına bağlı olarak seçilen 9 örneğe nem hücresi deneyi yapılmıştır.

Tablo 3.36. Örneklerin statik test sonuçları

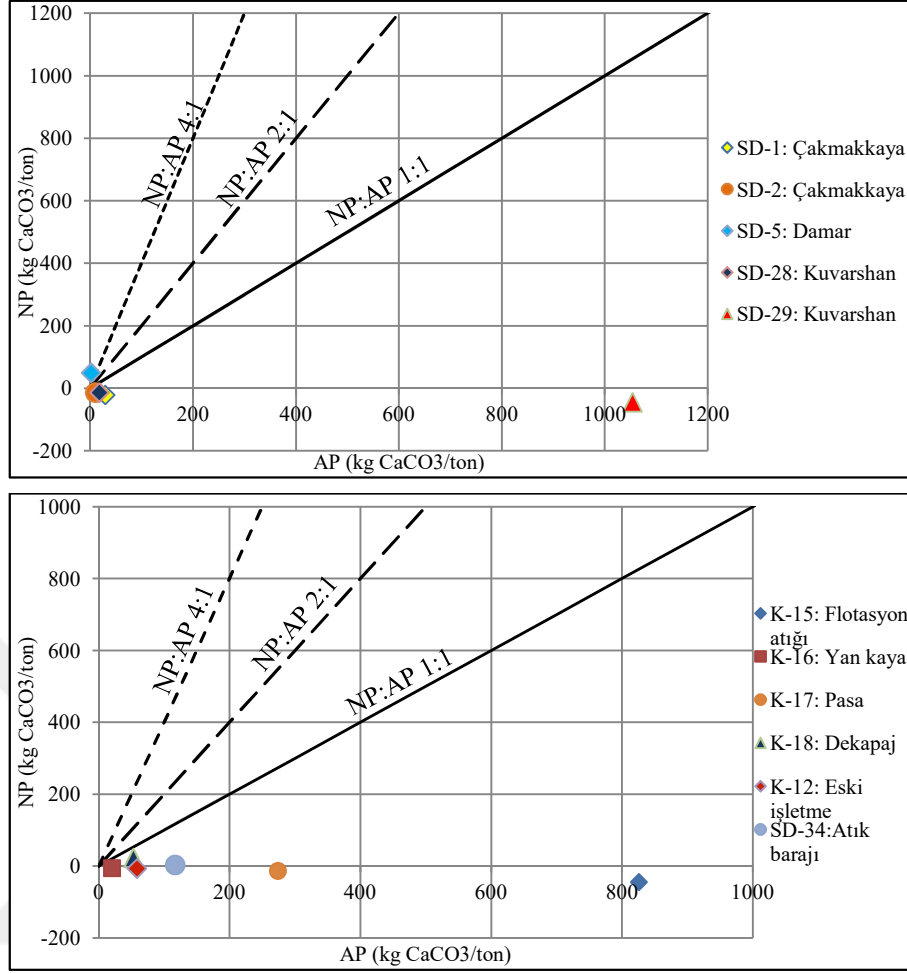
Örnek	Alındığı Yer	Tür	Paste pH	AP kg CaCO ₃ /ton	MAP kg CaCO ₃ /ton	NP kg CaCO ₃ /ton	NNP kg CaCO ₃ /ton	NPO
ÇÖKEL ÖRNEKLERİ								
SD-1	Çakmak kaya	AMD Çökeli	2,48	29,35	75,08	-21,37	-50,72	-0,28
SD-2	Çakmak kaya	AMD Çökeli	3,17	9,67	29,7	-13,9	-23,57	-0,47
SD-5	Damar	AMD Çökeli	7,12	1,69	4,313	49,46	47,77	11,47
SD-28	Kuvarshan	AMD Çökeli	2,27	17,85	84,08	-13,72	-31,57	-0,16
SD-29	Kuvarshan	AMD Çökeli	1,43	1053,78	1101	-44,93	-1098,71	-0,04
CEVHERLİ DASİT, MOR ve YEŞİL DASİT ÖRNEKLERİ								
K-1	Çakmak kaya	Cevherli Dasit	3,06	113,24	123,24	-2,44	-115,68	-0,02
K-4	Çakmak kaya	Mor Dasit	8,54	0,05	0,054	93,79	93,74	1733,59
K-5	Çakmak kaya	Yeşil Dasit	8,47	0,26	0,26	49,91	49,65	190,15
K-6	Damar	Cevherli Dasit	5,13	108,93	111,98	3,98	-104,95	0,04
K-10	Çakmak kaya	Cevherli Dasit	3,68	234,65	239,33	0,49	-234,16	0
K-11	Çakmak kaya	Cevherli Dasit	5,1	116,65	120,35	7,93	-108,72	0,07
K-19	Çarkbaşı	Cevherli Dasit	6,43	237,02	244,95	18,99	-4,03	0,08
K-20	Damar	Cevherli Dasit	6,88	43,88	45,3	10,29	-33,59	0,23
PASA, DEKAPAJ, FLOTASYON ATIKLARI								
K-12	K.B.E.İ.	Cevherli Dasit Pasa	2,98	58,02	85,77	-6,48	-64,5	-0,08
K-15	Kuvarshan	Flotasyon Atığı	1,98	825,56	917,5	-44,31	-869,87	-0,05
K-16	Kuvarshan	Mekan Kaya	3,15	19,81	98,55	-5,45	-25,26	-0,06
K-17	Kuvarshan	Pasa	2,37	273,64	333,09	-12,99	-286,63	-0,04
K-18	Murgul	Dekapaj	6,23	52,5	57,47	22,9	-29,6	0,4
SD-34	Atık Barajı	Flotasyon Malzemesi	4,35	116,52	121,45	3,44	-113,08	0,03



Şekil 3.77. Üzerinde statik testler yapılan örneklerin sülfid-S-MAPdeğişim grafiği



Şekil 3.78. a- Cevherli dasitlerin, b- mor ve yeşil dasitlerin NP:AP grafikleri



Şekil 3.79. a) AMD çökellerinin ve b) pasa, dekapaj, flotasyon atığı örneklerinin NP:AP grafikleri

3.8. Nem Hücresi Deneyi

Nem hücresi deneyi, statik testlerin ardından, asit üretme potansiyeli olasılığı yüksek olan örnekler üzerinde yürütülen, yaklaşık 1,5 yıl (52 döngü) sürmüş, AMD oluşum potansiyeli hakkında öngörude bulunmayı sağlayan kinetik bir testtir. Nem hücresi deneyinden elde edilen veriler ışığında, örneklerden alınan süzöntü suların kimyası nitelik ve nicelik bakımından tanımlanmış; örneklerin asit üretme potansiyelleri, metal salınım kinetikleri ve bunları kontrol eden jeokimyasal süreçler ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Nem hücresi deneyine tabi tutulan 9 örnek vardır, bunlar: K-1, K-10 (Çakmakkaya-cevherli dasit), K-19 (Çarkbaşı-cevherli dasit), SD-34 (atık barajı), K-18 (Murgul-dekapaj), K-17 (Kuarshan-pasa), K-15 (Kuarshan-flotasyon atığı) ve K-16 (Kuarshan-mekan kaya)'dır. Bu örneklerin altısında, nem hücresi deneyinde, AMD

oluşumu gözlenmiştir. Statik testlerde yüksek asit üretme potansiyeli ölçülen 3 örnekte ise (Atık barajı, Çarkbaşı-cevherli dasit ve Murgul-dekapaj) deney başlangıcı dışında, genellikle nötr-alkalen karakterli drenajlar oluşmuştur. Bu üç örneğin verdiği sonuçlar, statik testlerin yalnız başına örneklerde AMD oluşma potansiyelini belirlemede tam anlamıyla yeterli olamayacağını, statik testlerin, kinetik testlerle desteklenmesi gerektiğini göstermiştir.

3.8.1. Süzüntü sularının genel kimyasal özellikleri

Nem hücresi yapılan örneklerden (yan kayaç, pasa, flotasyon atığı, dekapaj malzemesi vb.) elde edilen süzüntü suların genel kimyasal özelliklerinin zamana bağlı değişimi Şekil 3.80-Şekil 3.88'de sunulmuştur.

Nem hücresi deneyinin en başında, ilk olarak yapılan işlem, yıkama işlemidir ve bu yıkamadan alınan süzüntü sularına '0. (sıfırıncı) döngü süzüntü suları' denmiştir. Yapılan bu ilk yıkama işlemi ile, örneklerdeki hızla ve kolayca salınabilen ayrışma ürünleri süzüntü sularına geçtiği için, 0. döngü süzüntü suları, kimyasal açıdan en uç özellikleri sergilemiştir. Deney ilerledikçe, süzüntü sularının kimyasal özelliklerinde değişimler meydana gelmiştir. Bu değişimler, deneyin başlangıcında çoğunlukla hızlı gerçekleşirken (2 döngüden önce), daha sonra nispeten yavaş seyretmiştir. Bazı örneklerde, deneyin ilerleyen döngülerinde, sülfür minerallerinin oksidasyonunun başlamasıyla, süzüntü sularının kimyasındaki değişim tekrar hızlanma eğilimi göstermiştir. Nem hücresi deneyi boyunca alınan süzüntü sularının indirgenme-yükseltgenme potansiyelleri (ORP) 263-601 mV arasında değişkenlik göstermiştir, diğer bir deyişle nem hücrelerinde, deney süresince, yükseltgen koşullar hakim olmuştur (Şekil 3.80, Şekil 3.83, Şekil 3.86).

3.8.1. Süzüntü sularının genel kimyasal özellikleri

3.8.1.1. Murgul sahası cevherli dasitleri

Murgul Sahası'ndan K-1 (Çakmakkaya), K-10 (Çakmakkaya) ve K-19 (Çarkbaşı) olmak üzere 3 adet cevherli dasit örneği alınmıştır. K-1 ve K-10 örnekleri deney süresince kuvvetli asidik karakterlerini sürdürmüşlerdir. K-10 örneğinin pH değeri ilk 6 döngüde, 3,78'den 6,21'e kadar yükselmiş daha sonra 3,2-5,78 arasında değişmiştir. K-1 ise ilk 16 döngü değişken pH sergiledikten sonra, pH=2 civarında

değerlerle deneyi sürdürmüştür. K-19 örneği, alkali karakterini korumuş ve pH değeri 6,7 - 8,4 arasında değişmiştir.

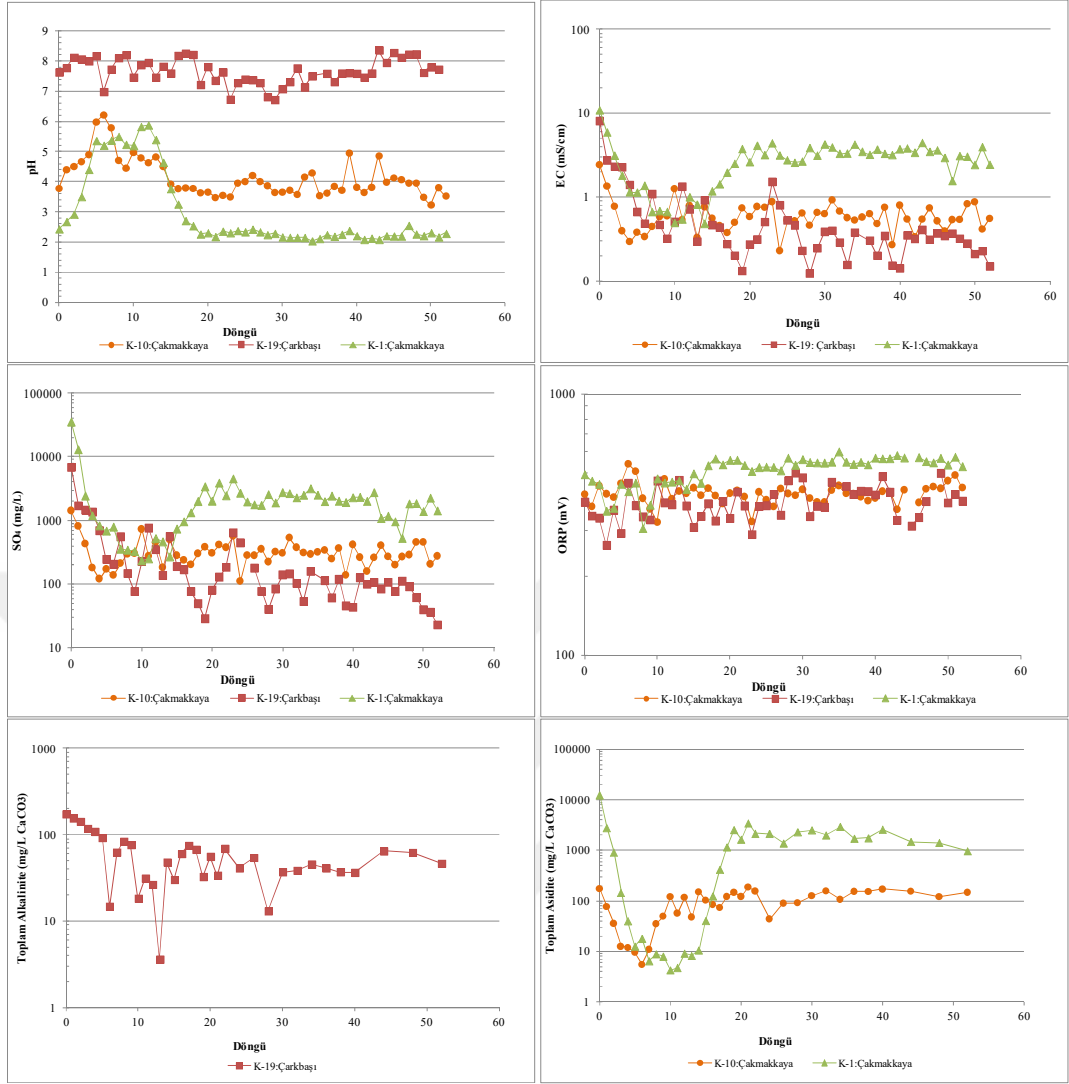
Çakmakkaya'dan alınan cevherli dasit örneklerinde (K-10 ve K-1), ilk 6. ve 10. döngüde yıkanmanın etkisiyle azalan asidite değerleri, daha sonra artma eğilimine girmiş, K-10 örneğinde yaklaşık 10. döngüde, K-1 örneğinde ise yaklaşık 20. döngüden sonra stabil bir davranış sergilemiştir (Şekil 3.80). Cevherli dasitler içinde, sadece, Çarkbaşı örneği (K-19) deney süresince 4-173 mg/L CaCO₃ aralığında değişen alkalinite değerleri vermiştir. Başlangıçta azalan bir eğilim sergileyen alkalinite, deneyin ileriki safhalarında (13. döngüden sonra) kısmen dengeye ulaşma eğilimi göstermiştir.

Süzüntü sularının EC değerindeki değişim ile SO₄ konsantrasyonlarının değişim profillerinin birbiriyle benzer olması, EC düzeyini etkileyen en önemli unsurun, sülfat konsantrasyonu olduğunu göstermektedir (Şekil 3.80).

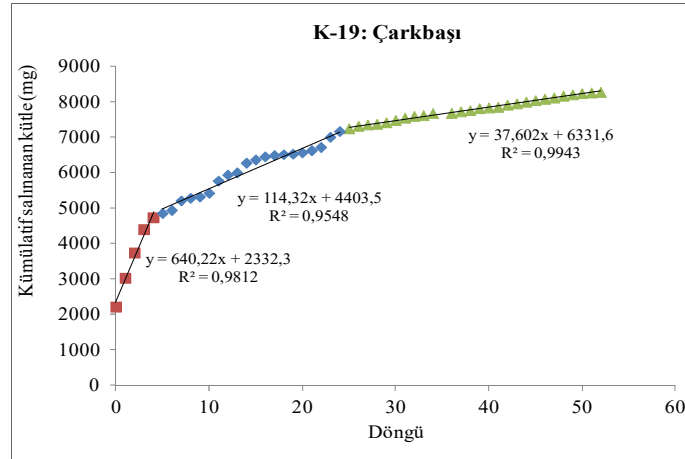
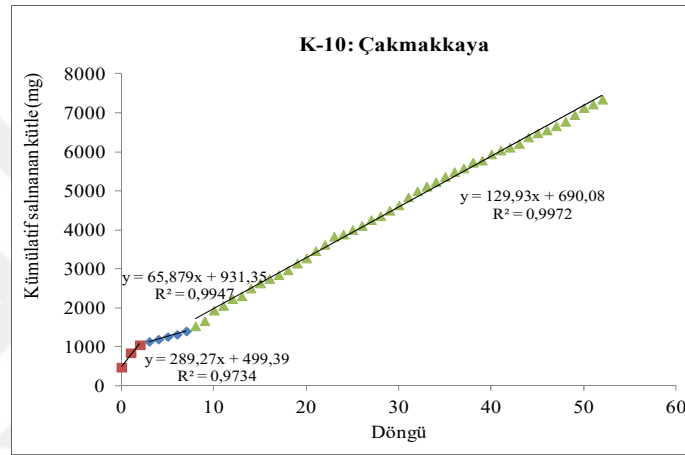
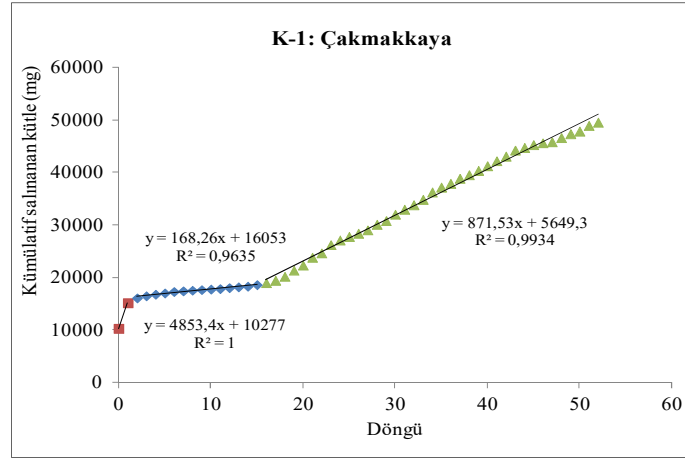
Çakmakkaya'dan alınan cevherli dasit örneklerinde (K-10, K-1) sırasıyla 6. ve 10. döngülerden sonra, süzüntü sularının pH'ındaki değişim örneklerdeki sülfür minerallerinin (pirit) oksidasyonunu işaret etmektedir. Süzüntü sularındaki SO₄ konsantrasyon grafiği ile pH değişim grafiğinin birbiriyle paralellik göstermesi de bu bulguyu doğrular niteliktedir (Şekil 3.80). AMD'nin en önemli ürünlerinden biri olan sülfat, incelenen cevherli dasit örneklerinden elde edilen süzüntü sularında oldukça yüksek konsantrasyondadır. Süzüntü sularında ait en yüksek sülfat konsantrasyonları, nem hücresi deneyinin başlangıcında ölçülmüştür. Deneyin başlangıcında (0. döngü süzüntü sularında), en yüksek konsantrasyonda sülfat salınımı K-1 örneğinde (35080 mg/L) gelişmiş, onu K-19 (6830 mg/L) ve K-10 (1417 mg/L) takip etmiştir (Şekil 3.80, Şekil 3.81). Her üç örnekte de, ilk döngülerdeki sülfat salınım miktarı en yüksek düzeydedir, deney ilerledikçe salınım miktarları düşmüş, K-1 örneğinde yaklaşık 15. döngüden sonra, K-10 örneğinde ise 10. döngüden sonra sülfat salınımında tekrar artış gözlenmiştir (Şekil 3.81). Ancak K-1 örneğiyle karşılaştırıldığında, ilk döngülerdeki yüksek salınım miktarı hariç, deney boyunca K-19 ve K-10 örneklerinde, sülfat salınım miktarı ve hızı düşük düzeyde seyretmiştir (Şekil 3.81).

Şekil 3.81'de Murgul sahası cevherli dasit örneklerinden salınan sülfat kütlesi ve salınım hızının zamana bağlı kümülatif değişimi grafiklenmiştir. Bu grafiklerde yer alan denklemlerin eğim değerleri, sülfat salınım hızını, mg SO₄/ kg kaya/ döngü olarak, vermektedir. Her üç örnekte de ilk 0-4. döngülerde en hızlı sülfat salınımı gerçekleşmiştir. Cevherli dasit örneklerinin tamamında sülfat salınımı, deney süresince, düşük düzeylerde seyretmiştir. 52 döngülük deneyde, K-1'den 49,5 gr, K-10'den 7,34 gr , K-19 örneğinden ise, 8,26 gr gibi düşük düzeylerde SO₄ salınımı olmuştur (Şekil 3.81).

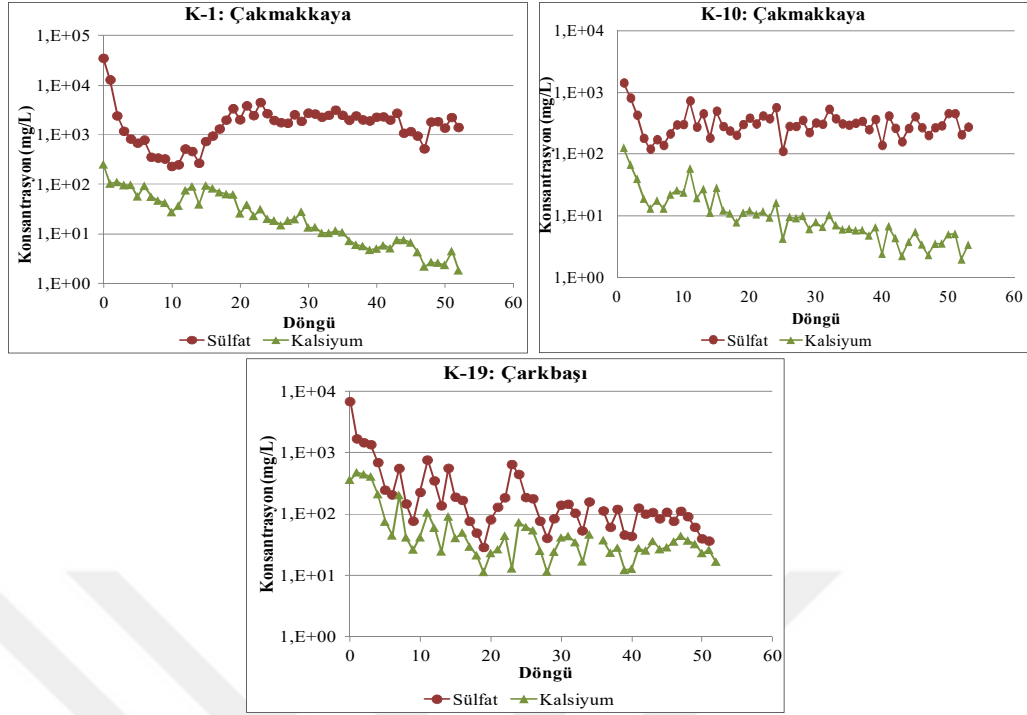
K-10 ve K-19 örneklerinin süzüntü sularındaki Ca ve SO₄ iyonlarının değişim grafiklerinin, deney boyunca benzerlik göstermesi, o zaman diliminde, sülfat salınımında en büyük etkenin, sülfür minerallerinin oksidasyon ürünü olan, jipsin çözünmesinin olduğunu işaret etmektedir (Şekil 3.82). K-1 örneğinde 15. döngüden sonra başladığı gözlenen pirit oksidasyonunun, deneyin bu sürecindeki sülfat salınımını kontrol eden en büyük etken olduğu söylenebilir (Şekil 3.80, Şekil 3.81). Pirit oksidasyonunun devreye girmiş olduğu, belirtilen döngülerden itibaren, Ca ve SO₄ salınım şekillerinin farklılaşmış olmasından anlaşılmaktadır (Şekil 3.82).



Şekil 3.80. Murgul cevherli dasit örneklerinin süzüntü sularında pH, EC, alkalinite, asidite, SO₄ ve ORP değerlerinin zamana bağlı değişimi



Şekil 3.81. Murgul cevherli dasit örneklerinden salınan sülfat kütlesi ve salınım hızının zamana bağlı kümülatif değişimi



Şekil 3.82. Murgul-cevherli dasit örneklerinden elde edilen süzöntü sularında Ca ve SO₄ konsantrasyonlarının zamana bağlı değişimi

3.8.1.2. Murgul sahası pasa, dekapaj ve flotasyon atığı örnekleri

Murgul maden sahasından alınan atık örnekleri K-12 (K.B.İ. Eski İşletme- Pasa), K-18 (Murgul-Dekapaj) ve SD-34 (Atık Barajı) içinde yalnızca K-12 örneğinden alınan süzöntü sularında, deney boyunca oldukça asidik pH değerleri ölçülmüştür (Şekil 3.83). Statik testlerde, AMD üretme potansiyeli olduğu sonucuna ulaşılan K-18 ve SD-34 örnekleri ise, deney başlangıcı haricinde, asidik karakterli süzöntü suları üretmemiştir.

Oldukça ayrışmış olan K-12 örneğinde, 2. döngüye kadar hafifçe düşüş sergileyen pH düzeyi, daha sonra deney süresince hafifçe bir artışla (pH= 2,2-2,9) asidik karakterini sürdürmüştür. SD-34 örneğinin, ilk süzöntü suyunda (0. döngü) ölçülen 4,9 pH değeri; K-18 dekapaj örneğinde ise 5,7 pH değeri, deney süresince, bu örneklerde ölçülen en düşük değerleridir. İlk süzöntü suyundaki bu zayıf asidik karakter, örneklerde halihazırda bulunan ayrışma ürünlerinin alındığının göstergesidir. Bu ilk zayıf asidik karakter yerini, deney boyunca süren genel alkali karaktere bırakmıştır.

Atık barajı örneğinin pH değeri 6,6-8,2 arasında; dekapaj örneğinin pH değeri ise 6,3-8 arasında değişmiştir.

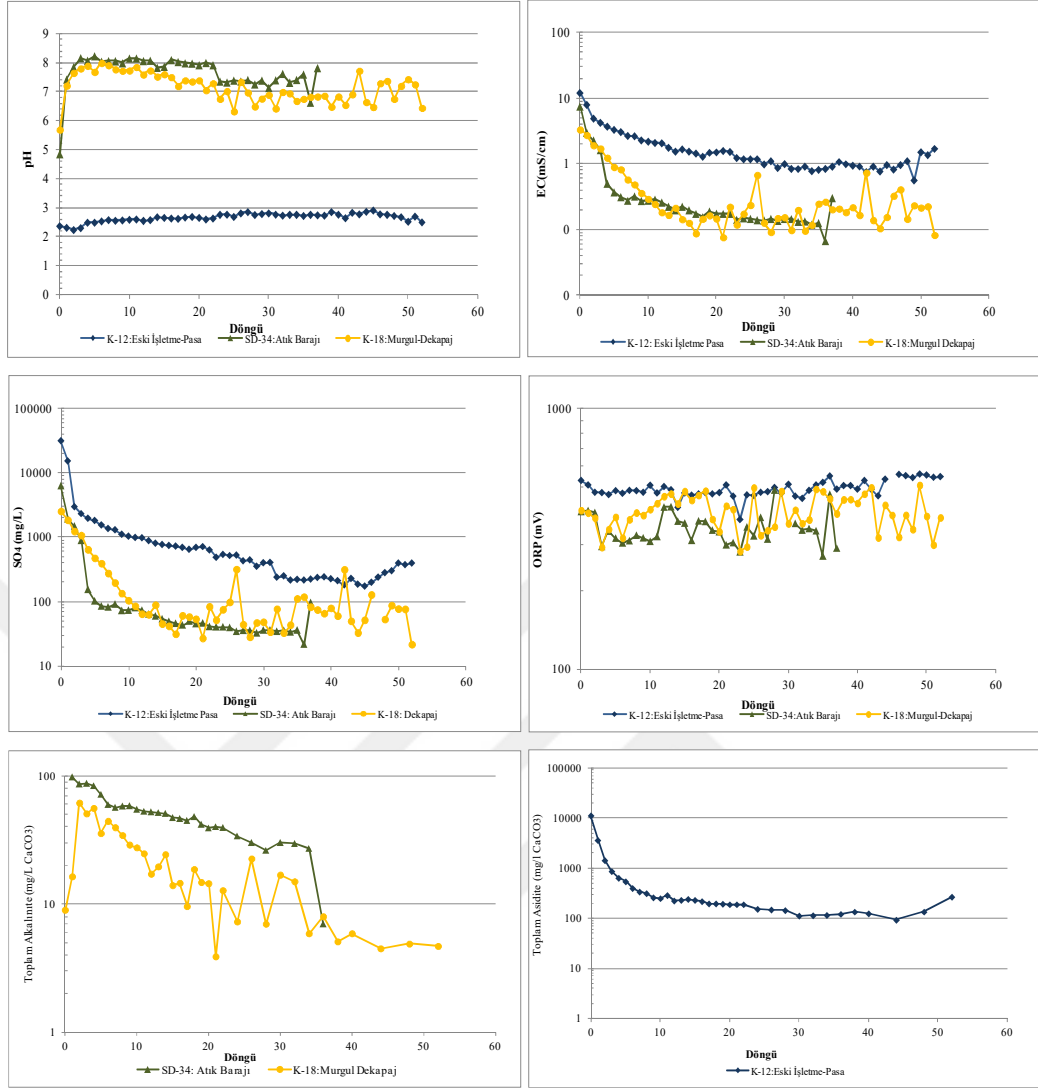
Kuvvetli asidik karakter sergileyen pasa örneğinin (K-12) toplam asiditesi, deneyin ilk 6 döngü süresince hızlı bir düşüş sergilemiş (11200 mg/L CaCO₃'dan 398 mg/L CaCO₃'a), 6. döngüden sonra yıkanmanın etkisiyle bu düşüş oldukça yavaşlamıştır. Deney boyunca 93-11200 mg/L CaCO₃ arasında değişmiştir (Şekil 3.83). K-18 ve SD-34 örnekleri ise, dalgalanmalar görülmekle birlikte, düşük alkalinite düzeylerini deney boyunca korumuşlardır. En hızlı düşüş dekapaj (K-18) örneğinde gözlenmiştir (Şekil 3.83).

Tüm Murgul maden atığı örneklerinde, EC değişim profilleri ile sülfat değişim profillerinin benzer olması, süzüntü sularının sülfat konsantrasyonlarının, elektiriksel iletkenlik üzerinde en etkili parametre olduğunu göstermektedir (Şekil 3.83).

Sülfat salınım davranışı tüm Murgul maden atığı örneklerinde başlangıçta hızlı, giderek ise yavaşlayan özelliktedir. Sülfat salınım hızları ve davranışları açısından dekapaj (K-18) ve flotasyon atığı (SD-34) örnekleri büyük benzerlik göstermektedir (Şekil 3.84). Atık örneklerinde, yaklaşık olarak ilk 4-6 döngüde fazla miktarda salınan sülfat; daha sonraki döngülerde daha az miktarda salınmıştır.

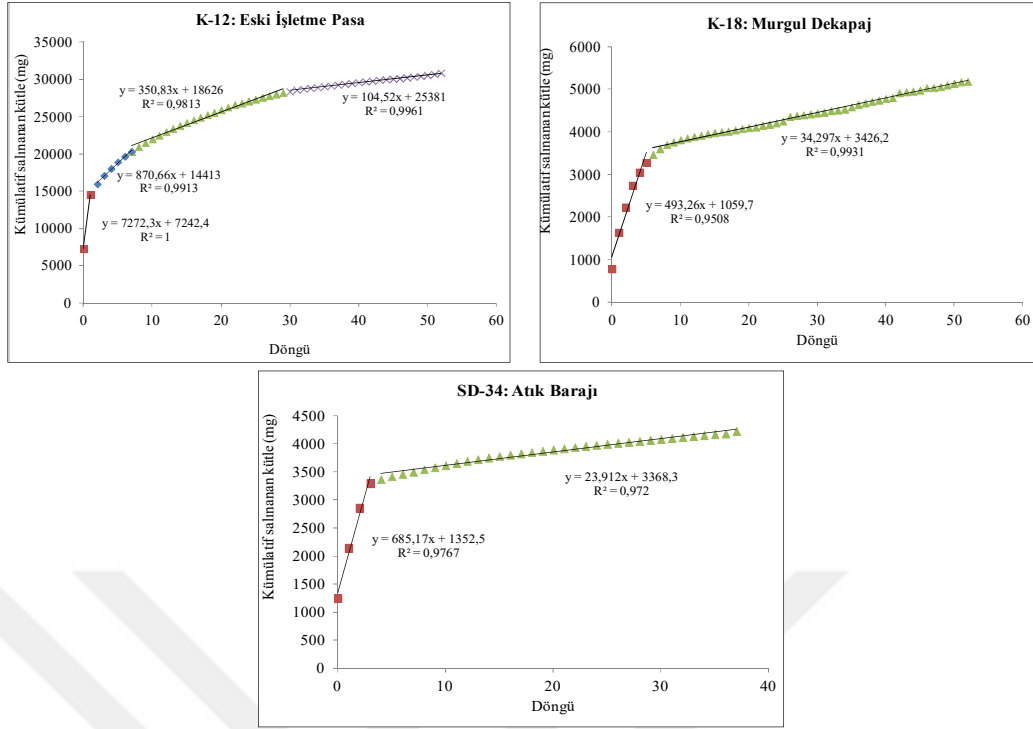
Murgul maden atığı örnekleri arasında, en fazla ve hızlı sülfat salınımı, asidik karakterli eski işletme pasasında (K-12) gözlenmiştir (Şekil 3.83, Şekil 3.84). Deney boyunca, sülfat konsantrasyonu azalma eğilimini devam ettirmiş, 0. döngüde 31244 mg/L olan sülfat konsantrasyonu, 45. döngüde 173 mg/L'ye kadar düşmüştür. 45. döngüden sonra ise artma eğilimine girerek, 391 mg/L'ye kadar çıkmıştır.

Bu üç örnek içinde, 52 döngü sonunda, en fazla toplam sülfat salınımı K-12 örneğinden olmuştur, toplamda 30,88 gr sülfat salınmıştır. Atık barajı örneğinden 4,21 gr, Murgul-dekapaj örneğinden ise 5,19 gr olmak üzere, düşük düzeylerde sülfat salınımı gerçekleşmiştir.

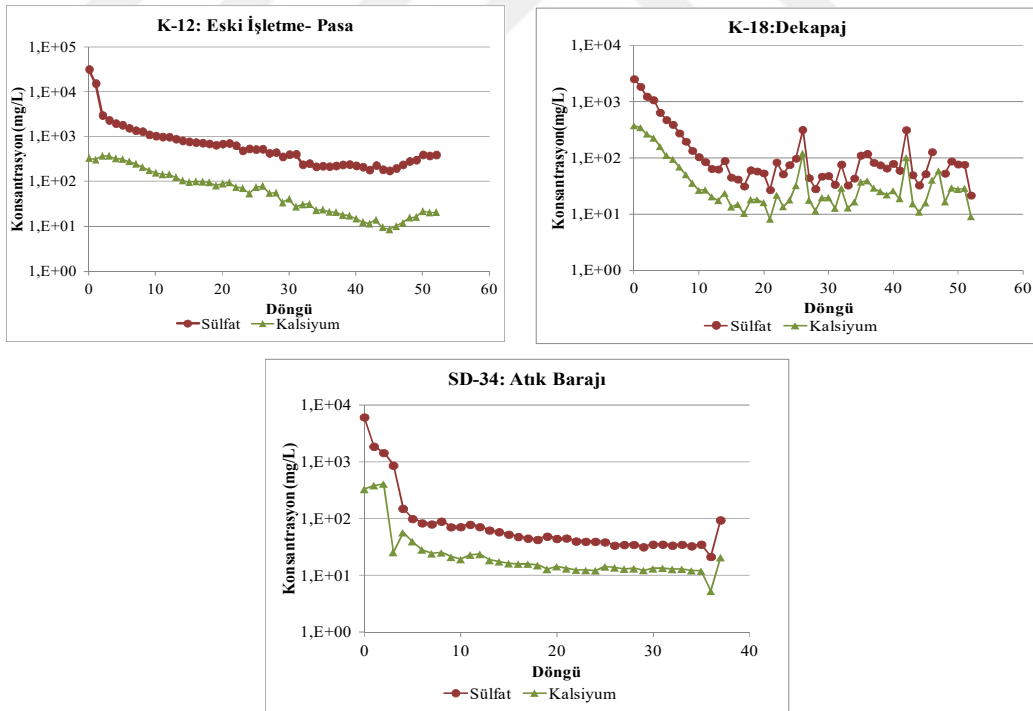


Şekil 3.83. Murgul sahasıyla ilişkili atık örneklerinin süzüntü sularında pH, EC, alkalinite, asidite, SO₄ ve ORP değerlerinin zamana bağlı değişimi

Bu örneklerden alınan süzüntü sularında, Ca ve SO₄ konsantrasyon grafikleri paralellik göstermiştir (Şekil 3.85). Dolayısıyla, SD-34 ve K-18 örneklerinde, sülfat salınımının ana kaynağını, minör düzeyde bulunan jips minerali ve onun çözünmesi oluşturmaktadır. K-12 örneğinde ise, majör düzeyde bulunan jips ve jarosit minerallerinin, deneyin büyük bölümünde (45 döngü boyunca), sülfat salınımına en büyük katkıyı sağladığı düşünülmektedir.



Şekil 3.84. Murgul sahasıyla ilişkili atık örneklerinden salınan sülfat kütlesi ve salınım hızının zamana bağlı kümülatif değişimi



Şekil 3.85. Murgul sahasıyla ilişkili atık örneklerinden elde edilen süzöntü sularında Ca ve SO₄ konsantrasyonlarının zamana bağlı değişimi

3.8.1.3. Kuvarshan sahası maden atığı örnekleri

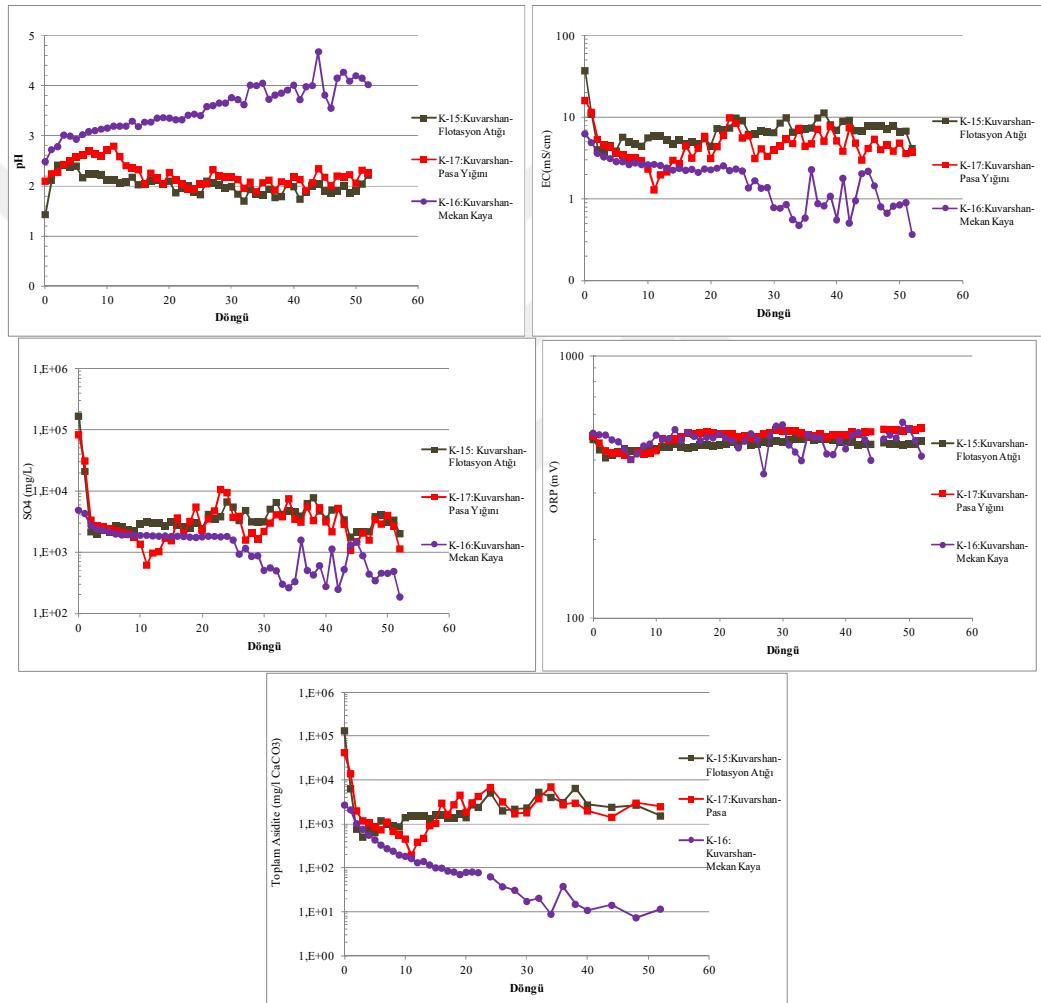
Kuvarshan sahasından alınan tüm örnekler (K-15, K-16, K-17), test boyunca kuvvetli asidik karakter göstermiştir (Şekil 3.86). Tüm örneklerden, ilk 3 döngüde alınan süzüntü sularında, pH biraz yükselmiş ardından, pasa (K-17) ve flotasyon atığı (K-15) örnekleri, dalgalanmalar göstermekle birlikte, hafifçe düşüş eğilimi sergilemiştir. Mekan kaya örneği (K-16) ise yükselme eğilimi göstermiştir. Deney süresince, pasa örneğinin pH'ı 1,88-2,79 , flotasyon atığı örneği pH'ı 1,42-2,42, mekan kaya örneğinin pH'ı ise 2,48-4,68 arasında değişmiştir.

Örneklerin toplam asiditesinde, pH ile uyumlu bir değişim izlenmiştir. Mekan kaya örneğinin (K-16) toplam asiditesi yıkanmayla birlikte, pH'a benzer biçimde dalgalanmalar göstermekle birlikte, azalma eğilimi göstermiştir. Pasa (K-17) ve flotasyon atığı (K-15) örneklerinde ise toplam asidite değerlerindeki başlangıçtaki azalma, deneyin ilerleyen aşamalarında artışa dönüşmüştür. 24. döngüde, K-15 ve K-17 örneklerinin asiditelerinde ani bir artış olmuştur ve benzer toplam asidite değerleri ölçülmüştür (K-15= 5145 mg/L CaCO₃ ve K-17= 6825 mg/L CaCO₃) (Şekil 3.86).

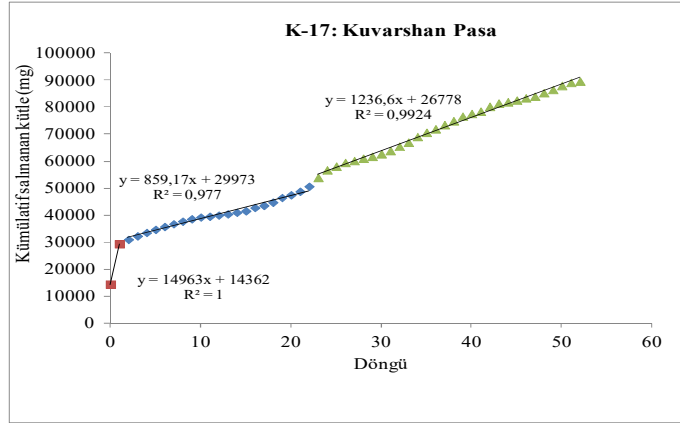
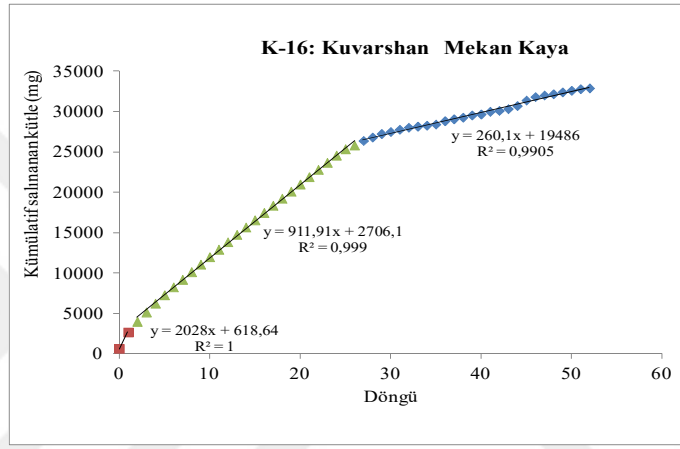
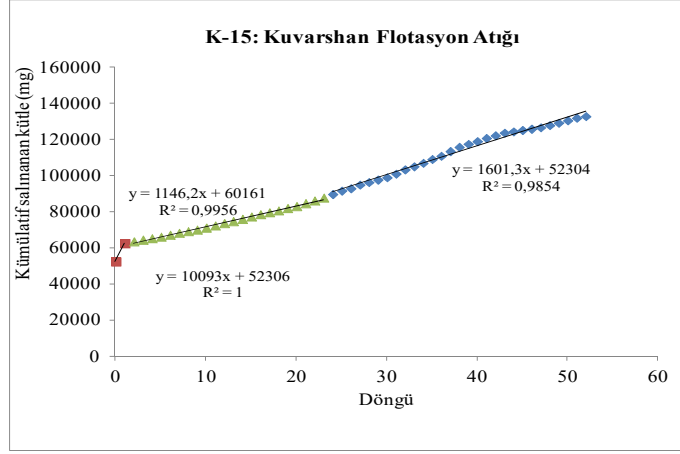
Kuvarshan örneklerinin tamamında sülfat salınımı, deney süresince, yüksek düzeyde seyretmiştir. Flotasyon atığı (K-15) ve pasa (K-17) örnekleri, hem Kuvarshan örnekleri hem de diğer tüm örnekler arasında en yüksek düzeyde sülfat salınımı gerçekleşen örneklerdir. 52 döngülük deneyde, K-15'den 132,69 gr, K-17'den 89,59 gr , K-16 örneğinden ise, 32,88 gr SO₄ salınımı olmuştur (Şekil 3.87). K-17 örneğinden alınan süzüntü sularında, 11. döngüden sonra meydana gelen sülfat salınımındaki artışa, pH'daki azalma ve toplam asiditede artış eşlik etmiştir. Bu değişim yukarıda belirtildiği üzere pirit oksidasyonunu işaret etmektedir.

İlk iki döngüde, sülfat salınımı en hızlı, K-15 ve K-17 örneklerinde, benzer hızlarda gerçekleşmiş ve daha sonra salınım yaklaşık 9-16 kat kadar yavaşlamıştır (Şekil 3.87). Deneyin 2-24. döngüleri arasında, tüm örneklerde benzer miktarlarda sülfat salınımı gerçekleşmiştir (K-17= 859; K-16= 912; K-15= 1142 mg SO₄/kg kaya/döngü). Yaklaşık 24. döngüden sonra ise K-15 ve K-17 örneğinde sülfat salınım hızı tekrar artma trendi göstermiş (K-15= 1601 mg SO₄/kg kaya/döngü; K-17= 1237 mg SO₄/kg kaya/döngü) (Şekil 3.87); K-16 örneğinde ise azalma eğilimi sürmüştür (260 mg SO₄/kg kaya/döngü).

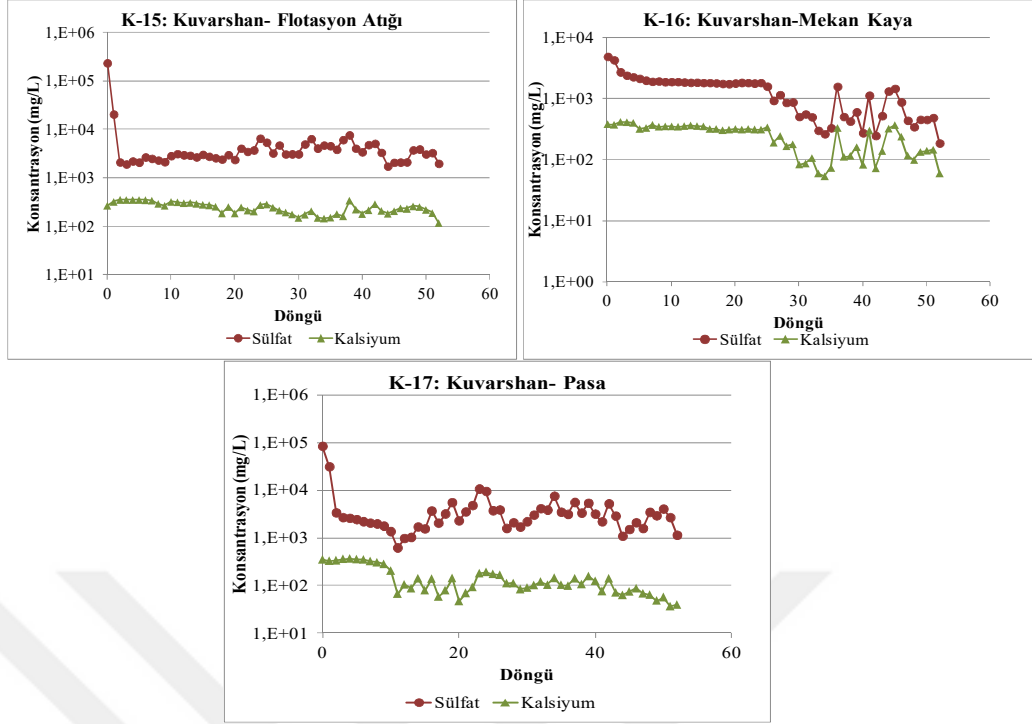
Diğer örneklerde olduğu gibi, süzüntü sularının EC değerlerindeki değişim ile SO_4 konsantrasyonundaki değişim paralellik göstermektedir. Bu örneklerde de, deneyin ilk aşamalarında, süzüntü sularındaki sülfat ile kalsiyum konsantrasyonları büyük oranda paralellik gösterdiği için, sülfatın salınımında en büyük unsurun örneklerdeki jipsin çözünmesi olduğu söylenebilir. Ancak ilerleyen aşamalarda, sülfat salınımını, özellikle K-15 ve K-17 örneklerinde, büyük oranda, pirit oksidasyonunun kontrol ettiği, $Ca-SO_4$ konsantrasyon eğrilerinin farklılaşmasından anlayabiliriz (Şekil 3.88).



Şekil 3.86. Kuvarshan sahasıyla ilişkili atık örneklerinin süzüntü sularında pH, EC, asidite, SO_4 ve ORP değerlerinin zamana bağlı değişimi



Şekil 3.87. Kuvarshan sahasıyla ilişkili atık örneklerinden salınan sülfat kütlesi ve salınım hızının zamana bağlı kümülatif değişimi



Şekil 3.88. Kuvarshan sahasıyla ilişkili atık örneklerinden elde edilen süzüntü sularında Ca ve SO₄ konsantrasyonlarının zamana bağlı değişimi

3.8.2. Süzüntü sularında ölçülen metal salınım miktarları ve oranları

Örneklerin bünyesinden salınan metal miktarlarını ve oranlarını bulabilmek için C/C_0 oranından yararlanılmıştır. C_0 değeri, nem hücresine doldurulan örnek kütlelerinin (gr), XRF ile tespit edilen element konsantrasyonu (mg/kg) ile çarpılıp 1000'e bölünmesi ile elde edilir. Böylelikle, 1 kg örnekte, ilgili elementten kaç mg olduğu tespit edilmiş olur. Diğer bir deyişle, C_0 değeri, örneğin hiçbir işlem yapılmadan önceki ilksel metal içeriğidir (mg). C değeri ise, süzüntü suyu hacminin (L), element konsantrasyonu (mg/L veya µg/L) ile çarpılması ile bulunur (Ek-G).

Tüm elementler için oluşturulan zamana bağlı kümülatif C/C_0 grafikleri (Şekil 3.89, Şekil 3.90, Şekil 3.91), şekillerin anlaşılır olması için, sadece AMD'de önemli olan elementler kullanılarak verilmiştir.

Murgul sahasından alınan, kuvvetli asidik karakter sergileyen, cevherli dasit örneklerinde (özellikle K-1), yüksek konsantrasyonlarda metal salınımı gerçekleşmiştir. Deneyin büyük bir bölümünde bazik karakter sergileyen Çarkbaşı örneğinden (K-19) gerçekleşen metal salınımı ise diğer iki örneğe göre düşük düzeylerde olmuştur.

52 döngülük nem hücresi deneyi boyunca, salınan toplam metal kütleleri hesaplandığında, birçok metal açısından K-1 örneğinden salınan toplam metal kütlesinin, en yüksek düzeyde olduğu görülmüştür (Tablo G.1, Tablo 3.37). Onu sırasıyla K-10 (Çakmakkaya) ve K-19 (Çarkbaşı) cevherli dasit örnekleri takip etmiştir (Tablo G.2 ve Tablo G.8).

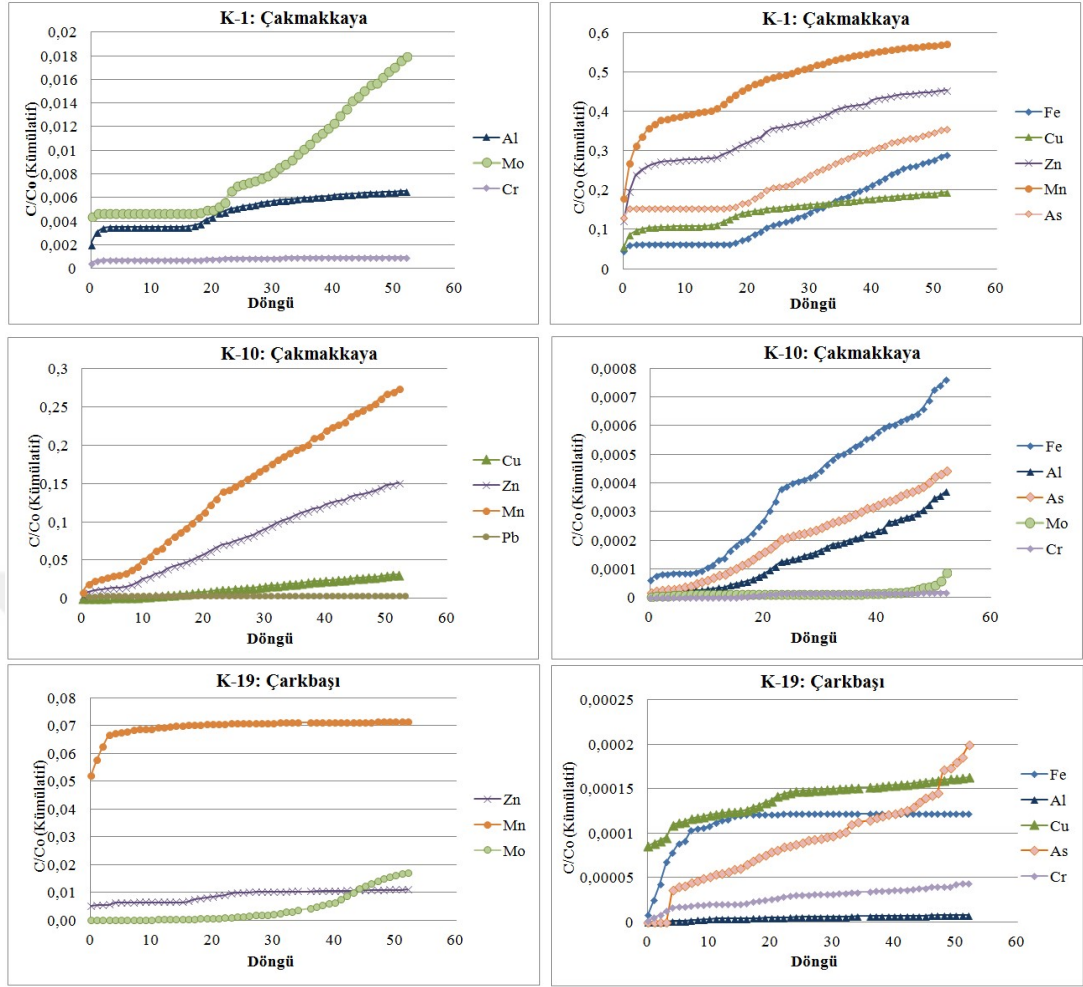
K-1 örneğinde en fazla salınım gösteren metal demirdir (8495 mg). Diğer yüksek salınım gösteren metaller ise Cu (370 mg), Al (333 mg), Mn (48 mg), As (37,6 mg), Zn (22,5 mg) ve Mo (1,28 mg)'dir (Tablo 3.37).

Tablo 3.37. Murgul cevherli dasit örneklerinden, nem hücresi deneyi boyunca salınan toplam metal kütleleri

	Al (mg)	Fe (mg)	Mn (mg)	Cu (mg)	Zn (mg)	As (µg)	Pb (µg)	Cd (µg)	Mo (µg)
K-1	333,5	8494,5	48,4	369,7	22,5	37566,5	80,5	82,2	1283,5
K-10	24,2	42,5	24,2	1288,5	59,1	32,3	130,9	310,2	3,7
K-19	0,4	6,8	24,8	0,2	0,6	11,6	5,8	9,6	2049,8

En yüksek Cu salınımı, % 3,5 Cu içeren, K-10 örneğinde gerçekleşmiştir (1288,5 mg). Benzer düzeylerde bakır içeren K-1 (1728 ppm) ve K-19 (1188 ppm) örneklerinde ise bakır salınımı çok farklı düzeylerde gerçekleşmiştir: K-1'den 370 mg, K-19'dan 0,2 mg bakır salınımı olmuştur (Tablo 3.37).

Cevherli dasit örneklerinden salınan metal kütlelerin bu kadar geniş bir aralıkta yer alması, örneklerin oksidasyon derecelerinin farklılığından kaynaklanmaktadır. Örneğin, K-1 örneğinde, hem mineralojik hem de jeokimyasal açıdan yüksek derecede sülfür oksidasyonu izleri görülmektedir ve metal salınım oranı da yüksektir; fakat düşük düzeyde sülfür oksidasyonu saptanan K-19 örneğinde, düşük düzeylerde metal salınımı gerçekleşmiştir.



Şekil 3.89. Cevherli dasit örneklerinden elde edilen süzüntü sularının metal içeriklerinin (C) başlangıç miktarına (C_0) oranının zamana bağlı kümülatif değişimi

Cevherli dasit örneklerinde, başlangıç konsantrasyonuna göre, incelenen metaller arasında en yüksek metal salınım yüzdesi manganda görülmüştür. 52 döngü süren test sonunda K-1'in, başlangıç mangan konsantrasyonunun % 57'si, K-10'un % 27,5'i ve K-19'un ise % 7,1'i salınma uğramıştır (Şekil 3.89).

K-1 örneğinde, yüksek Mn salınım oranını, sırasıyla, Zn (% 45), As (% 36), Fe (% 29) ve Cu (% 19) takip etmiştir (Şekil 3.89). K-1 örneğinde ölçülen arsenik ve çinko salınım yüzdeleri, deney yapılan diğer tüm örnekler içinde en yüksek olmaktadır. Diğer metallerin salınım oranı ise çoğunlukla %1'in altında kalmıştır. K-10 örneğinde, çinkonun %15'i, bakırın %3,2'si salınmış ve diğer elementlerin salınım oranı %1'in altında kalmıştır. K-19 cevherli dasit örneğinde ise, Mn dışındaki metal salınım oranları, genellikle %1'in altında seyretmiştir (Şekil 3.89).

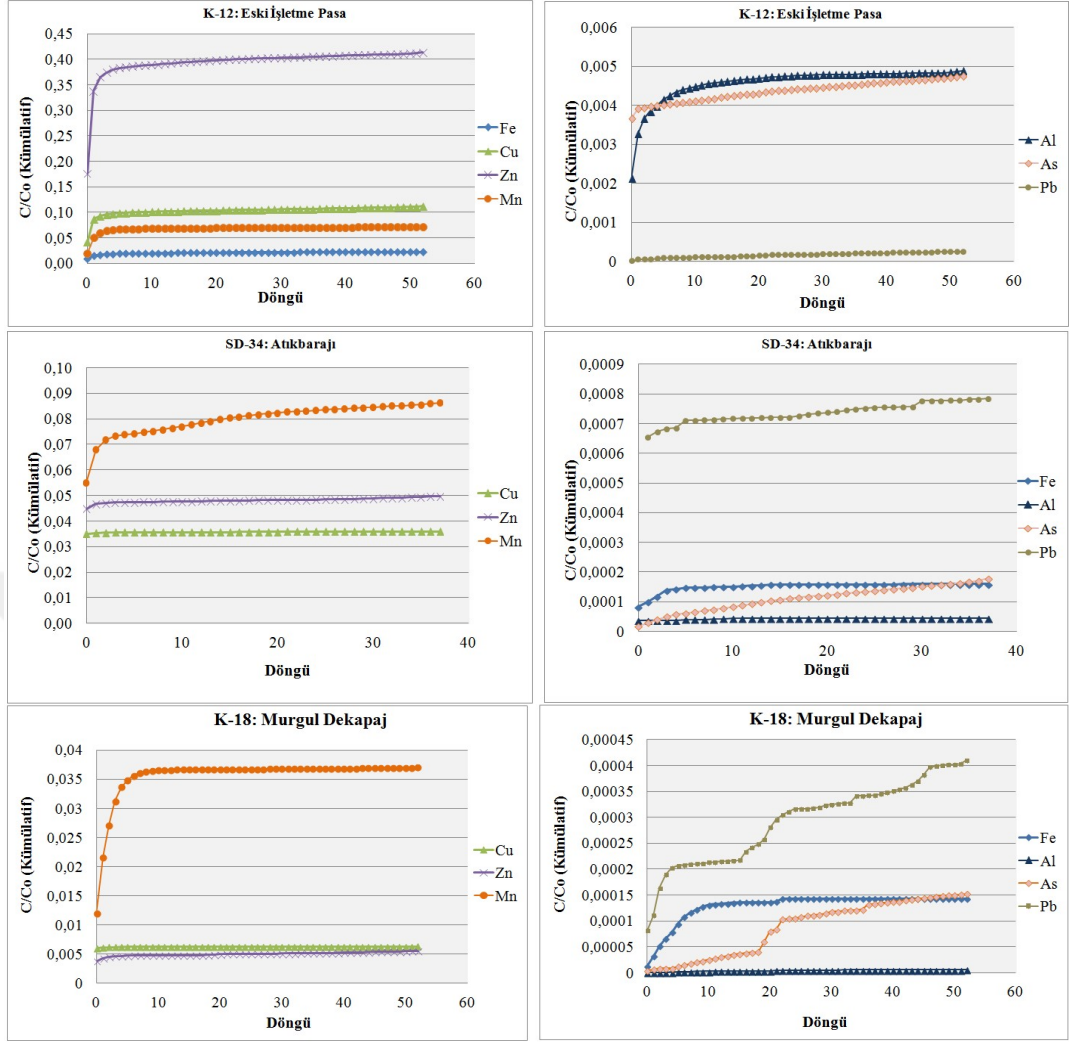
Murgul sahası maden atıklarından (K-18, K-12, SD-34) elde edilen süzüntü sularında, en düşük metal salınım konsantrasyonları, K-18 (dekapaj) ve SD-34 (atık barajı flotasyon atığı) örneklerinde görülmüştür (Tablo 3.39). Deney süresince, bazik karakter sergileyen bu örneklerin, düşük oksidasyon düzeylerinin ve örneklerin düşük ilksel metal konsantrasyonlarının (C), metal salınımında etkisi olduğu düşünülmektedir. Nem hücresi deneyi boyunca kuvvetli asidik karakter sergileyen ve uzun süreli oksidasyona maruz kalmış olan eski işletme pasa örneği (K-12) ise diğer örneklerle göre nispeten yüksek metal salınımıyla dikkat çekmektedir.

52 döngülük deney sonunda salınan toplam metal konsantrasyonları hesaplandığında, pasa (K-12) örneğinin, diğer iki atık örneğinden daha fazla metal salınımı yaptığı (Mo dışında) dikkati çekmektedir. K-12'de en yüksek düzeyde salınan demirdir (1319 mg), bunu Cu (806 mg), Al (274 mg), Zn (98 mg), Mn (12 mg), As (1,12 mg) ve Cd (0,27 mg) metallerinin takip ettiği görülmektedir (Tablo G.3, Tablo 3.38). Başlangıç konsantrasyonları ile oranlayıp metallerin yüzde kaçının salınımına uğradığına bakılırsa, en yüksek % 41 ile çinkonun salınımına uğradığı görülür. Bunu takiben, toplam bakırın %11'inin, toplam manganın %7'sinin, toplam demirin %2'sinin salınımına uğradığı, diğer metal salınımlarının ise %1'in altında kaldığı görülmektedir(Şekil 3.90).

Tablo 3.38. Murgul sahası maden atıklarından, nem hücresi deneyi boyunca salınan toplam metal kütlesi

	Al (mg)	Fe (mg)	Mn (mg)	Cu (mg)	Zn (mg)	As (µg)	Pb (µg)	Cd (µg)	Mo (µg)
K-12	274,1	1318,9	12,2	806,2	98,0	1115,5	42,2	270,0	10,6
SD-34	2,3	4,9	14,9	15,7	28,1	21,1	65,9	128,6	530,9
K-18	0,6	5,0	19,1	30,9	6,6	10,0	12,7	69,4	40,0

Flotasyon atığı (SD-34) örneğine ait değerler, 37 döngülük değerleri temsil etmektedir (Tablo G.9). Çünkü nem hücresi tıkanıp ve su iletimi gerçekleşmediği için, bu örneğin deney süreci 37. döngüde sonlandırılmıştır. Başlangıç konsantrasyonlarının %1'inin üzerinde salınımına uğrayan metaller Cu (%3,6'sı), Zn (%4,9'u), Mn (%8,6'sı)'dan ibarettir. Dekapaj (K-18) örneğinde ise %1'den fazlası salınımına uğrayan tek metal %3,7'si salınımına uğrayan mangandır (Tablo G.7, Tablo 3.38, Şekil 3.90).



Şekil 3.90. Murgul sahasından alınan maden atıklarından elde edilen süzüntü sularının metal içeriklerinin (C) başlangıç miktarına (C₀) oranının zamana bağlı kümülatif değişimi

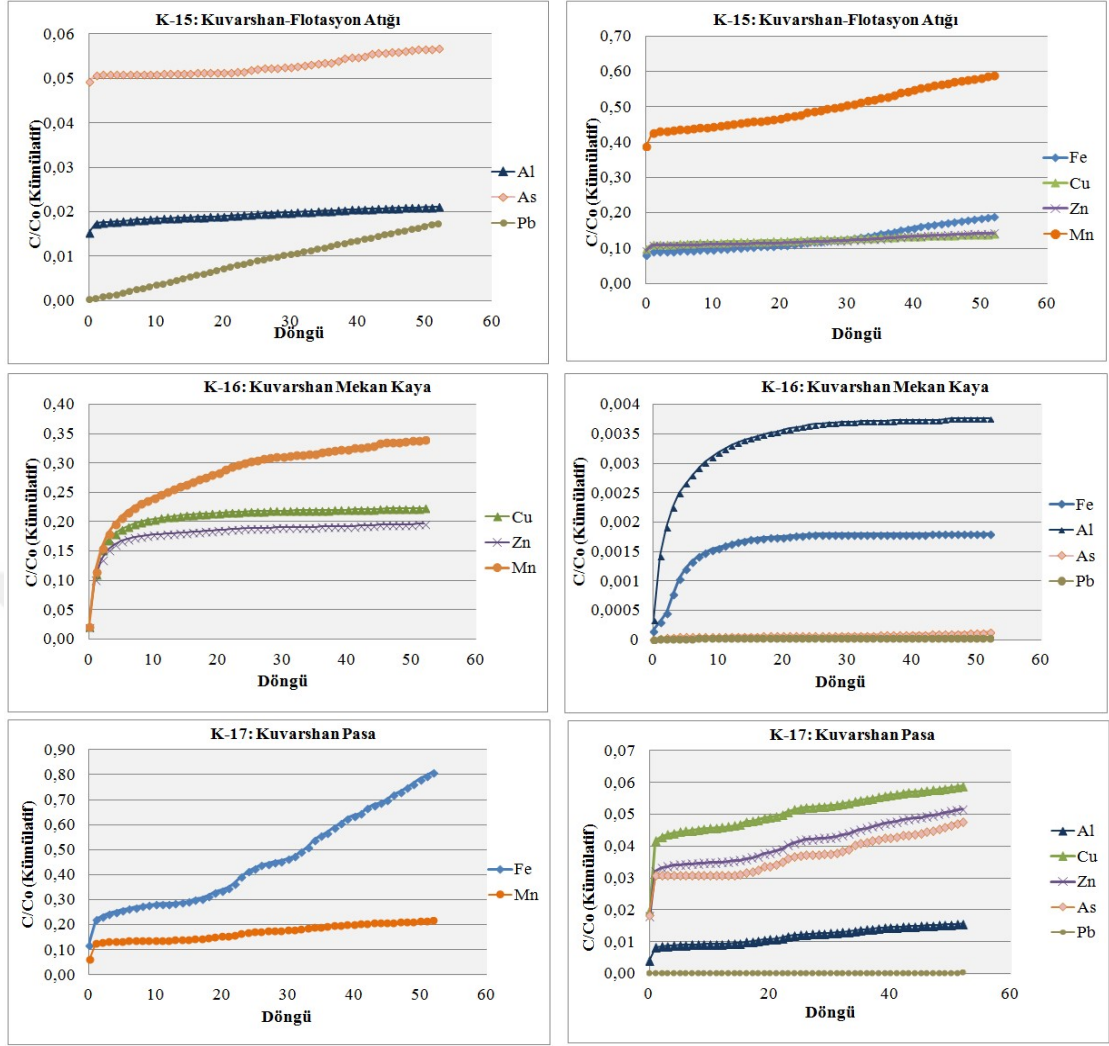
Kuvarshan sahasından alınan maden atıkları, incelenen tüm örnekler arasında, deney süresince sergilediği kuvvetli asidik karakteri ve yüksek metal salınım konsantrasyonları ile öne çıkmaktadır (Tablo G.4, Tablo G.5, Tablo G.6, Tablo 3.39). Kuvarshan atıkları arasında en yüksek metal salınımı, flotasyon atığı (K-15) ve pasa (K-17) örneklerinde ve birbirine benzer düzeylerde gerçekleşirken, mekan kaya (K-16) örneğinde ise diğer Kuvarshan örneklerine göre düşük düzeylerde devam etmiştir (Tablo 3.39). Flotasyon atığı ve pasa örneklerinde, 52 döngülük test sonunda, salınan toplam metal miktarıyla öne çıkan elementler, sırasıyla, Fe (20109-23053 mg), Al (548-667 mg), As (331-377 mg), Cu (288-297 mg), Zn (85-107 mg), Mn (15-19 mg), Mo (1,9-7,3 mg), Se (2,8-4,19 mg), Pb (1.47-45,4 mg) ve Cd (0,44-1,74 mg) olmuştur.

Kuvarshan'dan alınan pasa ve flotasyon atığı örneklerinden salınan metal kütleleri, asidik özellik gösteren Murgul atık örnekleri ile karşılaştırıldığında, Fe, Al, As, Pb, Sb ve Mo salınım kütlelerinin ciddi derecede fark gösterdiği görülmüştür (Tablo 3.37-Tablo 3.39). Bu durum, hem atıkların ayrışma derecelerinin hem de mineralojik yapılarının farkından kaynaklanmaktadır.

Tablo 3.39. Kuvarshan sahası maden atıklarından 52 döngülük deney boyunca salınan toplam metal kütlesi

	Al (mg)	Fe (mg)	Mn (mg)	Cu (mg)	Zn (mg)	As (µg)	Pb (µg)	Cd (µg)	Mo (µg)
K-15	667,1	23052,6	15,3	287,8	84,5	377068,0	45439,6	445,6	7356,0
K-16	355,8	187,7	29,0	441,3	95,7	404,9	83,9	687,2	1,2
K-17	548,2	20109,0	18,6	296,6	170,2	331304,6	1472,6	1743,5	1974,3

52 döngülük nem hücresi deneyi sonunda, atık örneklerinin başlangıç metal içeriklerinin ne kadarlık bir bölümünün salındığı hesaplanmış ve Şekil 3.91'de sunulmuştur. Flotasyon atığı (K-15) örneğinde sıralama Mn (% 59), Fe (% 18,7), Zn (%14,3), Cu (% 14), Mo (% 12,8), As (% 5,7) ve Al (% 2,1) şeklindedir. Pasa (K-17) örneğinde durum biraz farklılık göstermektedir: Fe (% 81,5), Mn (% 21,6), Cu (% 5,9), Zn (% 5,2), As (% 4,7), Al (% 1,6). Çoğu metal salınım miktarları en düşük değerde olan mekan kaya örneğinde (K-16) ise salınım yüzdeleri Mn (% 34), Cu (% 22), Zn (% 19,6) şeklindedir. Tabloda belirtilmeyen diğer metallerde ise bu oran % 1'in altında kalmıştır (Şekil 3.91).



Şekil 3.91. Kuvarshan maden atıklarından alınan süzüntü sularının metal içeriklerinin (C) başlangıç miktarına (C₀) oranının zamana bağlı kümülatif değişimi

3.8.3. Süzüntü sularının metal içerikleri, salınım kinetikleri ve jeokimyasal süreçler

Nem hücresi testi ile, örneklerde farklı metal salınım davranışları, salınım kinetikleri ve jeokimyasal süreçler gözlenmiştir. Salınım kinetikleri ve jeokimyasal süreçler üzerinde, örneklerin mineralojisi, jeokimyası, alterasyon derecesi, tane boyutu gibi birçok etken belirleyici olmuştur.

Nem hücresi deneyi yapılan örneklerden salınan metallerin salınım kinetiğini belirlemek amacıyla, hava döngülerinin ardından yapılan yıkama işlemi sonunda alınan süzüntü sularındaki metal kütlelerini hesaplamak için, süzüntü suyunda ölçülen metal konsantrasyonu (mg/L veya µg/L) ile süzüntü suyunun hacmi (L)

çarpılmış ve mg yada µg cinsinden metal kütleleri hesaplanmıştır. Bunun ardından, salınan metal kütlelerinin zamana bağlı kümülatif dağılım grafikleri çizilmiş, grafikler üzerinde değişimin olduğu zaman dilimleri arasında regresyon analizi uygulanarak, regresyon doğrusunun denklemi ve R^2 değeri belirlenmiştir. Doğrunun eğimi, ilgili zaman diliminde, metallerin ortalama salınım hızını, bir başka deyişle her bir döngüde 1 kg malzemeden salınan metal miktarını (mg yada µg cinsinden) temsil etmektedir. Salınım kinetiği, analiz edilen tüm elementler için hesaplanmış, ancak veri yoğunluğundan dolayı grafiklerde AMD için önemli olan metaller gösterilmiştir. Her bir örnekten 52 döngü boyunca alınan süzüntü sularında ölçülen element konsantrasyonları Ek-H'de verilmiştir.

Nem hücresi deneyi boyunca, örneklerin sadece kimyasal özelliklerinde ve içeriklerinde değişim meydana gelmemiş, kuru ve nemli döngüler boyunca uygulanan havalandırma işlemiyle gerçekleşen oksidasyonun etkisi, bazı örneklerin fiziksel yapısında ve görünümünde de değişikliklere yol açmıştır.

İncelenen örneklerden dördünde, çok belirgin bir şekilde, örneklerdeki sülfid mineral fazlarının oksidasyona uğradığı ve ciddi derecede asidik drenaj oluşturdıkları gözlemlenmiştir. Bunlar K-1 ve K-10 cevherli dasit örnekleri ile K-15 ve K-17 Kuvarshan flotasyon atığı ve pasa örnekleridir (Şekil 3.92).

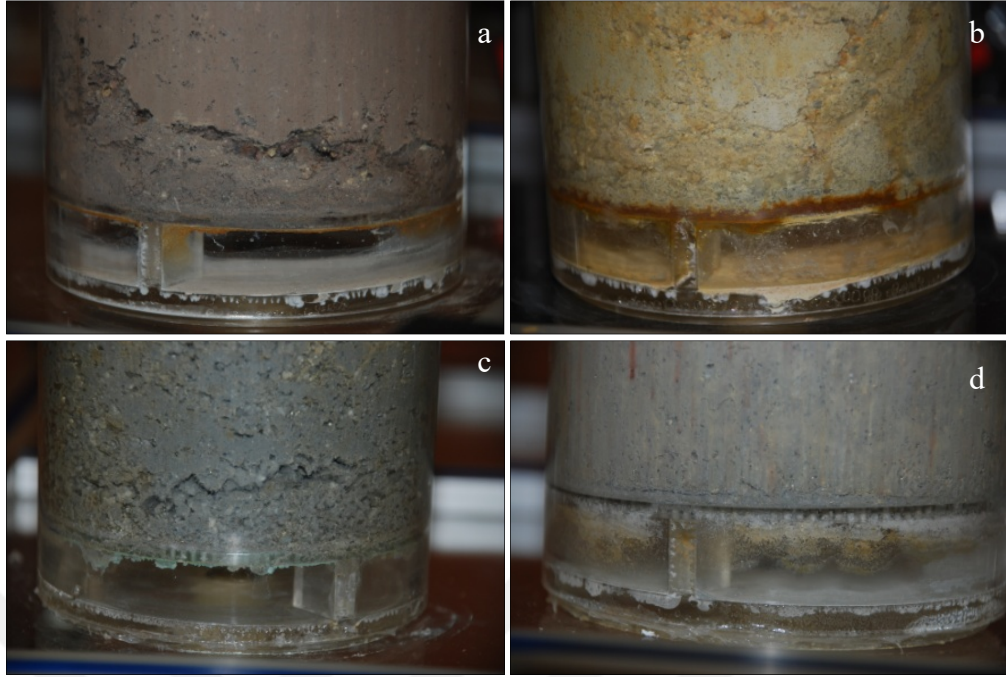
Hücre-1'deki K-10 örneği ve Hücre-8'deki K-1 örneği, en belirgin fiziksel değişime uğrayan örneklerdir. Nem hücrelerinin altında, süzüntü sularının toplandığı boşlukların çeperlerinde, zamanla, örneklerdeki metaller yıkandıkça ve oksitlenme reaksiyonları geliştikçe sıvama şeklinde çökelimler gözlenmiştir. Bu çökelimler her 4 örnekte de farklı döngülerde görülmeye başlanmıştır (Şekil 3.93).



Şekil 3.92. Nem hücresi deneyinin başlangıcında ve bitiminde (52.döngü sonu), K-10 (1 numaralı hücre), K-1 (8 numaralı hücre), K-15 (3 numaralı hücre), K-17 (5 numaralı hücre) örneklerinin görünüm ve yapısındaki değişim

Kuvarshan pasa (K-15) ve atık (K-17) örneklerinde, pH değerlerindeki artış, cevherli dasit örneklerine (K-1 ve K-10) göre, oldukça azdır. Bu durum, örneklerdeki AMD oksidasyon ürünlerinin konsantrasyonunun yüksekliğinden kaynaklanmaktadır.

Örneklerde sülfid minerallerinin oksidasyona başlamasıyla birlikte süzüntü sularının pH'ında düşüş; metal ve sülfat konsantrasyonunda ise artış görülmüştür. AMD oluşumunu tetikleyen, sülfid minerallerinin oksitlenmesi reaksiyonları, K-1 ve K-17 örneklerinde 11. ve 12. döngülerden sonra, K-10'da 6. döngüden itibaren ve K-15'da 5. döngüden itibaren oluşmaya başlamıştır (Şekil 3.94-Şekil 3.97). Bunun sonucunda süzüntü sularının, pH'ı K-1, K-15 ve K-17 örneklerinde 1,7-2,4 arasında değerlere, K-10 örneğinde ise 3,2-4,5 aralığına düşmüştür (Şekil 3.94 -Şekil 3.97).

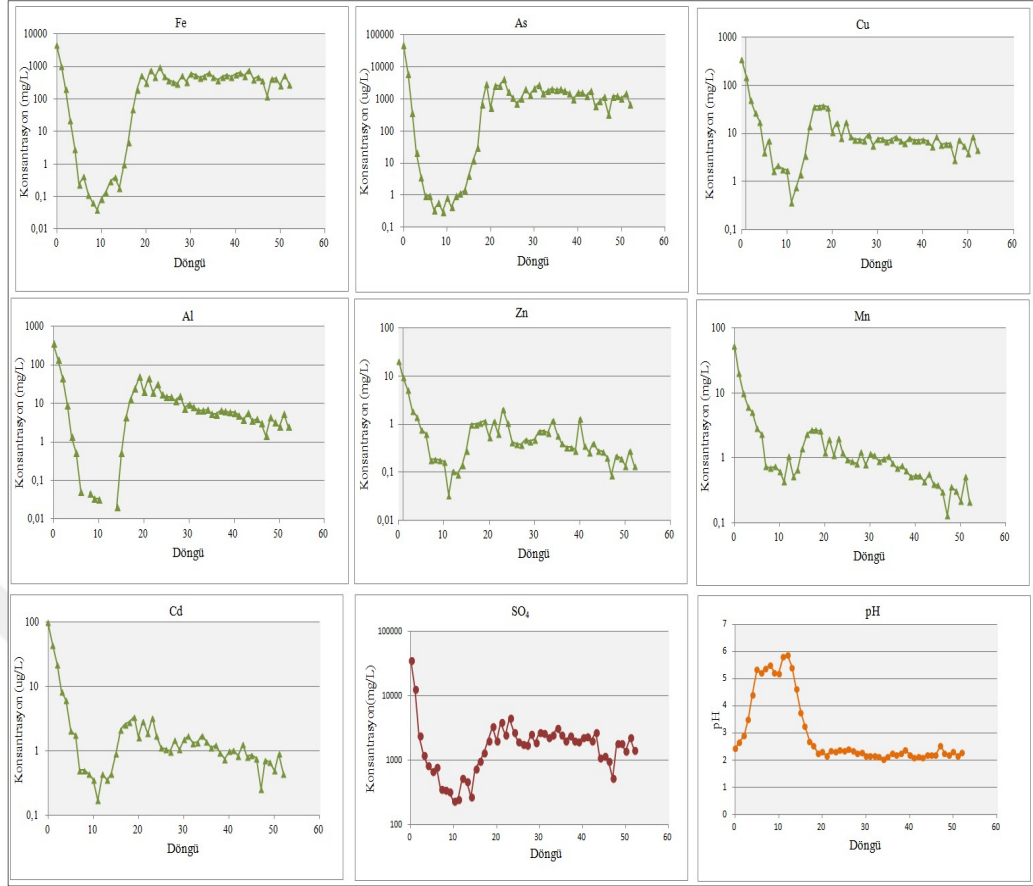


Şekil 3.93. Nem hücrelerinin duvarlarında oluşan sıvama şeklinde çökelimler
a) K-17 (17.döngü) b) K-1(19.döngü) c) K-10 (13. döngü) d) K-15 (13.döngü)

Sülfid mineral fazlarının oksidasyona uğradığı belirgin olan 4 örnekten (K-1, K-10, K-16 ve K-17) , K-1, K-15 ve K-17 örneklerinde, oldukça yüksek ve benzer düzeyde metal ve sülfat salınımı gerçekleşmiştir. Sülfid minerallerin okside olmaya başladığı döngülerden itibaren deney sonuna kadar, süzüntü sularındaki sülfat konsantrasyonları, ortalama, K-1'de 1968 ± 905 mg/L, K-15'de 3607 ± 1346 mg/L ve K-17'de 3363 ± 2087 mg/L düzeylerinde değişmiştir. Ortalama Fe salınımları ise K-1'de 409 ± 228 mg/L, K-15'de 643 ± 380 mg/L ve K-17'de 874 ± 544 mg/L aralığında değişkenlik göstermiştir.

K-17 örneği, sülfid mineralleri okside olmaya başladığı döngülerden itibaren, diğer tüm örnekler içinde, en yüksek, As (7897 ± 6796 µg/L), Fe (874 ± 544 mg/L) ve Zn ($3,7 \pm 2,4$ mg/L) konsantrasyonlarına sahip olduğu görülmüştür. Aynı durum, K-10 örneğinde bakır için (64 ± 25 mg/L) ve K-15 örneğinde kurşun için (2185 ± 280 µg/L) geçerlidir.

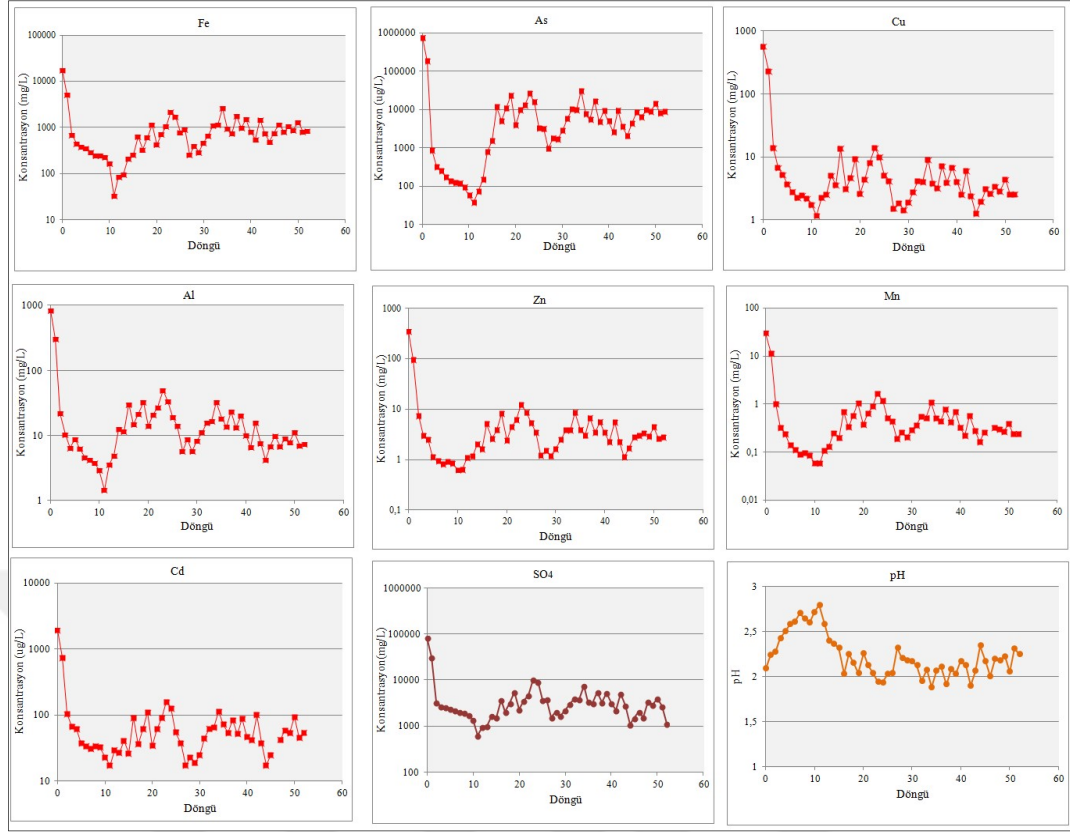
Bu örneklerin tümünde, testin ilk döngülerinde süzüntü sularının metal konsantrasyonlarında gözlenen hızlı düşüş, ileriki safhalarda artma eğilimine dönüşmüş ve bu artış bazı örneklerde kısmen dengeye ulaşmıştır. (Şekil 3.94- Şekil 3.97).



Şekil 3.94. Çakmakkaya cevherli dasit örneğinde (K-1) süzüntü suyunun pH değerinin, sülfat ve metal konsantrasyonlarının zamana bağlı değişimi

Zamanla metal konsantrasyonlarının düşüşündeki yavaşlama ise, metal salınımında kinetikle sınırlı tutunma (rate-limited desorption) yüzeylerinden meydana gelen geri salınımın yada farklı mineral fazlarının çözünmesinin devreye girdiğini işaret etmektedir.

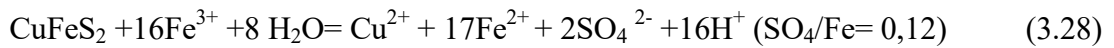
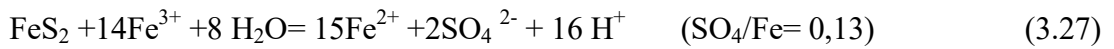
Örneğin, K-1 cevherli dasit örneğinde, testin ilk döngüsünde meydana gelen sülfat salınım miktarı 4853 mg/kg kaya/döngü iken, bu salınım miktarı 2-15. döngüler arasında 168 mg/kg kaya/döngü'ye düşmüştür (Tablo 3.40). Testin başlangıç döngülerinde, süzüntü sularının metal ve sülfat konsantrasyonlarında görülen düşüşe, pH değerlerinde gözlenen artış eşlik etmiştir (Şekil 3.94 -Şekil 3.97).



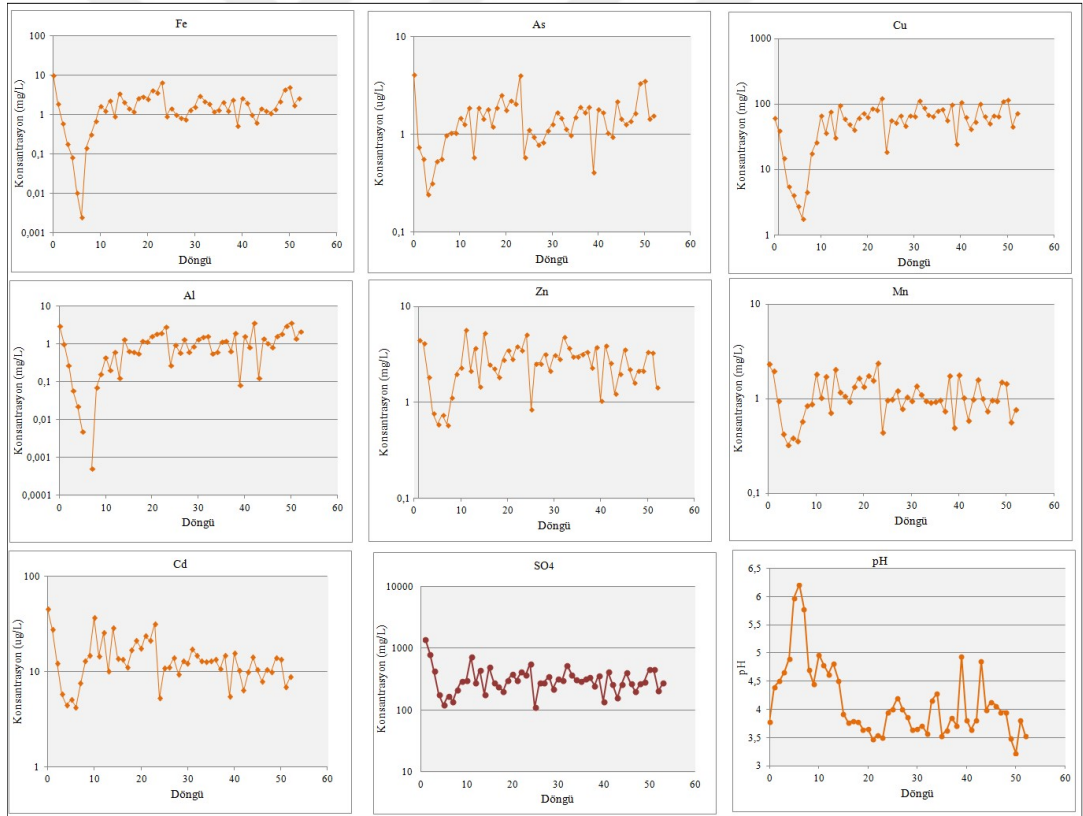
Şekil 3.95. Kuvarshan pasa örneğinde (K-17) süzüntü suyunun pH değerinin, sülfat ve metal konsantrasyonlarının zamana bağlı değişimi

Süzüntü sularının kuvvetli asidik karakter göstermesi ve yükseltgen ortam koşulları, sıvı fazdaki demirin +3 oksidasyon düzeyinde bulunduğunu göstermektedir. K-1, K-15 ve K-17 örneklerinde gerçekleşen metal salınım hızları, diğerlerine göre oldukça yüksek düzeylerde olup, bu oran Fe için 197-363 mg/kg kaya/döngü, SO₄ için ise 872-1601 mg/kg kaya/ döngü aralığında değişmektedir (Tablo 3.40).

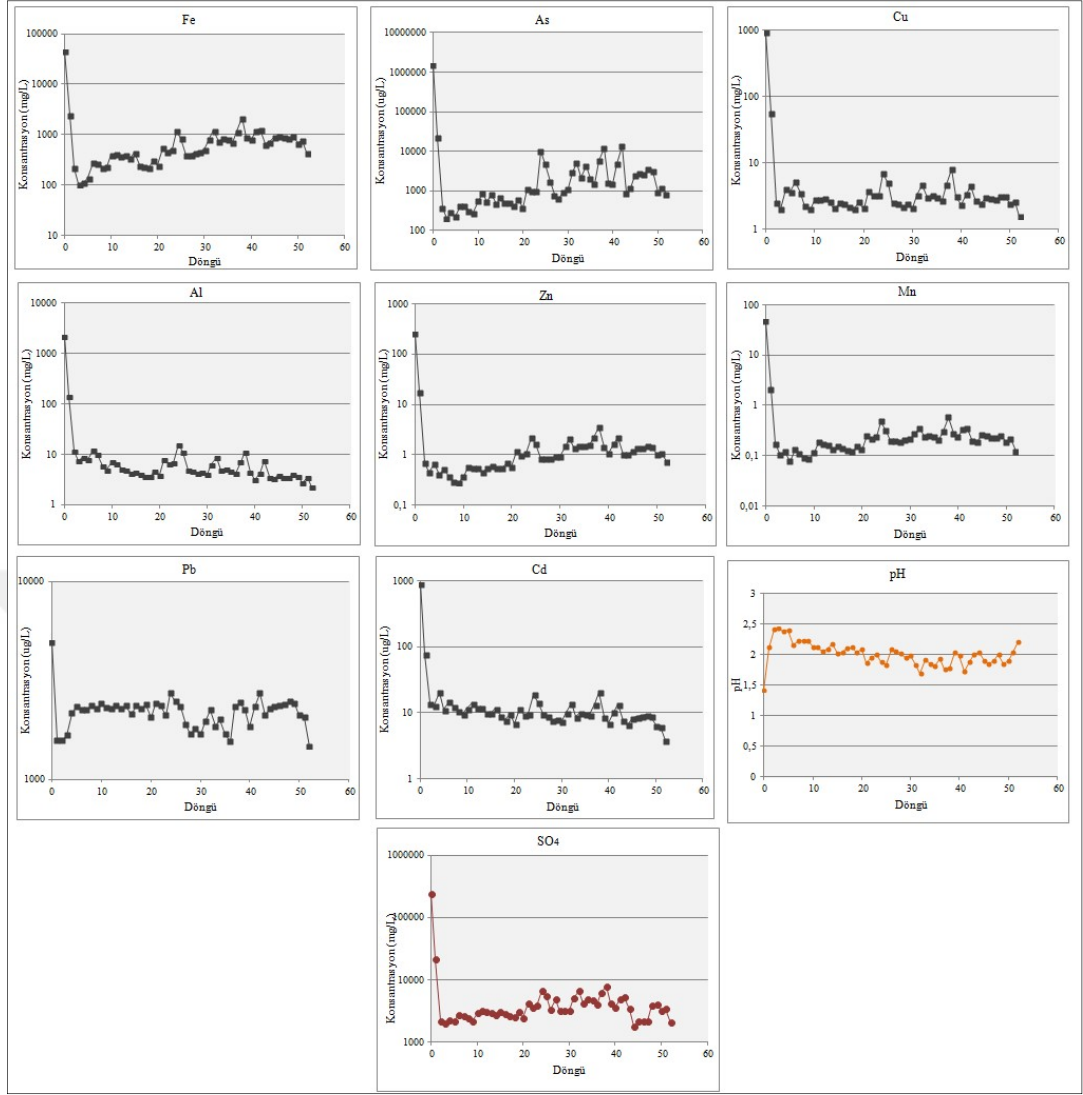
Fe ve sülfat salınım kinetiklerinin yüksekliğinde, sülfid minerallerinin, oksijenle mi yoksa Fe³⁺ ile mi oksidasyonunun etkisi olduğu anlamak için süzüntü sularındaki SO₄/Fe molar oranına bakılmıştır. Bu oran aşağıdaki reaksiyonlar için şu şekildedir;



Bu örneklerden elde edilen süzüntü sularındaki SO_4/Fe molar oranı, AMD reaksiyonlarının başladığı döngü sonrasında, ortalama olarak, K-1'de 2,6, K-15'de 3,1 ve K-17'de 2,3 civarındadır. Bu durum sülfid minerallerin oksidasyonlarının, oksijenin varlığında gerçekleştiğini göstermektedir. Örneklerde, kökene dayalı yapılan sülfat kütle balansında, pirit oksidasyonunun, süzüntü sularındaki yüksek sülfat konsantrasyonunda ana kaynak olduğu görülmüştür. Tüm bunların yanısıra, örneklerin bünyesindeki jipsin çözünmesinin ve özellikle Kuvarshan örneklerinde baskın bulunan amorf kükürtün oksidasyonunun (testin ilk aşamalarında) sülfat salınımına katkıda buldukları tespit edilmiştir. Bu örneklerde, amorf kükürtün makroskobik olarak gözlenmesi ve deneyin ilk saflarında gelen yoğun kükürt kokusu bu bulguları desteklemektedir (Şekil 3.94-Şekil 3.96). Bu sonuçlar, Tablo 3.35' de sunulan sülfür türleştirme sonuçları ile de tutarlık göstermektedir.



Şekil 3.96. Çakmakkaya cevherli dasit örneğinde (K-10) süzüntü suyunun pH değerinin, sülfat ve metal konsantrasyonlarının zamana bağlı değişimi



Şekil 3.97. Kuvarshan flotasyon atığı örneğinde (K-15) süzüntü suyunun pH değerinin, sülfat ve metal konsantrasyonlarının zamana bağlı değişimi

Bu örneklerde, nem hücresi testi boyunca meydana gelen, sülfat ve demir salınımında, hangi mineral fazlarının etkili olduğunu anlamak için, süzüntü sularının SO_4/Fe oranının ve pH değerinin döngülere göre değişimi grafiklenmiştir (Şekil 3.98). K-15 (Kuvarshan pasa) örneğinde ilk 5 döngüde SO_4/Fe oranın 3'den 12'ye; pH değerinin ise 1,4'den 2,4'e yükseldiği görülmüştür. K-17 (Kuvarshan-flotasyon atığı) örneğinde ise ilk 11 döngüde SO_4/Fe oranın 3'den 11'e; pH değerinin ise 2,1'den 2,8'e yükseldiği görülmüştür. Bu durum, AMD oluşumunun ilk ürünlerinden olan, demir hidroksitlerin (ferrihidrat) çözünmesiyle oluşan Fe^{3+} 'ün sistemden uzaklaştığını ve bu olay suya verilen hidroksil iyonlarının, sistemin pH'nın bir derece yükselttiğini göstermektedir. Bu aşamada örneklerin bünyesindeki amorf

kükürdün çözünmesinin (Eşitlik 3.29) kuvvetli asidik koşulların devam etmesini sağladığı düşünülmektedir;



Bu sırada, gerek mineral yüzeylerine zayıf tutunan sülfat iyonlarının sıvı faza geçmesi, gerekse jipsin ve elemental sülfürün çözünmesi, SO_4/Fe oranının yükselmesine neden olmuştur. İleriki aşamalarda piritin oksidasyonun devreye girmesi ile bu oran düşmeye başlamış ve pirit oksidasyonundaki SO_4/Fe (2) oranına yaklaşmıştır. Buna pH'ın düşüşü eşlik etmiş ve oksidasyon süresince yaklaşık stabil kalmıştır. Bu örneklerde bu dönemde ölçülen Fe salımın hızları benzerlik (353-359 mg/kg kaya/döngü) göstermektedir (Tablo 3.40). Bu aşamada örneklerin bünyesinde bulunan sülfat mineralleri (jips ve jarosit) çözünmesi ve eser düzeylerdeki sfalerit ve kalkopirit'in oksidasyonu metal ve sülfat salınımına etki etmiştir.

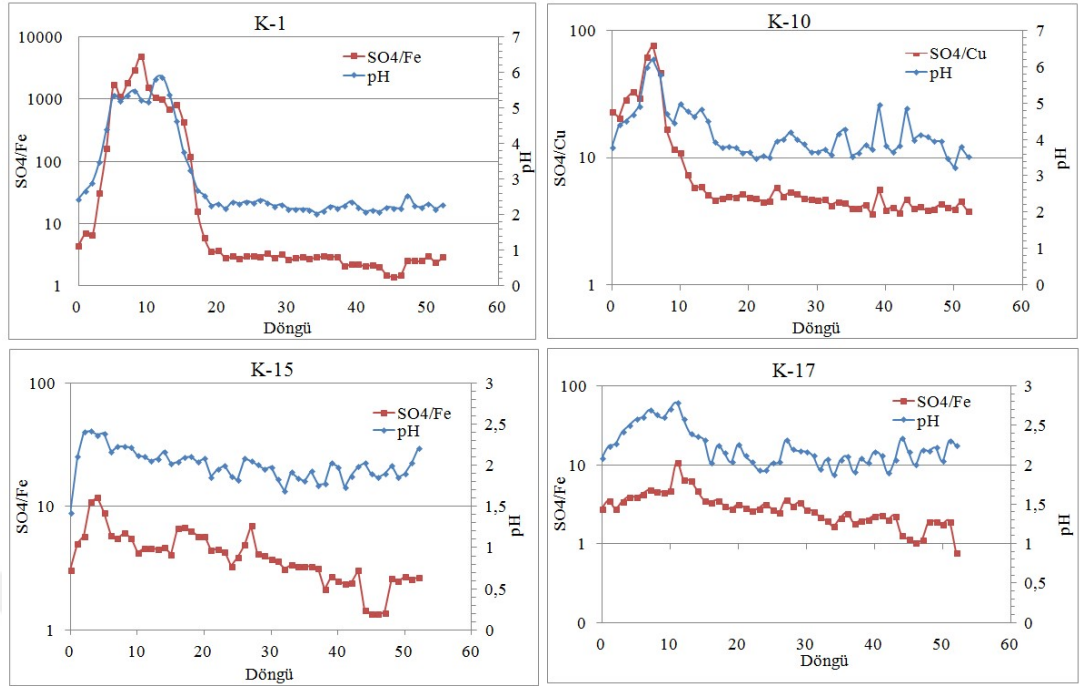
K-1 örneğinde de, test süresince, yukarıda bahsedilen örneklere benzer bir SO_4/Fe değişim profili gözlenmiştir. İlk 11 döngülük dönemde SO_4/Fe oranı 4 düzeylerinden yaklaşık 4800 düzeylerine, süzüntü suyunun pH'ı da 2,4'den 6'ya yükselmiştir. Bu örnekte de süzüntü suyundaki Fe^{3+} 'ün düşüşü, pH 3,5'in üzerinde ferrihidratın çözünmesinin yavaşlamasıyla hız kazanmış, bu durum da SO_4/Fe oranının 4800 düzeylerine yükselmesine neden olmuştur. 11. döngüden sonra pirit oksidasyonunun devreye girmesiyle pH 2 civarına ve SO_4/Fe oranı da 2-3 düzeylerine gelmiştir (Şekil 3.98).

K-1, K-15 ve K-17 örneklerinden alınan süzüntü sularında, demire ek olarak Al, Cu, As, Zn, Mn ve Pb (sadece K-15 örneğinde) yüksek konsantrasyonlarıyla dikkat çekmektedir (Şekil 3.94-Şekil 3.97). Örneklerin parlak kesit ve XRD incelemelerinde, piritin majör sülfid mineral fazı olduğu görülmüştür (Tablo 3.5 ve Tablo 3.6). K-1 örneğinde kalkopirit bulunduğu; K-15 örneğinde kalkositin, K-17 örneğinde ise sfaleritin eser düzeylerde bulunduğu tespit edilmiştir (Tablo 3.2). Bu örneklerden yüksek konsantrasyonlarda (Toplam arseniğin, K-1'de %35'i, K-15'de %5,7'si, K-17'de ise % 4,8'i salınımına uğramıştır) gerçekleşen arsenik salınım şekli, demir salınım şekline oldukça benzerdir (Şekil 3.94, Şekil 3.95, Şekil 3.97). Bu

durum Kuvarshan pasa, flotasyon atığı örneklerindeki ve Çakmakaya-cevherli dasit örneğindeki piritlerin yüksek düzeyde arsenik içerdiğini işaret etmektedir.

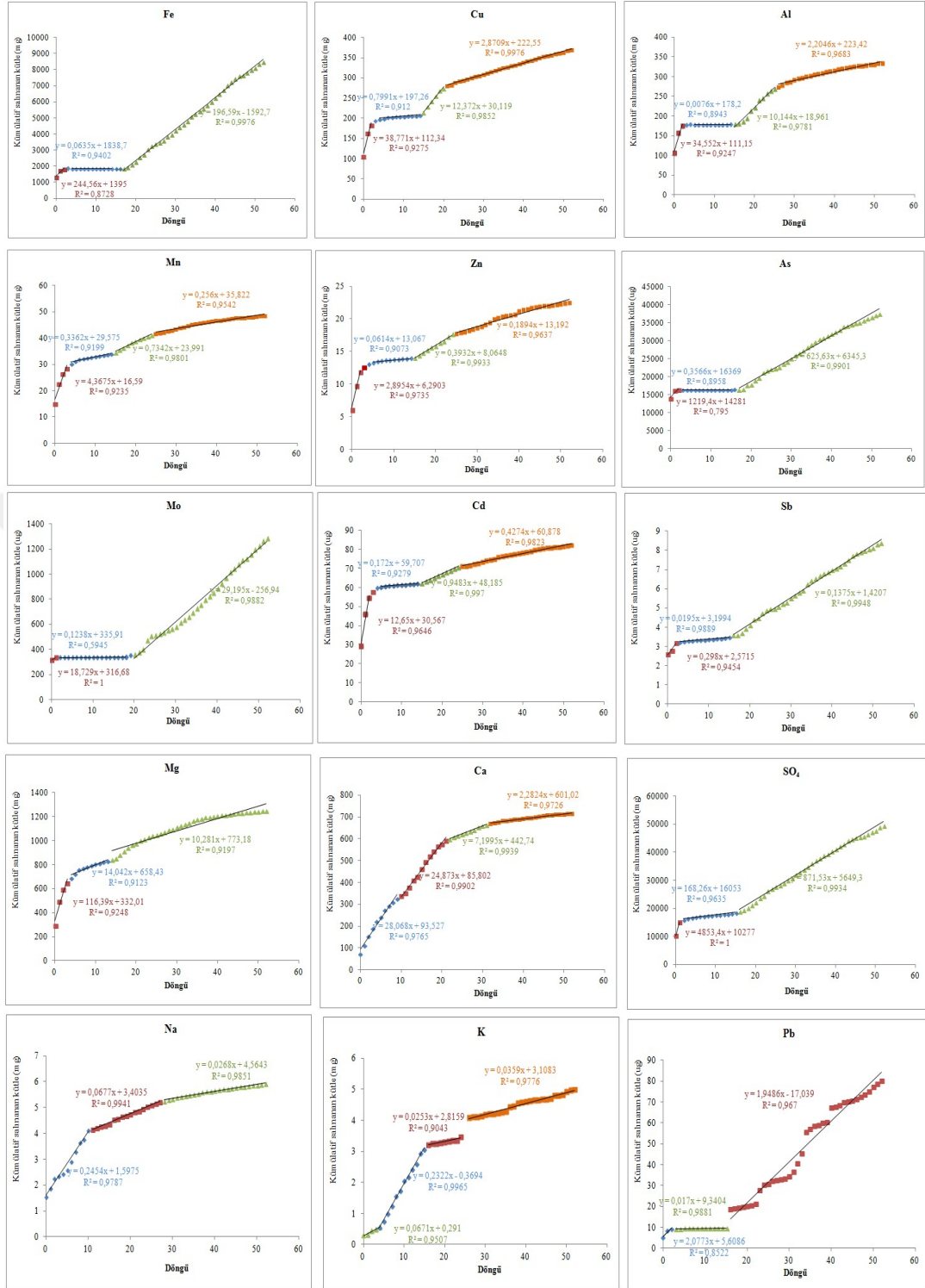
Tablo 3.40. Çakmakaya cevherli dasit (K-1, K-10) ve Kuvarshan pasa (K-17) ve flotasyon atığı (K-15) örneklerinde SO₄, Fe, Cu, Al ve As'ın salınım kinetikleri (Kırmızı işaretli kinetik değerleri sülfat minerallerinin oksidasyonu aşamasında gerçekleşmiştir)

	K-1	K-15	K-17	K-10
SO ₄ (mg/kg/döngü)	0-1. döngü: 4853	0-1. döngü: 10093	0-1. döngü: 14963	0-2. döngü: 289
	2-15. döngü: 168	2-23. döngü: 1146	2-22. döngü: 859	3-6. döngü: 66
	16-52. döngü: 872	24-52. döngü: 1601	23-52. döngü: 1237	7-35. döngü: 140
				36-52 döngü: 115
Fe (mg/kg/döngü)	0-2. döngü: 245	0-1. döngü: 1171	0-1. döngü: 2485	0-1. döngü: 0,9
	3-16. döngü: 0,06	2-23. döngü: 138	2-17. döngü: 101	2-7. döngü: 0,04
	17-52. döngü: 197	24-52. döngü: 353	18-52. döngü: 363	8-22. döngü: 0,99
				23-52. döngü: 0,69
Cu (mg/kg/döngü)	0-2. döngü: 39	0-1. döngü: 26,8	0-1. döngü: 111	0-2. döngü: 18
	3-4. döngü: 0,8	2-52. döngü: 1,22	2-52. döngü: 1,65	2-7. döngü: 1,5
	15-20. döngü: 12			8-52. döngü: 28,4
	21-52. döngü: 3			
Al (mg/kg/döngü)	0-2. döngü: 35	0-1. döngü: 67,3	0-1. döngü: 147	0-1. döngü: 0,45
	3-14. döngü: 0,01	2-52. döngü: 2,3	2-15. döngü: 2,4	2-11. döngü: 0,04
	15-25. döngü: 10,5		16-52. döngü: 5,51	12-52. döngü: 0,5
	26-52. döngü: 2,2			
As (µg/kg/döngü)	0-2. döngü: 1219	0-1. döngü: 10547	0-1. döngü: 86417	0-9. döngü: 0,27
	3-16. döngü: 0,35	2-23. döngü: 222	2-14. döngü: 65	10-26. döngü: 0,78
	17-52. döngü: 626	24-29. döngü: 690	15-52. döngü: 2917	27-52. döngü: 0,61
		30-52. döngü: 1347		

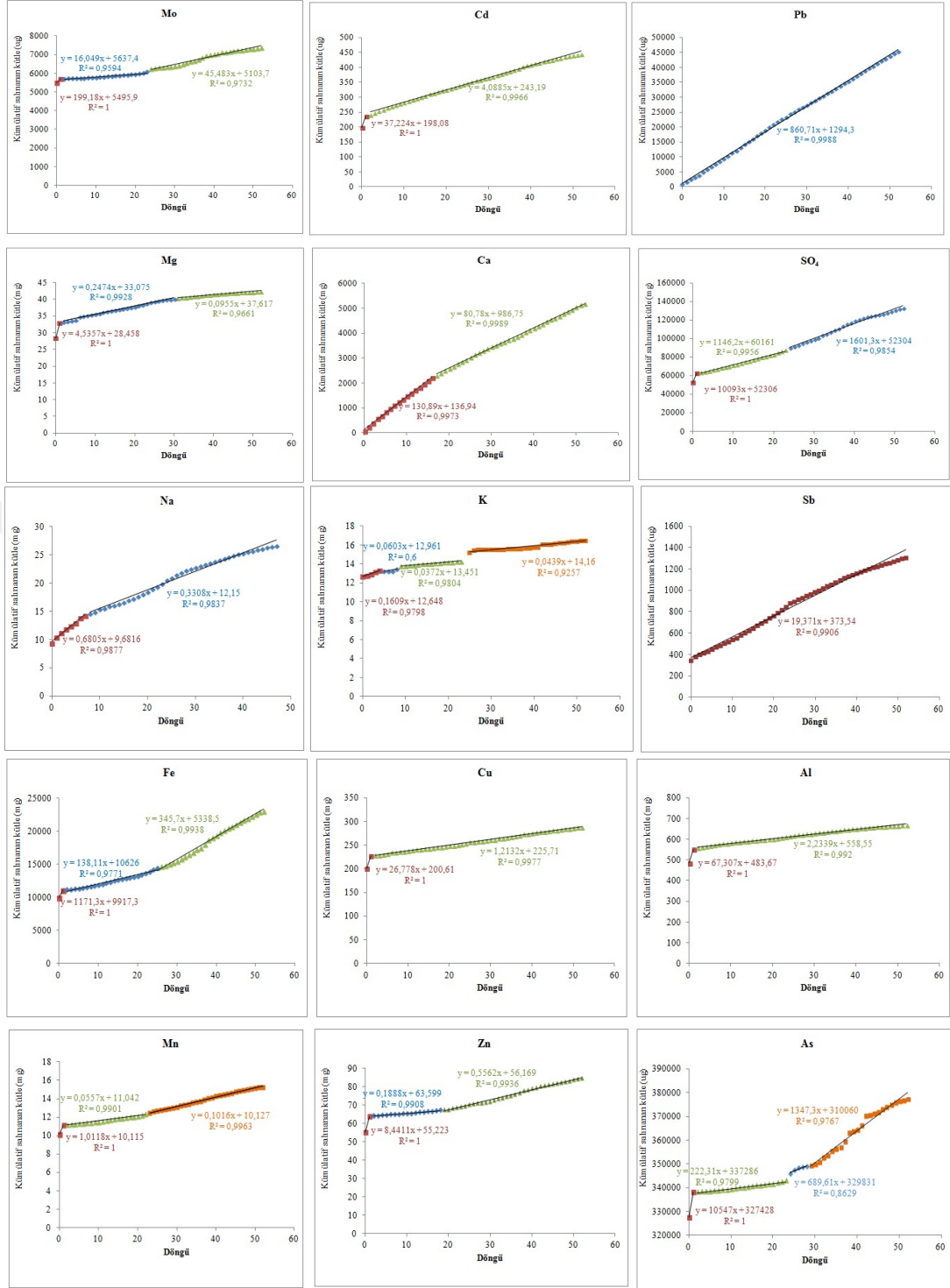


Şekil 3.98. Nem hücresi deneyi boyunca örneklerden elde edilen süzüntü sularının SO₄/Fe, SO₄/Cu (K-10 için) molar oranlarının ve pH değerinin değişimi

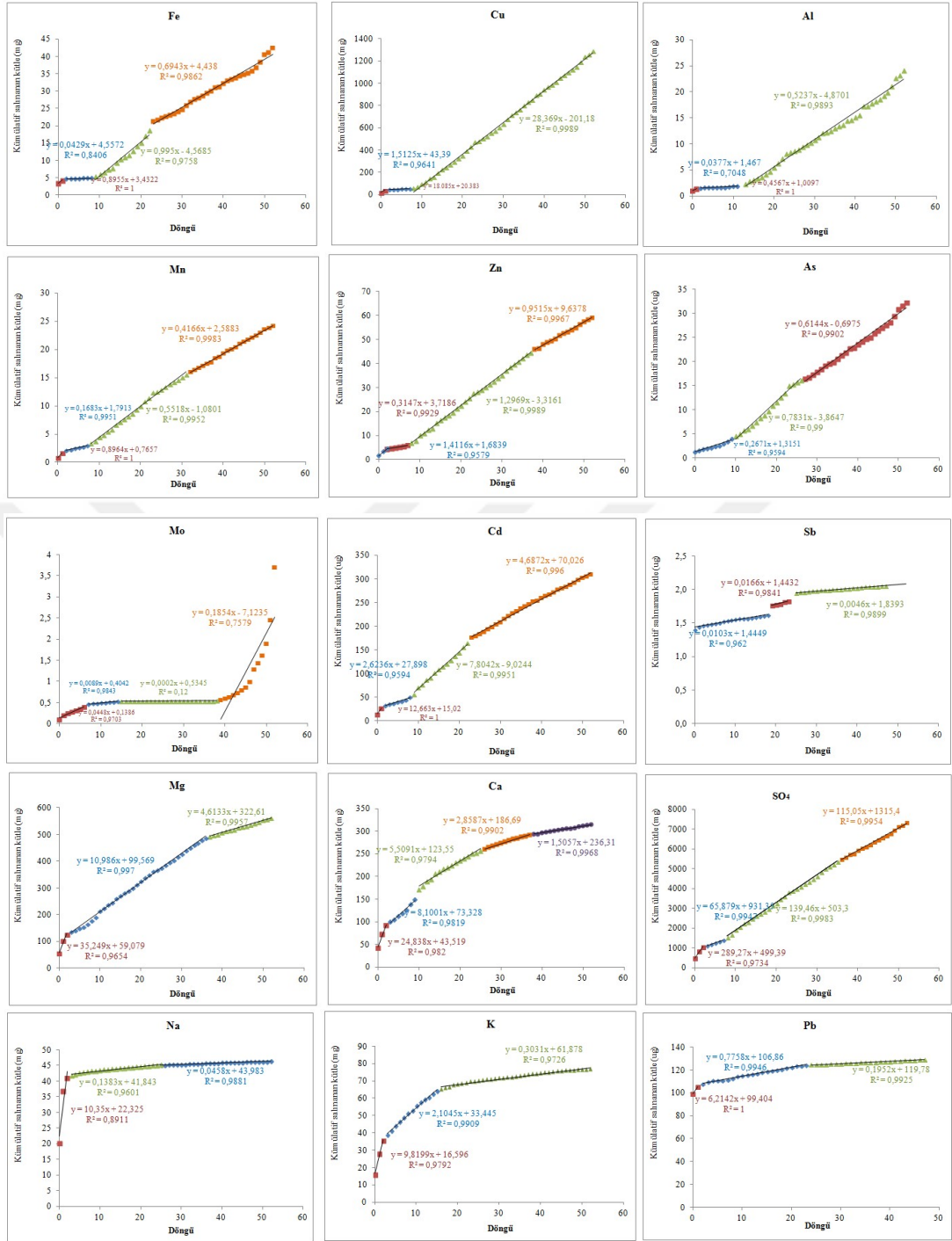
AMD oluşumunun gerçekleştiği bir diğer örnek de, düşük düzeyde oksidasyon gösteren, K-10 (Çakmakaya-cevherli dasit) örneğidir. Bu örneğin diğer örneklerden farkı, kalkopiritin baskın sülfid minerali olması ve minör düzeyde pirit, fahlerz ve sfalerit içermesidir (Tablo 3.5). Bu örnekte meydana gelen metal salınım davranışı, K-1 ve K-15 örneklerinin metal salınım davranışıyla benzerlik göstermektedir; fakat bakır haricinde, metal ve sülfat salınım miktarları ve hızları oldukça düşük düzeydedir (Şekil 3.99, Şekil 3.100, Tablo 3.40). Bu örnekte ilk 6 döngülük bölümde hızlı, ancak zamanla yavaşlayan sülfat ve metal salınımı gerçekleşirken (Tablo 3.40), süzüntü sularının pH'ı yaklaşık 3,5'den 6'ya yükselmiştir. 6. döngüden sonra metal ve sülfat salınımının artmasıyla birlikte süzüntü suyunun pH'ı (yaklaşık 21. döngüde) 3,5 düzeylerine ulaşmış ve sonra pH 3,5-4,5 arasında seyretmiştir. 6. döngüden sonra başlayan kalkopirit oksidasyonuna bağlı olarak Cu salınım hızının da 28 mg/kg kaya/döngü düzeylerinde gerçekleştiği görülmüştür. 6. döngüden sonra süzüntü sularındaki SO₄/Cu oranının, kalkopiritin Fe⁺³ ile reaksiyonundaki orana (Eşitlik 3.28) yaklaşması, kalkopiritin okside olmaya başladığını desteklemektedir (Tablo 3.40, Şekil 3.101) .



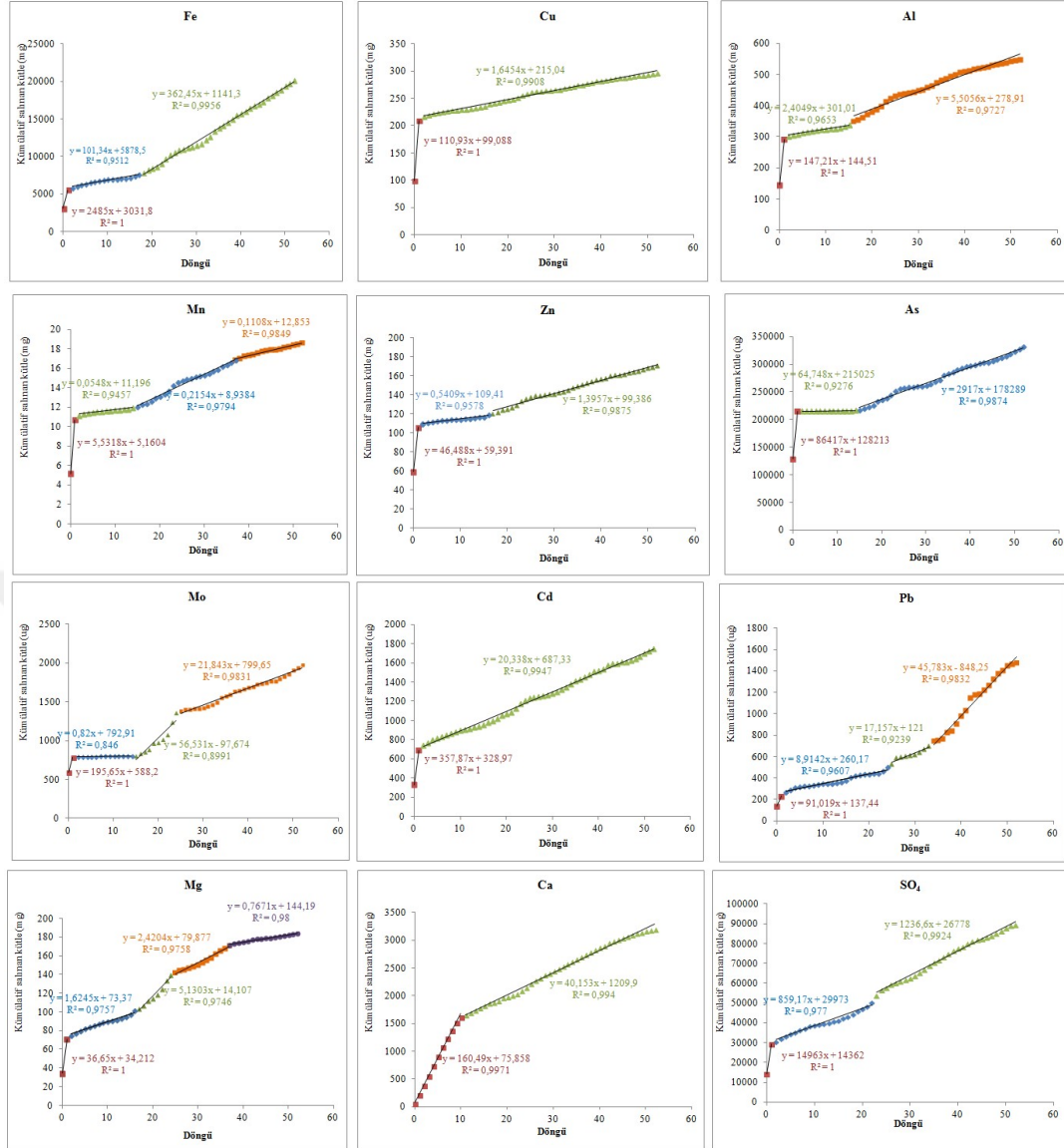
Şekil 3.99. Çakmakkaya cevherli dasit (K-1) örneğinden salınan ürünlerin kümülatif miktarının ve salınım hızlarının zamana bağlı değişimi



Şekil 3.100. Kuvarshan flotasyon atığı (K-15) örneğinden salınan ürünlerin kümülatif miktarının ve salınım hızlarının zamana bağlı değişimi



Şekil 3.101. Çakmakkaya cevherli dasit (K-10) örneğinden salınan ürünlerin kümülatif miktarının ve salınım hızlarının zamana bağlı değişimi



Şekil 3.102. Kuvarshan pası (K-17) örneğinden salınan ürünlerin kümülatif miktarının ve salınım hızlarının zamana bağlı değişimi

Tablo 3.2, Tablo 3.5 ve Tablo 3.6'da K-1, K-10, K-15 ve K-17 örneklerinde karşılaşılan mineral fazları verilmiştir. K-1, K-10 ve K-17'de ana sülfid minerali pirittir. Pirit, K-15'de minör düzeydedir. Kalkopirit ise K-10 örneğinde majör, K-1'de minör düzeyde bulunmaktadır. K-17 örneği, bu örnekler arasında kalkopiriti majör olarak içeren tek örnektir.

Nem hücresi deneyi boyunca bu örneklerden (K-1, K-10, K-15, K-17) elde edilen süzüntü sularının jeokimyasını belirleyen süreçler, modelleme çalışmaları ile desteklenmiştir.

K-1, K-15 ve K-17 örneklerinde, deneyin başlangıcında gözlenen $\text{FeSO}_4\text{-SO}_4$ tip su fasiyesi, ayrışma ürünlerinin yıkanması sonrası K-1, K-15, K-17 için Ca-SO_4 ve K-1 için Mg-SO_4 su fasiyesine dönüşmüş, pirit oksidasyonun devreye girmesi ile de H-SO_4 ve $\text{Fe-SO}_4\text{-SO}_4$ su fasiyesi halini almıştır (Tablo 3.41).

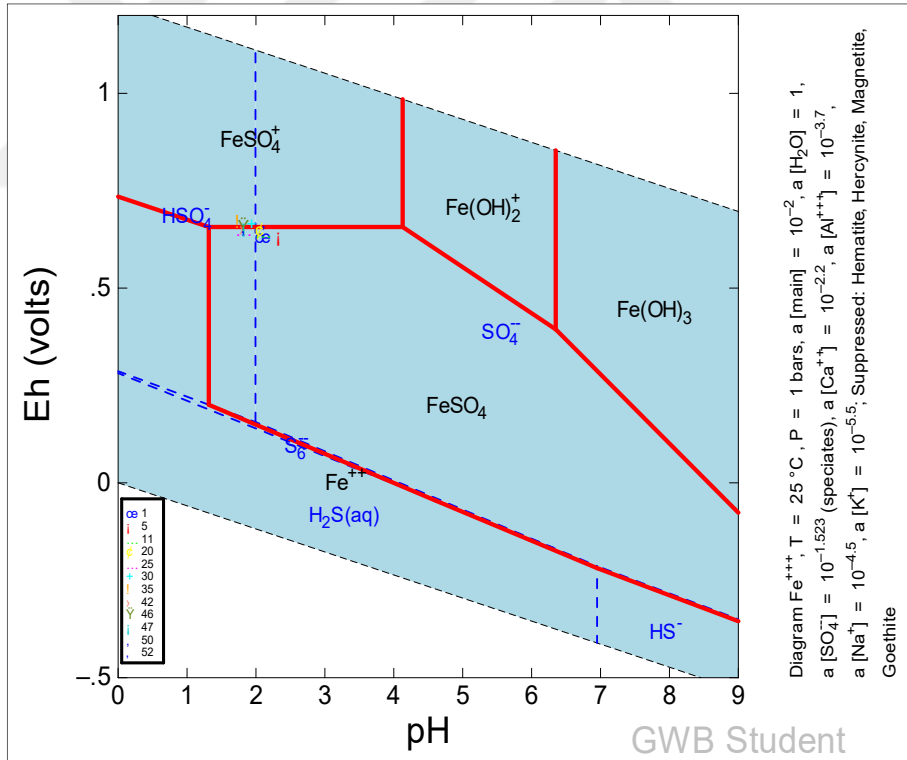
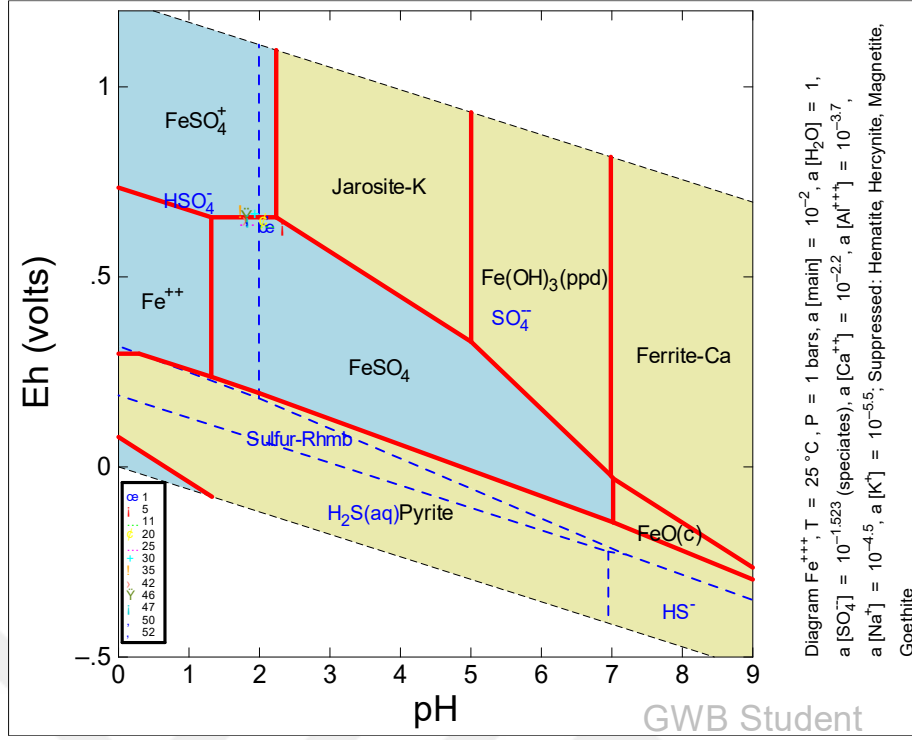
Jeokimyasal modelleme çalışmalarından elde edilen demir türleştirme analizlerinde, bu örneklerin tamamında, demirin su fazında FeSO_4^+ iyonu şeklinde bulunduğu görülmüştür (Şekil 3.103, Şekil 3.104, Şekil 3.105). Farklı döngülerde elde edilen süzüntü suları, Eh-pH diyagramında K-Jarosit sınırı civarında yoğunlaşmıştır. Örneklerin XRD analizlerinde, K-15 ve K-17 örneklerinde jarositin majör olarak bulunduğu, K-1 örneğinde ise jarosite rastlanmadığı görülmüştür.

Nem hücresi testi sonunda, örnekler üzerinde yapılan XRD analizlerinde, AMD reaksiyonları sonucunda oluşan jarosit K-1 örneğinde; kopiapit K-15'den alınan tüm zonlarda ve metahohmanit K-15'in sadece üst zonunda tespit edilmiştir. K-17 örneğinde ise, metahohmanit hem karışım hem de alt zon örneğinde oluşmuştur (Ek-F).

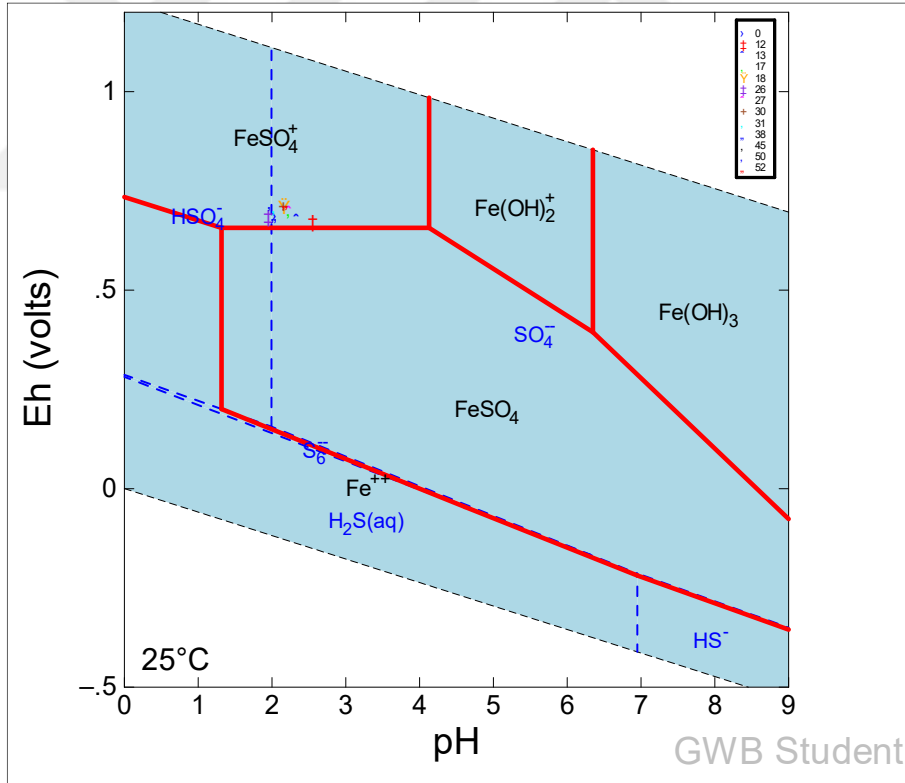
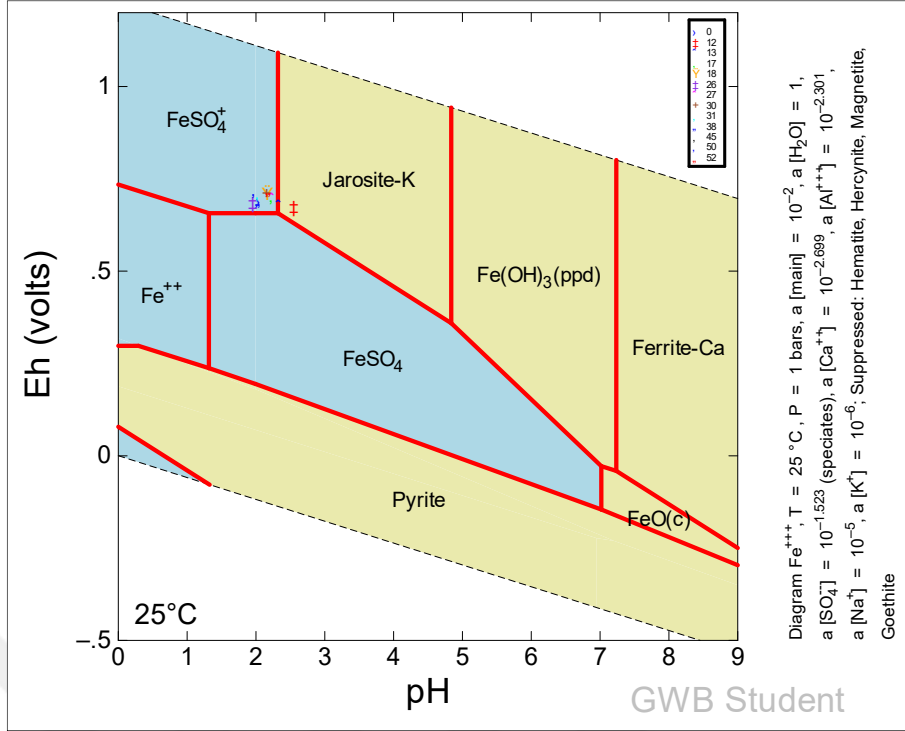
K-15 örneğinde, deney süresince, jips ve jarosit çözünme eğilimini sürdürürken, anlezit dengede kalmıştır. K-17 örneğinde ise hematitin çökeltme eğilimini, jips ve jarositin ise çözünme eğilimini sürdürdüğü görülmüştür. K-1 örneğinde, K-jarosit oldukça değişken hareket ederek kimi zaman çökelmiş kimi zaman çözünmüştür; deney boyunca, jips çözünme eğilimi gösterirken, alunit ise genel çözünme eğilimini sürdürmüştür (Şekil 3.106). Mineral doygunluk indisi hesaplamalarında, örneklerin bünyesinde bulunan jips, jarosit ve alunit gibi çözünme eğilimindeki minerallerin sülfat salınımlarına katkıda bulunduğu görülmüştür (Şekil 3.106). Sonuç olarak, hem nem hücresi testi hem de jeokimyasal modelleme çalışmaları, jarositin çözünmesi yada çökeltim sürecinin, süzüntü suların jeokimyasını kontrol ettiğini teyit etmiştir.

Tablo 3.41. Nem hücresi deneyi boyunca örneklerden elde edilen süzüntü sularının su fasiyeslerinde gözlenen değişim

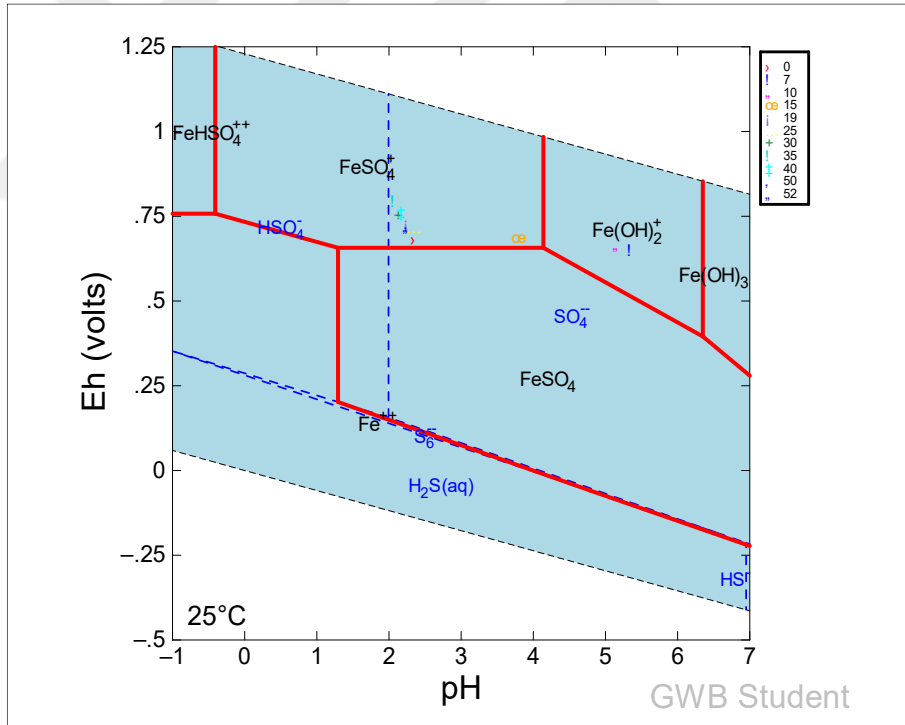
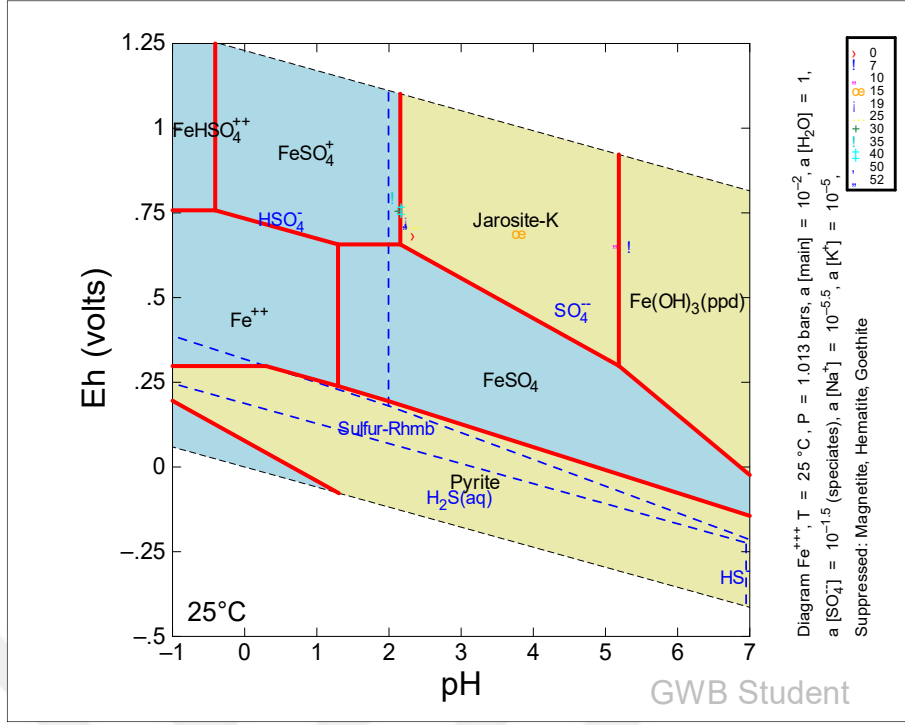
Hafta	K-15	K-17	K-1	K-10	K-12	K-16	K-18	K-19	SD-34
0	FeSO4-SO4	FeSO4-SO4	FeSO4-SO4	Mg-SO4	Cu-SO4	Mg-SO4	Mg-SO4	Mg-SO4	Mg-SO4
1	Fe-SO4	FeSO4-SO4	Mg-SO4	Mg-SO4	Cu-SO4	Cu-SO4	Mg-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4
2	Ca-SO4	FeSO4-SO4	Mg-SO4	Mg-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4
3	Ca-SO4	Ca-SO4	Mg-SO4	Mg-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4
4	Ca-SO4	Ca-SO4	Mg-SO4	Mg-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4
5	Ca-SO4	Ca-SO4	Mg-SO4	Mg-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4
6	Ca-SO4	Ca-SO4	Mg-SO4	Mg-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4
7	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Mg-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4
8	Ca-SO4	Ca-SO4	Mg-SO4	Mg-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4
9	Ca-SO4	Ca-SO4	Mg-SO4	Mg-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4
10	Ca-SO4	Ca-SO4	Mg-SO4	Mg-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4
11	H-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Mg-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Mg-SO4	Ca-SO4
12	H-SO4	H-SO4	Ca-SO4	Mg-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Mg-SO4	Ca-SO4
13	H-SO4	H-SO4	Ca-SO4	Mg-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Mg-SO4	Ca-SO4
14	Ca-SO4	H-SO4	Ca-SO4	Cu-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Mg-SO4	Ca-SO4
15	H-SO4	H-SO4	Ca-SO4	Cu-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Mg-SO4
16	H-SO4	H-SO4	Mg-SO4	Cu-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Mg-SO4
17	H-SO4	H-SO4	Mg-SO4	Cu-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Mg-SO4
18	H-SO4	FeSO4-SO4	Mg-SO4	Cu-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Mg-SO4
19	H-SO4	FeSO4-SO4	FeSO4-SO4	Cu-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4
20	H-SO4	FeSO4-SO4	H-SO4	Cu-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4
21	H-SO4	FeSO4-SO4	FeSO4-SO4	Cu-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4
22	H-SO4	FeSO4-SO4	FeSO4-SO4	Cu-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Mg-SO4
23	H-SO4	FeSO4-SO4	FeSO4-SO4	Cu-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Mg-SO4	Ca-SO4
24	H-SO4	FeSO4-SO4	FeSO4-SO4	Cu-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4		Ca-SO4
25	H-SO4	FeSO4-SO4	FeSO4-SO4	Cu-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4		Mg-SO4
26	H-SO4	FeSO4-SO4	FeSO4-SO4	Cu-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Mg-SO4
27	H-SO4	H-SO4	H-SO4	Cu-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Mg-SO4
28	H-SO4	H-SO4	FeSO4-SO4	Cu-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4		Mg-SO4
29	H-SO4	H-SO4	H-SO4	Cu-SO4	H-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Mg-SO4
30	H-SO4	H-SO4	FeSO4-SO4	Cu-SO4	H-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Mg-SO4
31	H-SO4	FeSO4-SO4	FeSO4-SO4	Cu-SO4	H-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Mg-SO4
32	H-SO4	FeSO4-SO4	H-SO4	Cu-SO4	H-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Mg-SO4
33	H-SO4	FeSO4-SO4	H-SO4	Cu-SO4	H-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Mg-SO4
34	H-SO4	FeSO4-SO4	H-SO4	Cu-SO4	H-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4		Mg-SO4
35	H-SO4	FeSO4-SO4	H-SO4	Cu-SO4	H-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Mg-SO4
36	H-SO4	FeSO4-SO4	H-SO4	Cu-SO4	H-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Mg-SO4
37	H-SO4	FeSO4-SO4	H-SO4	Cu-SO4	H-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Mg-SO4
38	Fe-SO4	FeSO4-SO4	FeSO4-SO4	Cu-SO4	H-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	
39	H-SO4	FeSO4-SO4	FeSO4-SO4	Cu-SO4	H-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	
40	H-SO4	FeSO4-SO4	FeSO4-SO4	Cu-SO4	H-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	
41	H-SO4	H-SO4	FeSO4-SO4	Cu-SO4	H-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	
42	Fe-SO4	FeSO4-SO4	H-SO4	Cu-SO4	H-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	
43	H-SO4	FeSO4-SO4	FeSO4-SO4	Cu-SO4	H-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	
44	Fe-SO4	FeSO4-SO4	H-SO4	Cu-SO4	H-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	
45	Fe-SO4	FeSO4-SO4	H-SO4	Cu-SO4	H-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	
46	Fe-SO4	FeSO4-SO4	H-SO4	Cu-SO4	H-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	
47	Fe-SO4	FeSO4-SO4	H-SO4	Cu-SO4	H-SO4	Ca-SO4	Ca-OH	Ca-SO4	
48	Fe-SO4	FeSO4-SO4	FeSO4-SO4	Cu-SO4	H-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	
49	H-SO4	FeSO4-SO4	H-SO4	Cu-SO4	H-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4		
50	H-SO4	FeSO4-SO4	H-SO4	Cu-SO4	H-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	
51	H-SO4	FeSO4-SO4	FeSO4-SO4	Cu-SO4	H-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	
52	H-SO4	FeSO4-SO4	H-SO4	Cu-SO4	H-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	Ca-SO4	



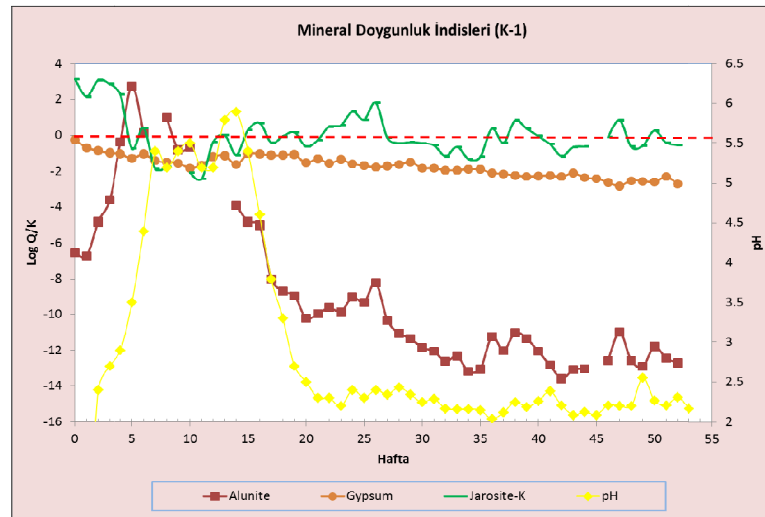
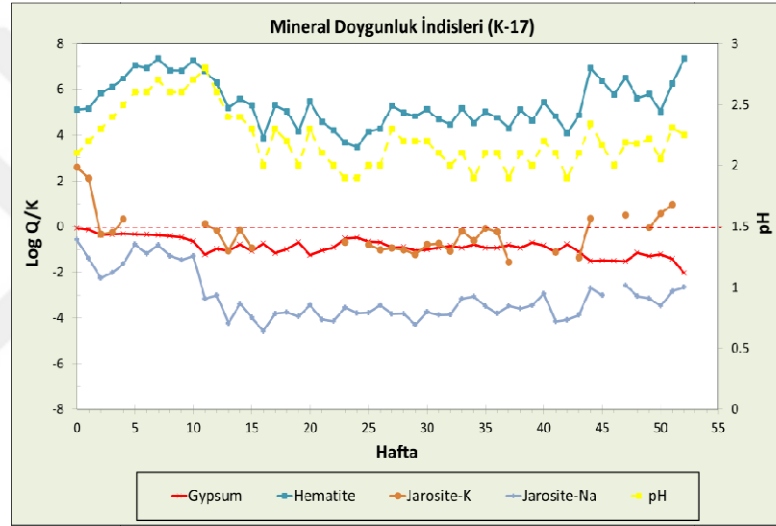
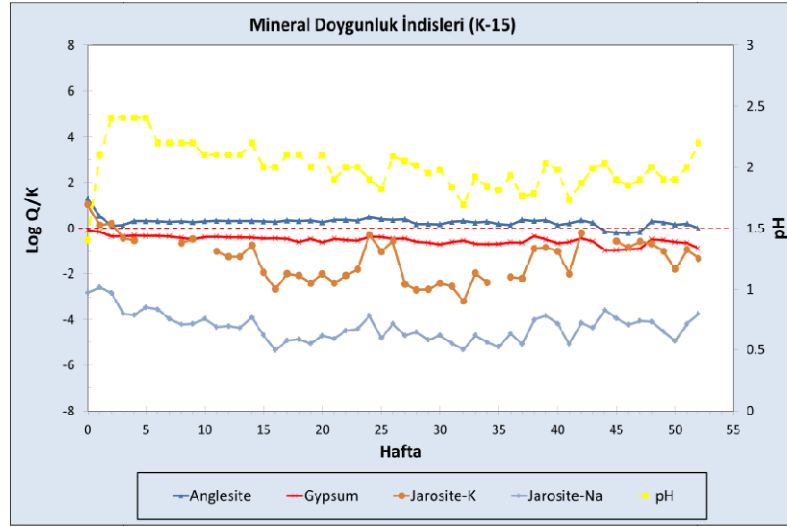
Şekil 3.103. Nem hücresi deneyinde K-15 (Kuarshan flotasyon atığı) örneğinden farklı döngülerde elde edilen süzüntü sularının Eh-pH stabilite diyagramındaki konumu ve Fe ve S türleşirmesi



Şekil 3.104. Nem hücresi deneyinde K-17 (Kuarshan pasa) örneğinden farklı döngülerde elde edilen süzüntü sularının Eh-pH stabilite diyagramındaki konumu ve Fe ve S türleşmesi.



Şekil 3.105. Nem hücresi deneyinde K-1 (Çakmakkaya cevherli dasit) örneğinden farklı döngülerde elde edilen süzüntü sularının Eh-pH stabilite diyagramındaki konumu ve Fe ve S türleşmesi

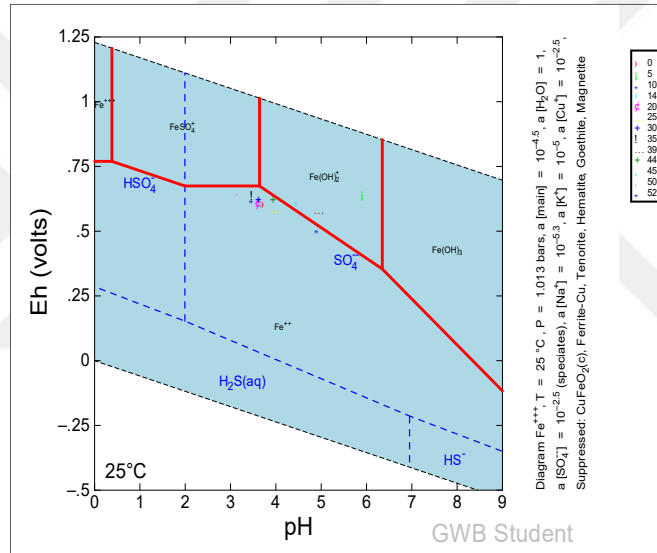
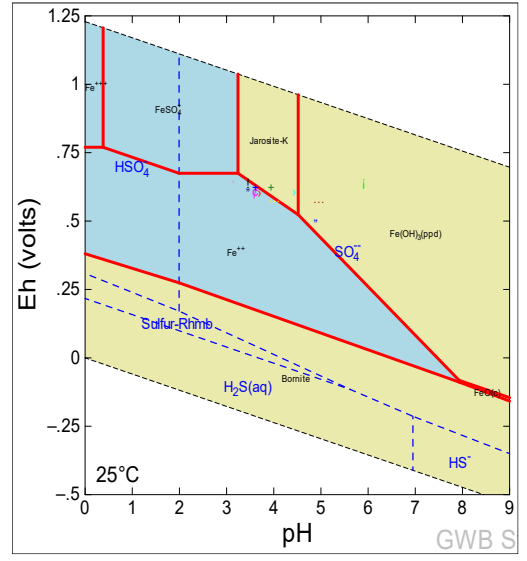
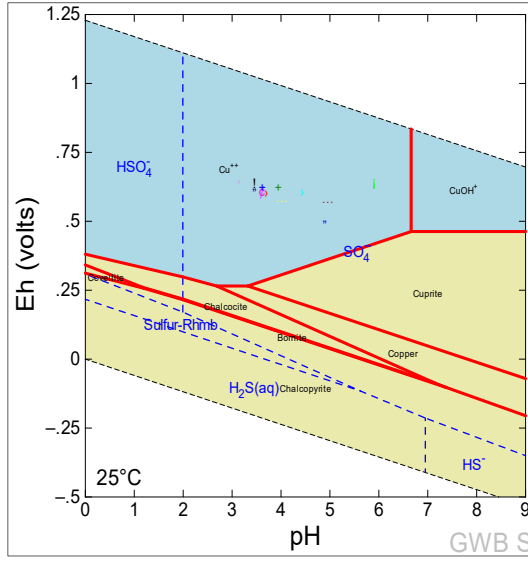


Şekil 3.106. K-1, K-15 ve K-17 örneklerinden elde edilen süzüntü sularının mineral doymuluk indislerinin değişimi

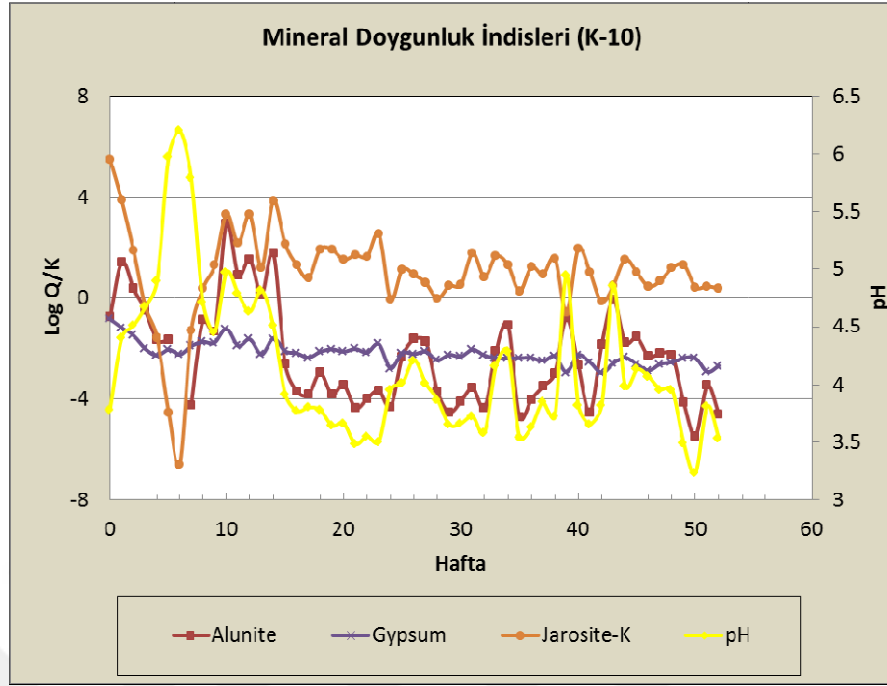
K-10 (Çakmakkaya) cevherli dasit örneğinde de, jeokimyasal modelleme sonucu elde edilen sonuçlar, nem hücresi verileri ile uyumluluk göstermektedir. Diğer örneklerin aksine, testin başlangıç aşamalarında Mg-SO₄ su fasiyesi sergileyen süzüntü suları, örneğin bünyesindeki kalkopiritin oksidasyona uğramasıyla Cu-SO₄ tip su fasiyesine dönüşmüştür. Cu ve Fe elementinde yapılan türleştirme analizlerinde, süzüntü sularındaki bakırın ana olarak Cu⁺² şeklinde, demirin ise Fe⁺², Fe(OH)₂⁺ ve FeSO₄⁺ sınırına yakın bir bölgede yoğunlaştığı görülmüştür (Şekil 3.107). Farklı döngülerde alınan bazı süzüntü sularının, Eh-pH diyagramında, K-Jarosit ve amorf Fe(OH)₃ mineral fazları stabilite bölge sınırları içinde yer alması ise, deneyin farklı dönemlerinde koşulların bu mineral fazlarının çökelişi için uygun olduğunu göstermektedir.

Mineral doygunluk indis hesaplamaları, K-Jarositin, deneyin boyunca genellikle, süzüntü sularından çökeldiğini ve bu çökelişinin deney boyunca gözlenen asidik pH koşullarını tamponladığını desteklemektedir. Ayrıca bu durumun, testin farklı zaman dilimlerinde alunitin çökelişini ve çözünmesini kontrol ettiğini göstermektedir. Süzüntü sularının pH değerlerinin, alunitin mineral doygunluk indisinde görülen değişim ile birebir uyumlu olması da, bu durumu desteklemektedir (Şekil 3.108). Jipsin doygunluk indisinin deney boyunca sıfırdan düşük seyrettiği yani çözünme eğiliminde olduğu; alunitin de bazı döngülerde çökeltme eğilimi olsa da, genellikle çözünme eğiliminde olduğu görülmüştür.

Testin sonunda örnek üzerinde yapılan XRD analizinde de alunit (% 4,4), K-jarosit (% 5) ve kalkantit (% 4,7) mineral fazlarına rastlanmıştır. Ancak bu minerallerin ağırlıklı olarak nem hücresinin alt kısımlarında yoğunlaştığı görülmektedir (Ek-F).

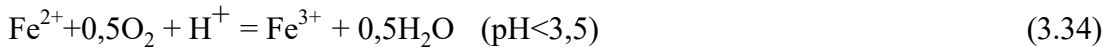
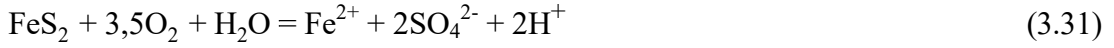


Şekil 3.107. Nem hücresi deneyinde K-10 (Çakmakkaya cevherli dasit) örneğinden farklı döngülerde elde edilen süzüntü sularının Eh-pH stabilite diyagramlarındaki konumu ve Cu, Fe, S türleşmesi



Şekil 3.108. K-10 (Çakmakkaya cevherli dasit) örneğinden elde edilen süzüntü sularının mineral doymuluk indislerinin değişimi

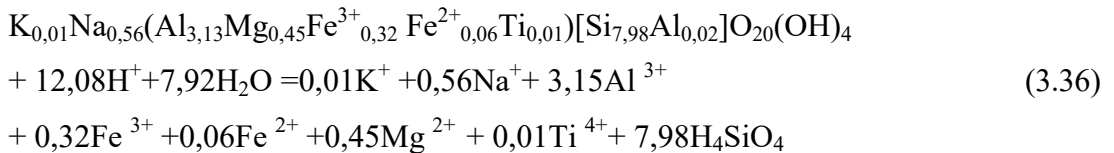
Yukarıda sunulan veriler ışığında aşağıda K-1, K-15 ve K-17 örneklerinde meydana gelen AMD reaksiyonları özetlenmiştir;



Bu reaksiyonlara aşağıdaki mineral çözünmeleri ve çökelimleri de eşlik etmiştir;



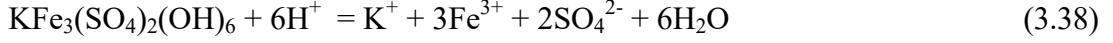
Kaolinitin asidik ortamda çözünmesi;



K-1 ve K-15 örneklerinde;



Jarositin, K-15 ve K-17 örneklerinde çözünmesi, K-1'de ise çökelimi ($\text{pH} < 3,5$);



$\text{pH} < 3,5$ koşulunda, K-1 örneğinde alunitin çözünmesi;



Deneyin ilk aşamalarında baskın olmak üzere, K-15, K-17'de ve kısmen de K-1'de etkili olan;



Deneyin 6.-11. döngülerine, $\text{pH} > 3,5$ koşulunda;



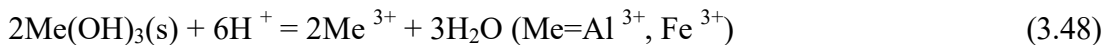
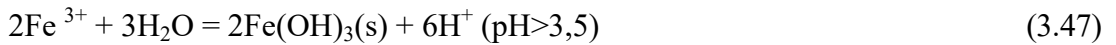
K-15 örneğinde;

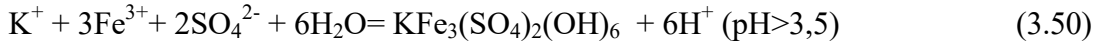


Metahohmanit ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) çökelimi: K-15 ve K-17 örneklerinde

Kopiapit ($\text{Fe}_{14}\text{O}_3(\text{SO}_4)_{18} \cdot 63\text{H}_2\text{O}$) çökelimi: K-15 örneğinde

K-10 örneğinde meydana gelen ana AMD reaksiyonları;

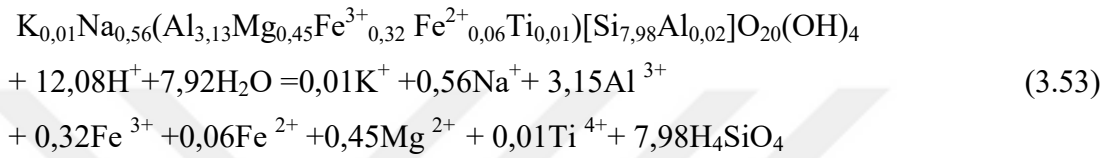




Alunitin çökelimi ve çözünmesi deney süresince gerçekleşmiştir;



Kaolinitin asidik ortamda çözünmesi;



AMD oluşumunun görüldüğü diğer iki örnek de, orta-yüksek düzeyde oksidasyona maruz kalmış Kuvarshan-mekan kaya (K-16) ve KBİ-cevherli dasit pasa (K-12) örnekleridir. Örneklerin, deneyin başlangıcı ve bitimindeki görüntüleri Şekil 3.109'da verilmiştir. İki örnekte de gözle görülebilir fiziksel bir değişim gözle çarpmamıştır.

Deney boyunca, her iki örnekte de, pH değerlerinde zamanla hafifçe bir artış olmuştur, bu artış K-16 örneğinde daha belirgindir ve fazladır. K-16 örneğinde pH, deney başlangıcında 2,48 iken deney bitişinde 4,02 olmuştur.

K-12 ise 2,2-2,9 aralığında değişen daha az değişken pH trendine sahiptir. pH'ın yükselmesinde, az da olsa karbonat mineral fazlarının (K-12 örneğindeki kalsit, K-16 örneğindeki dolomit), metal hidroksit ve jarosit mineralinin çözünmesinin etkisi olduğu düşünülmektedir.

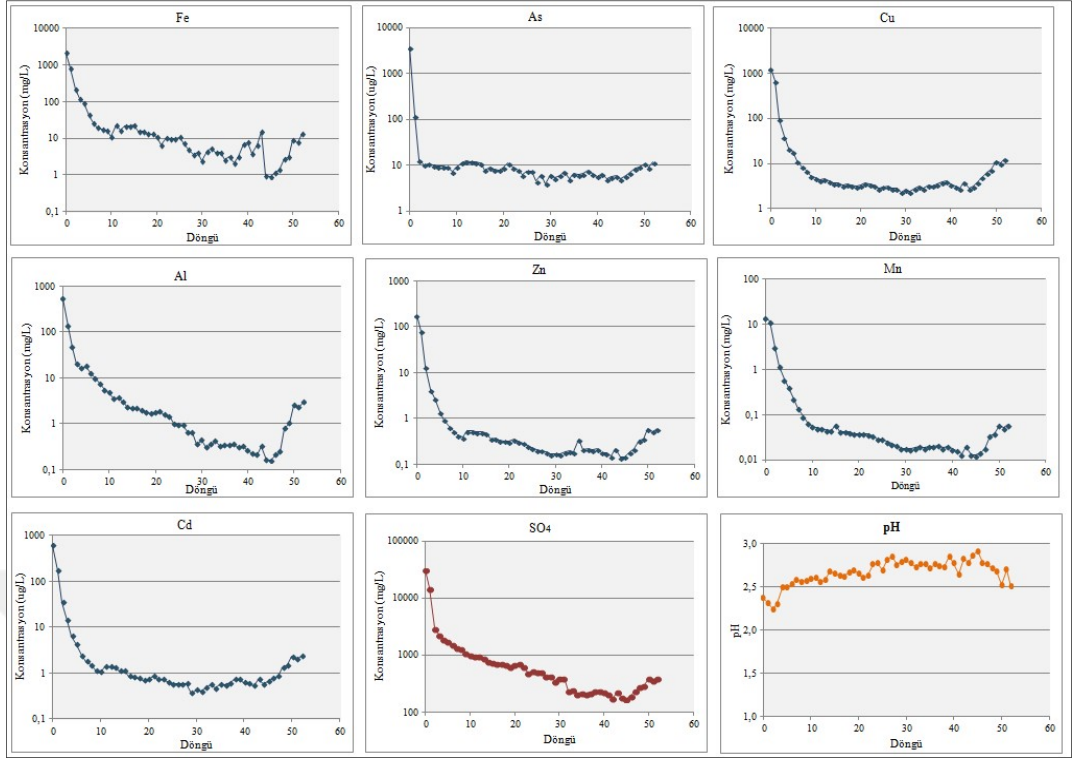
Sonuç olarak, her iki örnekte de, deney boyunca, asidik koşullar sürmüştür (Şekil 3.110 ve 3.111), bu durum minör düzeylerde bulunan piritlerin oksidasyonunun devam ettiğini göstermektedir.



Şekil 3.109. Nem hücresi deneyinin başlangıcında ve bitiminde (52.döngü sonu), K-16 (10 numaralı hücre) K-12 (2 numaralı hücre) örneklerinin görünüm ve yapısındaki değişim

K-12 örneğinden alınan süzüntü sularındaki metal konsantrasyonları, dalgalanmalar göstermekle birlikte, genel bir düşüş eğilimi göstermiştir. Bu düşüş eğilimi, 44. döngüden itibaren pH değerinde düşüş ve süzüntü sularındaki metal konsantrasyonlarının çoğunluğunda artış ile birlikte bozulmuştur (Şekil 3.110).

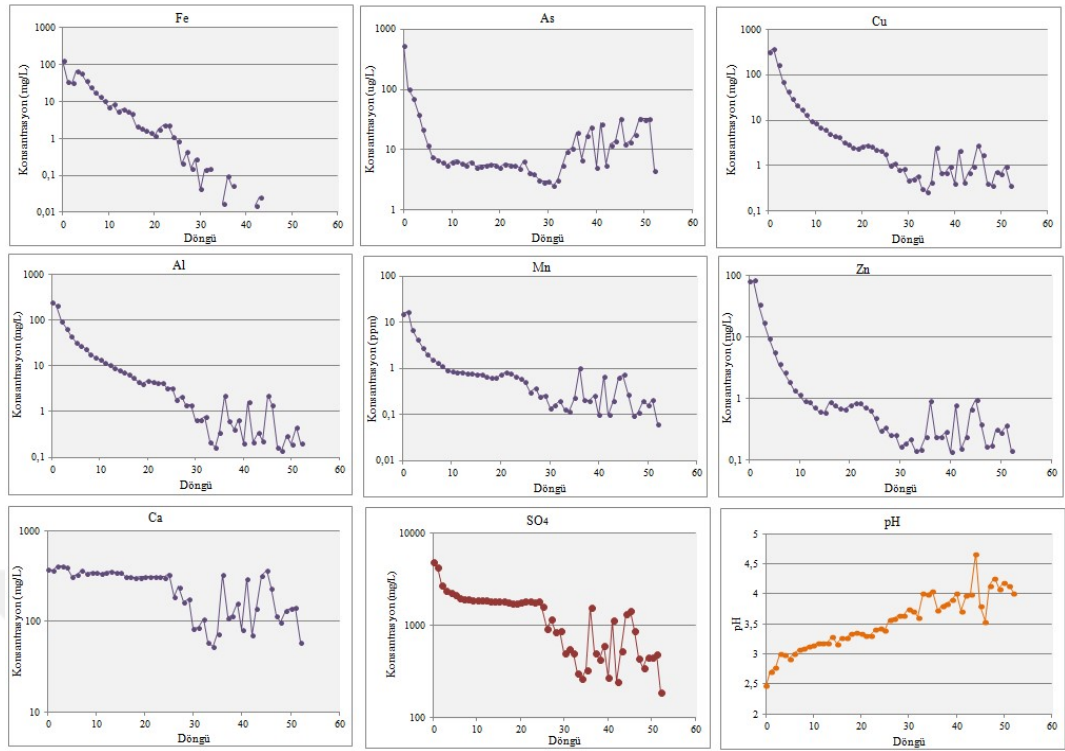
K-16 örneğinde ise yaklaşık 34. döngüye kadar genel bir azalma eğilimi sergileyen element konsantrasyonları, bu döngüden itibaren oldukça değişken bir gidiş göstermiştir. K-16 örneğine 36, 41 ve 44. döngülerde eklenen suların geri alımında diğer döngülere göre önemli azalma meydana gelmiştir, diğer bir deyişle, elde edilen süzüntü suyu kütlesi, normal döngülerde alınan süzüntülerin yarısı kadar olmuştur. Bu sebeple, bu döngülerde süzüntü sularındaki elementlerin konsantrasyonlarında ani artışlar görülmüştür (Şekil 3.111).



Şekil 3.110. K-12 (KBİ-cevherli dasit pasa) örneğinde süzüntü suyunun pH değerinin, sülfat ve bazı metal konsantrasyonlarının zamana bağlı değişimi

Asit üreten diğer örneklerin (K-1, K-10, K-15 ve K-17) aksine, bu örneklerde sülfat ve metal salınımları, başlangıçta hızlı, deneyin ilerleyen zamanlarında giderek yavaşlayan bir davranış sergilemiştir (Tablo 3.43). Asidik ortam koşullarında yüksek konsantrasyonlarda fakat yavaş hızda meydana gelen bu metal salınımlarında, AMD oksidasyon ürünlerinin (demir hidroksit, jarosit) çözünmesinin etkili olduğu düşünülmektedir. Bu fazların yavaş çözünmesi, mineral yüzeylerine tutunan metal fazlarının da yavaş hızlarda salınımını sağlamıştır (Şekil 3.112, Şekil 3.113).

K-16 (Kuarshan pasa) örneği, metal salınım hızları ve salınım davranışı açısından genel olarak K-12 (eski işletme cevherli dasit pasa) örneğine benzerlik göstermektedir (Tablo 3.43).



Şekil 3.111. K-16 (Kuarshan-mekan kaya) örneğinde süzüntü suyunun pH değerinin, sülfat ve metal konsantrasyonlarının zamana bağlı değişimi

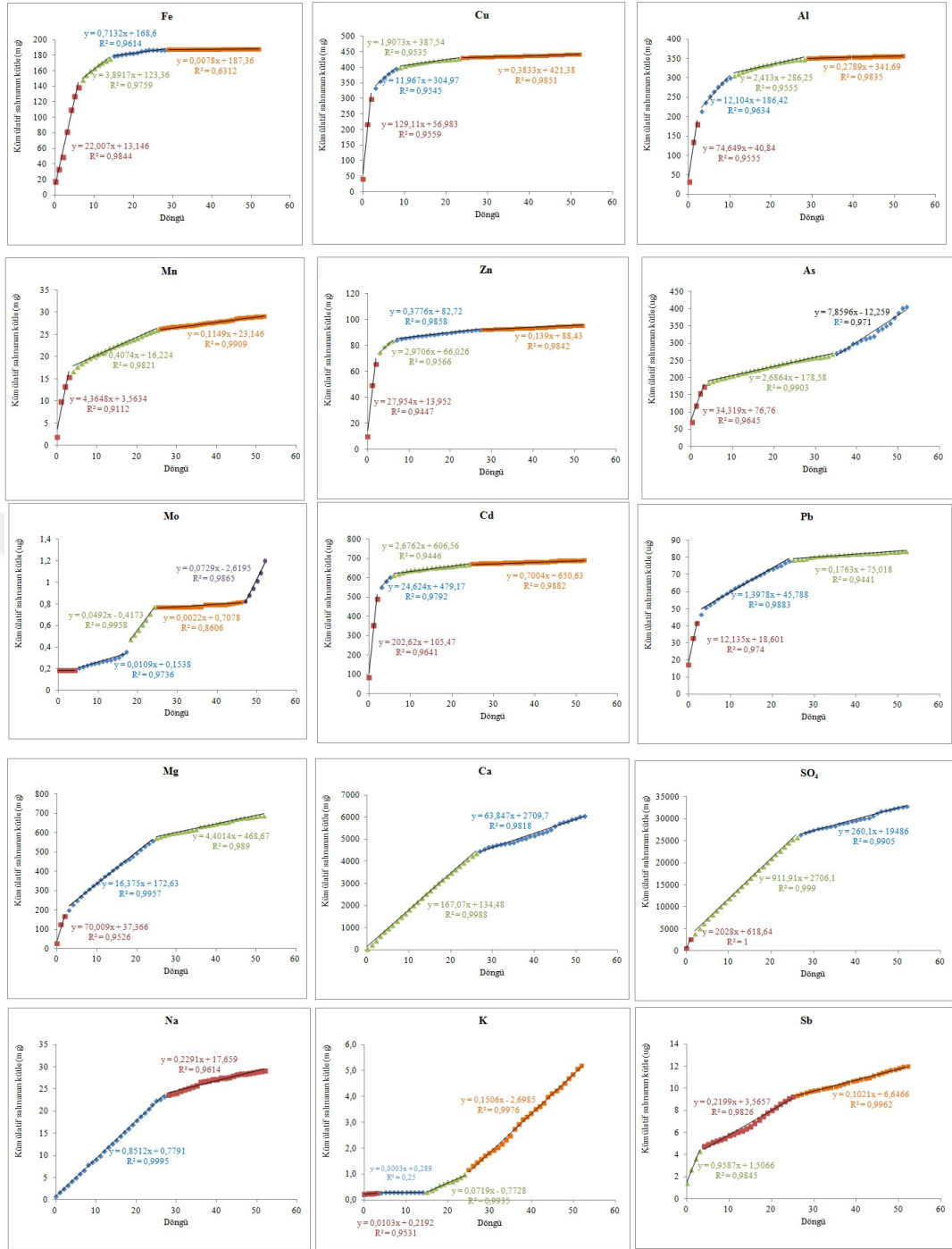
Tablo 3.2, Tablo 3.5 ve Tablo 3.6'da bu örneklerde karşılaşılan mineral fazları verilmiştir. Örneklerin bünyesinde AMD ürünleri olan demir hidroksit (götüt) ve jarosit mineralleri bulunmaktadır (Tablo 3.6).

Bu örneklerdeki ana sülfid minerali, minör düzeyde bulunan mikron boyutundaki saçınımlı piritlerdir. Örneklerde yapılan sülfür türleştirmesinde, piritik-S oranı K-12 örneğinde toplam kükürtün % 68'ine karşılık gelirken; K-16 örneğinde % 20 düzeylerinde olduğu saptanmıştır (Tablo 3.35). K-16 örneğinde , amorf kükürt ve jips diğer kükürt fazlarıdır.

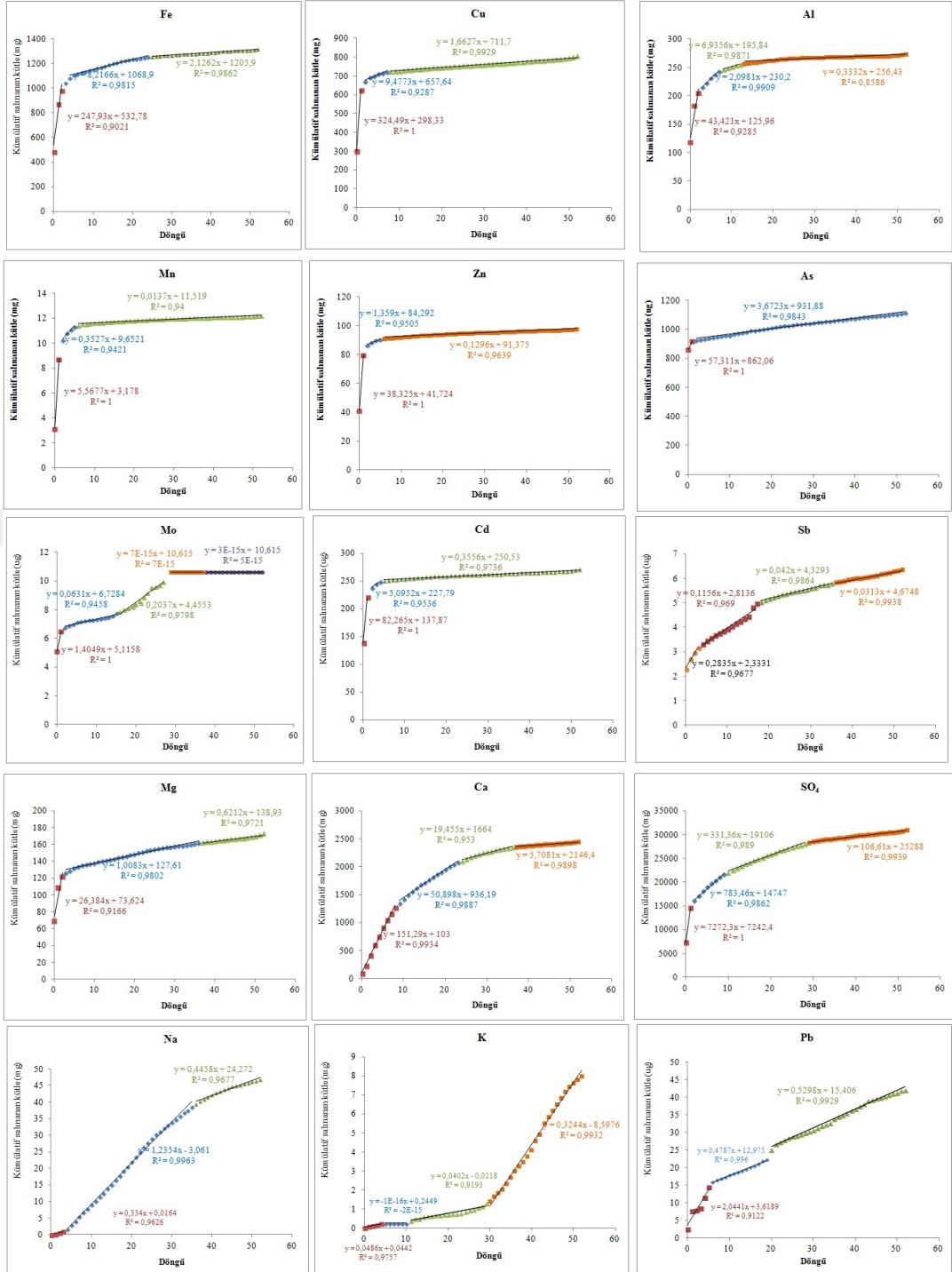
Mineral doygunluk indisleri, K-16 örneğinde, götüt dışındaki minerallerin; K-12 örneğinde ise incelenen tüm minerallerin çözünme eğiliminde olduğunu göstermiştir. Jeokimyasal modelleme çalışmalarında, K-12 örneğinden, farklı döngülerde alınan süzüntü sularının, Eh-pH diyagramında jarosit, demirhidroksit stabilite sınırları dışında yer alması ve mineral doygunluk indis değerleri bu minerallerin çözünme eğiliminde olduğunun göstergesidir (Şekil 3.114, Şekil 3.115, Şekil 3.116). Süzüntü sularının pH değerlerinin, deney süresince hafifçe artmasında, bu minerallerin çözünmesinin de etkili olduğu düşünülmektedir (Şekil 3.116).

Tablo 3.42. Kuvarshan mekan kaya (K-16) ve Murgul eski işletme cevherli dasit pasa (K-12) örneklerinde SO₄, Fe, Cu, Al ve As'ın salınım kinetikleri

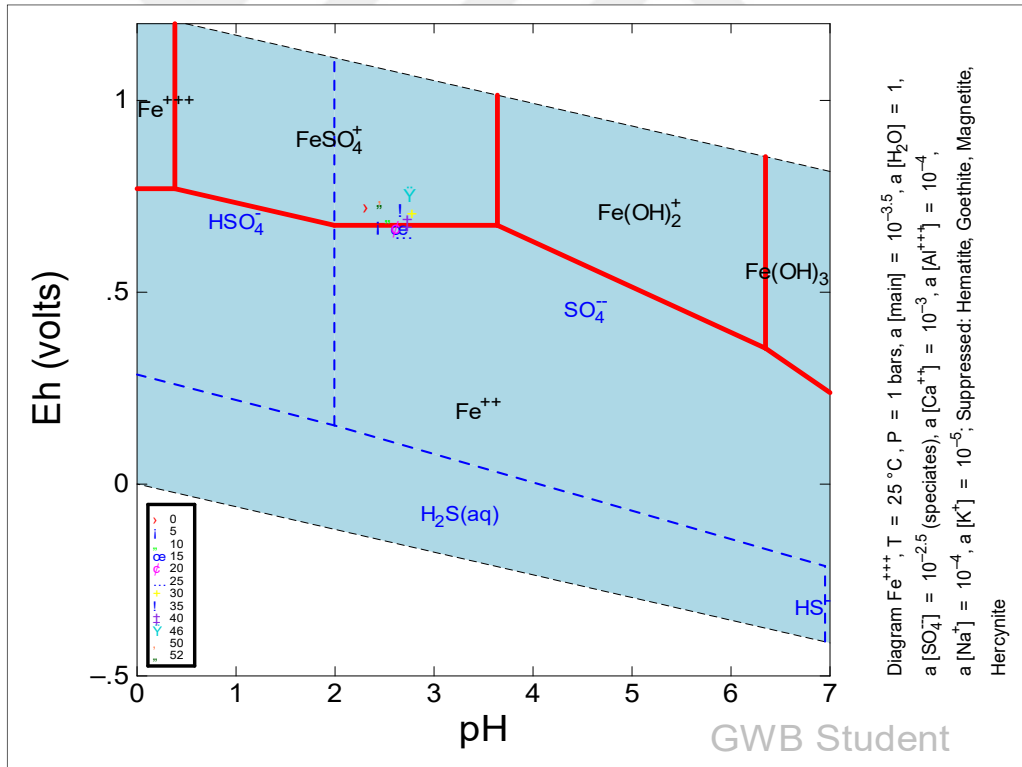
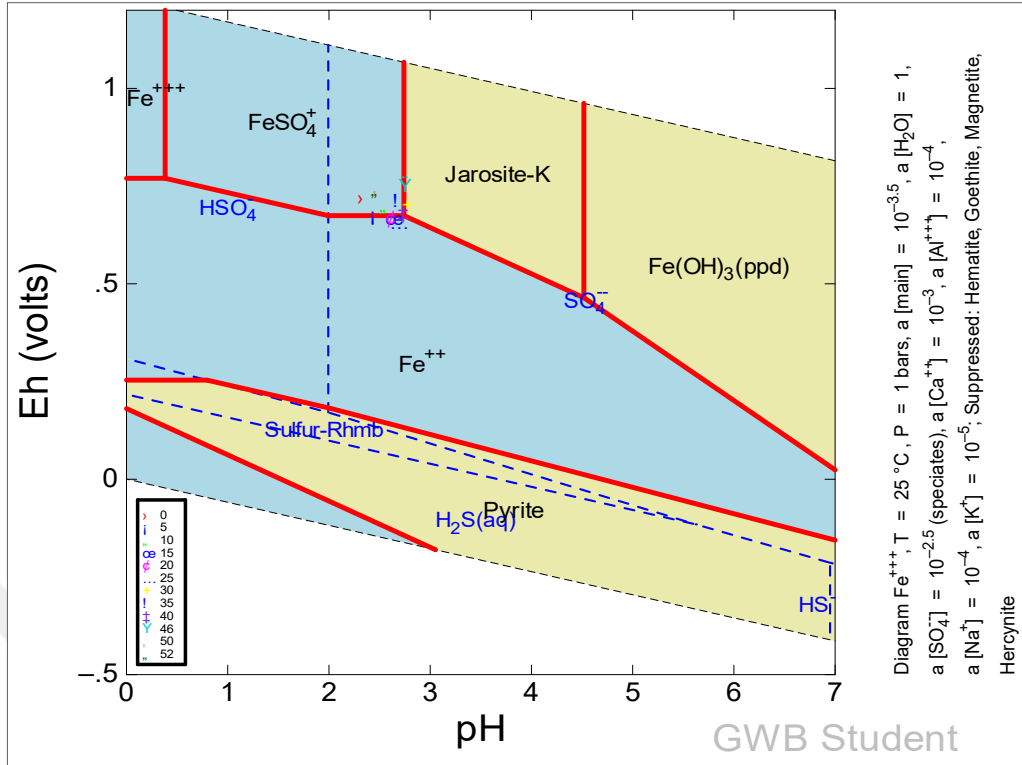
	K-16	K-12
SO ₄ (mg/kg/döngü)	0-1. döngü: 2028	0-1. döngü: 7272
	2-26. döngü: 912	2-7. döngü: 871
	27-52.döngü: 260	8-29. döngü: 351
		30-52.döngü: 107
Fe (mg/kg/döngü)	0-6. döngü: 22	0-2. döngü: 248
	7-14. döngü: 3,9	3-24. döngü: 8,2
	15-28. döngü: 0,71	25-52.döngü: 2,1
	29-52.döngü: 0,0078	
Cu (mg/kg/döngü)	0-2. döngü: 129	0-1. döngü: 324
	3-8. döngü: 12	2-7. döngü: 9,4
	9-23. döngü: 1,9	8-52. döngü: 1,66
	24-52.döngü:0,38	
Al (mg/kg/döngü)	0-2. döngü: 75	0-2. döngü: 43
	3-11. döngü: 12	3-7. döngü: 6,93
	12-28. döngü: 2,4	8-12. döngü: 2,1
	29-52.döngü: 0,28	13-52. döngü: 0,33
As (µg/kg/döngü)	0-3. döngü: 34,3	0-1. döngü: 57
	4-34. döngü: 2,69	2-52. döngü: 3,7
	35-52.döngü: 7,86	



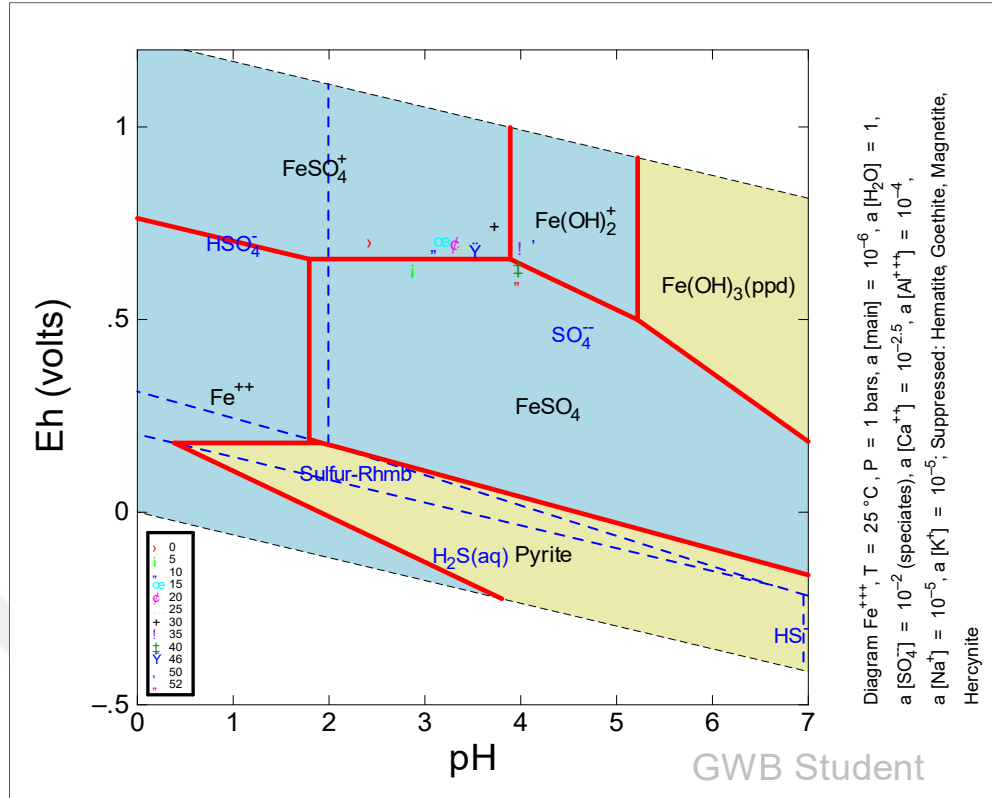
Şekil 3.112. Kuvarshan mekan kaya (K-16) örneğinden salınan ürünlerin kümülatif miktarının ve salınım hızlarının zamana bağlı değişimi



Şekil 3.113. Murgul eski işletme tesisi pasa örneğinden (K-12) salınan ürünlerin kümülatif miktarının ve salınım hızlarının zamana bağlı değişimi



Şekil 3.114. Nem hücresi deneyinde K-12 (Eski İşletme pasa) örneğinden farklı döngülerde elde edilen süzüntü sularının Eh-pH stabilite diyagramındaki konumu ve Fe ve S türleşmesi

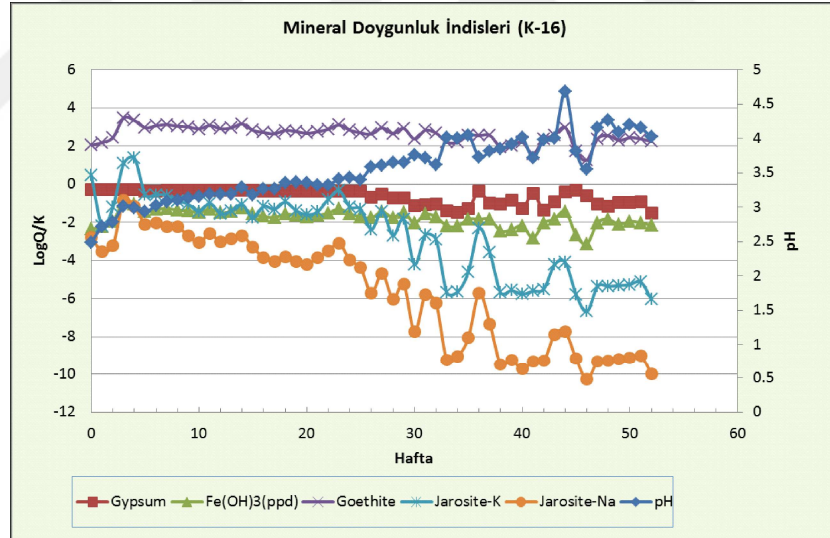
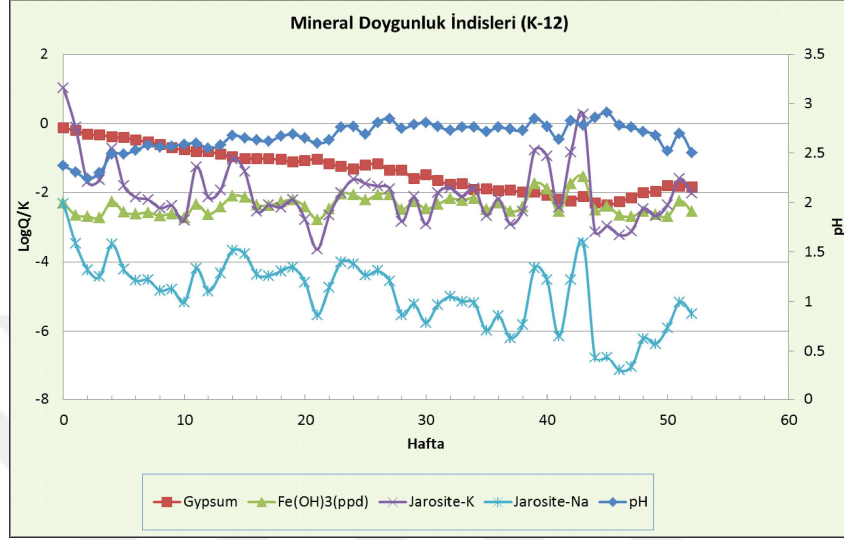


Şekil 3.115. Nem hücresi deneyinde K-16 Kuarshan mekan kaya örneğinden farklı döngülerde elde edilen süzüntü sularının Eh-pH stabilite diyagramındaki konumu ve Fe ve S türleştirilmesi

Nem hücresi deneyinin bitiminde, açılan hücreden çıkarılan örnekler, alt-orta-üst zon olarak ayrılmış, her bir zondan ve ardından tüm örneği temsilen karışım örneği alınmıştır. Bu zonlar arasında, fiziksel herhangi bir farklılığa, iki örnekte de rastlanmamıştır. Deney sonucunda gelişen mineral fazlarını belirlemek için yapılan XRD sonuçları Ek-F'de verilmiştir.

Deney sonunda, K-16 örneğinin nem hücresinin üst kısmından alınan örnekler üzerinde yapılan XRD analizinde ramsbekit minerali $[(\text{Cu}, \text{Zn})_{15}(\text{SO}_4)_4\text{OH}_{22} \cdot 6(\text{H}_2\text{O})]$ tespit edilmiştir (Ek-F). Sülfat konsantrasyonundaki ani düşüşe Zn ve Cu konsantrasyonundaki düşüşün eşlik etmesi, bu değişimden ramsbekit minerali çökelişinin sorumlu olduğunu göstermektedir. Piritin ve jipsin tüketilmediği, hem karışım, hem de üst zondan alınan örnekte var olduğu görülmüştür. Örnekte var olan dolomit ise deney sonunda herhangi bir zonda tespit edilmemiştir, örneğin pH değerinde zamanla gerçekleşen artışta dolomitin çözünmesinin de katkısı olduğu düşünülmektedir.

K-12 örneğinde, mineral doygunluk indisi, çözünme eğiliminde olduğunu işaret eden jipsin, deney bitiminde tüketildiği görülmüştür. Dolayısı ile, örnekten alınan karışım ve alt zon örneklerinde jips tespit edilememiştir (EK-F). Örneğin alt ve karışım örneklerinde ramsbekit tespit edilmiştir.

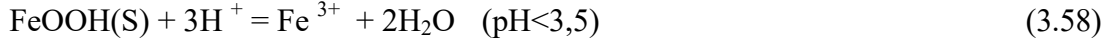
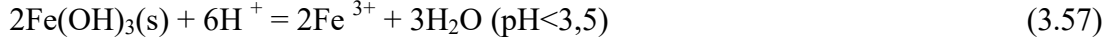


Şekil 3.116. K-12 (Eski İşletme cevherli dasit pasa) ve K-16 (Kuararshan mekan kaya) örneklerinden elde edilen süzöntü sularının mineral doygunluk indislerinin değişimi

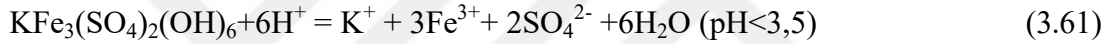
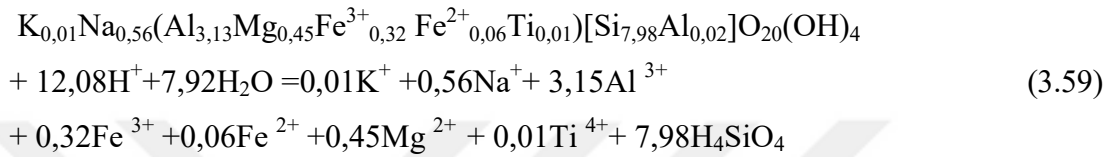
Bu örnekler için önerilen AMD reaksiyonları aşağıda sunulmuştur;



pH>3,5 koşulunda, K-16 örneğinde;



Kaolinitin asidik ortamda çözünmesi;



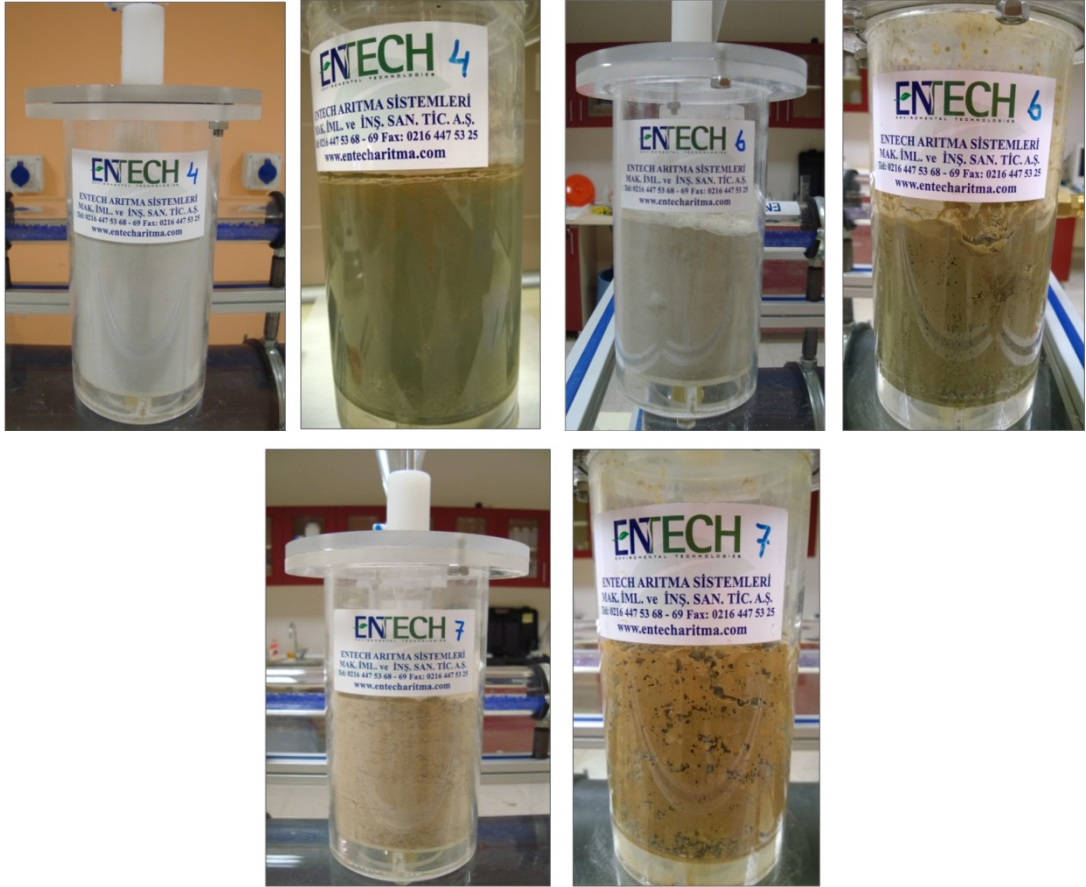
Ramsbekit [(Cu, Zn)₁₅(SO₄)₄OH₂₂ · 6(H₂O)] çökelişi

İncelenen örnekler arasında, AMD üretmeyen örnekler, Murgul atık barajından alınan flotasyon atığı (SD-34), Murgul sahasından alınan dekapaj malzemesi (K-18) ve Çarkbaşı sahasından alınan cevherli dasittir (K-19). Örneklerin nem hücresi deneyinin başlangıcında ve bitimindeki görüntüleri Şekil 3.117'de verilmiştir. Bu üç örnek arasında, gözle görülebilen fiziksel değişikliğe uğrayan tek örnek SD-34'dür, bu örneğin en üst tabakasında, ince bir oksitlenmiş kısım oluşmuştur.

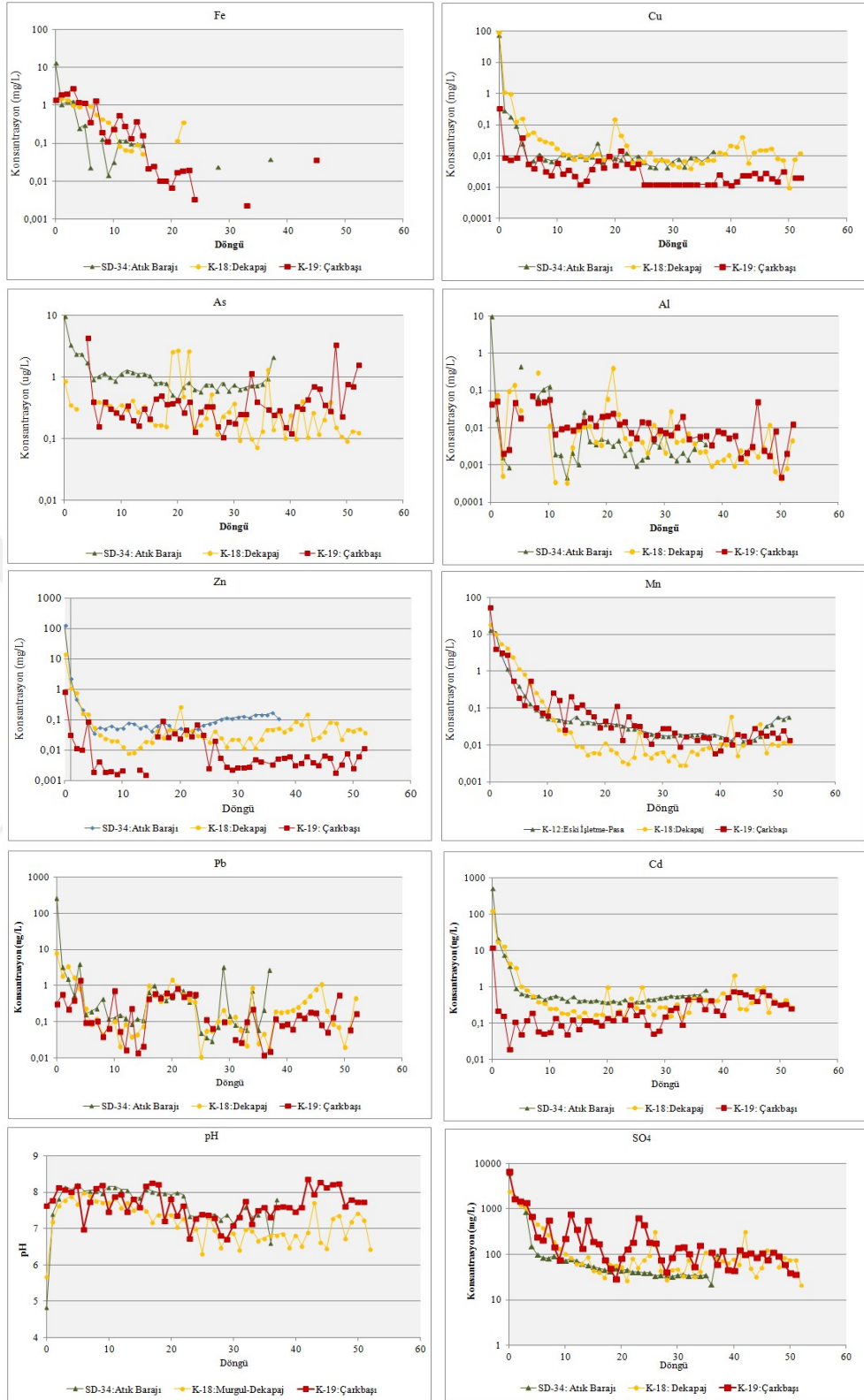
Çarkbaşı cevherli dasit örneği, test boyunca 7-8 aralığında bir pH sergilemiştir. Atık barajı ve dekapaj malzemesinden alınan süzüntü sularında ise, başlangıçtaki hafif asidik karakter (5-5,7), 1-2. döngülerde bazik (8) karaktere dönüşmüş, sonraki dönemlerde örneklerin tamponlama kapasitelerinin azalmasıyla, pH'da hafif bir düşüş görülse de, deney boyunca bazik karakterini korumuştur (Şekil 3.118).

Bu örnekler de, diğer örneklerde olduğu gibi, başlangıçta hızlı fakat giderek yavaşlayan metal salınımı gözlenmiştir. Metal ve sülfat salınım kinetikleri ve konsantrasyonları ise, asidik drenaj oluşan diğer örneklere göre, oldukça düşük düzeydedir (Tablo 3.43, Şekil 3.119-3.121).

Her üç örnekte de, en fazla salınım, örneklerin bünyesindeki AMD ürünlerinin yıkandığı, testin ilk döngüsünde görülmüştür. Örneklerin üçünde de, testin ilk döngülerinde yüksek olan sülfat ve metal salınımı, ilerleyen döngülerde düşmüş ve diğer örneklerle karşılaştırıldığında son derece düşük düzeylerde seyretmiştir (Tablo 3.43). Örneklerde metal salınım kinetiklerinin düşük olması, piritin oksidasyonu sonucu oluşan asiditenin, örneklerin asit nötralizasyon kapasitesi tarafından tamponlanmasından kaynaklanmaktadır (Şekil 3.80, Şekil 3.83).



Şekil 3.117. Nem hücresi deneyinin başlangıcında ve bitiminde, SD-34 (4 numaralı hücre), K-19 (6 numaralı hücre), K-18 (7 numaralı hücre) örneklerinin görünüm ve yapısındaki değişim



Şekil 3.118. K-18, K-19 ve SD-34 örneklerinde süzöntü suyunun pH değerinin, sülfat ve metal konsantrasyonlarının zamana bağlı değişimi

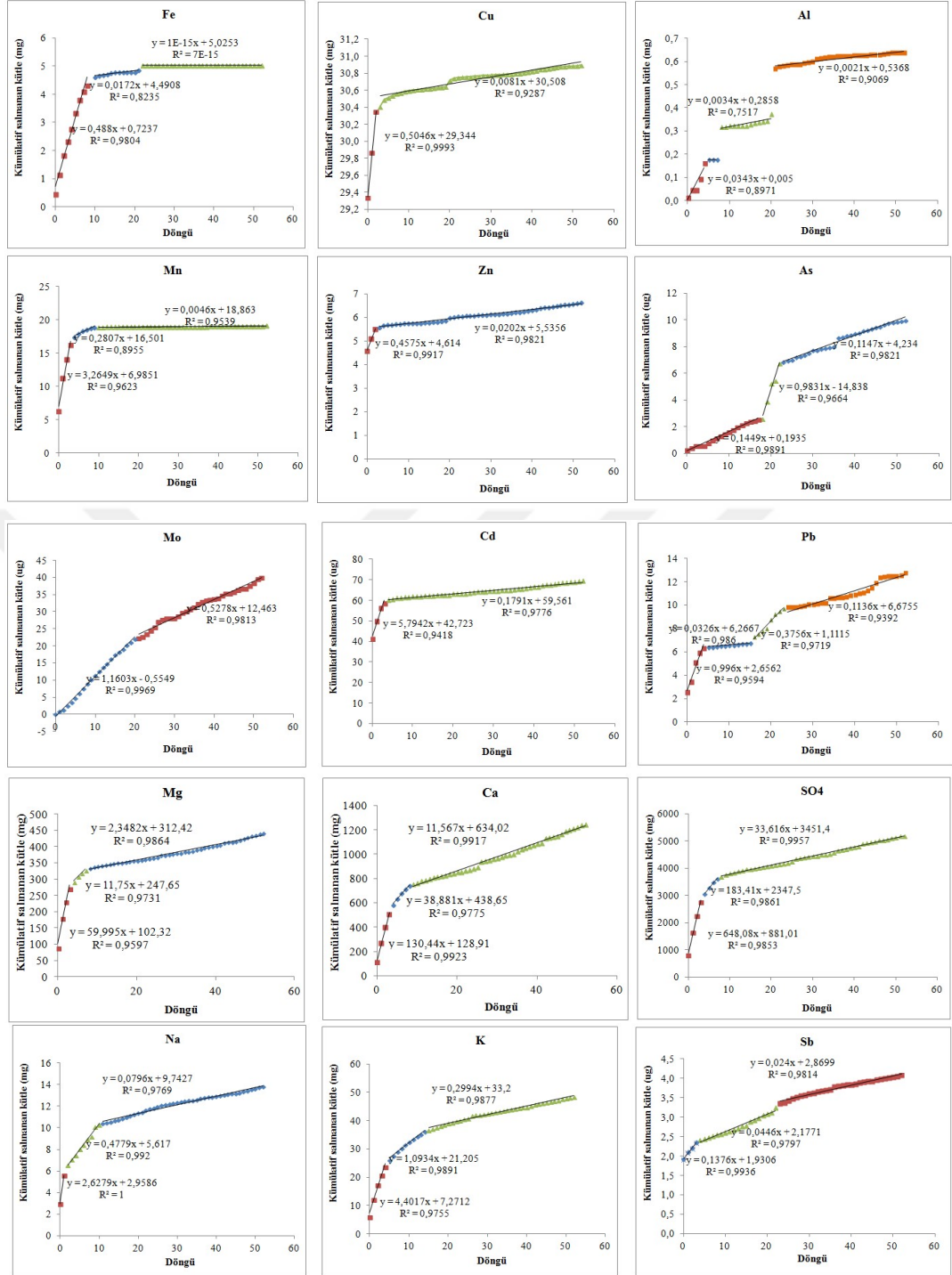
Tablo 3.43. Murgul atık barajı flotasyon çamuru, dekapaj ve cevherli dasit örneklerinde SO₄, Fe, Cu, Al ve As'ın salınım kinetikleri

	SD-34	K-18	K-19
	Atık Barajı	Murgul-Dekapaj	Çarkbaşı-Cevherli Dasit
SO₄ (mg/kg/döngü)	0-3. döngü: 685	0-6. döngü: 493	0-4. döngü: 640
	4-37. döngü: 24	7-52. döngü: 33,6	5-24. döngü: 114 24-52 döngü: 38
Fe (mg/kg/döngü)	0-3. döngü: 0,57	0-8. döngü: 0,49	0-6. döngü: 0,82
	4-15. döngü: 0,04	9-21. döngü: 0,017	7-14. döngü: 0,13
	16-37.döngü: 0,001	22-52.döngü:1E-15	15-52.döngü: 0,014
Cu (mg/kg/döngü)	0-2. döngü: 0,12	0-2. döngü: 0,5	0-3. döngü: 0,004
	3-37. döngü:0,0045	3-52. döngü:0,0081	4-24.döngü: 0,002 25-52.döngü: 0,0008
Al (mg/kg/döngü)	0-4. döngü: 0,002	0-4. döngü: 0,03	0-9. döngü: 0,014
	5-9. döngü: 0,02	5-7. döngü: 0	10-24. döngü:0,007
	10-37. döngü:0,002	8-19. döngü: 0,003	25-52.döngü:0,0035
		21-52.	
As (µg/kg/döngü)	0-3. döngü: 1,3	0-18. döngü: 0,15	0-3. döngü: 0
	4-11. döngü: 0,5	19-22. döngü: 0,98	4-52. döngü: 0,16
	12-37. döngü: 0,36	22-52. döngü: 0,12	

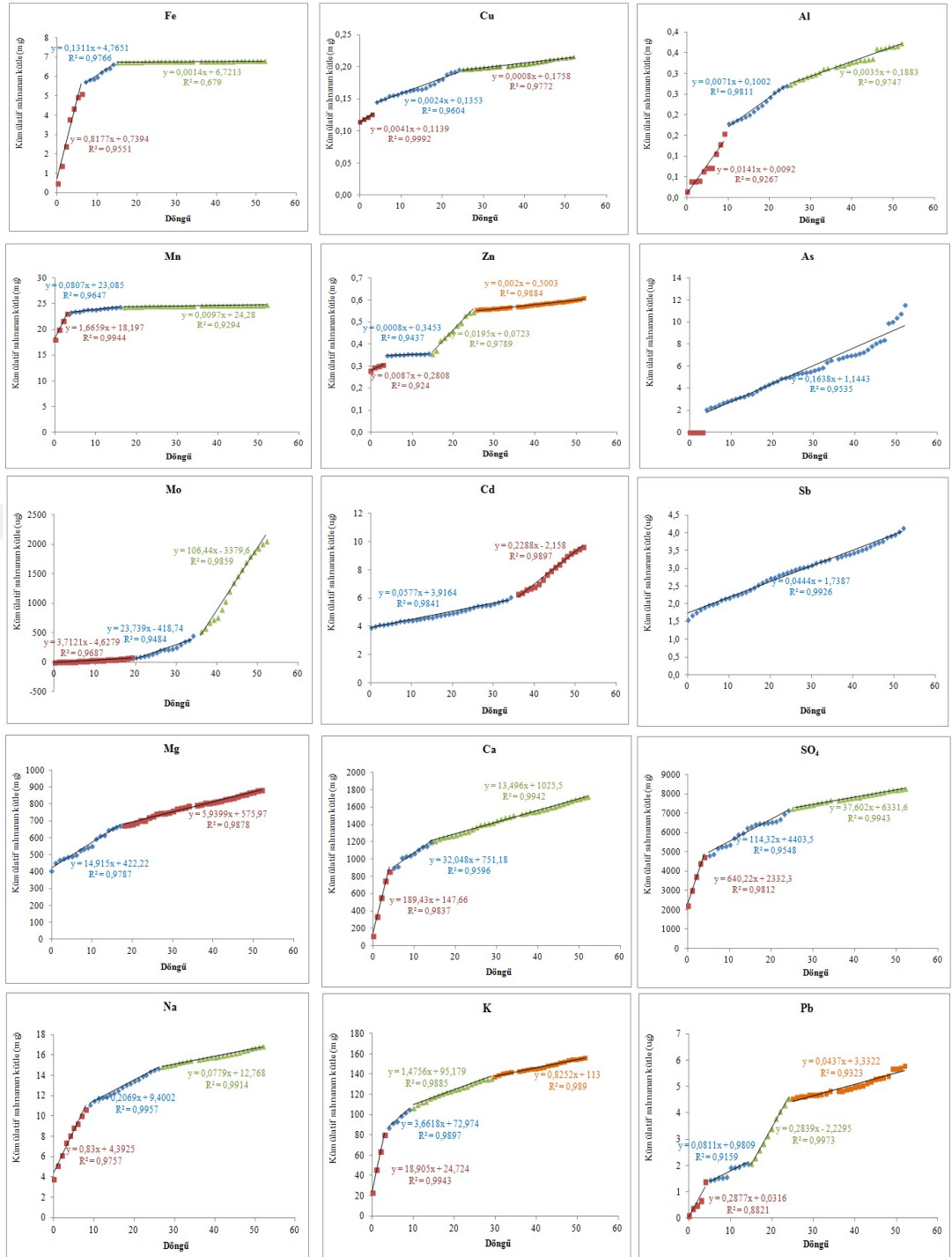
Her üç örnekte de, ana sülfid mineral fazı olan pirit; K-18 ve SD-34 örneğinde majör; K-19'da ise minör düzeyde bulunmaktadır (Tablo 3.4, Tablo 3.5 ve Tablo 3.6). Çarkbaşı cevherli dasit (K-19) örneğinde, kalkopirit ve sfalerit eser düzeylerde bulunmaktadır. Toplam sülfür yüzdesi % 7,84 olan K-19 örneğinde sülfid sülfür katkısı % 97'dir. Parlak kesit incelemelerinde pirit tanelerinin iri ve kümeler halinde bulunduğu tespit edilmiş ve örnekte düşük düzeyde oksidasyon izleri görülmüştür.

Dekapaj malzemesi (K-18), bu örnekler arasında alterasyon derecesi en yüksek olan örnektir. Pirit dışında herhangi bir sülfid minerali yoktur. Toplam sülfür yüzdesi % 1,8 iken bunun %92'si sülfid sülfürdür. Dolomit ile majör oranda bulunan kalsit, örneğe asit nötralize etme kapasitesi sağlayarak, asidik drenaj oluşumunun önüne geçmiştir

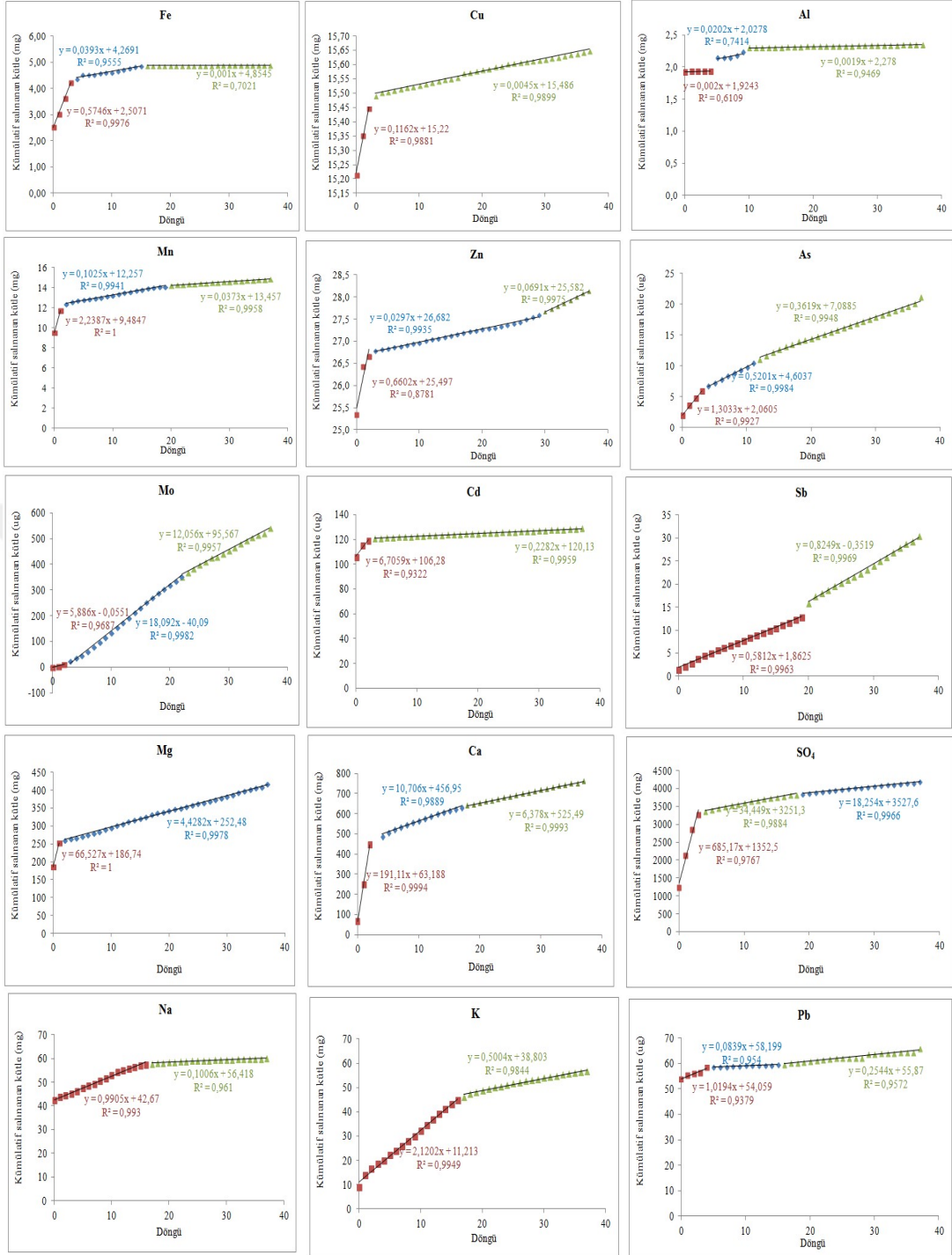
Atık barajı örneğinde (SD-34), eser düzeylerde kalkopirit ve sfalerit bulunmaktadır. Toplam sülfürü %3,9 ve sülfid sülfür katkısı % 96'dır. Oksidasyon derecesi düşük olan bu örnekte, AMD ürünleri olan bakır sülfat tuzları (kalkantit, rambeskit) ve ferrihidrit bulunmaktadır (Ek-E). Örneğin sülfat-S miktarı ise % 0,15-0,25 civarındadır.



Şekil 3.119. Murgul dekapaj (K-18) örneğinden salınan ürünlerin kümülatif miktarının ve salınım hızlarının zamana bağlı değişimi



Şekil 3.120. Çarkbaşı cevherli dasit (K-19) örneğinden salınan ürünlerin kümülatif miktarının ve salınım hızlarının zamana bağlı değişimi



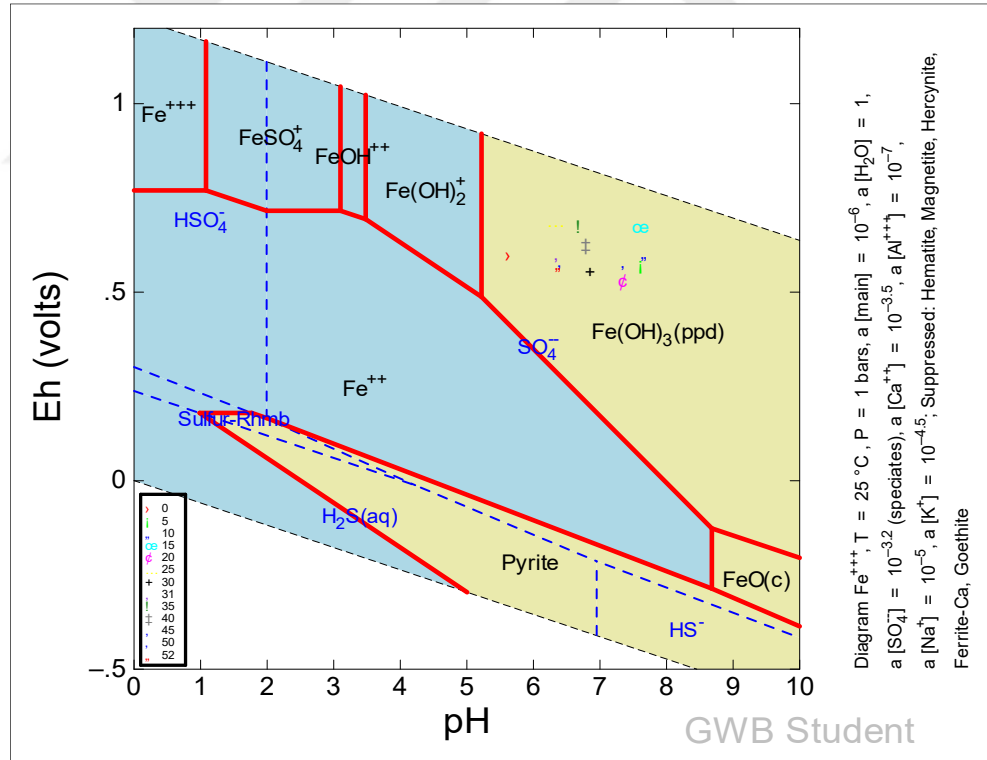
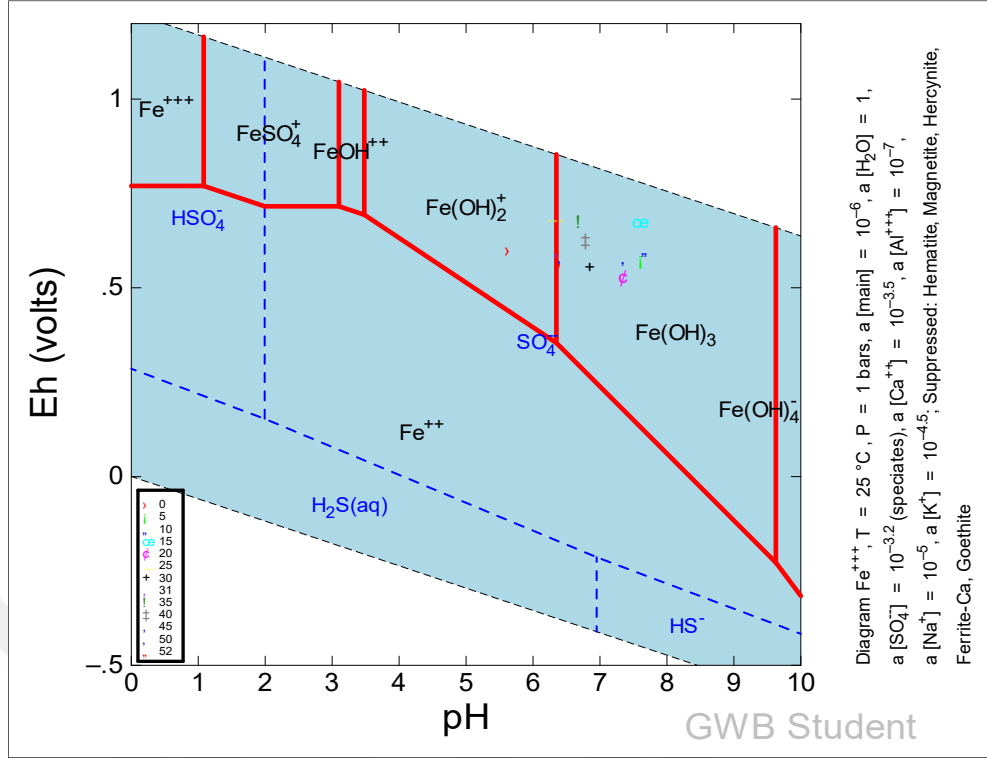
Şekil 3.121. Murgul atık barajı flotasyon atığından (SD-34) salınan ürünlerin kümülatif miktarının ve salınım hızlarının zamana bağlı değişimi

Örneklerde pH değerlerinin yüksek seyretmesi, diğer bir deyişle örneklerin asiti tamponlama kapasitesinin olması sebebiyle, AMD ürünleri metal hidroksit fazları olarak çökerek sistemden uzaklaşmış, bu minerallerin bazik koşullarda yavaşça çözünmesi de örneklerde gözlenen element salınımını kontrol etmiştir.

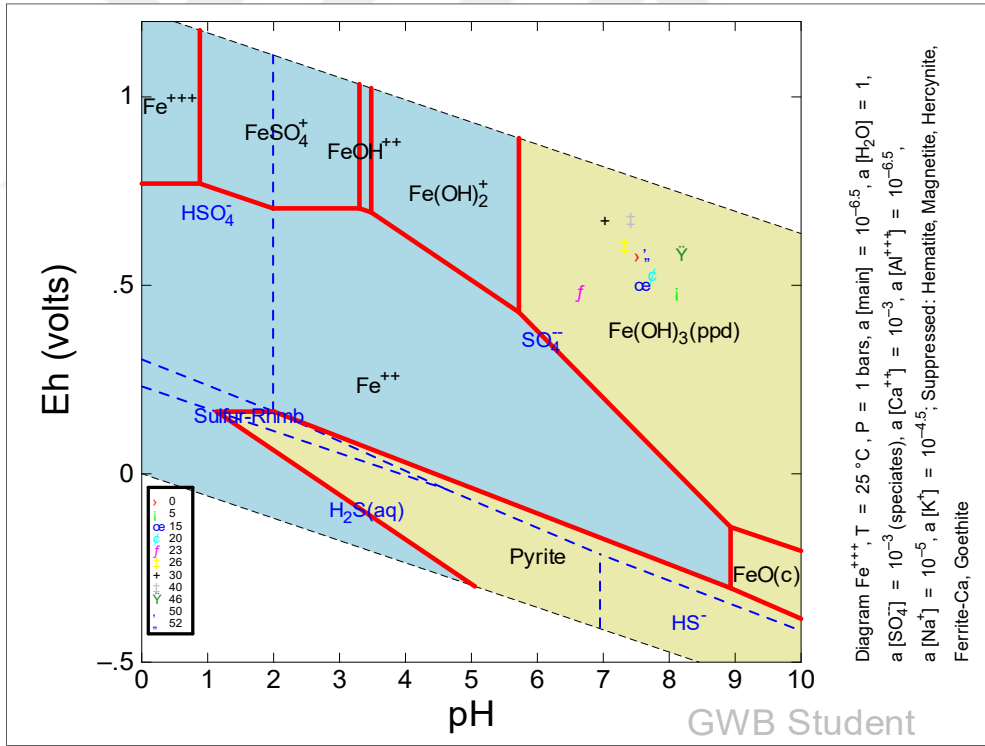
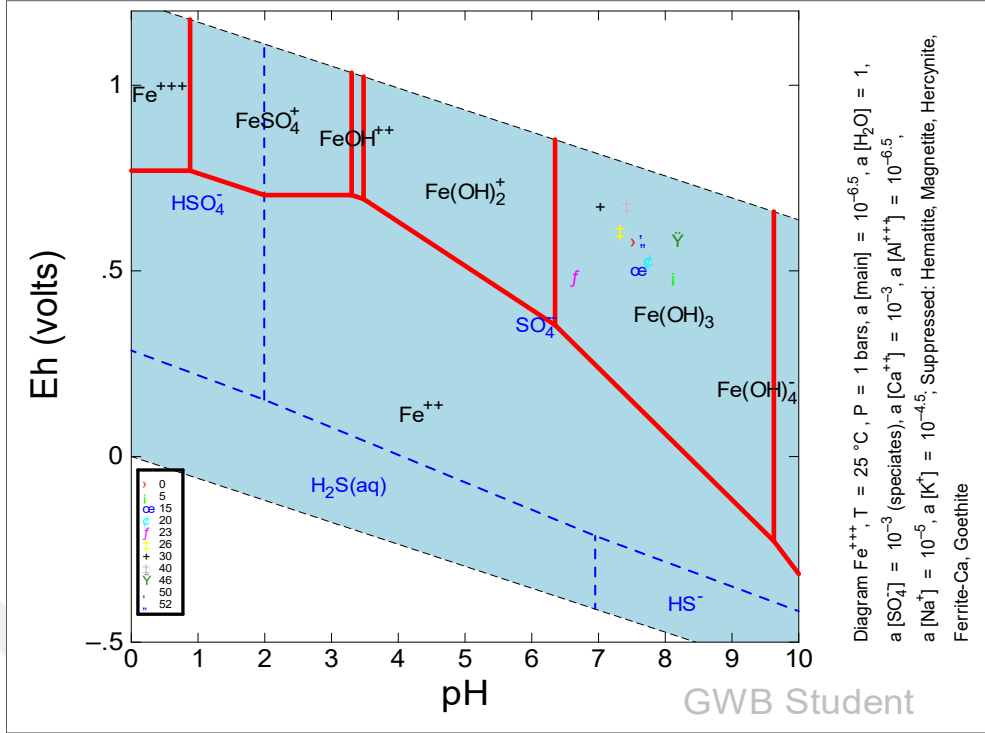
Jeokimyasal modelleme çalışmalarında da, farklı döngülerde elde edilen süzüntü sularının, Eh-pH diyagramında, $Fe(OH)_3(ppd)$ stabilite alanında yer alması bu sonucu desteklemektedir (Şekil 3.122- Şekil 3.124). Mineral doygunluk indisi hesapları da $Fe(OH)_3(ppd)$ mineral fazının, her üç örneğin süzüntü sularında aşırı doymun olduğunu, diğer bir deyişle çökelim eğiliminde olduğunu göstermektedir (Şekil 3.125).

Örneklerde bulunan diğer AMD ürünlerinin (K-19: Alunit, jips, SD-34:Jips) doygunluk indisleri ise, süzüntü sularında bu fazların çözünme eğiliminde olduğunu göstermektedir (Şekil 3.125). $Fe(OH)_3$ süzüntü sularında bulunan ana demir türüdür. Tüm süzüntü suları deney boyunca $Ca-SO_4$ ve $Mg-SO_4$ su fasiyesi sergilemiştir (Tablo 3.41).

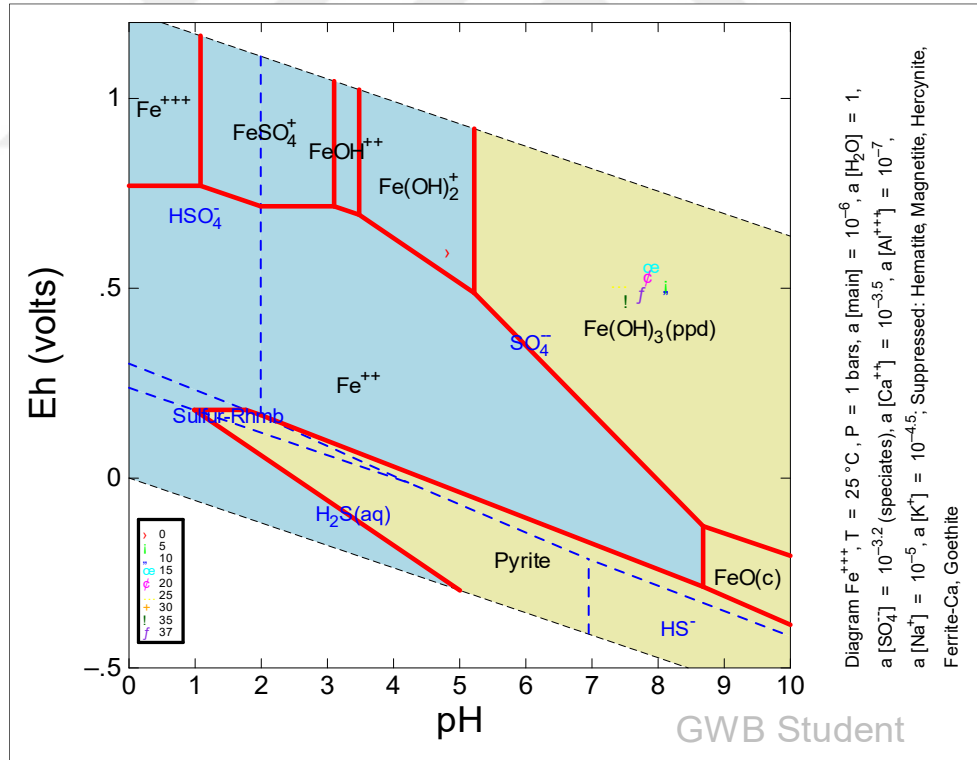
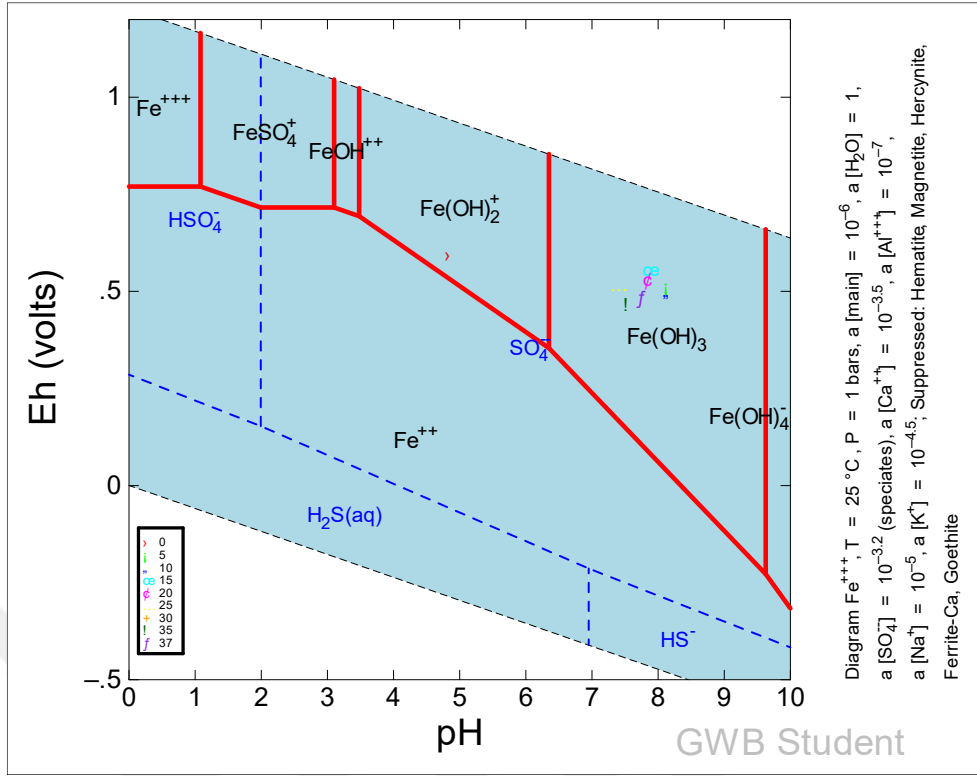
Bu üç örnekte, test süresince asidik drenaj oluşmamasında, bazı örneklerin alterasyon derecelerinin düşük olması (K-19); pirit mineral tanelerinin büyük olması (K-19) yada örneğin geçirgenliğinin düşük olmasının (SD-34) etkili olduğu söylenebilir. Bu etkenler, örneklerde AMD reaksiyon kinetiğinin oldukça yavaş gerçekleşmesine neden olmuştur.



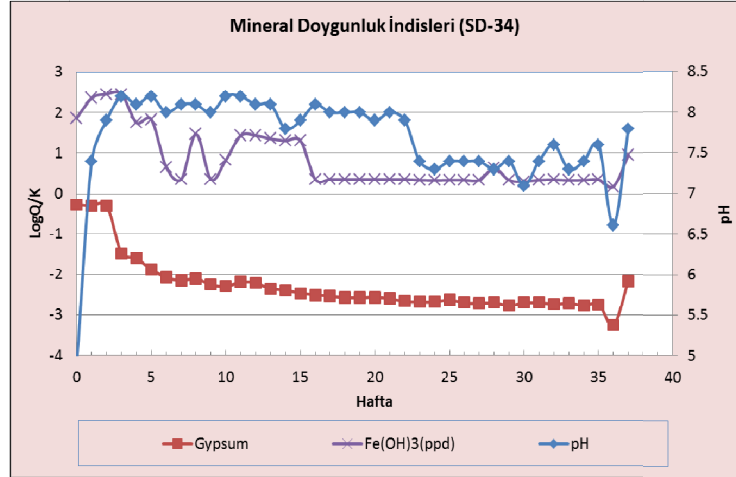
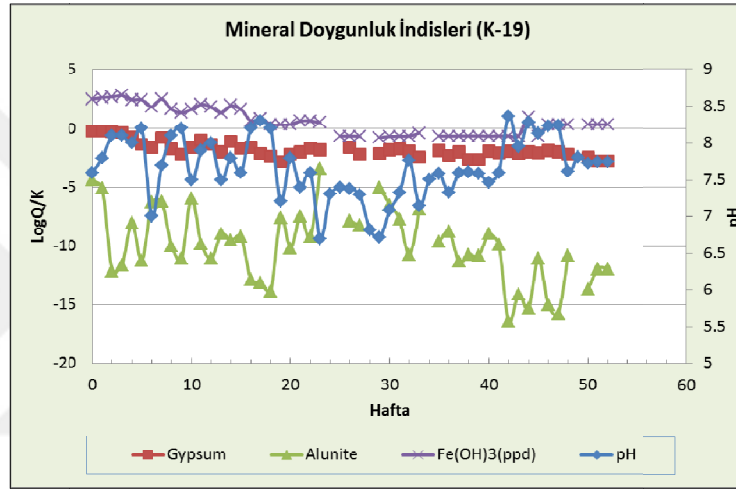
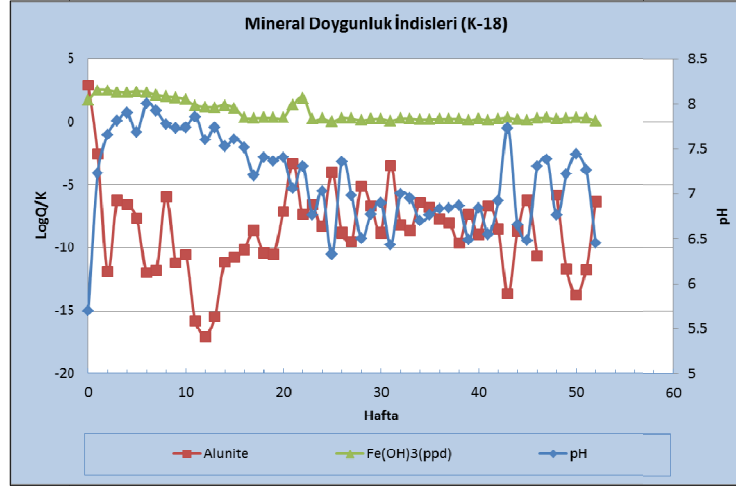
Şekil 3.122. Nem hücresi deneyinde K-18 (Murgul dekapaj) örneğinden farklı döngülerde elde edilen süzüntü sularının Eh-pH stabilite diyagramındaki konumu ve Fe ve S türleşirmesi



Şekil 3.123. Nem hücresi deneyinde K-19 (Çarkbaşı cevherli dasit) örneğinden farklı döngülerde elde edilen süzöntü sularının Eh-pH stabilite diyagramındaki konumu ve Fe ve S türleşmesi



Şekil 3.124. Nem hücresi deneyinde SD-34 (Atık barajı flotasyon çamuru) örneğinden farklı döngülerde elde edilen süzüntü sularının Eh-pH stabilite diyagramındaki konumu ve Fe ve S türleşmesi



Şekil 3.125. Murgul dekapaj (K-18), Çarkbaşı cevherli dasit (K-19) ve atık barajı flotasyon çamuru (SD-34) örneklerinden elde edilen süzüntü sularının mineral doygunluk indislerinin değişimi

İncelenen örnekler içinde, SD-34 (atık barajı flotasyon çamuru), düşük geçirgenliği ile diğer örneklerden ayrılmaktadır. Diğer örnekler verilen suyun süzülmesi

genellikle en fazla 1 saati bulurken, SD-34 örneğine verilen suyun süzülmesi 2 gün içinde tamamlanmaktadır. Bu örnekte, deney sürecinde, pirit oksidasyonu sonucu oluşan demir hidroksit fazlarının örneğin gözeneklerini tıkaması sonucu geçirgenlik düşmüş, süzülme hızı oldukça yavaşlamıştır. Örneğe 37. döngüde verilen suyun 23 günde süzülmesi sonunda, SD-34 örneği için deneyin sonlandırılmasına karar verilmiştir.

Test sonunda nem hücresi açılarak akış yönünde örnek üç eşit parçaya bölünmüş, oda sıcaklığında kurutulan ve homojenize edilen örnekler, metal dağılımını ve oluşan mineral fazlarını belirlemek amacıyla XRF ve XRD analizlerine tabi tutulmuştur. Alınan örneklerin XRD grafikleri ve analiz sonuçları Ek-F ve Tablo 3.4'de sunulmuştur.

Nem hücresi deneyi sonunda, hücresinden çıkarılan örnekler, 3 zona ayrıldığında fiziksel olarak, gözle görülebilir bir değişim sadece SD-34 örneğinde görülmüştür.

K-18 örneğine, nem hücresi deneyinin sonunda yapılan XRD analizinde, nem hücresinin alt kısmında lokal olarak düşük düzeylerde alunit ve jarosit çökelimlerine (%4) rastlanmıştır (Ek-F). Mineral doygunluk indisleri ise süzüntü sularında bu minerallerin doymun olmadığı ve çözünme eğiliminde olduğunu göstermektedir. Nem hücresinin genelinde bu fazların görünmemesi, nem hücresindeki mevcut jeokimyasal koşullar altında mineral fazlarının duraylılığının düşük olduğunu göstermektedir.

K-19 örneğinin orijinalinde var olan ramsbekit ve kalkopirit, deney bitiminde açılan hücrenin de tüm zonlarında varlığını sürdürmüştür, jipsin ise tüketildiği dikkati çekmiştir (Ek-F). Mineral doygunluk indisi açısından da çözünme eğiliminde olduğu tespit edilen jipsin tüketilmiş olması, örnekteki sülfat salınımında en büyük etken olduğunun kanıtıdır.

Atık barajı örneğine (SD-34) ait nem hücresi deney bitiminde açıldığında, hücrenin havayla temas eden üst ve alt düzeylerinde, pirit oksidasyonu sonucu oluşmuş demir oksit fazları görülmüştür. Üst düzeyin yaklaşık 50 mm'lik bölümünde bu fazlar daha belirgindir (Şekil 3.126).

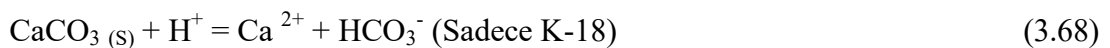
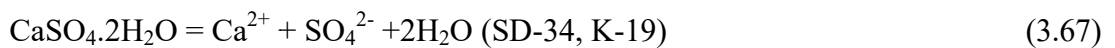


Şekil 3.126. Atık barajı örneğinde (SD-34) nem hücresi deneyi sonrasında hücrenin üst, orta ve alt kesimlerinde alınan örneklerin görünümü

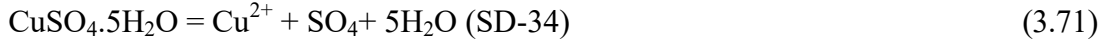
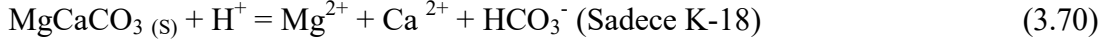
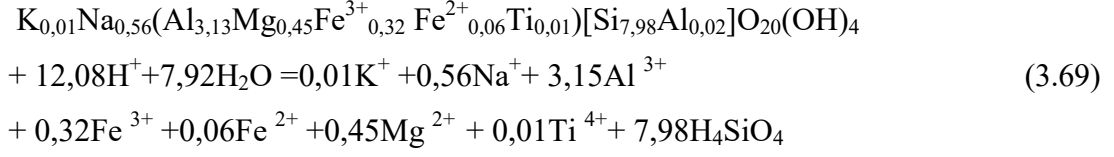
Nem hücresinden alınan örneğin tamamının karıştırılması sonucu elde edilen karışım örneğinde yapılan XRD analizi sonucunda, ferrihidrit, ramsbekit ve götit mineral fazları birlikte görülmektedir. Örneğin geçirgenliğinin düşük olması sebebiyle, kuru ve nemli hava etkin bir şekilde örneğin tümüne nüfuz edememiş, dolayısıyla örnekteki piritlerin hava ile teması yetersiz kaldığından, oksitlenmeleri de sınırlanmıştır. Sınırlı düzeyde de gelişen pirit oksidasyonu da, örneğin asit nötralize etme kapasite ile tamponlanmıştır.

Yapılan XRD, XRF ve jeokimyasal modelleme analizlerinde örneğin bünyesindeki jipsin, çözünmeyle, önemli ölçüde tüketildiğini göstermektedir (Ek-F). Bunu, jips içeren örnekte, nem hücresi testi sonrasında jips mineraline rastlanmamış olması da desteklemektedir (Ek-E ve Ek- C). Örneğin CaO düzeyleri de % 0,4 den % 0,1'e düşmüştür. Diğer metallerde meydana gelen azalma ise nispeten düşük düzeylerde kalmıştır (Tablo 3.44).

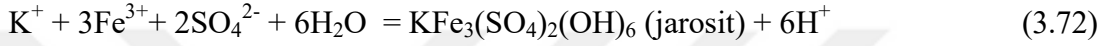
Yukarıda sunulan tüm veriler ışığında K-18, K-19 ve SD-34 örneklerinde öngörülen AMD reaksiyonları aşağıdaki gibidir;



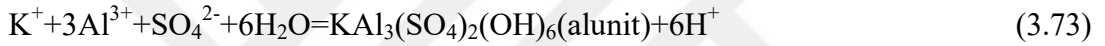
Kaolinitin asidik ortamda çözünmesi;



Sadece K-19'da düşük düzeyde, pH>3,5 koşullarında;



Sadece K-19'da düşük düzeyde, pH>3,5 koşullarında;



Tablo 3.44. Nem hücresi deneyi sonrası SD-34 örneğinin farklı düzeylerinden alınan örneklerin kimyasal bileşimi

		SD-34 deney öncesi	En üst oksitli zon	Üst	Orta	Alt
SiO ₂	%	71,11	69,89	69,75	69,91	60,06
Al ₂ O ₃	%	9,05	10,52	9,82	9,87	8,30
Fe ₂ O ₃	%	3,95	5,07	4,70	4,38	4,09
MgO	%	1,07	0,88	0,88	0,95	0,77
CaO	%	0,42	0,08	0,11	0,16	0,17
Na ₂ O	%	0,15	0,14	0,12	0,12	0,11
K ₂ O	%	1,75	2,16	2,10	2,06	1,78
TiO ₂	%	0,15	0,16	0,17	0,17	0,15
P ₂ O ₅	%	0,04	0,05	0,05	0,04	0,04
MnO	%	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Cr ₂ O ₃	%	0,02	0,31	0,10		0,02
SO ₃	%	5,98	5,46	6,31	6,68	5,54
LOI	%	5,52	4,52	5,08	4,89	4,64
Toplam	%	99,23	99,25	99,23	99,25	85,68
As	ppm	106	116	137	114	97
Ba	ppm	5222	5137	5424	5301	5541
Cu	ppm	392	388	385	353	348
Mo	ppm				15	12
Ni	ppm	80	26		18	
Pb	ppm	74	88	90	78	86
Rb	ppm	21	23	22	20	21
Sr	ppm	114	121	128	126	112
Zn	ppm	509	549	540	493	463
Zr	ppm	43	46	44	46	39

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tez kapsamında, Artvin'de, çalışmanın yapıldığı dönemde işletilmekte olan Murgul bakır madeni ile yaklaşık 75 yıldır terkedilmiş durumdaki Kuvarshan bakır madeninin, çevresindeki yüzey sularına etkisi incelenmiş, cevherleşmeyle ilişkili dasitik seri kayaların ve maden atıklarının (pasa, dekapaj, flotasyon çamuru) asidik drenaj üretme potansiyelleri deneylerle belirlenmiştir.

Statik deneylerle örneklerin asit üretme potansiyelleri hakkında ön tanımlamalar yapıldıktan sonra, nem hücresi testi yapılmıştır. Nem hücresi deneyi sırasında oluşan süzüntü sularının kimyası ve örneklerden gerçekleşen metal salınım kinetikleri belirlenmiş, AMD oluşumunu kontrol eden jeokimyasal süreçler ortaya konmuştur.

Madencilik faaliyetlerinin Murgul Deresi üzerindeki olumsuz etkileri en ciddi boyutta 2011-Ağustos döneminde gözlemlenmiştir. Atık barajı derivasyon tüneline Lepisküdere vadisi boyunca Murgul Deresi'ne karışan yoğun flotasyon çamurunun etkisi Murgul Deresi'nin Borçka Baraj sularıyla kavuşma noktasına kadar yoğun bir şekilde hissedilmiştir. Bu dönemdeki yoğun kirlenme sebebiyle, Murgul Deresi, Lepisküdere karışımından itibaren, Borçka Barajı su kavuşum alanına kadar IV. sınıf su kalitesi sergilemiştir.

2011-Ağustos döneminde, maden kaynaklı kirlenmenin etkisi Murgul Deresi sedimentlerinde araştırılmıştır. Atık su barajından olan kaçakların, Murgul Deresi'ne karışmaya başladığı Lepisküdere karışımından itibaren özellikle, S, Cu, As ve Zn elementlerinde, Murgul Deresi-Borçka Barajı kavuşum noktasına kadar belirgin bir artış gözlenmiştir. Yine aynı dönemde, Damar sahasından, Damar Deresi yankoluna yapılan drenajların, dere sedimentleri üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Damar Deresi Murgul Deresi kavuşma alanından alınan sediment örneğinde (SD-11), derenin temiz kısmına (SD-10) göre metal değerlerinde (özellikle Cu, Zn) artış gözlenmiştir; Al ve Fe değerlerinde ise belirgin bir değişim gözlenmemiştir. Ancak bu durum, 2013 yılında Damar sahasının kapanması ve deşarjların durması ile son bulmuştur.

Damar Deresi Murgul Deresi kavuşma alanından alınan sediment örneğinde (SD-11), derenin temiz kısmına (SD-10) göre metal değerlerinde (özellikle Cu, Zn) artış gözlenmiştir; Al ve Fe değerlerinde ise belirgin bir değişim gözlenmemiştir. Ancak bu durum 2013 yılında Damar sahasının kapanması ve deşarjların durmasıyla son bulmuştur.

2012-Mayıs döneminde, Lepisküdere vadisi boyunca Murgul Deresi'ne karışan flotasyon çamuru kaçakların önlendiği, dolayısıyla Murgul Deresi'ni etkileyen kirletici kaynaklarının metal yüklerinde ciddi bir azalmanın meydana geldiği ve Murgul Deresi'nin su kalitesinin önemli ölçüde iyileştiği görülmüştür. Bu dönemde çözünmüş fazdaki kirletici yüklerinin etkisinin Borçka barajı su toplama sınırına doğru kaybolduğu tespit edilmiştir.

2013-Ağustos döneminde ise önceki örnekleme çalışmalarında olmayan maden kaynaklı yeni bir kirletici kaynağının Murgul Deresi'ne olan etkisi tespit edilmiştir. Dekapaj sahası içinde depolanan yeraltı suları Lepisküdere vadisi Murgul Deresi kavuşumunda, açılan bir galeriyle Murgul Deresi'ne deşarj edilmeye başlanmıştır. Galeriden meydana gelen bu tahliyenin Murgul Deresi üzerindeki olumsuz etkisi, 2011-Ağustos dönemindeki kirlilikle karşılaştırılmayacak ölçekte olsa da, derenin su kimyasındaki değişim ve etkisi, nispeten benzer düzeylerde gerçekleşmiştir.

Tüm örnekleme dönemlerinde Murgul Deresi'nin maden etkisi altındaki bölümde dominant kirletici taşınım mekanizmasının askıdaki maddeye tutunarak gerçekleştiği görülmüştür.

Murgul madeninin geçmişte yarattığı çevresel kirliliğinin boyutu, Murgul Deresi ile Borçka Barajı rezervuarının kavuşum alanında çökelen onlarca metre kalınlığındaki atık çamur katmanlarıyla da net olarak görülmektedir. Murgul Deresi'nde dönemsel olarak farklı boyutlarda gözlenen metal kirliliğinin, yüksek oranda seyrelmeden dolayı baraj suyunun kalitesini bozmadığı gözlenmiştir. Ancak Murgul madeninden kaynaklanan atık çamurların hem Murgul deresi boyunca hem de Borçka Baraj rezervuarında oluşturduğu çökel istiflerin, zamanla okside olması sonucunda oluşabilecek metal salınımlarının (As, Cu, Zn vb.), Borçka baraj suyundaki canlı yaşamı ve besin zinciri ile insan sağlığı üzerinde uzun vadede olumsuz etkiler yaratabileceği düşünülmektedir.

Lepiskürdere üzerinde kurulu olan atık barajında depolanan flotasyon malzemesinin (SD-34) silisçe zengin olduğu ve bol miktarda pirit içerdiği tespit edilmiştir. Statik test sonuçları, malzemenin asit üretme potansiyelinin yüksek olduğunu önermesine karşın, bir yılı aşkın süren nem hücresi deneyinde, örneğin asidik drenaj oluşturmadığı ve metal salınım kinetiğinin oldukça yavaş olduğu görülmüştür. Bu malzemenin geçirgenliğinin düşük ve bünyesindeki piritin ayrışmamış olması, AMD oluşum kinetiğini önemli ölçüde sınırlamıştır. Atık barajında, flotasyon çamurunun çökmesini kolaylaştırmak için kullanılan bazik karakterli kimyasal sebebiyle AMD oluşmamaktadır. Riskli bir alanda bulunan atık barajı, saha kapandıktan sonra da kontrol altında tutulmalıdır. Flotasyon atıklarının depolandığı bir gölet haline dönüştürülen Damar sahası da, uzun vadede AMD oluşturma riski açısından izlenmesi gereken alanlar arasında yer almaktadır.

Kuvarshan sahasında, galerilerden kaynaklanan maden drenaj sularının, metal konsantrasyonları yüksek olmasına rağmen, debilerinin düşük olması, Fabrika Deresi üzerindeki etkilerinin, karışım alanıyla sınırlı kalmasını sağlamıştır. Suların metal içeriğinde akış yönünde az da olsa bir artış görülmekle birlikte, Fabrika Deresi, maden drenajının etkisi altında kalan bölgelerde bile I. sınıf su kalitesini, üç örnekleme döneminde de, korumuştur.

Murgul ve Kuvarshan sahalarında gözlemlenen AMD oluşumlarının çoğu sınırlı yayılımları ve diğer yüzey sularıyla bağlantılı olmaması dolayısıyla sahaların çevresindeki yüzey sularını etkilememiştir. Ancak bu durum, uzun vadede diğer bir deyişle, saha terkedildikten sonra, yüzey su sistemi için bir risk gelişmeyeceği anlamına gelmemektedir. Çünkü, incelenen pasa ve atık malzemelerin, AMD üretme potansiyellerinin yüksek olduğu statik ve kinetik testler ile belirlenmiştir. Dolayısıyla saha işletilirken de kapatılırken de bu risklerin dikkate alınması önemlidir.

Murgul ve Kuvarshan sahalarında lokal ve sınırlı alanlarda gözlemlenen AMD'lerin gelişiminde, cevherli dasitler ve pasalarda bol miktarda bulunan dissemine piritin oksidasyonu temel rol oynamıştır. Murgul sahasındaki cevherli dasitlerde kalkopirit ve sfalerit nadirken, galen yoktur. Dolayısıyla, Murgul sahası AMD'lerinde gözlenen yüksek asidite, sülfat ve demir zenginleşmesi, esas olarak pirit oksidasyonunun bir sonucudur. Sülfat zenginleşmesinde, ikincil olarak malzemelerdeki jips mineralinin

çözünmesi ve diğer sülfid minerallerinin (kalkopirit, sfalerit vb.) oksidasyonu da katkı sağlamıştır. Fe zenginleşmesinde ise kısmen de olsa kalkopirit oksidasyonu etkili olmuştur. Kuvarshan sahasındaki pasa yığınları ve cevherli dasitler içinde pirit minerali baskın olarak, kalkopirit, sfalerit ve kalkosit ise az miktarda bulunmaktadır. Dolayısıyla, Murgul sahasında olduğu gibi, pirit mineralinin oksidasyonu sahada gözlemlenen AMD oluşumunda etkili olmuştur. Her iki sahadaki AMD'lerde ortaya çıkan baskın metallerin Fe, Al, Cu, As, Zn ve Mn olduğu, Kuvarshan AMD çökellerin ise yüksek arsenik ve kurşun konsantrasyonları ile Murgul AMD'lerinden farklılaştığı görülmüştür. Her iki sahadan alınan piritlerde yapılan mineral kimyası çalışmalarında, arseniğin yaygın olarak bulunduğu, özellikle Kuvarshan piritlerinin arsenikçe Murgul'a göre 2-3 kat daha zengin olduğu tespit edilmiştir.

Murgul'un güneyindeki, eski Karadeniz Bakır İşletmelerine ait izabe tesislerinin bulunduğu sahadan toprak örnekleme yapılmış ve maden işletmesinin toprak kirliliğine sebep olup olmadığı araştırılmıştır. Toprak örneklerinde, kontrol örneğine (T-3) göre özellikle Cu (7-18 kat) ve Zn (4-6 kat) elementlerinde önemli bir zenginleşme gözlenmiştir. Toprak örneklerinin Fe konsantrasyonunda ise, arka plan (background) konsantrasyonuna göre %15-18'lik bir artış vardır. As ve Pb elementlerinde ise lokal da olsa kirlenme belirtileri mevcuttur. Bu sonuçlara göre, eski işletmeden kaynaklanan toprak kirliliğinin orta düzeyde olduğu söylenebilir.

Statik testlerde, incelenen 19 kayaç ve pasa/dekapaj/flotasyon atığı örneklerinden, mor ve yeşil dasit dışında kalan tümünün net asit üretici karakterli olduğu tespit edilmiştir. Mor ve yeşil dasitlerin ise asit nötrale edici özellikte olduğu belirlenmiştir. Nem hücresi ve statik test sonuçlarının çoğunlukla uyumlu olduğu söylenebilir. Ancak statik testlerde yüksek asit üretme potansiyeli ölçülen 3 örneğin (atık barajı (SD-34), Çarkbaşı cevherli dasit (K-19) ve Murgul dekapaj (K-18)) deney boyunca genellikle nötr-alkali karakter sergilediği gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, sadece statik testlerin, AMD oluşma potansiyelini belirlemede, yeterli olamayacağını, kinetik testlerle desteklenmesi gerekliliğini kanıtlamıştır.

Nem hücresi deneyine tabi tutulan örneklerde farklı metal salınım davranışları, kinetikleri ve jeokimyasal süreçler gözlenmiştir. Bu durumda örneklerin mineralojisi, jeokimyası, alterasyon derecesi, tane boyutu, su kimyası gibi birçok etken belirleyici

olmuştur. İncelenen örneklerden dördünde (Kuarshan atık örnekleri: K-15, K-17, Cevherli dasit örnekleri: K-1 ve K-10) çok belirgin bir şekilde örneklerin bünyesindeki sülfid mineral fazlarının (pirit, kalkopirit, sfalerit vb.) oksidasyona uğradığı gözlemlenmiştir. AMD oluşumu gözlenen örneklerde, jarosit, alunit yada demir hidroksitler gibi mineral fazlarının çözünmesi yada çökeliminin süzüntü suların asitlik derecesinin ve jeokimyasını kontrol ettiğini saptanmıştır. Bu sonuçların jeokimyasal modelleme çalışmaları ile de uyumlu olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak, işletilmekte olan maden sahalarının çevresel etkilerini ortaya koymak, çalışmanın yapıldığı dönemdeki olumsuz etkilerin nitelik ve niceliğini ortaya koyacaktır. Bu çalışmalar, kısa vadeli çözüme yönelik önlem alınması için yol gösterebilecek, faydalı çalışmalardır. Fakat, uzun vadede, ekonomik ömrünü doldurulup kapatılma aşamasına gelinebilen maden sahalarında oluşabilecek olumsuz etkileri öngörmek, bu etkileri en aza indirmek yada ortadan kaldırmak için yapılacak olan çalışmalar, doğal yaşam ve insan-doğa etkileşimini; bir nevi sahanın geri dönüşümünü birebir etkileyecektir.

Her iki çalışma sahasında da, olumsuz çevresel etki yaratmış olan ve uzun vadede de olumsuzluk yaratması muhtemel olan koşullar vardır. Lepisküredere vadisi üzerinde kurulu olan atık barajının ve Damar sahasındaki atık havuzunun sızdırmazlıklarının sağlanması ve rutin kontrollerinin yapılması önemlidir. Her ne kadar test sürecinde, atık barajından alınan örnek, asidik drenaj oluşturmamış olsa da, malzemenin yoğun pirit içeriği sebebiyle takip edilmesi uygun olacaktır.

Statik testler ve kinetik test sonucunda, Kuarshan sahasında da, Murgul sahasında da, AMD üretim potansiyeli yüksek olan malzemeler bulunduğu saptanmıştır. Bu atık ve kayaları, saha şartlarına uygun olan önlemler alınarak (sızdırmazlığı sağlanmış bir alanda depolama, atmosferik koşullarla teması kesme gibi) depolanması, ileride oluşacak daha büyük AMD oluşumlarının ve bu oluşumların olası etkilerinin önüne geçmek açısından faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

Abdioğlu E., Arslan M., Kadir S., Temizel I., Alteration Mineralogy, Lithochemistry and Stable Isotope Geochemistry of the Murgul (Artvin, NE Turkey) Volcanic Hosted Massive Sulfide Deposit: Implications for the Alteration Age and Ore Forming Fluids, *Ore Geology Reviews*, 2015, **66**, 219-242.

Akçay M., Moon C. J., The Environmental Impact of Mining in the Pontides, Turkey: Reconnaissance Sampling and GIS-Based Anaysis, *Geochemsitry-Exploration, Environment Analysis*, 2004, **4**, 317-328.

Arman M. B., Altun Y., Artvin-Murgul Anayatakta İzlenen Selenyum-Tellur Mineralleri Üzerinde Bir Çalışma, *MTA Dergisi*, 1983, **99/100**, 84-90.

Aykol A., Budakoglu M., Kumral M., Turan M., Gultekin A. H., Esenli V., Yavuz F., Örgün Y., Heavy Metal Pollution and Acid Drainage from the Abandoned Balya Pb-Zn Mine, *Environmental Geology*, 2003, **45(2)**, 198-208.

AWWA, Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater, *American Water Works Association*, Washington D.C, 1995.

Blowes D W., Ptacek C J., Jambor J L., Wiesner C G., The Geochemistry of Acid Mine Drainage, Editor: Sherwood Lollar B., *Treatise On Geochemistry*, 1st edition, Elsevier, 149-204, 2003.

Budakoğlu M., Pratt L. M., Sulphur-Isotope Distribution and Contamination Related to the Balya Pb-Zn Mine in Turkey, *Environmental Geology*, 2005, **47**, 773-781.

Buser S., Cvetic S., Türkiye'deki Murgul Bakır Yatağı Yöresinin Jeolojisi, *MTA Dergisi*, 1973, **81**, 22-44.

Chotpantarat S., A Review of Static Tests and Recent Studies, *American Journal of Applied Sciences*, 2011, **8(4)**, 400-406.

Çelebi E., Maden Yataklarında Bulunan Sülfürlü Minerallerin Asitli Maden Drenajlarına Etkilerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2013, 334448.

Çelik Balcı N., Gül S., Menekşe Kılıç M., Gül Karagüler N., Sarı E, Sönmez M.Ş., Balya (Balıkesir) Pb-Zn Madeni Atık Sahasının Biyojeokimyası ve Asidik Maden Drenajı Oluşumuna Etkileri, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 2014, **57(3)**, 1-24.

Çiftçi E., Yalçınalp B., Kolaylı H., Textural, Mineralogical and Paragenetic Characteristics of Murgul Deposit Artvin-Ne Turkey—an Example to the Kuroko-Type Volcanogenic Massive Sulfide Deposit, *Geosund*, 2001, **38**, 11-25.

Çol A. S., Özgür N., Çalışkan T. A., Origin of Gypsum Formations in Copper Deposit of Murgul NE Turkey, *Procedia Earth and Planetary Science*, 2017, **17**, 33-36.

Eyüboğlu Y. Santosh M., Keewook Yi, Tüysüz N., Korkmaz S., Akaryalı E., The Eastern Black Sea-Type Volcanogenic Massive Sulfide Deposits: Geochemistry, Zircon U–Pb Geochronology and an Overview of the Geodynamics of Ore Genesis, *Ore Geol. Rev.*, 2014, **59**, 29-54.

Gemici Ü., Impact of Acid Mine Drainage from the Abandoned Halıkoy Mercury Mine (Western Turkey) on Surface and Groundwaters, *Bulletin Environmental Contamination and Toxicology*, 2004, **72**, 482-489.

Gemici Ü., Evaluation of the Water Quality Related to the Acid Mine Drainage of an Abandoned Mercury Mine (Alaşehir, Turkey), *Environ. Monit. Assess.*, 2008, **147**, 93-106.

Gemici Ü., Tarcan G., Somay A. M., Akar T., Factors Controlling the Element Distribution in Farming Soils and Water Around the Abandoned Halıköy Mercury Mine (Beydağ, Turkey), *Applied Geochemistry*, 2009, **24**, 1908-1917.

Gökcekus H., Kabdasli S., Kabdasli I., Türker U., Tunay O., Ölmez T., Pollution of Coastal Region Impacted by Acid Mine Drainage in Morphou Bay Northern Cyprus, *Journal of Environmental Science and Health*, 2003, **38**(8), 1445-1457.

Güler E., Asidik Maden Drenajı Oluşumunun İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2001, 109593.

Jönsson J., Jönsson J., Lövrigen L., Precipitation of Secondary Fe(III) Minerals From Acid Mine Drainage, *Applied Geochemistry*, 2006, **21**, 437-445.

Jönsson J., Persson P., Sjöberg S., Lövrigen L., Schwertmannite Precipitated from Acid Mine Drainage: Phase Transformation, Sulphate Release and Surface Properties, *Applied Geochemistry*, 2005, **20**, 179-191.

Kadirağagil Z., Asidik Maden Sızıntı Sularının Yer Altı Suyu Kalitesine Etkisi: Ergani-Maden Bakır İşletmesi Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa, 2011, 286996.

Kalyoncu Ergüler G. Sülfürlü Bir Maden Sahasında Asit Maden Drenaj Oluşum Potansiyelinin Belirlenmesi ve Modellenmesi, Doktora Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, 2012, 324692.

Karadeniz M., Balıkesir Balya Kurşun Çinko Madeni Flotasyon Artıklarının Asit Maden Drenajı Oluşum Potansiyelinin Derinlikle Değişiminin Araştırılması, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2011, 299565.

Karakaya N., Çelik Karakaya M., Toxic Element Contamination in Waters From The Masive Sulfide Deposits and Wastes Around Giresun,Turkey, *Turkish Journal of Earth Science*, 2014, **23**, 113-128.

Kelebek G., Gümüşköy (Ulukışla-Niğde) Curuflarının Asit Maden Drenajı Oluşturma Potansiyeli ve Çevreye Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde, 2007, 222800.

Kovenko V., Artvin Bölgesi Kuvarshane Bakır Madenleri, *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 1942, **27**, 230-266.

Kraeff A., Hopa-Murgul Bölgesi Jeolojisi Hakkında, *MTA Dergisi*, 1962, **60**, 44-59.

Lapakko K. A., Metal Mine Rock and Waste Characterization Tools: an Overview, *International Institute for Environment and Development*, 67, 10-16, 2002.

Lawrence R. W., Marchant P. B. and Poling G. W., Acid Rock Drainae Prediction Manual, MEND Project No.1.16.1b, *Energy Mines and Resources Canada*, No. 23440-9-9149/01-SQ SSC,28-48, 1991.

Lawrence R.W. and Wang Y., Determination of Neutralization Potential For Acid Rock Drainage Prediction, *MEND*, 1.16.3, 78-79, 1996.

Lottermoser B. G., *Mine Wastes: Characterization, Treatment, Environmental Impacts*, 2.nd edition, Springer, Newyork, 2007.

Morin K. A., Hutt N. M., *Environmental Geochemistry of minesite drainage: practical theory and case studies*, 1st edition, MDAG Publishing, Vancouver, 2001.

Murray J., Kirschbaum A., Dold B. Guimaraes E.M. and Miner E.,P., Jarosite versus Soluble Iron-Sulfate Formation and Their Role in Acid Mine Drainage Formation at the Pan de Azúcar Mine Tailings (Zn-Pb-Ag), NW Argentina, *Minerals*, 2014, **4**, 477-502.

Nordstrom D. K., Aqueous Pyrite Oxidation and the Consequent Formation of Secondary Iron Minerals, Editors: Kittrick, J. A., Fanning D. S., Hosner, L. R., *Acid Sulfate Weathering* , 1st edition, Soil Science Society of America, Wisconsin, 37-56, 1980.

Nordstrom D. K., Alpers C. N., Geochemistry of Acid Mine Waters, Editors: Plumlee, G.S., Logsdon, M.J., *The Environmental Geochemistry of Mineral Deposits*, 1st edition, Society for Economic Geologists,Chelsea, 133-160, 1999.

Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Yüzeysel Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği, *Resmi Gazete*, 28483, 1-26, 2012.

Özgür N., Palacios C. M., Doğu Karadeniz Metalojenik Kuşağında Bulunan Volkanojenik Kökenli Murgul Bakır Yatağının Jeokimyasal Önemli İndikatör Elementleri, *MTA Dergisi* 1990, **111**, 119-132.

Özgür N., Elitok Ö., Zerener M., Doğu Karadeniz Bölgesi Metalojenik Kuşağında Bulunan Murgul Masif Sülfid Yatağının Hidrotermal Çözeltileri ve Gelişimi, *TÜBİTAK*, 104Y175, 29-48, 2008.

Paktunc A. D., Characterization of Mine Wastes for Prediction of Acid Mine Drainage, Editor: Azcue J. M., *Environmental Impacts of Mining Activities Emphasis on Mitigation and Remedial Measures*, 1st edition, Berlin, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 19-40, 1999.

Peretyazhko T., Zachara J M., Boily J F., Xia Y., Gassman P L., Arey B W., Burgos W D., Mineralogical Transformations Controlling Acid Mine Drainage Chemistry., *Chemical Geology*, 2009, **262**, 169–178.

Price W. A., Guidelines and Recommended Methods for the Prediction of Metal Leaching and Acid Rock Drainage at Minesites in British Columbia, *Ministry of Employment and Investment, Energy and Minerals Division*, 1.20.1, 74-75, 1997.

Popovic R., Murgul-Artvin-Maradit Yöresinde (KD Türkiye) Altın İçeren Cevherleşmeler, *MTA Dergisi*, 2004, **129**, 17-28.

Rimstidt Donald J., Vaughan D. J., Pyrite Oxidation: A State of the Art Assessment of the Reaction Mechanism, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2002,**67**,873-880.

Robertson A. M., Broughton, L. M., 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, 30-31 July 1992.

Sağlam E. S., Murgul (Artvin) Bakır Madeninin Çevresel Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2007, 212094.

Sezer Özçelik G. A., Asit Maden Drenajı Öngörü Teknikleri: Yeni Bir Polimetallik Maden Sahası Üzerine Vaka Çalışması Erzincan-İliç, Doktora Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2007, 199221.

Saria L., Shimaoka T., Miyawaki K., Leaching of Heavy Metals in Acid Mine Drainage, *Waste Management & Research*, 2006, **24**, 134-140.

Sheoran A. S., Sheoran V., Choudhary R.P., Geochemistry of Acid Mine Drainage: a Review, *Environmental Research Journal*, 2010, **4**, 293-319.

Smith A. M. L, Hudson Edwards K., Dubbin W E., Wrigh K., Dissolution of Jarosite [KFe₃(SO₄)₂(OH)₆] at pH 2 and 8: Insights from Batch Experiments and Computational Modelling, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2006, **70**, 608-621.

Sobek A. A., Schuller W. A., Freeman J. R., Smith R. M., Field and Laboratory Methods Applicable to Overburdens and Mine Soils, *EPA*, 600/2-78-054, 45-46, 1978.

Uhlig I., Szargan R., Nesbitt H. W., Lajalehto K., Surface States and Reactivity of Pyrite and Marcasite, *Applied Surface Science*, 2001, **179**, 222-229.

US-EPA 3051A, Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, Soils and Oils, *United States Environmental Protection Agency*, Washington, 2007a.

US-EPA 3015, Microwave Assisted Acid Digestion Of Aqueous Samples And Extracts, *United States Environmental Protection Agency*, Washington, 2007b.

Vujonovic V., Doğu Karadeniz Bölgesi Kıyı Kesiminde Bulunan Sülfid Maden Yataklarının Mineraloji, Parajenez ve Köken Özellikleri, *MTA Dergisi*, 1974, **74**, 57-66.

Yücel Şanlıyüksel D., Baba A., Geochemical Characterization of Acid Mine Lakes in Northwest Turkey and Their Effect on the Environment, *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 2013, **64**, 357-376.

URL-1: [http:// www.mta.gov.tr/ v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/maden_potansiyel_2010/Artvin_Madenler.pdf](http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/maden_potansiyel_2010/Artvin_Madenler.pdf), (Ziyaret tarihi: 18 Kasım 2016).

URL-2: <http://www.etibakir.com.tr/tr-tr/Tesisler/Murgul-Konsantrator-Tesis/Sayfalar/default.aspx>, (Ziyaret tarihi: 30 Mart 2016).

URL-3: http://www.artvin.gov.tr/userfiles/files/agip_sanayi_raporu.pdf, (Ziyaret tarihi: 18 Nisan 2016).

URL-4: http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/maden_potansiyel_2010/Artvin_Madenler.pdf, (Ziyaret tarihi 14 Nisan 2016).

URL-5: [http://www.cengiz.com.tr/ tr-tr/Sektorler/Maden/Sayfalar/Eti-Bakir.aspx](http://www.cengiz.com.tr/tr-tr/Sektorler/Maden/Sayfalar/Eti-Bakir.aspx), (Ziyaret Tarihi: 09.03.2017).

URL-6: <https://www.sciencedaily.com/releases/2009/02/090209094555.htm>, (Ziyaret tarihi: 14 Ocak 2017).

URL-7: <https://mining-report.de/english/predicting-acid-mine-drainage-past-present-future/>, (Ziyaret tarihi: 14 Ocak 2017).

URL-8: http://www.jmo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=7469#.WQ5DxtKGO00, (Ziyaret tarihi: 14 Ocak 2017).

URL-9: <http://www.titay.com/kuvarshan.aspx>, (Ziyaret tarihi: 19 Nisan 2016).

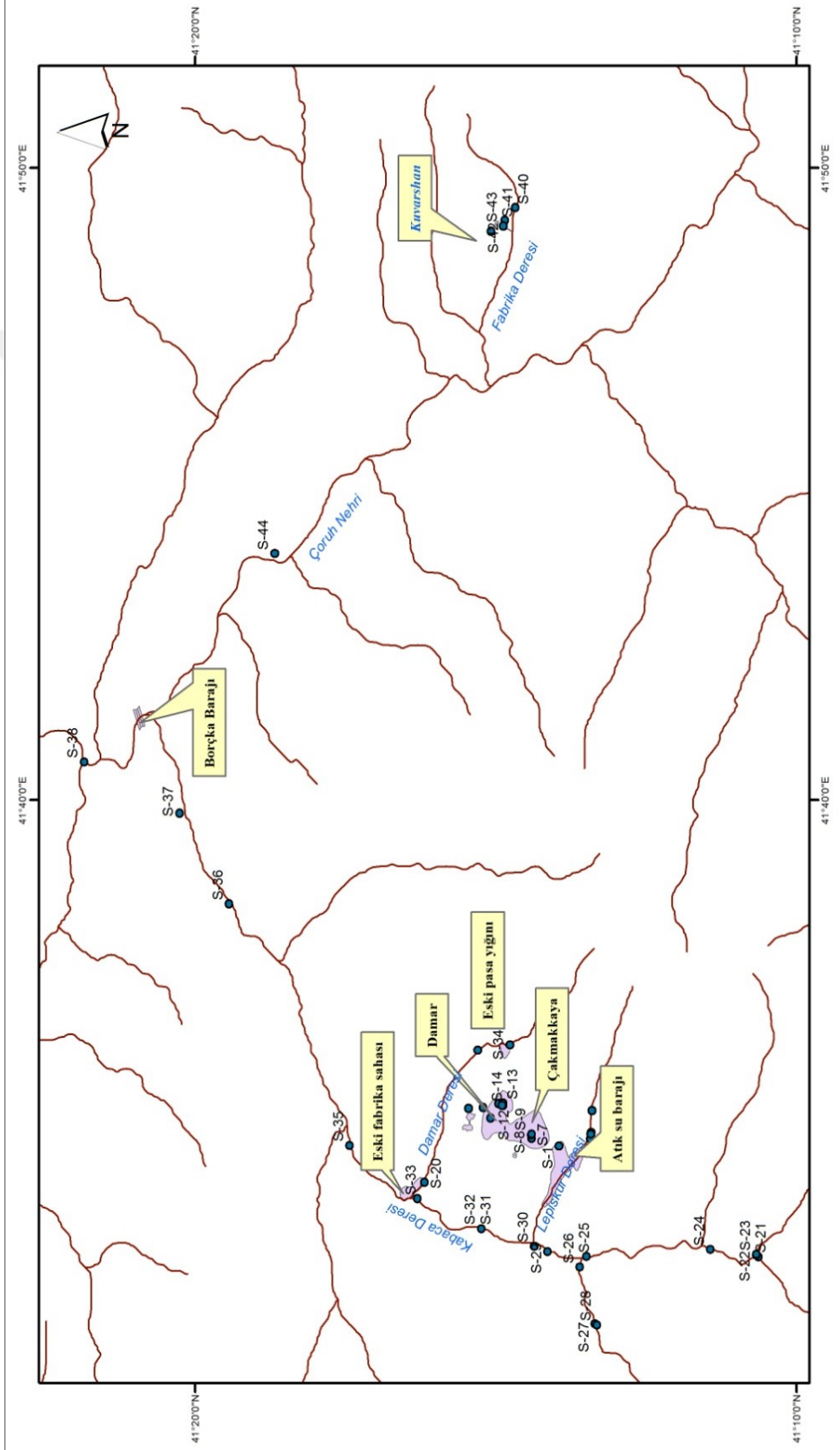
URL-10: <https://www.hulinks.co.jp/support/gwb/data/GWBessentials.pdf>, (Ziyaret tarihi: 15 Mart 2016).



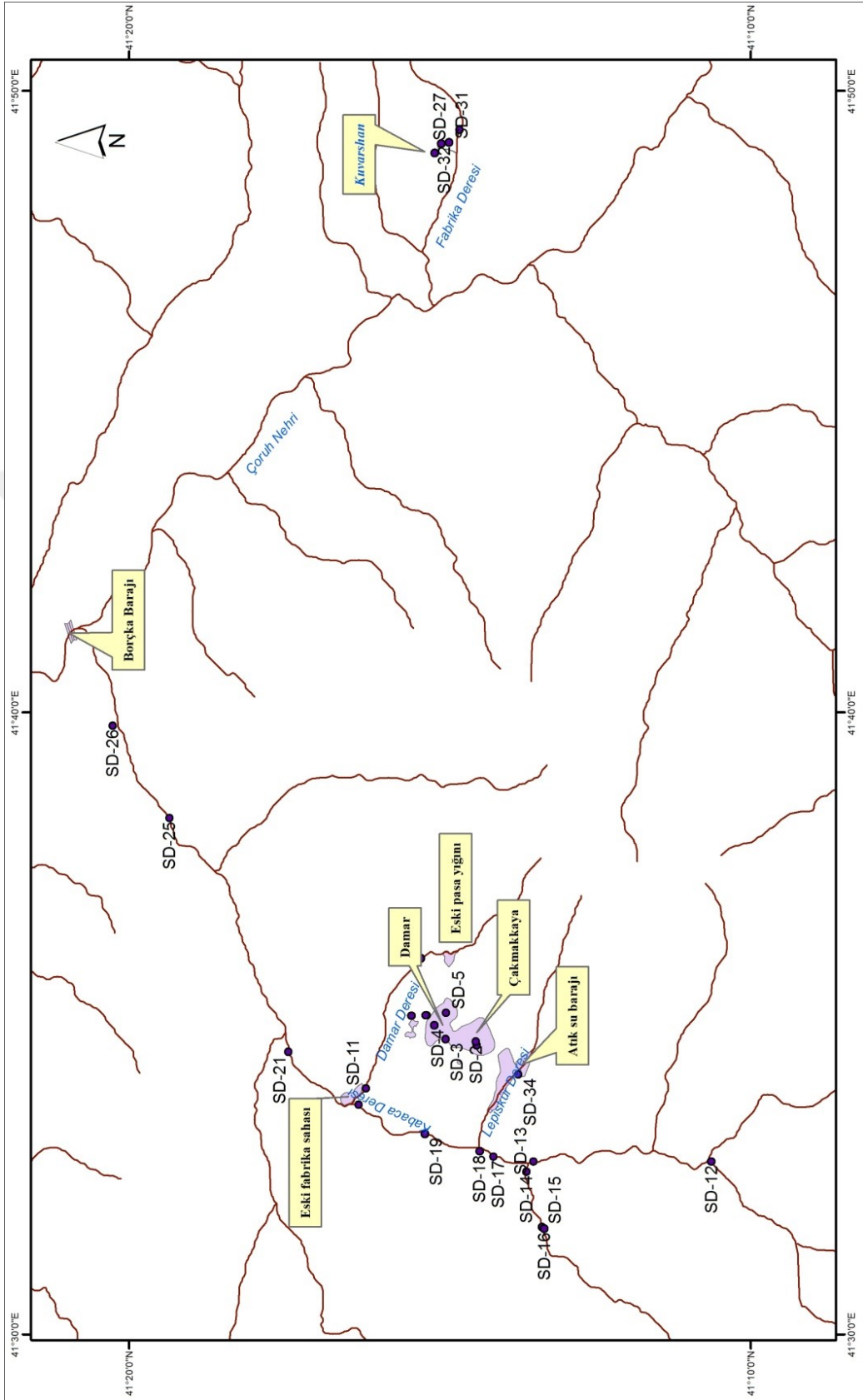
EKLER

Ek-A

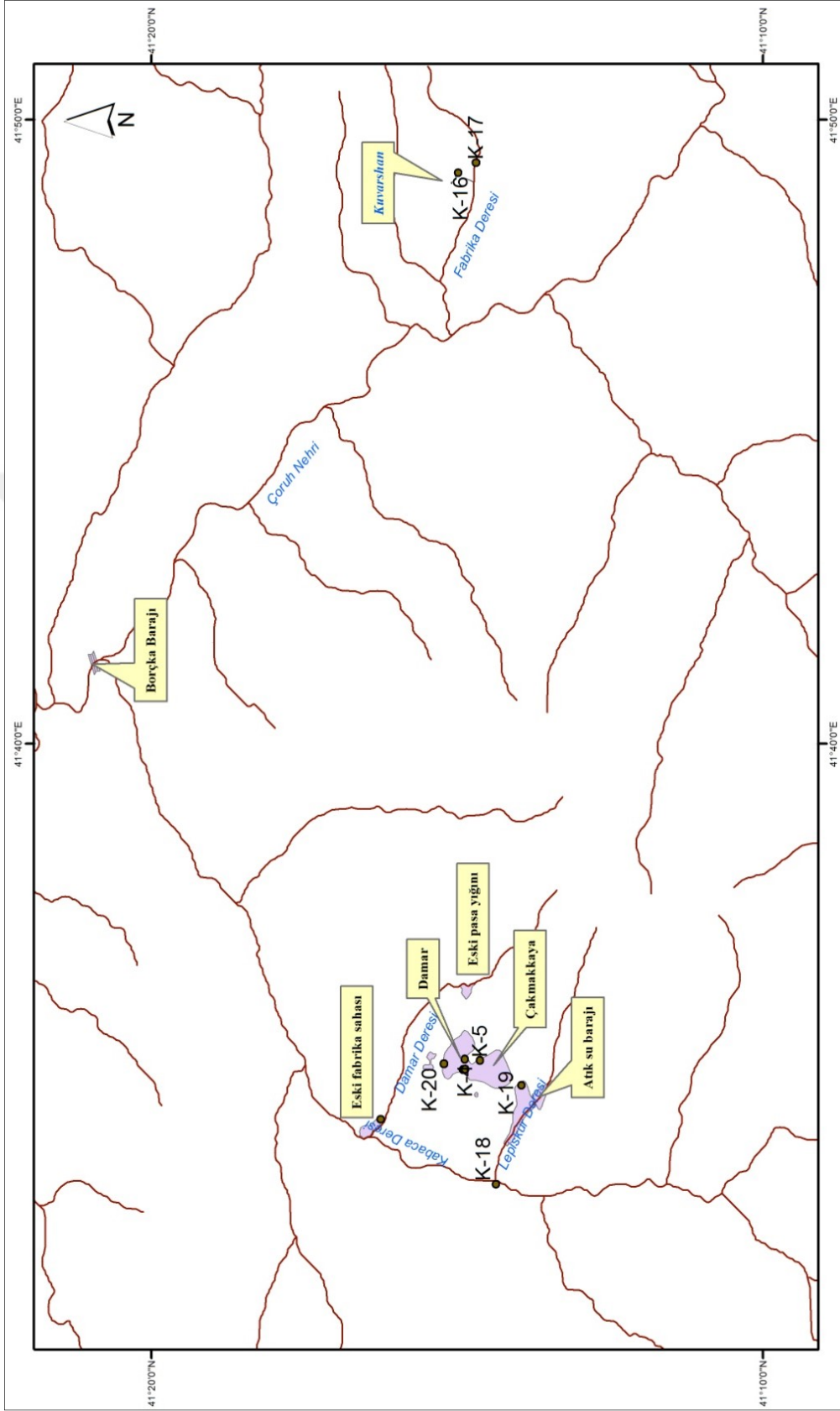
ÖRNEKLEME HARİTALARI



Şekil A.1. Su örnekleme haritası



Şekil A.2. Sediment örnekleme haritası



Şekil A.3. Kaya örnekleme haritası

JEOKİMYASAL ANALİZ SONUÇLARI

Tablo B.1. Maden sahalarından alınan yan kayaçların, pasa ve dekapaj malzemelerinin jeokimyasal analiz sonuçları

	K-1 Cevherli dasit	K-6 Cevherli dasit	K-10 Cevherli dasit	K-11 Cevherli dasit	K-12 Cevherli dasit	K-15 Flotasyon Atığı	K-16 Mekân kaya	K-17 Pasa yığını	K-18 Dekapaj	K-19 Cevherli dasit	K-20 Cevherli dasit	K-4 Mor Dasit	K-5 Yeşil Dasit
SiO ₂	73,09	65,00	56,67	66,15	63,45	18,47	38,91	26,38	57,07	62,52	69,81	65,28	58,98
Al ₂ O ₃	8,71	16,12	10,81	13,81	9,56	5,28	16,12	5,90	19,05	8,02	12,95	11,38	17,16
Fe ₂ O ₃	3,81	3,34	6,97	4,06	7,68	15,41	13,46	31,76	4,53	7,13	3,48	4,54	4,53
MgO	0,67	1,48	0,82	1,46	0,66	0,23	0,54	0,28	4,85	1,08	2,77	2,56	2,30
CaO	0,17	0,35	0,13	0,35	0,46	1,70	2,26	0,94	1,17	1,06	0,28	5,49	3,99
Na ₂ O	0,05	0,13	0,10	0,13	0,28	0,17	0,21	0,19	0,66	0,20	0,09	0,99	1,86
K ₂ O	2,11	3,63	1,96	2,84	1,73	0,54	2,11	0,64	2,76	1,51	2,63	2,95	3,83
TiO ₂	0,14	0,22	0,14	0,19	0,30	0,17	0,57	0,27	0,31	0,15	0,21	0,13	0,29
P ₂ O ₅	0,04	0,04	0,03	0,04	0,05	0,11	0,10	0,11	0,04	0,06	0,05	0,02	0,06
MnO	0,01	0,02	0,01	0,03	0,02	0,00	0,01	0,01	0,06	0,04	0,06	0,14	0,07
Cr ₂ O ₃	0,06	0,04	0,05	0,06	0,07	0,02	0,02	0,02	0,03	0,11	0,11	0,11	0,05
SrO	5,73	3,80	11,42	4,79	7,12	25,23	8,51	13,86	1,95	9,36	1,91	0,05	0,11
LOI	5,10	4,97	6,43	4,87	7,36	30,54	15,84	16,15	6,58	8,45	5,30	6,21	6,62
Toplam	99,69	99,14	95,54	98,78	98,74	97,87	98,66	96,51	99,05	99,69	99,54	99,85	99,85
Ag	<10	<10	76	67	<10	61	53	121	<10	<10	<10	<10	<10
As	ppm	134	64	5877	2,12	5877	2651	6196	59	52	11	10	11
Ba	ppm	209	2964	1279	2716	6199	3591	9704	1606	364	184	211	198
Bi	ppm	<10	<10	<10	25	34	33	140	<10	<10	<10	<10	<10
Cd	ppm	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Ce	ppm	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Cl	ppm	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Cu	ppm	1728	2722	7406	6499	1802	1787	4508	4415	1188	2983	71	35
Co	ppm	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Er	ppm	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Ga	ppm	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Gd	ppm	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Ir	ppm	<10	<10	<10	<10	73	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Nb	ppm	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	4	<10	<10	4	8
Ni	ppm	186	141	149	191	54	53	69	107	357	16	338	158
Mb	ppm	65	52	38	58	79	66	156	37	107	<10	107	45
Pb	ppm	<10	71	37	77	2302	1678	4441	28	<10	<10	<10	<10
Pd	ppm	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Rb	ppm	30	44	22	33	3	24	4	39	16	38	78	78
Sb	ppm	<10	<10	<10	<10	110	<10	156	<10	<10	<10	<10	<10
Sc	ppm	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Se	ppm	<10	40	<10	18	84	34	90	<10	<10	<10	<10	<10
Sr	ppm	18	86	10	45	318	527	500	86	49	29	76	183
Tb	ppm	<10	508	<10	<10	106	<10	140	<10	<10	<10	<10	<10
Te	ppm	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Y	ppm	<10	<10	18	<10	<10	135	<10	<10	62	<10	<10	<10
W	ppm	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	236	<10	<10
Y	ppm	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	31	<10	<10	60	<10
Zn	ppm	45	683	341	708	523	440	2949	1083	49	138	104	112
Zr	ppm	52	87	52	76	17	140	41	141	34	94	113	139

Tablo B.2. Farklı sahalardan alınan AMD çökellerinin jeokimyasal analiz sonuçları

		SD-1 Çakmakçaya	SD-2 Çakmakçaya	SD-5 Damar	SD-28 Kuarşan	SD-29 Kuarşan
SiO ₂	%	45,75	47,72	50,52	41,1	18,75
Al ₂ O ₃	%	16,69	25,24	24,23	12,05	3,8
Fe ₂ O ₃	%	13,85	5,98	7,63	13,91	16,41
MgO	%	1,61	3,69	2,59	0,68	0,1
CaO	%	0,37	0,32	0,66	0,17	0,07
Na ₂ O	%	0,78	0,51	0,97	0,75	0,44
K ₂ O	%	3,01	4,74	6,53	1,5	0,15
TiO ₂	%	0,44	0,36	0,38	0,73	0,15
P ₂ O ₅	%	0,27	0,08	0,07	0,11	0,02
MnO	%	0,02	0,03	0,18	0,01	<0,001
Cr ₂ O ₃	%	0,03	0,01	0,01	0,02	0,02
SO ₃	%	5,85	1,94	0,27	6,36	31,44
LOI	%	10,81	9,05	5,57	18,64	27,38
Toplam	%	99,48	99,67	99,61	96,03	98,73
Ag	ppm	<10	<10	<10	142	41
As	ppm	491	67	34	22040	1705
Ba	ppm	636	764	674	1948	6853
Bi	ppm	<10	<10	<10	198	14
Cd	ppm	<10	<10	<10	<10	<10
Ce	ppm	<10	<10	<10	<10	<10
Cl	ppm	79	<10	100	<10	<10
Cu	ppm	2030	1237	1306	637	379
Co	ppm	<10	<10	<10	<10	<10
Eu	ppm	<10	<10	<10	200	<10
Ga	ppm	14	29	27	<10	<10
Gd	ppm	102	<10	<10	<10	<10
Ir	ppm	<10	<10	<10	<10	14
Nb	ppm	<10	<10	<10	<10	<10
Ni	ppm	111	40	63	37	70
Mo	ppm	84	30	21	107	22
Tb	ppm	<10	<10	<10	<10	46
Te	ppm	104	<10	<10	<10	<10
Pb	ppm	31	31	28	4785	1395
Pd	ppm	<10	<10	<10	<10	<10
Rb	ppm	46	87	137	26	<10
Sb	ppm	<10	<10	<10	357	<10
Sc	ppm	<10	<10	39	<10	<10
Se	ppm	23	<10	<10	150	43
Sr	ppm	107	75	68	272	78
V	ppm	137	<10	133	125	<10
W	ppm	<10	<10	<10	<10	<10
Y	ppm	<10	<10	43	<10	<10
Zn	ppm	126	188	280	378	211
Zr	ppm	106	192	133	91	<10

Tablo B.3. Kuvarshan sahasında galerilerden sızan suların çevresinde biriken çökellerin jeokimyasal analiz sonuçları (Oksitler %, elementler ppm olarak verilmiştir)

	SD-27 2011	SD-30 2013	SD-31 2011	SD-32 2011	SD-32 2012	SD-32 2013
SiO ₂	1,91	9,83	38,52	2,57	5,16	3,72
Al ₂ O ₃	0,52	13,35	14,71	0,85	1,1	1
Fe ₂ O ₃	21,04	8,52	16,50	1,80	4,69	3,79
MgO		0,94	2,52	0,26	0,23	0,28
CaO	0,03	6,35	7,91	50,24	49,54	47,55
Na ₂ O	0,04	0,51	0,40	0,12	0,09	0,1
K ₂ O	0,03	0,34	2,14	0,06	0,09	0,07
TiO ₂	0,02	0,19	0,74	0,03	0,05	0,03
P ₂ O ₅	0,01	0,04	0,12		0,01	0,01
MnO	0,004	0,46	0,08	0,00		0,02
Cr ₂ O ₃	0,03	0,44	0,04	0,01		0,64
SO ₃	40,89	10,02	1,74	0,87	3,33	1,22
LOI	34,243	31,05	14,02	42,09	34,29	40,50
Toplam	98,77	82,03	99,44	98,90	98,58	98,93
Ag	32	78	<10	47	64	<10
As	1078	1848	682	341	711	549
Ba	6443	781	695	280	2232	679
Bi	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Cd	<10	290	<10	76	<10	<10
Ce	<10	58	<10	<10	<10	<10
Cl	<10	177	108	104	110	89
Cu	955	74400	1180	1216	1511	1402
Co	104	<10	<10	<10	<10	<10
Er	<10	766	<10	<10	<10	<10
Eu	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Ga	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Gd	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Ir	20	<10	<10	<10	<10	<10
Nb	<10	13	<10	<10	<10	<10
Ni	108	211	122	32	<10	<10
Mo	27	12	41	15	<10	<10
Tb	30	<10	<10	<10	<10	<10
Te	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Pb	1457	735	152	141	480	310
Pd	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Rb	<10	<10	35	<10	<10	<10
Sb	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Sc	<10	91	<10	<10	<10	<10
Se	58	<10	<10	<10	24	<10
Sr	40	151	200	1363	1333	1311
V	<10	<10	145	<10	<10	<10
W	<10	<10	<10	<10	<10	37
Y	<10	179	<10	<10	<10	<10
Zn	404	98800	1196	5458	5263	4144
Zr	<10	15	63	46	<10	79

Tablo C.2. Mayıs-2012 döneminde alınan su örneklerinin genel kimyasal özellikleri ve majör iyon kimyası

Örnek	Lokasyon	T(°C)	pH	Çözünmüş Oksijen (mg/L)	Elektriksel İletkenlik (µS/cm)	Alkalinite (mg/L CaCO ₃)	Su Tipi	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	NH ₄ ⁺ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	NO ₂ ⁻ (mg/L)	PO ₄ ³⁻ (mg/L)	F ⁻ (mg/L)	Br ⁻ (mg/L)
S-1	Çarıkbaşı Sahası: Asidik su birikintisi	19,5	3,16	5,87	487	0	Ca-Mg-SO ₄	7,68	12,73	14,10	37,55	-0,3	1,05	170,09	0	4,43	0,24	-0,5	0,09	<0,4
S-7	Çakmakçaya Sahası: Asidik su birikintisi	17,9	2,99	4,74	4680	0	Ca-Mg-SO ₄	59,32	-0,2	314,59	626,01	-0,3	-0,02	400,65	0	-0,1	0,61	-0,5	0,10	<0,4
S-8	Çakmakçaya Sahası: Asidik su birikintisi	22,5	2,65	4,64	4350	0	Mg-Ca-SO ₄	58,06	-0,2	263,57	375,04	-0,3	-0,02	4732,18	0	0,22	<0,1	-0,5	0,08	<0,4
S-9	Çakmakçaya Sahası: Çökel	18,5	4,94	5,79	867	0	Ca-Mg-Na-SO ₄	72,33	-0,2	67,09	246,62	2,05	16,76	464,16	0	5,52	0,47	-0,5	0,16	<0,4
S-48	Damar Sahası: Asidik su birikintisi	24,1	3,9	5,9	519	0	Mg-Ca-SO ₄	13,73	13,17	28,73	45,44	0,41	1,03	278,64	0	1,65	<0,1	-0,5	0,29	<0,4
S-14	Damar Sahası: Asidik su birikintisi	22,7	8,3	5,7	257	69	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	8,47	2,10	11,41	29,68	-0,3	1,16	63,34	84,18	9,70	0,33	-0,5	0,05	<0,4
S-12	Damar Sahası: Kaynak suyu	13	7,5	6,4	216	75	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	8,19	2,19	8,71	23,84	-0,3	2,27	23,82	91,50	10,13	0,36	-0,5	<0,05	<0,4
S-13	Damar Sahası: Kaynak suyu	14,7	6,8	10,9	300	40	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃	11,67	12,78	13,36	50,93	-0,3	0,46	107,59	48,80	3,81	0,21	-0,5	0,08	<0,4
S-39	Kuvarshan Sahası: Asidik su birikintisi	16,2	2,4	2,7	7780	0	Ca-Mg-SO ₄	<0,2	-0,2	528,40	1549,00	-0,3	1,71	10782,30	0	0,05	<0,1	-0,5	0,28	<0,4
S-41	Kuvarshan Sahası: Baker sülfitli su	11,8	4,9	7,4	4340	0	Mg-Ca-SO ₄	68,96	135,01	403,53	643,28	-0,3	-0,02	4838,73	0	0,09	0,65	-0,5	0,18	<0,4
S-42	Kuvarshan Sahası: Karbonat çökelimi	16,1	8,4	6,3	2635	346,8	Mg-Ca-SO ₄	71,10	-0,2	301,00	439,47	-0,3	-0,02	1639,98	423,10	<0,01	0,29	-0,5	<0,05	<0,4
S-40	Kuvarshan: Fabrika Deresi: Yukarı drenaj	11	7,1	6,9	112,1	45,2	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	3,33	1,58	6,20	13,91	-0,3	0,37	17,42	55,14	0,77	0,19	-0,5	<0,05	<0,4
S-46	Kuvarshan: Fabrika Deresi: Çoruh Nehrine karışım öncesi	13,6	8,3	6,8	278	105,6	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	5,83	1,97	13,29	37,38	-0,04	0,93	36,03	128,83	1,09	<0,1	-0,5	0,05	<0,4
S-6	Lepisküdere	9,4	6,8	8,2	51,3	11,2	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃	1,45	1,50	1,59	7,70	<0,3	0,07	14,34	13,66	0,91	<0,1	-0,5	<0,05	<0,4
S-3	Lepisküdere	12	4,6	6,9	147	0	Ca-Mg-SO ₄	1,29	1,61	5,99	12,64	<0,3	0,20	70,66	0	0,48	<0,1	-0,5	0,06	<0,4
S-2	Lepisküdere: Atık barajı girişi	9	7,4	7,6	51,4	11,0	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	1,42	1,50	1,52	6,95	-0,3	0,14	13,31	13,42	0,35	<0,1	-0,5	<0,05	<0,4
S-4	Atık Barajı	19,3	7,5	3,0	249,5	12,2	Ca-Na-SO ₄	16,01	18,80	64,7	41,18	-0,3	1,42	19,33	14,88	1,27	0,12	-0,5	0,32	<0,4
S-34	Damar Deresi: Anakol: Maden öncesi	13,4	7,6	6,5	75,1	29,6	Ca-HCO ₃	1,58	1,53	1,51	14,37	-0,3	0,21	2,75	36,11	4,62	0,15	-0,5	<0,05	<0,4
S-15	Damar D.: Yanıkköy Maden su tahliye	16,9	7,3	6,1	196	57,4	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	5,21	4,01	6,04	26,67	0,76	2,33	37,35	70,03	2,81	0,28	-0,5	<0,05	<0,4
S-19d	Damar D.: Yanıkköy Maden su tahliye	16,9	7,5	6,6	208	56,2	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	5,55	2,54	6,88	28,08	0,40	1,76	49,04	68,56	2,59	0,30	-0,5	<0,05	<0,4
S-20	Damar D.: Murgul Deresi: karışım öncesi	13,8	7,3	7,6	283	41,6	Ca-Mg-Na-SO ₄ -HCO ₃	24,06	13,30	13,39	37,74	0,82	2,02	85,70	50,75	6,97	0,20	-0,5	<0,05	<0,4
S-21	Murgul Deresi: Maden drenaj öncesi	7	8,7	7,7	39,1	11,2	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	1,45	1,47	1,57	5,52	-0,3	0,04	7,87	13,66	1,91	<0,1	-0,5	<0,05	<0,4
S-22	Murgul Deresi: Maden drenaj öncesi	5,7	8,5	8,9	41,4	13,4	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	1,54	1,45	1,83	5,86	-0,3	0,04	6,86	16,35	1,33	<0,1	-0,5	<0,05	<0,4
S-23	Murgul Deresi: Yanıkköy Maden drenaj öncesi	10	7,5	6,9	90,6	10,4	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃	2,35	1,52	3,75	10,39	-0,3	0,14	32,86	12,69	0,83	<0,1	-0,5	<0,05	<0,4
S-24	Murgul Deresi: Maden drenaj öncesi	8,2	7,0	8,9	46,2	11,6	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	1,52	1,45	1,99	6,14	-0,3	-0,02	8,40	14,15	0,93	<0,1	-0,5	<0,05	<0,4
S-25	Murgul Deresi: Maden drenaj öncesi	8,5	6,9	8,1	57,3	12,4	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃	1,66	1,48	2,48	7,00	-0,3	0,02	13,36	15,13	0,69	<0,1	-0,5	<0,05	<0,4
S-26	Murgul Deresi: Maden drenaj öncesi	8,9	6,5	7,7	46,6	14,6	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	1,57	1,43	1,55	7,25	-0,3	0,08	7,35	17,81	0,66	<0,1	-0,5	<0,05	<0,4
S-29	Murgul Deresi: Maden drenaj öncesi	8,9	6,7	7,4	50,7	14,4	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	1,68	1,49	2,08	6,90	0,36	0,02	10,39	17,57	0,97	<0,1	-0,5	<0,05	<0,4
S-30	Murgul D.: Lepisküdere karışım noktası: maden atıkları karışımı	14,2	6,8	6,7	510	14,6	Ca-Mg-SO ₄	17,83	17,56	16,73	83,43	-0,3	1,54	267,70	17,81	1,75	0,22	-0,5	0,29	<0,4
S-31	Murgul D.: Maden atıkları karışım sonrası	15,3	7,2	6,7	311	38,4	Ca-Mg-SO ₄	12,31	14,38	11,03	55,42	0,84	5,17	107,06	46,85	2,55	0,21	-0,5	0,08	<0,4
S-32d	Murgul D.: Maden atıkları karışım öncesi	11,3	6,8	6,3	299,2	18,8	Ca-Mg-SO ₄	12,08	14,52	11,85	50,59	-0,3	0,72	129,76	22,94	0,91	0,16	-0,5	0,12	<0,4
S-33	Murgul D.: Maden drenaj sonrası	11,4	7,3	7,3	268,7	21	Ca-Mg-SO ₄	10,89	14,25	11,05	47,11	-0,3	0,97	106,73	25,62	1,36	0,15	-0,5	0,09	<0,4
S-35	Murgul D.: Borçka Barajı'na yakın kesim	9,9	7,0	7,4	97,8	21,6	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃	2,69	1,79	3,09	13,55	0,39	0,53	24,11	26,35	0,95	<0,1	-0,5	<0,05	<0,4
S-47	Murgul D.: Borçka Barajı'na yakın kesim	9,3	7,1	8,4	108,5	23	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃	2,64	1,77	3,30	13,23	0,25	0,26	28,55	28,06	0,81	0,11	-0,5	<0,05	<0,4
S-36	Borçka Barajı su toplama sını	18,4	8,6	9,3	158,4	55,8	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	5,48	1,98	4,97	23,20	0,34	1,62	20,99	68,08	0,75	0,18	-0,5	<0,05	<0,4
S-37	Borçka Barajı-Murgul D.: kavuşma noktası	16,2	7,8	8,9	171	62,8	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	6,19	2,05	5,40	23,18	0,27	1,93	18,65	76,62	0,70	0,22	-0,5	0,05	<0,4
S-38	Borçka Barajı: Mansap kesimi	13,2	7,3	8,2	180,2	68	Ca-Mg-HCO ₃	7,1	2,1	5,5	26,1	-0,3	2,2	15,9	83,0	1,2	0,3	-0,5	0,06	<0,4
S-44	Borçka Barajı: Memba kesimi	14,8	8,9	10,9	185,3	72,4	Ca-Mg-HCO ₃	7,2	2,2	5,7	26,7	-0,3	2,4	14,1	88,3	1,5	<0,1	-0,5	0,06	<0,4

Tablo C.3. Ağustos-2013 döneminde alınan su örneklerinin genel kimyasal özellikleri ve major iyon kimyası

Örnek	Lokasyon	T(°C)	pH	Elektriksel İletkenlik (µS/cm)	Alkalinite (mg/l CaCO ₃)	Su Tipi	Na ⁺ mg/L	K ⁺ mg/L	Mg ²⁺ mg/L	Ca ²⁺ mg/L	Cl ⁻ mg/L	SO ₄ ²⁻ mg/L	HCO ₃ ⁻ mg/L	NO ₃ ⁻ mg/L	NO ₂ ⁻ mg/L	PO ₄ ³⁻ mg/L	F ⁻ mg/L	Br ⁻ mg/L
S-15	Damar D.: Yankol	17,9	7,95	313	54	Ca-HCO ₃ -NO ₃ -SO ₄	2,5	1,3	3,5	17,1	1,1	23,3	65,9	78,4	2,7	<0,5	<0,05	<0,4
S-18	Damar deresi: Yukarı drenaj	13,7	8,09	129,7	56	Ca-HCO ₃	3,1	0,4	2,5	13,9	0,4	10,6	68,3	1,5	<0,1	<0,5	<0,05	<0,4
S-20	Damar D.: Murgul deresi karışım öncesi	18,4	8,35	253,2	79,6	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	5,3	1,1	8,2	24,4	1,9	47,4	97,1	3,6	<0,1	<0,5	0,05	<0,4
S-21	Murgul Deresi: Maden drenajı öncesi	15,5	7,2	108,4	28	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	2,2	0,4	3,3	9,7	0,2	25,5	34,2	1,0	<0,1	<0,5	<0,05	<0,4
S-22	Murgul Deresi: Maden drenajı öncesi	16,1	6,79	258,2	18	Ca-Mg-SO ₄	4,8	0,5	8,3	21,6	0,4	105,9	22,0	1,1	<0,1	<0,5	0,1	<0,4
S-23	Murgul Deresi: Maden drenajı öncesi	14,8	7,25	106,2	28,4	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	3,3	0,4	3,5	10,1	0,2	25,1	34,6	0,7	<0,1	<0,5	<0,05	<0,4
S-24	Murgul Deresi: Maden drenajı öncesi	14,2	7,07	118,7	35,2	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	3,0	0,4	4,3	10,9	0,2	29,4	42,9	0,7	<0,1	<0,5	<0,05	<0,4
S-25	Murgul Deresi: Maden drenajı öncesi	18,7	6,93	178,9	23,6	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃	2,6	0,6	7,3	13,5	0,4	57,6	28,8	1,1	<0,1	<0,5	0,1	<0,4
S-26	Murgul Deresi: Maden drenajı öncesi	17	8,31	188,3	44	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃	4,6	1,2	6,0	20,7	0,5	52,1	53,7	1,0	<0,1	<0,5	0,1	<0,4
S-29	Murgul Deresi: Maden drenajı öncesi	18,9	8,13	180,7	37,2	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃	3,8	0,6	5,3	14,5	0,5	50,6	45,4	0,8	<0,1	<0,5	0,1	<0,4
S-30	Murgul D.-Leptüsküldere karışım noktası	21,3	8,31	183,7	66,4	Ca-Mg-SO ₄	46,9	9,6	66,1	214,2	4,5	1116,2	81,0	1,1	<0,1	<0,5	0,3	<0,4
S-30 tahliye tüneli	Tahliye tüneli Murgul D. karışım noktası	15,2	7,78	181,2	140	Ca-SO ₄	19,1	2,0	38,8	259,8	3,4	1092,2	170,8	0,5	<0,1	<0,5	0,4	<0,4
S-31	Murgul D. Maden atıkları deşarj noktası	22,6	8,15	406	54,4	Ca-SO ₄ -HCO ₃	9,6	2,5	8,2	41,9	4,3	144,3	66,4	2,5	0,2	<0,5	0,1	<0,4
S-31ö	Murgul D. Maden atıkları deşarj karışım öncesi	19,2	8,08	1110	93,6	Ca-Mg-SO ₄	11,7	1,5	27,2	138,7	2,1	457,4	114,2	0,7	<0,1	<0,5	0,2	<0,4
S-32	Murgul D. Maden atıkları deşarj karışım sonrası	19,9	8,06	1044	84	Ca-SO ₄	11,2	1,6	25,2	127,8	2,3	518,8	102,5	1,0	<0,1	<0,5	0,2	<0,4
S-33	Murgul D. Damar D. karışım öncesi	19,8	8,19	1007	83,6	Ca-SO ₄	11,4	1,5	24,4	128,6	2,1	493,6	102,0	0,9	<0,1	<0,5	0,2	<0,4
S-35	Murgul D.: Murgul ilçesi içkişi	20	8,07	243,8	40	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃	4,9	0,7	5,9	24,6	1,3	72,0	48,8	1,4	1,1	<0,5	0,1	<0,4
S-36	Borçka Barajı Su toplama sınırı	17,3	7,91	459	60	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃	6,2	0,8	11,0	50,0	1,1	174,2	73,2	1,1	<0,1	<0,5	0,1	<0,4
S-37	Borçka Barajı-Murgul D. kavuşma noktası	21,7	8,04	305	62,4	Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃	5,7	0,9	7,5	31,4	1,6	89,4	76,1	1,3	<0,1	<0,5	0,1	<0,4
S-38	Borçka Barajı: Mansap kesimi	17,3	8,02	211,8	94,4	Ca-HCO ₃	7,4	0,8	5,2	22,5	2,6	18,3	115,2	3,1	<0,1	<0,5	0,1	<0,4
S-40	Kuvarshan: Fabrika deresi yukarı drenaj	15,8	8,14	286,4	105,2	Mg-Ca-HCO ₃ -SO ₄	7,6	0,5	14,1	23,0	0,6	44,9	128,3	1,0	<0,1	<0,5	0,1	<0,4
S-46	Kuvarshan: Fabrika deresi, Çoruh Nehrine karışım öncesi	21	8,41	423	186	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	11,3	1,1	20,0	38,9	2,1	43,1	226,9	1,9	<0,1	<0,5	0,1	<0,4
S-41	Kuvarshan Sahası: Bakır sülfatlı drenaj	17,2	7,51	3990	580	Mg-Ca-SO ₄ -HCO ₃	14,8	1,7	308,8	272,7	1,8	2696	707,6	6,5	<0,1	<0,5	0,7	<0,4

Ek-D

YÜZEY SULARINDA FARKLI DÖNEMLERDE ÖLÇÜLEN ÇÖZÜNÜMÜŞ VE TOPLAM ELEMENT KONSANTRASYONLARI

Tablo D.1. Murgul Deresi ve yan kollarına farklı noktalardan farklı dönemlerde yapılan deşarj ve kaçakların çözünmüş (S-) ve toplam (ST-) iz element konsantrasyonları (S-30: Lepisküdüre vadisinden gelen akış, S-31: Flotasyon tesisinden gelen flotasyon atık suyu deşarjı)

2011-Ağustos																											
Örnek	Be	B	Al	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Rb	Sr	Mo	Ag	Cd	Pb	Tl	Hg	Ba	U	Sn	Sb	
	ppb	ppb	ppm	ppb	ppb	ppb	ppm	ppm	ppm	ppm	ppb	ppb	ppb	ppb	ppm	ppm	ppm	ppm	ppb	ppb	ppb	ppm	ppm	ppb	ppb	ppb	
S-30	0.4	169.0	0.03	19.3	<0.01	0.3	5.7	<0.0001	56.5	48.8	71.0	7297	<0.01	3.3	7.4	1800	0.2	<0.001	14.3	31	1.2	<0.001	79	0.04	-	-	
S-31	0.05	44.4	0.7	7.8	1.4	0.8	0.4	2.8	3.4	<0.1	1070	646	0.2	25.9	4.0	386	82.5	<0.001	2.5	519	0.2	0.03	22.9	0.04	-	-	
2012-Mayıs																											
Örnek	Be	B	Al	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Rb	Sr	Mo	Ag	Cd	Pb	Tl	Hg	Ba	U	Sn	Sb	
	ppb	ppb	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	
S-30	0.15	13746	12964	70.56	89.22	4.87	35.19	6232	2.96	1.91	306.3	243.3	58.0	1.5	10.28	32.87	5.26	1.11	1.35	32.5	0.8	0.29	1068	69.8	-	-	
ST-31	0.15	12050	31	3.13	47.71	4.08	1.14	237	0.05	0.44	23.1	13.7	0.8	0.8	0.04	1.05	0.41	0.09	0.09	1.4	0.01	0.19	5.61	1.8	-	-	
2013-Mayıs																											
Örnek	Be	B	Al	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Rb	Sr	Mo	Ag	Cd	Pb	Tl	Hg	Ba	U	Sn	Sb	
	ppb	ppb	ppm	ppb	ppb	ppb	ppb	ppm	ppm	ppm	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	
S-30	<0.01	74.4	0.05	17.5	<0.1	1.04	909	0.03	2.96	9.4	13.6	42.1	0.63	1.80	4.55	1963	11.7	<0.01	0.64	0.95	0.18	<0.01	16.7	0.47	0.05	0.62	
S-30 tahliye tüm.	<0.01	31.2	0.03	17.7	<0.1	0.09	773	0.92	4.26	13.9	5.8	6.2	0.23	0.53	1.60	2011	0.12	<0.01	0.05	0.49	<0.01	<0.01	9.9	0.03	<0.01	0.03	
S-31	<0.01	<10	0.06	2.3	0.12	0.74	131	0.03	0.65	2.2	21.8	61	2.19	2.44	1.30	165	36.17	0.04	0.24	2.56	0.32	0.09	49.2	0.05	0.09	0.86	
ST-30	<0.01	72.9	0.06	14.8	0.11	0.42	770	0.10	2.37	11.71	20.3	42.2	0.60	1.47	4.90	1970	14.02	0.02	0.51	0.46	0.18	0.04	26.0	0.50	0.46	0.54	
ST-30 tahliye tüm.	0.02	29.7	0.45	15.2	0.51	0.82	563	1.35	3.47	12.16	7.7	7.1	1.35	0.57	2.00	1982	2.40	0.03	0.04	1.04	0.01	0.05	23.4	0.03	0.06	0.06	
ST-31	0.10	<10	8.45	39.6	9.83	8.08	218	4626	22.14	20.65	34194	3887	233	13	7.66	228	173	9.10	11.58	682	6.10	0.68	3931	0.19	0.59	10.9	

Tablo D.2. 2011-Ağustos döneminde Murgul Deresi su örneklerindeki çözünmüş ve toplam element konsantrasyonları (Örnekler Murgul Deresi akış yönünde sıralanmıştır. S-30 öncesi Murgul Deresi'nin kontrol alanını temsil etmektedir. Renklendirilmiş örnekler, maden sahalarından yapılan deşarjları temsil etmektedir)

	Be	B	Al	Ti	Mo	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Rb	Sr	Se	Ag	Cd	Pb	Tl	Hg	Ba	U
	ppb	ppb	ppm	ppb	ppb	ppb	ppb	ppm	ppm	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb
S-21	<0.01	2.45	0.07	0.88	0.25	0.23	0.03	0.01	0.05	0.08	<0.1	10.30	12.90	<0.01	0.23	50.50	0.11	0.00	0.03	0.002	0.002	<0.001	10.70	0.003
S-22	<0.01	1.47	0.05	0.39	0.16	0.17	<0.01	0.01	0.03	0.11	<0.1	1.37	5.44	<0.01	0.26	28.40	0.14	<0.001	0.03	0.002	0.002	<0.001	6.63	0.01
S-24	<0.01	2.07	0.05	0.84	0.27	0.16	<0.01	0.01	0.03	0.08	<0.1	1.53	3.48	<0.01	0.20	44.90	0.11	0.00	0.03	0.002	0.002	<0.001	9.19	0.003
S-25	<0.01	2.80	0.06	1.25	0.35	0.18	0.03	0.01	0.04	0.09	<0.1	1.77	5.29	<0.01	0.25	60.90	0.13	<0.001	0.04	0.21	0.003	<0.001	11.40	0.003
S-26	0.01	3.06	0.17	1.63	0.61	0.43	0.44	0.03	0.23	0.21	<0.1	10.70	11.10	0.38	0.28	72.20	0.19	0.00	0.06	9.00	0.01	<0.001	198.00	0.02
S-29	0.02	3.08	0.26	2.02	0.47	0.56	0.25	0.03	0.32	0.29	<0.1	9.36	12.10	0.23	0.28	69.70	0.15	0.01	0.06	8.42	0.01	<0.001	153.00	0.02
S-32	3.22	89.50	2.11	8.45	0.79	<0.01	0.10	6.50	<0.0001	50.80	30.50	28.49	16022.00	<0.01	5.31	995.00	9.81	<0.001	49.00	869.00	1.28	<0.001	12.70	0.54
S-33	3.31	80.40	1.84	8.82	0.24	<0.01	0.14	3.80	3.29	44.10	22.80	67.70	14154.70	<0.01	4.80	872.00	17.00	0.00	48.30	935.00	0.90	<0.001	11.40	0.80
S-35	0.75	4.93	8.35	0.76	0.36	6.57	2.77	2.49	92.82	6.83	2.00	2883	3529.30	36.40	0.88	86.40	0.62	<0.001	2.85	1984.90	0.78	<0.001	41.00	0.89
S-36	0.85	4.31	8.75	1.08	0.09	0.87	3.04	3.16	49.63	9.57	2.59	5477	6665.70	4.11	0.68	104.00	0.61	0.00	4.97	2360.60	1.04	<0.001	31.00	1.19
S-37	<0.01	154.00	0.01	1.01	1.25	2.13	0.89	0.00	0.02	0.08	0.50	3.41	6.56	2.61	1.00	313.00	0.28	<0.001	0.03	0.70	0.01	0.00	42.90	0.52
S-30	0.38	169.00	0.03	19.30	0.21	<0.01	0.32	5.74	<0.0001	56.50	48.80	710	7296.90	<0.01	7.43	1800.00	3.26	<0.001	14.30	31.40	1.15	<0.001	7.85	0.04
S-31	0.05	44.40	0.71	7.75	82.50	1.41	0.77	0.36	2.77	3.36	<0.1	10.70	646.00	0.15	4.01	386.00	25.90	<0.001	2.46	519.00	0.16	0.03	22.90	0.04
TOPLAM-EPA 3051A																								
	Be	B	Al	Ti	Mo	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Rb	Sr	Se	Ag	Cd	Pb	Tl	Hg	Ba	U
	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
ST-32	<0.1	1.474	0.75	48.74	3.20	31.27	2.29	20.61	0.35	1.82	0.69	195.85	154.16	34.16	6.08	19.63	0.64	0.62	0.71	20.15	0.51	0.20	628.05	0.04
ST-33	<0.1	13.17	0.49	25.99	2.16	33.67	3.12	13.35	0.22	1.13	0.73	137.79	96.33	23.03	4.20	11.95	<0.1	0.47	0.47	14.45	0.32	0.28	402.51	0.03
ST-35	<0.1	12.63	0.15	8.80	0.76	30.96	2.72	3.76	0.05	0.32	0.54	35.45	28.23	6.23	1.18	3.78	0.17	0.13	0.17	3.52	0.09	0.18	101.67	0.01
ST-36	<0.1	14.07	0.25	12.51	0.71	29.48	2.71	7.42	0.05	0.35	0.51	236.19	42.62	2.94	1.92	11.46	1.91	0.19	0.25	3.51	0.04	0.26	81.68	0.01
ST-30	0.15	13.75	1.30	70.56	5.26	89.22	4.87	35.19	0.62	2.96	1.91	306.33	243.25	57.98	10.28	32.87	1.51	1.11	1.35	32.51	0.82	0.29	1067.65	0.07
ST-31	0.15	12.05	0.00	3.13	0.41	47.71	4.08	1.14	0.02	0.05	0.44	23.10	13.70	0.82	0.04	1.05	0.78	0.09	0.09	1.35	0.01	0.19	5.61	0.00
TOPLAM-EPA 3015A																								
	Be	B	Al	Ti	Mo	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Rb	Sr	Se	Ag	Cd	Pb	Tl	Hg	Ba	U
	ppb	ppm	ppm	ppb	ppb	ppb	ppb	ppm	ppm	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppm	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb
ST-37	0.03	0.17	0.54	9.21	1.69	2.94	0.81	0.01	0.13	0.34	3.47	5.72	2.91	2.66	1.20	0.28	0.25	0.01	0.03	0.75	0.01	0.02	32.52	0.64

Tablo D.3. 2012-Mayıs döneminde Murgul Deresi su örneklerindeki çözülmüş ve toplam element konsantrasyonları (Örnekler, Murgul Deresi akış yönünde sıralanmıştır. S-30 öncesi Murgul Deresi'nin kontrol alanını temsil etmektedir. Renklendirilmiş örnekler, maden sahalarından yapılan deşarjları temsil etmektedir.)

	Be	B	Al	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Rb	Sr	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Ba	Hg	Pb	Pi	U	
	ppb	ppb	ppm	ppb	ppb	ppb	ppb	ppm	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	
S-21	<0.01	<10	0.023	0.27	<0.1	1.15	3.45	0.04	0.05	0.35	7.39	19.83	0.57	0.12	0.19	0.06	15.19	0.04	0.06	0.66	<0.01	3.89	<0.01	0.62	<0.01	0.00	
S-22	<0.01	<10	0.027	0.32	<0.1	0.70	3.58	0.08	0.07	0.49	6.23	18.00	0.53	<0.1	0.16	14.89	0.06	<0.01	0.06	0.27	<0.01	4.81	<0.01	0.50	<0.01	0.01	
S-24	<0.01	<10	0.024	0.43	<0.1	0.38	3.27	0.04	0.05	0.38	2.69	8.40	0.31	<0.1	0.15	16.95	0.09	<0.01	0.05	1.09	<0.01	5.29	<0.01	0.28	<0.01	0.01	
S-25	<0.01	<10	0.025	0.56	<0.1	0.29	4.24	0.04	0.07	0.51	2.81	7.78	0.33	0.13	0.16	20.50	0.07	<0.01	0.05	3.07	<0.01	5.33	<0.01	0.28	<0.01	0.02	
S-26	<0.01	<10	0.036	0.25	<0.1	0.16	5.58	0.05	0.08	0.41	3.29	6.75	0.43	<0.1	0.13	22.95	0.12	<0.01	0.04	5.99	0.04	14.05	<0.01	1.05	<0.01	<0.01	
S-29	<0.01	<10	0.030	0.53	<0.1	0.37	5.18	0.05	0.08	0.44	3.42	7.59	0.39	<0.1	0.16	20.23	0.08	<0.01	0.04	0.42	0.01	12.34	<0.01	0.70	<0.01	0.01	
S-32	<0.01	<10	0.017	2.35	<0.1	<0.1	181.02	0.08	0.61	1.54	5.07	13.91	1.75	3.39	0.71	180.03	7.98	<0.01	0.35	0.14	1.13	25.30	0.01	5.07	0.04	0.02	
S-33	<0.01	<10	0.066	1.95	0.13	0.33	124.00	0.11	0.60	1.53	19.60	16.80	22.60	2.50	0.63	155.00	7.01	<0.01	0.28	0.08	0.93	28.10	<0.01	0.50	0.03	0.01	
S-35	<0.01	<10	0.027	0.56	<0.1	0.30	16.00	0.05	0.12	0.59	7.14	5.88	0.72	0.40	0.28	43.76	0.93	<0.01	0.06	0.09	0.15	18.63	<0.01	0.77	<0.01	0.01	
S-36	<0.01	13.20	0.044	0.91	0.73	0.53	5.21	0.06	0.11	1.10	7.31	2.53	2.10	0.39	0.37	103.00	0.84	<0.01	0.02	0.20	0.11	23.70	<0.01	0.51	<0.01	0.16	
S-37	<0.01	<10	0.026	0.28	0.59	<0.1	2.01	0.02	0.05	0.84	3.16	0.87	2.31	0.32	0.43	115.55	0.50	0.02	0.02	3.22	0.09	22.87	<0.01	0.26	<0.01	0.14	
S-30	<0.01	<10	0.036	4.22	<0.1	0.28	354.00	0.10	0.80	2.44	2.41	20.38	3.60	6.64	1.45	351.54	20.68	<0.01	0.65	2.20	2.60	30.90	0.17	1.36	0.07	0.03	
S-31	<0.01	<10	0.074	2.52	<0.1	0.72	414.00	0.09	1.83	2.49	31.20	21.40	1.96	1.80	1.08	145.00	6.04	<0.01	0.46	0.11	0.58	49.10	0.19	2.92	0.04	0.06	
TOPLAM																											
ST-21	0.02	<10	1.626	12.02	2.61	1.61	32.35	2.63	0.44	0.52	6.38	6.90	0.46	0.14	0.95	15.26	0.18	<0.01	0.04	0.03	0.02	8.69	<0.01	2.23	0.01	0.00	
ST-22	0.01	<10	0.894	5.25	1.02	<0.1	15.23	0.44	0.22	<0.01	2.42	5.26	0.22	0.09	0.59	14.59	0.13	<0.01	0.03	0.07	<0.01	6.99	<0.01	1.07	<0.01	0.00	
ST-24	0.02	<10	1.083	8.88	2.00	<0.1	41.01	0.47	0.38	<0.01	4.93	3.45	0.32	0.06	0.73	16.92	0.23	0.02	0.04	0.02	<0.01	8.47	<0.01	2.58	0.01	0.01	
ST-25	<0.01	<10	1.626	7.55	1.66	<0.1	18.35	0.57	0.28	0.66	3.99	11.06	0.29	0.13	0.72	19.59	0.18	<0.01	0.03	0.01	0.03	7.69	<0.01	1.35	0.01	0.00	
ST-26	0.01	<10	0.766	8.59	1.27	<0.1	18.57	0.26	0.30	0.34	11.05	9.37	0.78	<0.1	0.57	23.81	0.34	0.05	0.04	0.06	0.07	66.47	<0.01	6.82	0.02	0.02	
ST-29	0.01	<10	0.703	6.28	1.28	<0.1	18.46	0.25	0.26	<0.01	4.87	5.45	0.36	0.10	0.56	20.04	0.32	0.02	0.04	0.04	<0.01	23.35	<0.01	4.47	0.01	0.01	
ST-32	0.23	<10	18.660	79.35	15.33	2.37	726.23	6.56	4.93	4.31	448.38	140.50	26.84	3.49	13.44	198.70	14.53	0.65	0.71	4.10	1.02	564.77	0.05	53.52	0.50	0.14	
ST-33	0.26	17.22	16.895	25.24	3.30	<0.1	329.67	23.62	0.79	0.56	391.37	18.06	38.67	0.34	2.71	46.37	1.69	0.12	0.11	0.09	0.24	582.72	0.03	38.82	0.30	0.10	
ST-35	0.04	<10	3.590	22.35	3.38	<0.1	50.99	4.88	0.78	0.39	33.16	15.73	2.93	0.32	2.90	50.81	1.86	0.09	0.11	0.10	0.29	91.69	<0.01	7.33	0.04	0.02	
ST-36	0.02	35.89	1.684	15.58	2.64	2.01	30.26	2.41	0.46	2.53	9.60	5.41	2.31	0.15	1.68	114.26	1.23	0.02	0.06	0.03	0.15	37.58	<0.01	2.46	0.02	0.14	
ST-37	0.01	23.67	1.304	18.02	2.86	0.55	21.23	1.54	0.40	1.53	6.29	4.65	1.72	0.57	1.59	112.04	0.89	0.20	0.02	0.09	0.09	33.35	<0.01	2.04	0.02	0.21	
ST-30	0.67	29.78	56.993	156.58	44.78	7.52	1177.35	25.17	15.10	13.23	1453.94	2898.28	88.18	9.25	33.56	412.04	37.53	2.01	2.23	2.31	1.67	2173.91	0.23	151.33	1.55	0.45	
ST-31	0.29	14.67	18.614	83.15	11.70	4.19	692.09	42.10	11.94	7.88	2766.05	927.06	27.51	2.92	12.74	195.01	22.82	1.81	2.68	4.12	1.23	1597.13	0.23	92.82	0.40	0.25	

Tablo D.4. 2013-Ağustos döneminde Murgul Deresi su örneklerinin çözünmüş ve toplam element konsantrasyonları (Örnekler Murgul Deresi akış yönünde sıralanmıştır. S-30 öncesi Murgul Deresi'nin kontrol alanını temsil etmektedir. Renklendirilmiş örnekler, maden sahalarından yapılan deşarjları temsil etmektedir)

	Be	B	Al	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Rb	Sr	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Ba	Hg	Pb	Pb	Tl	U
S-21	ppb	ppb	ppm	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb
S-22	<0.01	<10	0.03	0.6	0.10	0.16	4.4	0.02	0.05	0.5	2.1	0.8	0.16	0.23	0.30	50	0.24	<0.01	0.03	<0.01	0.06	9.8	<0.01	0.30	<0.01	0.003	
S-24	<0.01	<10	0.09	2.2	0.16	0.47	10.4	0.08	0.20	1.1	2.6	2.4	0.23	0.23	0.35	121	0.38	<0.01	0.04	<0.01	0.27	20.1	<0.01	0.49	<0.01	0.005	
S-25	<0.01	<10	0.02	0.8	0.1	0.52	3.9	0.01	0.04	0.4	2.5	0.7	0.18	0.11	0.27	51	0.41	<0.01	0.03	0.05	0.07	10.8	<0.01	0.23	<0.01	0.005	
S-26	<0.01	<10	0.02	0.9	0.17	0.17	3.2	0.01	0.06	0.6	4.3	2.0	0.19	0.33	0.36	74	0.42	<0.01	0.04	2.64	0.06	15.2	<0.01	0.30	<0.01	0.004	
S-29	<0.01	<10	0.12	1.3	1.92	0.97	5.3	0.03	0.11	0.8	2.6	0.3	1.56	0.35	0.78	83	1.41	<0.01	0.02	<0.01	0.37	42.9	0.03	0.89	<0.01	0.05	
S-31b	<0.01	<10	0.05	0.8	0.56	0.35	14.2	0.01	0.12	0.7	2.6	2.5	0.93	0.27	0.56	86	0.92	<0.01	0.04	0.06	0.25	30.4	<0.01	0.38	<0.01	0.03	
S-32	<0.01	16.3	0.02	8.5	<0.1	0.61	385	0.02	1.69	5.3	4.4	3.8	0.86	0.40	1.08	1049	2.04	<0.01	0.09	0.17	0.22	24.4	<0.01	0.92	0.03	0.04	
S-33	<0.01	15.7	0.04	8.1	0.13	0.35	298	0.02	1.11	6.3	5.1	2.8	1.11	0.58	1.03	919	3.22	<0.01	0.09	1.57	0.41	35.9	<0.01	1.10	0.04	0.07	
S-35	<0.01	<10	0.05	1.2	0.37	0.97	36	0.03	0.17	1.5	6.1	1.7	0.97	0.28	0.57	145	0.16	0.01	0.04	8.04	0.22	23.4	<0.01	0.94	0.02	0.03	
S-36	<0.01	<10	0.03	2.6	0.23	0.60	63	0.01	0.28	2.1	4.3	0.8	0.86	0.38	0.54	333	2.00	<0.01	0.05	4.54	0.23	33.9	<0.01	0.11	0.02	0.04	
S-37	<0.01	16.7	0.03	1.3	0.21	0.33	23	0.17	0.22	1.6	5.5	1.9	5.70	0.55	0.52	201	1.84	0.04	0.05	0.59	0.30	32.0	<0.01	5.30	0.48	0.12	
S-30	<0.01	74.4	0.05	17.5	<0.1	1.04	909	0.03	2.96	9.4	13.6	42.1	0.63	1.80	4.55	1963	11.7	<0.01	0.64	0.05	0.62	16.7	<0.01	0.95	0.18	0.47	
S-30 tahliye tün.	<0.01	31.2	0.03	17.7	<0.1	0.09	773	0.92	4.26	13.9	5.8	6.2	0.23	0.53	1.60	2011	0.12	<0.01	0.05	<0.01	0.03	9.9	<0.01	0.49	<0.01	0.03	
S-31	<0.01	<10	0.06	2.3	0.12	0.74	131	0.03	0.65	2.2	21.8	6.1	2.19	2.44	1.30	165	36.17	0.04	0.24	0.09	0.86	49.2	0.09	2.56	0.32	0.05	
TOPLAM																											
ST-21	<0.01	<10	0.02	0.6	0.15	0.34	0.9	0.02	0.04	1.05	6.8	29.7	0.10	0.14	0.32	52	0.33	0.02	0.03	0.04	0.08	12.2	0.02	0.53	<0.01	0.002	
ST-22	<0.01	<10	0.11	2.4	0.27	2.63	6.5	0.09	0.16	2.29	6.9	8.0	0.18	0.20	0.40	128	0.66	0.02	0.04	0.05	0.29	20.7	0.03	0.36	<0.01	0.003	
ST-24	<0.01	<10	0.06	1.4	0.23	0.37	1.6	0.04	0.04	0.63	1.9	4.2	0.14	0.11	0.31	53	0.48	0.02	0.02	0.02	0.05	12.5	<0.01	0.24	<0.01	0.003	
ST-25	<0.01	<10	0.05	1.3	0.16	0.17	1.2	0.02	0.05	0.87	4.3	18.9	0.11	0.24	0.34	79	0.51	0.03	0.03	0.02	0.04	16.4	<0.01	0.30	<0.01	0.004	
ST-26	0.02	<10	1.50	24.2	3.55	2.20	27	1.04	1.03	2.69	11.1	11.2	4.27	0.17	1.53	103	3.28	0.30	0.34	8.57	1.06	27.5	0.03	32.92	0.06	0.09	
ST-29	<0.01	<10	0.33	6.3	1.09	0.65	10	0.22	0.20	1.25	10.3	12.3	0.96	0.13	0.84	91	1.42	0.05	0.08	0.04	0.68	67.9	<0.01	4.31	0.02	0.04	
ST-31b	<0.01	16.0	0.33	8.1	0.57	1.18	231	0.45	0.98	9.96	12.2	12.3	1.01	0.50	1.36	1193	2.44	0.13	0.07	0.05	0.23	50.3	0.03	2.63	0.03	0.05	
ST-32	0.04	14.8	2.11	21.2	3.19	4.87	338	2.23	2.36	12.50	124.3	97.7	9.50	0.85	3.30	992	12.08	0.35	0.53	0.17	0.89	131	0.05	21.90	0.23	0.07	
ST-33	0.11	15.1	9.51	10.3	13.3	3.78	517	4.93	4.85	8.36	375.3	77.4	12.91	0.68	7.76	980	7.28	0.84	0.42	0.20	1.42	577	0.09	69.57	0.21	0.14	
ST-35	0.01	<10	1.65	16.7	2.51	1.04	52	0.91	0.65	2.53	88.3	21.3	2.60	0.27	1.62	159	2.42	0.13	0.10	0.08	0.64	91.8	0.03	9.60	0.05	0.05	
ST-36	0.04	<10	3.94	38.4	5.14	1.57	118	2.24	1.55	3.91	264.0	41.2	5.42	0.46	3.18	382	4.89	0.30	0.21	0.34	0.67	171	0.03	24.06	0.10	0.07	
ST-37	0.01	14.1	0.91	14.0	1.78	0.83	57	0.68	0.66	1.84	18.0	11.6	1.72	0.31	1.46	212	2.24	0.10	0.08	0.11	0.40	53.0	0.02	9.51	0.04	0.13	
ST-30	<0.01	72.9	0.06	14.8	0.11	0.42	770	0.10	2.37	11.71	20.3	42.2	0.60	1.47	4.90	1970	14.02	0.02	0.51	0.46	0.54	26.0	0.04	0.46	0.18	0.50	
ST-30 tahliye tün.	0.02	29.7	0.45	15.2	0.51	0.82	563	1.35	3.47	12.16	7.7	7.1	1.35	0.57	2.00	1982	2.40	0.03	0.04	0.06	0.06	23.4	0.05	1.04	0.01	0.03	
ST-31	0.10	<10	8.45	39.6	9.83	8.08	218	46.26	22.14	20.65	34194	3887	233	13	7.66	228	173	9.10	11.58	0.59	11	3931	0.68	682	6.10	0.19	

Tablo D.5. Damar Deresi'nin çözünmüş (S-) ve toplam (ST-) iz element konsantrasyonlarının yıllara göre değişimi

	Be	B	Al	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Rb	Sr	Mo	Ag	Cd	Pb	Tl	Hg	Ba	U	Sn	Sb	
	ppb	ppb	ppm	ppb	ppb	ppb	ppm	ppm	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	
2011																											
S-34	0,01	2,0	0,14	0,47	0,34	0,08	0,08	0,13	0,16	<0,1	3,7	31,8	<0,01	0,10	0,2	26,9	0,07	<0,01	0,04	0,65	0,005	<0,01	12,2	0,02	-	-	-
S-18	<0,01	2,7	0,05	0,32	0,31	0,05	0,01	0,03	0,07	<0,1	1,3	2,31	<0,01	0,01	0,1	40,6	0,11	<0,01	0,01	0,08	0,002	<0,01	3,6	0,01	-	-	-
S-20	<0,01	10,9	0,03	1,60	0,25	0,13	0,11	0,01	1,04	0,26	33,4	114	<0,01	0,30	0,6	136,0	0,72	<0,01	1,20	0,22	0,03	<0,01	26,2	0,03	-	-	-
ST-20	0,03	10,8	0,39	3,01	0,57	0,04	0,13	0,11	1,31	2,22	154,6	146	1,00	0,25	0,6	116,5	0,59	0,01	1,69	5,62	0,04	0,02	41,5	0,04	-	-	-
2012																											
S-34	<0,01	<10	0,03	0,6	<0,1	0,7	0,01	0,04	0,3	2,3	5,0	13,2	0,3	<0,1	0,2	23,3	0,1	<0,01	1,3	12,9	<0,01	<0,01	8,5	0,02	0,2	0,01	0,01
S-20	<0,01	<10	0,02	1,6	<0,1	0,2	0,1	0,03	1,5	1,1	11,6	65,5	1,0	0,5	1,2	135	0,6	<0,01	1,1	0,9	0,02	<0,01	17,1	0,03	0,3	0,05	0,05
ST-34	0,01	<10	2,1	9,4	2,2	0,2	0,04	0,7	0,5	0,6	2,9	58,1	0,4	0,1	0,8	24	0,3	<0,01	0,03	0,5	0,01	<0,01	11,4	0,03	0,17	0,02	0,02
ST-20	0,52	22,2	43,5	88	18,7	1,0	0,6	10,7	5,0	3,0	1012	297	5,6	0,3	26,0	122	8,9	0,2	1,5	12,2	0,24	0,02	168	0,21	0,09	0,1	0,1
2013																											
S-18	<0,01	<10	0,12	0,4	0,29	1,30	0,02	0,05	0,13	0,7	4,3	3,2	0,21	0,14	0,18	52	0,07	<0,01	0,03	0,12	<0,01	0,01	8,2	0,02	0,40	0,09	0,09
S-20	<0,01	<10	0,05	0,8	<0,1	0,55	0,04	0,02	0,28	1,3	12,0	29,8	0,77	0,35	0,42	109	0,50	<0,01	0,33	0,10	0,02	<0,01	35,7	0,02	12,5	0,14	0,14
ST-18	0,11	<10	11,2	74,3	13,5	4,12	0,11	3,48	2,02	6,09	10,8	10,2	0,86	0,05	4,80	57	0,29	0,06	0,04	1,63	0,03	0,03	40,8	0,09	0,16	0,21	0,21
ST-20	0,02	<10	2,02	11,1	1,75	1,37	0,04	0,62	0,47	2,95	37,8	57,9	1,03	0,24	2,19	115	0,75	0,05	0,42	1,16	0,04	0,03	60,3	0,06	0,10	0,17	0,17

Tablo D.6. Damar Deresi'nden deşarj edilen örneklerdeki ve Damar Deresi'nin yan kolundaki çözülmüş (S-) ve toplam (ST-) iz element konsantrasyonlarının yıllara göre değişimi (S-15 örnekleri Damar Deresi yan kolunun kontrol kısmını, S-16 ve S-17 deşarj sonrasını, S-19 ise deşarj anını, S-10 ve S-11 Damar sahası içinde biriken suları, S-45 ise Damar sahasından yapılan deşarjı temsil etmektedir . Renklendirilmiş örnekler, maden sahalarından yapılan deşarjları temsil etmektedir)

	Be	B	Al	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Rb	Sr	Mo	Ag	Cd	Pb	Tl	Hg	Ba	U	Sn	Sb		
	ppb	ppb	ppm	ppb	ppb	ppb	ppm	ppm	ppb	ppb	ppm	ppm	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb		
2011																												
S-15	0,02	4,61	0,14	1,29	0,20	0,03	0,14	0,40	1,93	0,21	0,24	0,44	<0,01	0,25	0,48	70	0,44	<0,01	2,40	3,05	0,08	<0,01	22,40	0,02	-	-	-	
S-16	0,05	10,30	0,21	2,16	0,39	0,04	0,31	0,45	3,88	0,97	0,50	0,76	0,56	0,35	0,54	138	0,39	<0,01	4,33	4,20	0,07	<0,01	38,60	0,05	-	-	-	
S-19	0,54	27,20	1,87	4,50	2,56	0,92	0,85	13,52	9,15	2,58	4,99	3,04	17,10	1,59	2,86	443	2,12	0,02	3,86	329	0,83	<0,01	12,20	0,27	-	-	-	
S-17	0,12	8,72	0,77	3,29	0,55	0,09	0,49	0,47	5,27	1,42	1,43	1,80	1,57	0,36	0,67	128	0,39	<0,01	5,85	26,2	0,14	<0,01	53,90	0,10	-	-	-	
S-45	3,9	521,0	4,1	64,8	5,7	5,6	4,7	31,3	89,5	22,9	5,0	5,5	12,2	15,0	33,4	6040	4,9	0,01	28,7	661	1,4	<0,01	7,7	1,5	-	-	-	
S-10	1,63	411	2,93	50,40	6,28	1,68	3,78	19,35	78,30	14,50	2,55	3,65	53,70	16,60	35,70	6410	12,30	0,08	24,20	541	0,88	0,04	0,63	1,38	-	-	-	
S-11	0,09	22	0,08	5,13	0,09	<0,01	0,76	0,38	13,10	1,92	0,70	3,98	0,03	0,60	0,89	300	2,33	<0,01	16,40	30,5	0,22	<0,01	27,10	0,06	-	-	-	
ST-19	<100	105	456	<100	10108	<100	0,90	31,87	23,72	48,42	15,95	2,65	450,59	<100	323,82	1048	77,27	12,77	22,89	441,80	4,16	0,88	8950	1,20	-	-	-	
ST-45	117,6	1,E+07	2105	11029	24940	2544	5,84	812	467	2,91	47,53	39,58	7286	<100	1657	4710	873	195	309	5173	157	243	1,E+05	47,5	-	-	-	
ST-10	<100	14191	607	1889	14814	1730	4,7	321	154	621	57	21	463	258	545	7407	618	44	151	1338	13,0	248	10029	5,7	-	-	-	
ST-11	1,33	253	0,60	26,28	130,32	6,17	0,70	2,84	17,88	11,17	0,83	4,65	12,98	3,52	1,84	325	9,59	0,22	29,21	37,9	0,45	2,40	128,08	0,09	-	-	-	
2012																												
S-15	<0,01	<10	0,04	0,51	0,23	0,14	0,06	0,04	0,93	1,19	0,1	0,1	1,34	0,23	0,99	115,8	0,51	<0,01	1,11	0,87	0,07	<0,01	40,9	0,04	0,35	0,08	-	-
S-19	<0,01	<10	0,06	1,03	0,30	0,37	0,08	0,28	1,32	1,45	0,1	0,2	1,18	0,28	0,64	123,0	0,52	<0,01	1,21	0,65	0,06	<0,01	38,9	0,04	0,05	0,10	-	-
ST-15	0,03	<10	1,29	15,46	1,92	<0,1	0,10	1,97	1,63	1,26	0,2	0,2	1,99	1,61	2,43	127,6	1,03	0,05	1,23	5,09	0,08	<0,01	59,0	0,05	0,01	0,21	-	-
ST-19	0,16	10	11,51	105,88	14,78	15,70	0,30	16,77	4,19	5,27	0,84	0,76	9,10	0,27	10,67	147,6	2,67	0,34	2,09	41,48	0,17	0,02	243,8	0,13	2,36	0,89	-	-
2013																												
S-15	<0,01	<10	0,03	0,5	0,26	0,38	0,05	0,02	0,35	1,2	0,04	0,04	0,56	0,26	1,01	83	0,47	0,01	0,30	0,59	0,08	0,02	45,1	0,03	0,07	0,28	-	-
ST-15	<0,01	<10	0,21	3,9	0,60	0,58	0,03	0,18	0,26	1,66	0,04	0,03	0,47	0,12	1,10	86	0,75	0,06	0,23	1,04	0,08	0,02	56,8	0,04	0,08	0,56	-	-

Tablo D.7. Lepiskürdere ve atık barajı örneklerinde çözünmüş (S-) ve toplam (ST-) iz element konsantrasyonları (Örnekler akış yönünde sıralanmıştır. S-6 Lepiskürdere kontrol alanı, S-2 Lepiskürdere'nin atıksu barajı girişini temsil etmektedir. Renklendirilmiş örnek atık barajı örneğidir (S-4))

	Be	B	Al	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Rb	Sr	Mo	Ag	Cd	Pb	Tl	Hg	Ba	U	Sn	Sb	
	ppb	ppb	ppm	ppb	ppb	ppb	ppm	ppm	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	
2011																											
S-6	0,01	2,5	0,1	0,7	0,04	0,01	0,1	0,1	0,7	<0,1	9,1	3,8	<0,01	0,1	0,3	19,8	0,8	<0,01	0,1	0,1	0,1	<0,01	14,0	0,005	-	-	
S-3	0,03	2,8	0,3	1,2	0,03	0,1	0,1	0,4	2,0	0,4	8,3	37,6	0,3	0,1	0,5	58,1	0,8	<0,01	0,4	0,6	0,02	0,01	31,6	0,001	-	-	
S-5	0,02	13,9	0,1	10,8	0,04	<0,01	1,3	2,5	9,9	2,2	6,5	30,7	0,3	0,4	2,4	656	2,2	<0,01	0,3	0,1	0,1	0,01	27,7	0,002	-	-	
S-2	0,01	17,9	0,1	5,0	0,2	0,1	0,2	0,6	3,7	1,0	5,2	39,0	0,4	2,8	2,3	291	30,4	<0,01	0,4	0,05	0,1	0,03	30,2	0,01	-	-	
S-4	<0,01	76,5	0,2	18,0	3,3	0,1	0,003	<0,0001	0,2	1,5	0,2	5,7	9,7	19,6	7,6	678	168	<0,01	0,5	0,1	0,02	0,1	76,8	0,002	-	-	
ST-6	0,01	3,2	0,2	1,3	0,9	0,0	0,04	<0,0001	0,7	1,7	11,0	0,4	0,6	<1	0,3	16,9	0,3	0,01	0,1	0,2	0,02	0,01	9,1	0,01	-	-	
ST-3	2,8	214	0,5	37,7	302	13,5	0,1	2,9	4,2	7,1	14,4	117	10,9	6,6	2,0	65,8	8,2	0,3	2,4	3,5	0,6	2,8	36,9	0,5	-	-	
ST-5	1,5	219	0,2	40,2	246	13,4	1,2	6,4	13,3	13,6	17,0	100	21,0	<1	2,5	635	8,2	0,2	1,1	2,4	0,3	1,7	40,3	0,01	-	-	
ST-2	1,1	227	1,7	49,8	338	11,0	0,2	5,6	4,7	13,0	33,4	146	31,4	<1	2,7	267	44,7	0,1	1,4	4,0	0,2	3,7	70,3	0,03	-	-	
ST-4	6,8	310	0,3	39,3	273	12,0	0,0	2,7	10,3	25,7	14,9	118	23,5	6,3	15,0	590	208,7	0,2	2,9	4,6	0,5	2,2	68,5	1,0	-	-	
2012																											
S-6	<0,01	<10	0,07	0,2	<0,1	0,1	0,02	0,1	0,4	0,5	9,0	27,8	0,3	0,1	0,2	18,4	0,2	<0,01	0,2	0,4	0,01	<0,01	6,7	0,01	0,03	<0,01	
S-3	<0,01	<10	0,40	1,3	<0,1	0,5	0,1	0,9	2,2	0,9	45,1	48,4	0,5	0,3	0,4	29,5	0,2	<0,01	0,3	2,6	0,01	<0,01	15,1	0,02	0,02	0,04	
S-2	<0,01	<10	0,07	0,3	<0,1	0,1	0,02	0,1	0,4	0,6	12,1	20,5	0,3	<0,1	0,2	16,5	0,1	<0,01	0,2	1,9	0,01	<0,01	7,4	0,01	0,01	0,01	
S-4	<0,01	<10	0,07	3,1	0,6	1,1	0,03	0,09	0,3	1,3	0,1	11,3	9,4	8,2	2,3	179	28,8	<0,01	0,2	1,7	0,03	0,06	51,7	0,05	0,07	3,4	
ST-6	<0,01	<10	1,2	1,6	<0,1	0,9	0,02	0,7	0,3	0,8	5,3	6,7	0,5	<0,1	0,4	18	0,2	<0,01	0,1	0,7	0,01	0,01	32,2	0,01	0,04	<0,01	
ST-3	0,02	<10	1,3	1,2	<0,1	<0,1	0,1	1,0	2,5	1,4	31	20,7	0,4	0,2	0,5	29	0,2	<0,01	0,2	1,0	0,02	<0,01	13,4	<0,01	<0,01	0,02	
ST-2	<0,01	<10	0,7	3,2	0,3	<0,1	0,02	0,3	0,4	0,0	7,5	11,4	0,3	0,1	0,5	16	0,1	<0,01	0,1	0,8	0,01	<0,01	12,7	0,01	0,01	<0,01	
ST-4	0,01	23,7	0,6	5,2	1,0	<0,1	0,03	0,4	0,5	0,6	136	31,2	10,5	15,0	2,7	180	36,1	0,1	0,3	5,5	0,05	0,03	66,2	0,02	0,02	3,5	

Tablo D.8. Borçka Barajı'nın mansap (S-38), memba (S-44) ve Murgul Deresi kavuşum noktasından (S-37) farklı dönemlerde alınan su örneklerinin çözülmüş (S-) ve toplam (ST-) element konsantrasyonları

	Be	B	Al	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Rb	Sr	Mo	Ag	Cd	Pb	Tl	Hg	Ba	U	Sn	Sb	
	ppb	ppb	ppm	ppb	ppb	ppb	ppb	ppm	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	
2011																											
S-37	<0,01	154	0,01	1,01	2,13	0,89	3,02	0,02	0,08	0,50	3,41	6,56	2,61	0,28	1,00	313	1,25	<0,01	0,03	0,70	0,01	<0,01	43	0,52	-	-	
S-38	0,01	134	0,19	2,27	1,92	0,68	22,30	0,40	0,25	0,43	6,31	7,33	2,85	0,38	0,87	269	1,16	<0,01	0,03	2,91	0,02	<0,01	70	0,44	-	-	
S-44	<0,01	209	0,12	2,06	2,62	0,44	17,50	0,10	0,17	1,04	1,87	4,69	2,92	0,32	0,99	307	1,18	<0,01	0,01	0,16	0,01	<0,01	44	0,56	-	-	
ST-37	0,03	173	0,54	9,21	2,94	0,81	14,64	0,13	0,34	3,47	5,72	2,91	2,66	0,25	1,20	280	1,69	0,01	0,03	0,75	0,01	0,02	33	0,64	-	-	
ST-38	1,53	521	1,27	27,83	120,32	9,83	27,53	2,96	0,78	7,91	19,50	87,52	11,34	14,42	1,94	259	6,78	0,17	0,26	7,04	0,33	2,07	96	0,58	-	-	
2012																											
S-37	<0,01	<10	0,03	0,28	0,59	<0,1	2,01	0,02	0,05	0,84	3,16	0,87	2,31	0,32	0,43	116	0,50	0,02	0,02	0,26	<0,01	<0,01	23	0,14	3,22	0,09	
S-38	<0,01	14,0	0,02	0,41	0,68	0,19	3,85	0,03	0,08	0,97	2,97	1,84	2,05	0,22	0,51	147	0,46	0,01	0,04	0,74	<0,01	<0,01	20	0,20	0,46	0,07	
S-44	<0,01	<10	0,01	0,32	0,64	0,16	1,78	0,02	0,06	1,21	7,12	14,85	1,93	0,18	0,55	137	0,30	<0,01	0,11	0,71	<0,01	<0,01	18	0,11	0,41	0,07	
ST-37	0,01	23,7	1,30	18,02	2,86	0,55	21,23	1,54	0,40	1,53	6,29	4,65	1,72	0,57	1,59	112	0,89	0,20	0,02	2,04	0,02	<0,01	33	0,21	0,09	0,09	
ST-38	0,06	38,6	5,05	63,58	8,79	3,62	58,12	1,65	1,32	4,81	10,05	8,23	2,57	0,28	4,42	154	0,74	0,04	0,04	3,98	0,03	<0,01	46	0,30	0,09	0,09	
ST-44	0,05	51,0	2,16	37,69	5,38	2,37	34,68	0,72	0,81	3,27	2,22	3,58	1,67	<0,1	2,62	124	0,59	0,05	0,02	1,14	0,02	0,04	27	0,29	0,16	0,02	
2013																											
S-37	<0,01	16,7	0,03	1,30	0,21	0,33	22,56	0,17	0,22	1,64	5,48	1,94	5,70	0,55	0,52	201	1,84	0,04	0,05	5,30	0,48	<0,01	32	0,12	0,59	0,30	
S-38	<0,01	33,8	0,01	0,36	1,37	0,28	5,28	0,01	0,06	1,23	2,23	0,83	1,19	0,22	0,50	135	1,09	0,09	0,01	0,17	<0,01	<0,01	22	0,22	0,66	0,18	
ST-37	0,01	14,1	0,91	13,96	1,78	0,83	56,58	0,68	0,66	1,84	18,05	11,63	1,72	0,31	1,46	212	2,24	0,10	0,08	9,51	0,04	0,02	53	0,13	0,11	0,40	
ST-38	<0,01	30,0	0,04	1,69	1,67	0,73	3,50	0,03	0,08	1,66	1,46	3,24	0,97	0,22	0,60	154	1,48	0,02	0,04	0,80	<0,01	0,02	28	0,28	0,07	0,21	

Tablo D.9. Murgul Deresi-Borçka Barajı kavuşumunda çökelen maden atıklarının jeokimyası (SD-26: Borçka baraj havzasını temsil eden sediment, SD-36: Farklı derinliklerden alınmış maden atığı profili. A: profilin üst kısmını temsil etmektedir)

İçerik	Birim	SD-22	SD-23	SD-24	SD-25	SD-36A	SD-36B	SD-36C	SD-36D	SD-26
SiO ₂	%	88,05	81,95	92,77	67,59	64,65	61,68	56,54	54,10	63,29
Al ₂ O ₃	%	4,43	5,86	3,69	4,51	11,28	11,36	17,07	15,37	14,58
Fe ₂ O ₃	%	1,68	3,08	1,03	6,20	5,05	5,81	6,93	8,01	5,39
MgO	%	0,47	0,84	0,28	0,84	0,84	1,54	3,79	3,17	2,24
CaO	%	0,15	0,14	0,05	0,39	0,31	1,12	1,27	1,16	4,35
Na ₂ O	%	0,09	0,32	0,12	0,27	0,22	0,65	1,51	1,31	2,92
K ₂ O	%	0,91	1,08	0,68	0,77	2,20	1,70	1,91	1,81	1,86
TiO ₂	%	0,11	0,16	0,09	0,17	0,19	0,31	0,59	0,54	0,54
P ₂ O ₅	%	0,02	0,03	0,02	0,04	0,04	0,08	0,12	0,12	0,17
MnO	%	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,04	0,17	0,08	0,11
Cr ₂ O ₃	%	0,09	0,08	0,15	0,09	<0,01	<0,01	0,004	<0,01	0,06
SO ₃	%	1,65	3,90	0,20	10,46	7,46	5,79	1,29	3,66	0,14
LOI	%	2,13	2,98	0,69	7,71	7,01	8,99	8,34	10,13	4,12
Toplam	%	99,79	100,44	99,78	99,06	99,26	99,07	99,53	99,46	99,77
Ag	ppm	<10	<10	<10	<10	32	41	<10	<10	35
As	ppm	47	<10	<10	211	214	197	<10	91	24
Ba	ppm	792	2318	744	5995	4732	6298	2777	3418	425
Bi	ppm	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Cd	ppm	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Ce	ppm	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Cl	ppm	<10	107	<10	53	<10	73	102	<10	191
Cu	ppm	240	302	102	554	675	419	353	325	99
Co	ppm	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Eu	ppm	<10	<10	29	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Ga	ppm	<10	93	<10	<10	<10	<10	13	12	12
Gd	ppm	<10	<10	<10	97	<10	<10	<10	<10	<10
Ir	ppm	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Nb	ppm	<10	<10	<10	<10	<10	5	<10	<10	<10
Ni	ppm	335	281	527	328	<10	24	28	27	246
Mo	ppm	99	80	158	87	36	32	14	10	57
Tb	ppm	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Te	ppm	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Pb	ppm	24	58	40	113	303	496	183	210	<10
Pd	ppm	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Rb	ppm	11	15	11	9	34	25	31	28	49
Sb	ppm	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Sc	ppm	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Se	ppm	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Sr	ppm	28	51	22	<10	127	188	144	155	296
V	ppm	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	149
W	ppm	<10	<10	<10	<10	69	76	45	53	<10
Y	ppm	<10	<10	<10	<10	<10	14	<10	<10	<10
Zn	ppm	60	289	59	746	236	269	267	238	112
Zr	ppm	46	47	50	26	52	54	100	92	98

Tablo D.10. Murgul Deresi yatağında çökelmiş flotasyon atık malzemesinin farklı derinliklerinden alınmış örneklerin jeokimyası (Şekil 3.53) (A: İstifin üst kesimini temsil etmektedir)

İçerik	Birim	SD-35A	SD-35B	SD-35C	SD-35D	SD-35E	SD-35F
SiO ₂	%	77,59	62,93	72,58	76,11	80,77	59,49
Al ₂ O ₃	%	6,28	8,82	6,34	8,47	4,82	15,98
Fe ₂ O ₃	%	2,97	4,85	3,85	3,4	3,05	6,51
MgO	%	0,49	0,94	0,57	1,02	0,44	3,4
CaO	%	0,04	0,33	0,14	0,69	0,21	2,07
Na ₂ O	%	0,18	0,75	0,07	1,14	0,06	1,58
K ₂ O	%	1,17	1,43	1,29	1,59	1,05	1,86
TiO ₂	%	0,14	0,29	0,13	0,25	0,12	0,52
P ₂ O ₅	%	0,02	0,03	0,05	0,04	0,04	0,09
MnO	%	<0,01	0,01	0,004	0,01	<0,01	0,12
Cr ₂ O ₃	%	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01
SO ₃	%	5,96	8,33	8,29	2,40	5,26	1,19
LOI	%	4,19	10,53	6,23	4,30	3,74	6,25
Toplam		99,03	99,24	99,54	99,42	99,56	99,07
Ag	ppm	<10	43	<10	<10	34	<10
As	ppm	91	145	151	135	115	65
Ba	ppm	7290	5200	3210	3430	2594	6367
Bi	ppm	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Cd	ppm	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Ce	ppm	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Cl	ppm	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Cu	ppm	307	266	245	402	213	544
Co	ppm	<10	144	<10	<10	53	<10
Eu	ppm	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Ga	ppm	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Gd	ppm	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Ir	ppm	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Nb	ppm	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Ni	ppm	<10	<10	<10	16	<10	35
Mo	ppm	18	28	20	15	19	15
Tb	ppm	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Te	ppm	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Pb	ppm	143	167	49	71	49	231
Pd	ppm	0	<10	<10	<10	<10	<10
Rb	ppm	14	20	18	25	16	26
Sb	ppm	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Sc	ppm	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Se	ppm	10	<10	17	16	18	<10
Sr	ppm	135	124	72	112	62	240
V	ppm	<10	<10	<10	<10	<10	<10
W	ppm	191	204	201	390	502	115
Y	ppm	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Zn	ppm	314	324	<10	287	<10	392
Zr	ppm	33	54	41	72	42	76

Tablo D.11. Fabrika Deresi'nin kontrol (S-40) ve Kuvarshan maden drenajı karışım noktasının aşağısından (S-46) farklı dönemlerde alınan örneklerin çözülmüş (S-) ve toplam (ST-) iz element konsantrasyonları (S-41, Kuvarshan sahasından meydana gelen drenaj suyudur)

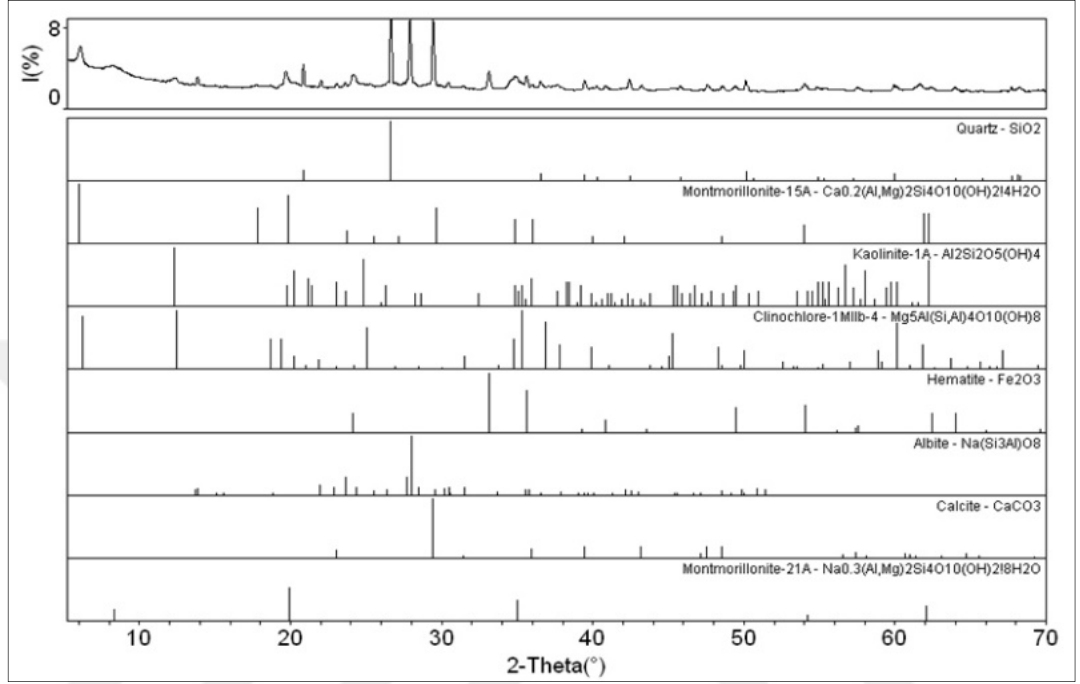
Örnek	2011																	2012																	2013																
	Be	B	Al	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Rb	Sr	Mo	Ag	Cd	Ba	Pb	Tl	Hg	U	Sn	Sb																									
S-41	0,04	27	0,08	63,5	0,1	<0,01	22,8	0,2	337	239	4,7	51,2	23,2	6,9	1,1	1100	0,7	0,02	259	7,3	9,45	0,7	<0,01	0,57	-	-																									
S-40	<0,01	7,1	0,02	0,7	0,4	0,4	0,003	0,03	0,06	<0,01	0,001	0,005	1,3	0,25	0,2	77	0,2	<0,01	0,02	57,2	0,24	0,01	<0,01	0,04	-	-																									
ST-41	4,5	178	42	96,4	87	19,4	22,7	6,06	350	301	44,7	71,6	33,4	14,0	1,4	938	4,1	0,25	390	25,0	107	0,9	1,4	5,2	-	-																									
ST-40	<0,01	8,2	0,03	1,0	0,5	0,8	0,00	0,05	0,1	1,7	0,001	0,00	0,9	0,3	0,2	71	0,4	0,00	0,03	37,9	0,2	0,004	<0,01	0,1	-	-																									
S-40	<0,01	<10	0,04	0,3	0,1	0,2	0,003	0,12	0,1	0,5	0,01	0,02	2,8	<0,1	0,2	41,9	0,1	<0,01	0,1	36,3	0,5	<0,01	<0,01	0,03	5,6	0,03																									
S-41	2,80	<10	151	40,1	0,3	11,1	29,0	8,7	800	198	108	78	176	5,8	0,5	484	0,3	<0,01	232	0,4	22	0,34	<0,01	6,58	0,1	0,2																									
S-46	<0,01	<10	0,03	0,9	0,2	0,2	0,01	0,05	0,3	1,3	0,02	0,02	9,3	0,5	0,3	163	0,4	<0,01	0,3	51,1	2,1	0,01	<0,01	0,20	1,8	0,08																									
ST-41	4,18	<10	158	39,1	0,5	37,0	29,4	26,3	812	319	111	79	181	7,7	0,8	790	0,2	0,02	290	<0,1	34	0,35	<0,01	9,10	0,03	0,2																									
ST-46	<0,01	9,3	0,4	2,7	0,9	<0,1	0,02	0,06	0,4	1,0	0,03	0,02	8,1	0,3	0,5	155,4	0,6	0,01	0,2	49	0,6	0,01	0,02	0,22	0,1	0,03																									
S-40	<0,01	<10	0,01	0,6	0,26	0,02	0,004	0,01	0,06	0,9	0,001	0,4	1,20	0,49	0,26	94	0,16	<0,01	0,03	65,7	0,27	<0,01	<0,01	0,05	<0,01	0,11																									
S-46	<0,01	14,4	0,01	0,7	0,52	0,59	0,0012	0,02	0,08	1,6	0,002	<0,0001	7,47	0,54	0,43	315	0,60	0,02	0,01	78,2	0,08	0,01	0,12	0,49	<0,01	0,14																									
S-41	<0,01	<10	0,05	34	<0,1	<1	19,9	0,05	229	209	3,4	32	33	17	0,9	1209	7,30	<0,01	237	89	3,5	<0,01	<0,01	1,9	<0,01	0,60																									
ST-40	<0,01	<10	0,09	1,9	0,80	0,49	0,007	0,12	0,13	1,19	0,002	0,002	1,29	0,27	0,40	109	0,43	0,14	0,03	82,1	0,73	<0,01	0,03	0,05	0,02	0,12																									
ST-46	<0,01	13,8	0,0	0,9	0,7	0,7	0,0003	0,01	0,1	1,7	0,002	0,001	6,1	0,4	0,5	347,6	1,0	0,02	0,0	101	0,1	0,01	0,02	0,52	0,0	0,24																									
ST-41	0,20	25,6	2,3	31,2	1,1	2,4	21,4	0,42	256,1	231	8,6	38	43,3	5,9	1,2	1235	1,1	0,06	251,0	15,9	27,21	0,3	0,03	2,39	0,07	0,5																									

Tablo D.12. Murgul ve Kuvarshan sahalarından alınan AMD örneklerinin çözünmüş (S-) ve toplam (ST-) iz element konsantrasyonları

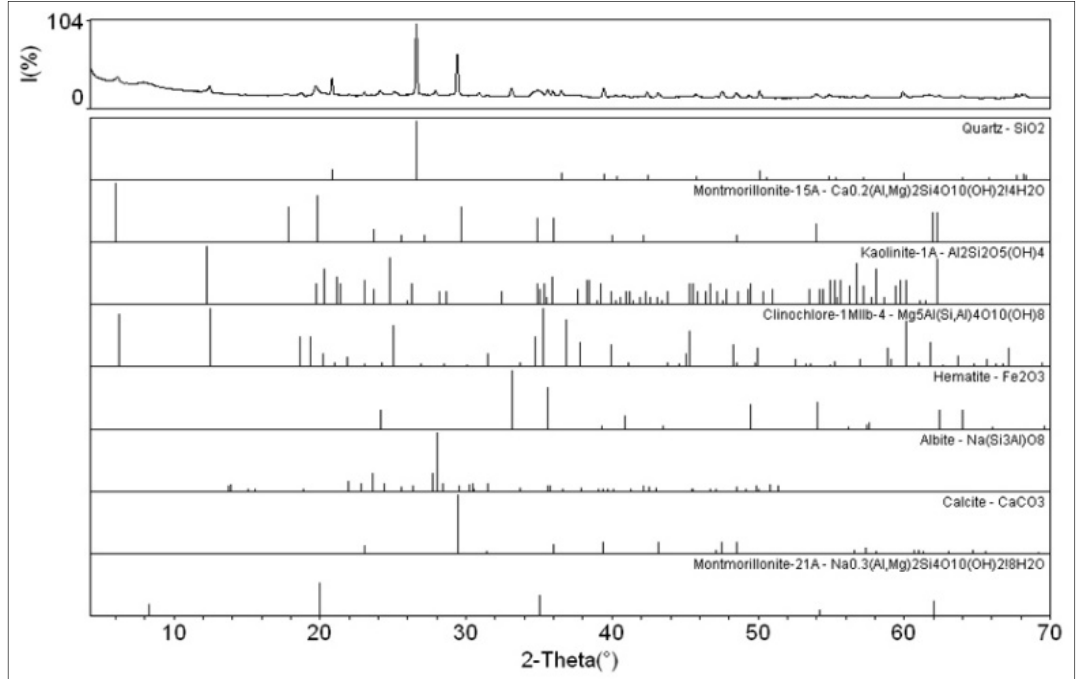
Örnek	Lokasyon	2011 Ağustos																										2012 Mayıs																									
		Be	B	Al	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Rb	Sr	Mo	Ag	Cd	Pb	Tl	Hg	Ba	U	Sn	Sb	Be	B	Al	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Rb	Sr	Mo	Ag	Cd	Pb	Tl	Hg	Ba	U	Sn	Sb
S-1	Çarlık su birikintisi	2.87	10.70	10.97	9.17	0.06	<0.01	8.06	75.39	65.70	2.71	17.93	0.55	<0.01	1.30	5.87	146.00	1.78	0.02	4.65	16.50	0.56	0.05	23.60	2.63	-	0.29	<10	1.56	2.63	<0.1	1.72	2.05	15.70	3.37	2.66	0.10	0.26	0.34	0.27	52.50	<0.01	0.84	6.23	0.02	<0.01	31.67	0.27	0.04	<0.01			
S-7	Çakmakçaya: Asidik su birikintisi	2.59	<0.05	75.23	35.20	6.51	<0.01	17.45	1474.62	204.00	9.36	382.13	1.67	560.00	18.10	0.72	106.00	16.70	0.01	10.20	12.20	1.30	0.01	10.40	9.45	-	2.73	<10	75.80	34.40	0.18	3.55	14.25	50.90	502.68	41.40	145.00	5.15	2.14	5.09	0.39	342.00	0.10	<0.01	11.90	3.36	0.11	<0.01	4.41	2.64	0.14	<0.01	
S-8	Çakmakçaya: Asidik su birikintisi	3.04	<0.05	60.32	21.90	0.62	<0.01	19.25	878.20	172.00	9.01	303.03	1.34	158.00	8.81	0.37	165.00	2.80	<0.01	6.75	5.15	0.25	<0.01	<0.1	8.98	-	2.96	<10	81.60	37.70	2.78	4.02	12.31	92.60	475.23	26.70	227.00	4.81	100.00	7.48	0.38	198.00	2.72	<0.01	14.30	10.60	0.13	<0.01	6.88	3.79	1.65	0.03	
S-9	Çakmakçaya: Madendeki gölet	0.04	20.20	0.10	6.18	0.04	<0.01	0.18	0.84	4.27	1.07	0.72	0.18	1.07	3.67	1.91	359.00	18.50	0.00	0.91	0.15	0.10	<0.01	54.90	0.02	-	0.53	<10	1.54	8.42	<0.1	0.34	2.07	4.71	42.20	9.59	13.70	3.16	4.05	1.21	1.18	550.00	0.19	<0.01	11.80	29.24	0.18	<0.01	32.63	0.46	1.52	0.01	
S-14	Damar: Asidik su birikintisi	1.25	44.60	0.81	9.91	<0.01	<0.01	2.32	0.03	57.20	<0.1	13.97	3.06	<0.01	1.29	1.49	595.00	0.91	0.03	12.10	18.40	0.19	<0.01	26.20	0.44	-	0.16	<10	0.19	4.06	<0.1	<0.1	1.26	0.87	24.29	4.05	4.69	18.20	1.18	0.92	0.75	131.20	0.02	<0.01	62.48	370.00	0.77	<0.01	24.50	0.29	0.79	0.02	
S-39	Kuvarshan:Asidik su birikintisi	0.92	16.40	32.60	28.80	8.77	10.10	3.74	176.39	148.00	37.00	6.01	3.94	924.40	62.50	6.80	106.00	5.40	1.09	14.50	165.00	42.90	<0.01	6.61	0.79	-	2.33	<10	349.00	74.60	71.90	58.60	9.03	1830.00	1022.00	106.00	80.00	39.40	358.86	128.00	1.27	150.00	66.00	0.38	44.10	125.00	5.87	0.04	5.54	3.19	0.86	28.70	
ST-1	Çarlık su birikintisi	8.85	246.03	11.33	59.84	345.28	19.13	7.22	36.45	152.21	38.96	20.55	1.57	77.74	<1	11.66	316.33	9.11	0.21	15.43	20.66	0.73	3.81	28.12	3.13	-	0.74	<10	2.06	2.88	0.09	14.51	1.77	6.57	25.77	9.60	2.75	0.12	0.22	0.30	0.56	90.48	1.31	0.02	1.03	2.48	0.02	0.01	33.90	0.30	0.16	0.04	
ST-7	Çakmakçaya: Asidik su birikintisi	14.21	136.03	101.34	218.18	153.06	22.02	21.59	1983.27	829.98	93.73	394.75	8.06	2188.74	67.23	2.80	403.00	91.50	0.64	67.21	15.66	1.63	2.72	16.46	11.22	-	5.18	<10	76.44	56.69	1.68	6.02	14.42	71.06	517.00	55.92	148.89	5.25	7.87	7.33	2.11	794.26	1.07	0.21	18.11	3.78	0.14	<0.01	19.02	3.38	<0.01	0.05	
ST-8	Çakmakçaya: Asidik su birikintisi	3.59	<10	73.44	36.35	4.26	5.66	12.85	444.39	505.16	55.92	238.89	4.63	146.62	9.85	0.76	456.48	4.95	0.11	20.00	9.67	0.13	<0.01	9.50	4.94	<0.01	3.59	<10	73.44	36.35	4.26	5.66	12.85	444.39	505.16	55.92	238.89	4.63	146.62	9.85	0.76	456.48	4.95	0.11	20.00	9.67	0.13	<0.01	9.50	4.94	<0.01	0.05	
ST-9	Çakmakçaya: Madendeki gölet	0.44	16.89	60.22	13.58	1.87	<0.1	20.00	29.39	41.54	10.46	120.00	36.44	6.30	1.26	2.72	550.92	6.60	0.23	9.57	31.15	0.18	<0.01	73.91	0.35	-	0.44	16.89	60.22	13.58	1.87	<0.1	20.00	29.39	41.54	10.46	120.00	36.44	6.30	1.26	2.72	550.92	6.60	0.23	9.57	31.15	0.18	<0.01	73.91	0.35	<0.01	0.35	
ST-48	Damar: Asidik su birikintisi	0.43	14.89	2.35	13.24	1.26	0.62	1.28	2.23	39.66	6.29	4.71	18.11	1.43	1.03	2.36	179.81	0.74	0.06	65.00	384.85	0.90	<0.01	31.37	0.35	0.01	0.43	14.89	2.35	13.24	1.26	0.62	1.28	2.23	39.66	6.29	4.71	18.11	1.43	1.03	2.36	179.81	0.74	0.06	65.00	384.85	0.90	<0.01	31.37	0.35	0.01	0.05	
ST-39	Kuvarshan:Asidik su birikintisi	3.56	<10	211.10	78.80	105.33	85.57	9.43	992.17	1019.99	168.12	58.44	28.78	103000	306.64	3.31	464.26	161.09	3.88	106.44	167.59	7.76	0.25	9.58	3.80	0.56	3.56	<10	211.10	78.80	105.33	85.57	9.43	992.17	1019.99	168.12	58.44	28.78	103000	306.64	3.31	464.26	161.09	3.88	106.44	167.59	7.76	0.25	9.58	3.80	0.56	69.22	

Ek-E

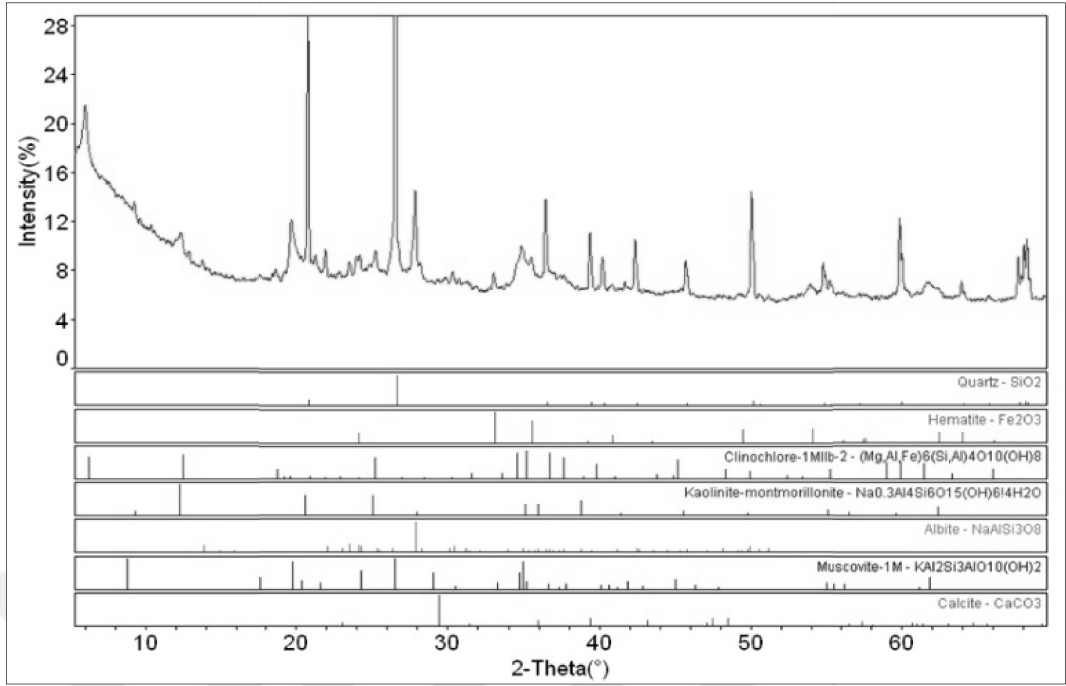
ÇALIŞMA SAHALARINDAN ALINAN ÖRNEKLERİN X-IŞINI DİFRAKTOGRAMLARI



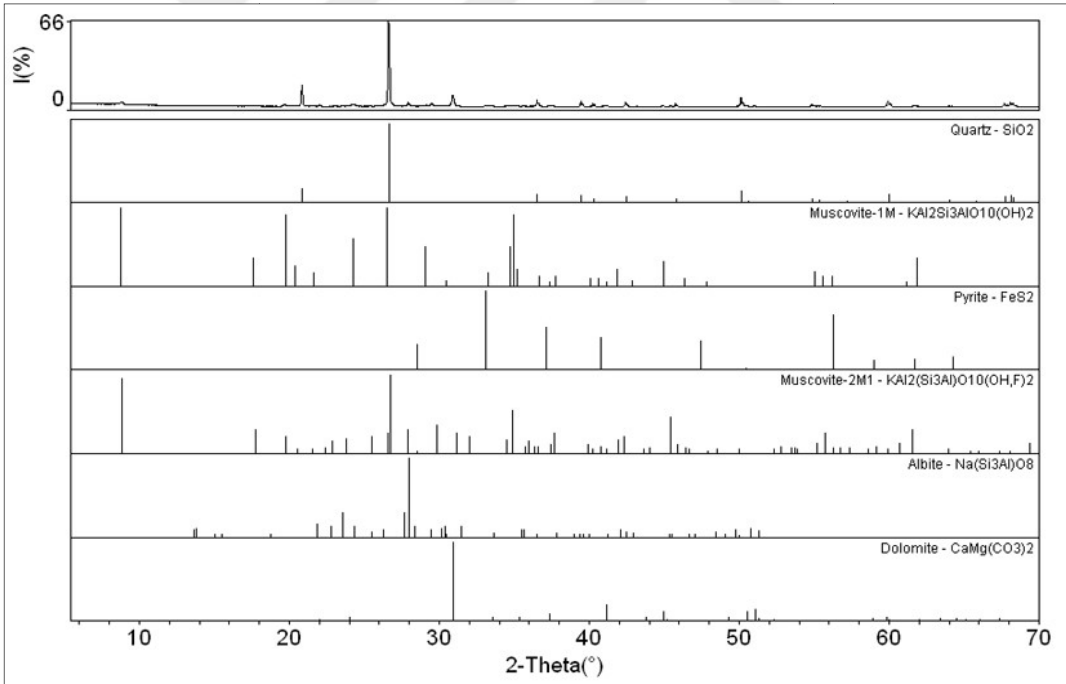
Şekil E.1. T-1 toprak örneğine ait X-ışını difraktogramı



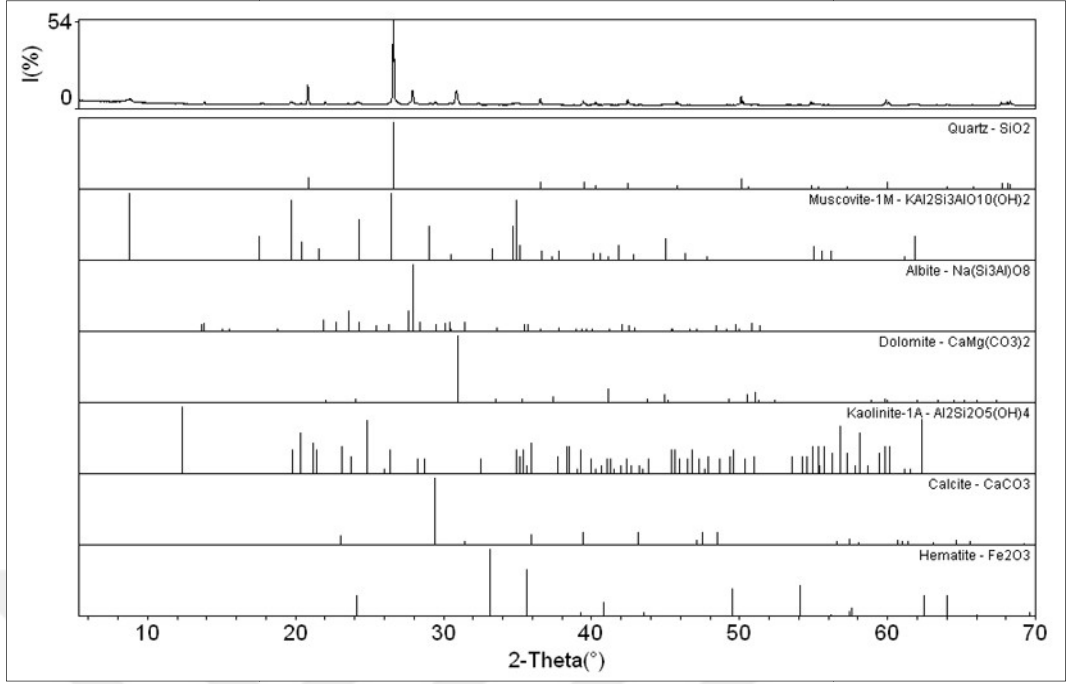
Şekil E.2. T-2 toprak örneğine ait X-ışını difraktogramı



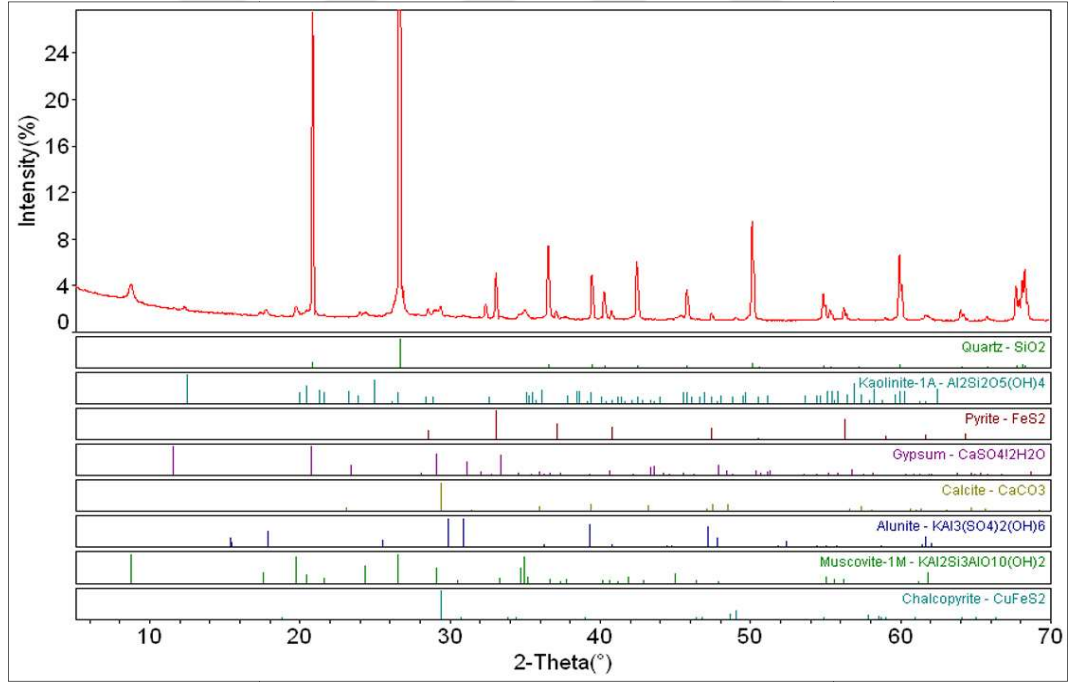
Şekil E.3. T-3 toprak örneğine ait X-ışını difraktogramı



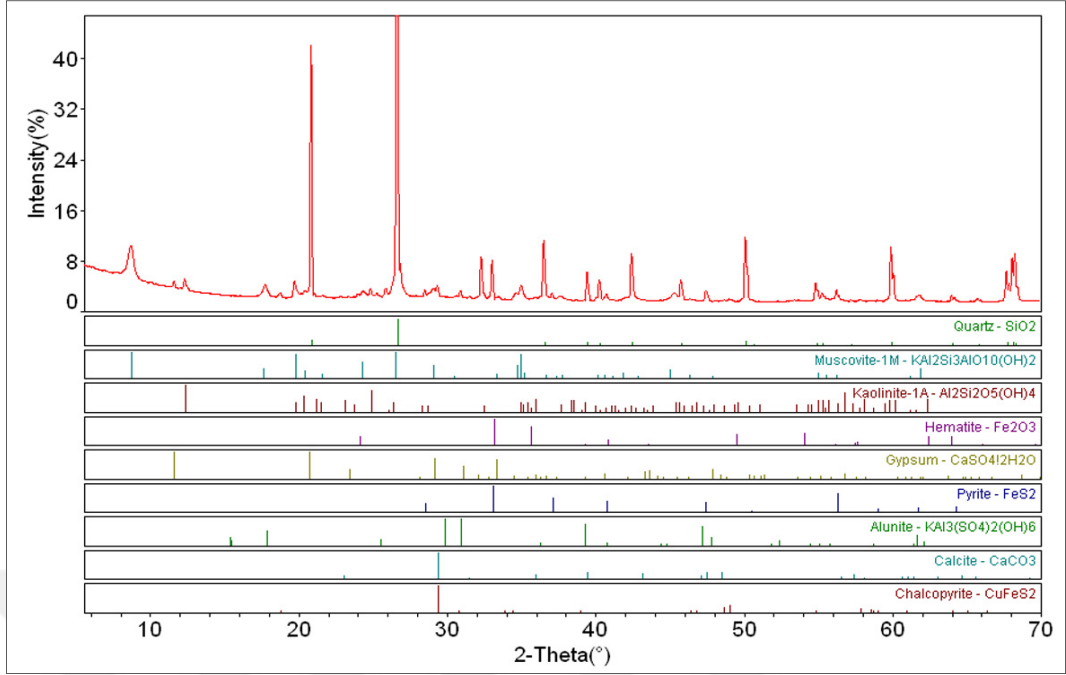
Şekil E.4. K-4 (mor dasit) örneğine ait X-ışını difraktogramı



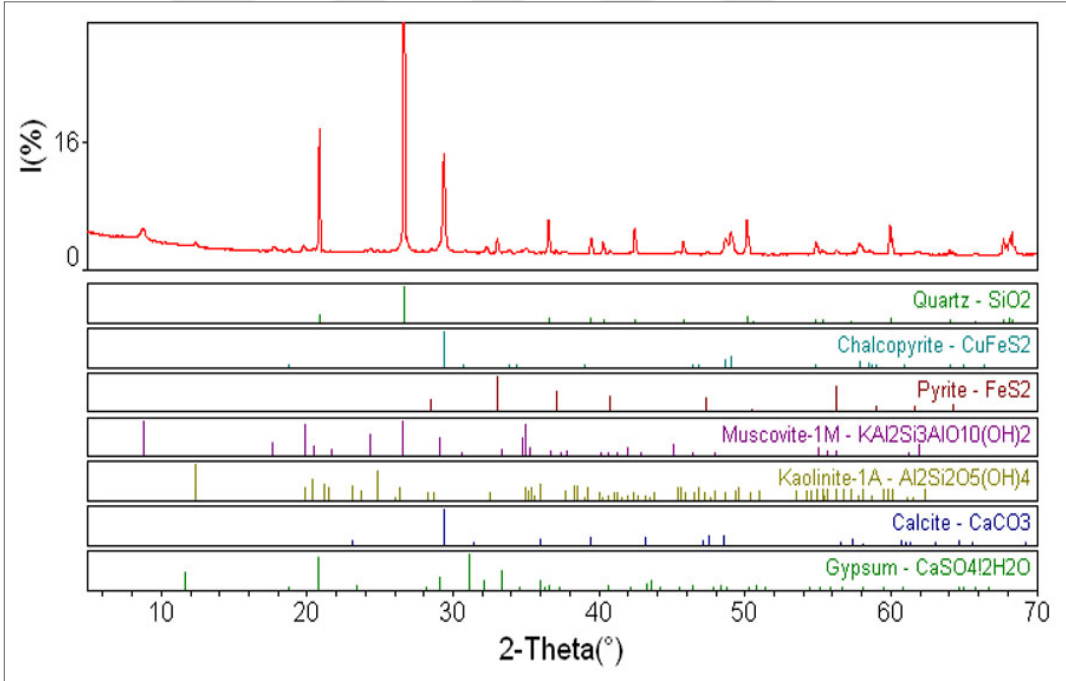
Şekil E.5. K-5 (mor dasit) örneğine ait X-ışını difraktogramı



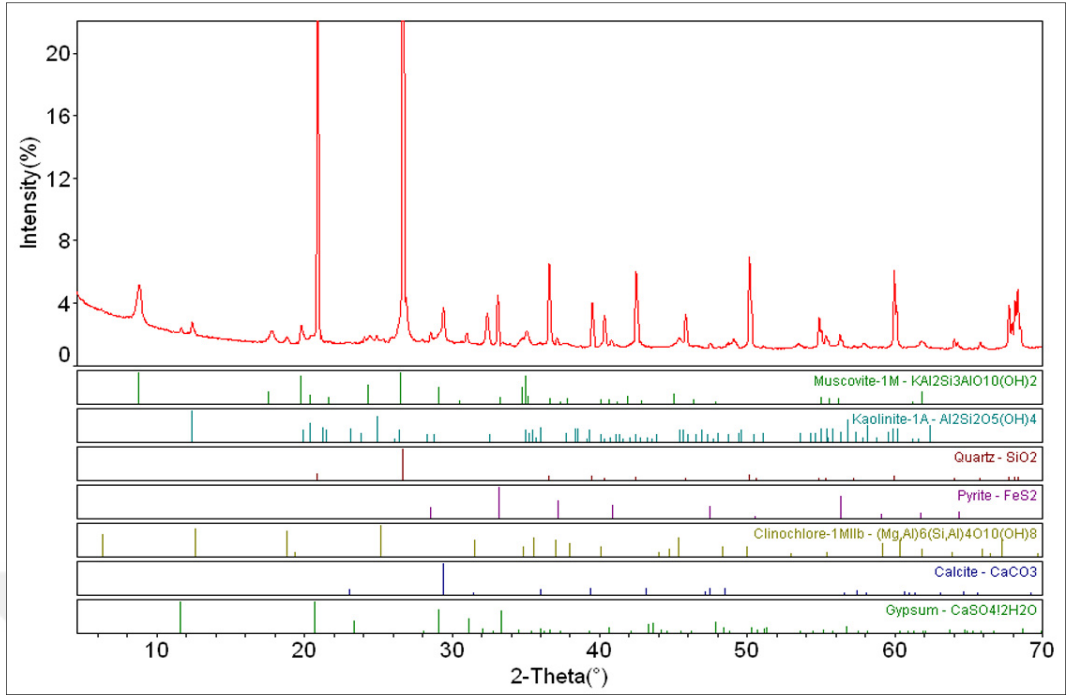
Şekil E.6. K-1 (Çakmakkaya-cevherli dasit) örneğine ait X-ışını difraktogramı



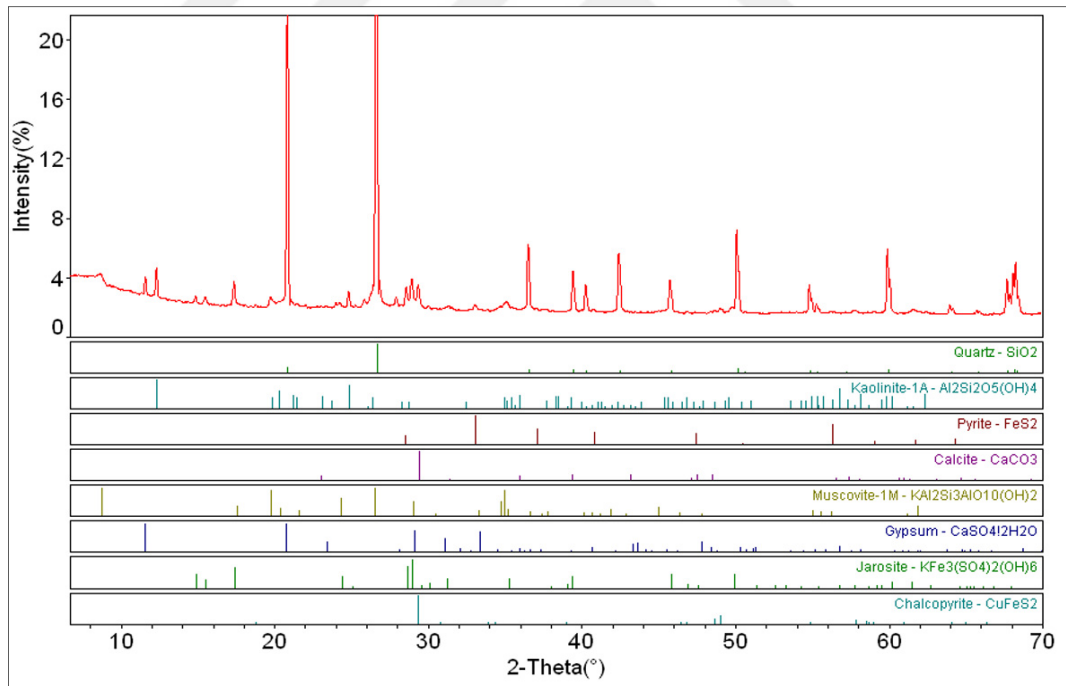
Şekil E.7. K-6 (Damar-cevherli dasit) örneğine ait X-ışını difraktogramı



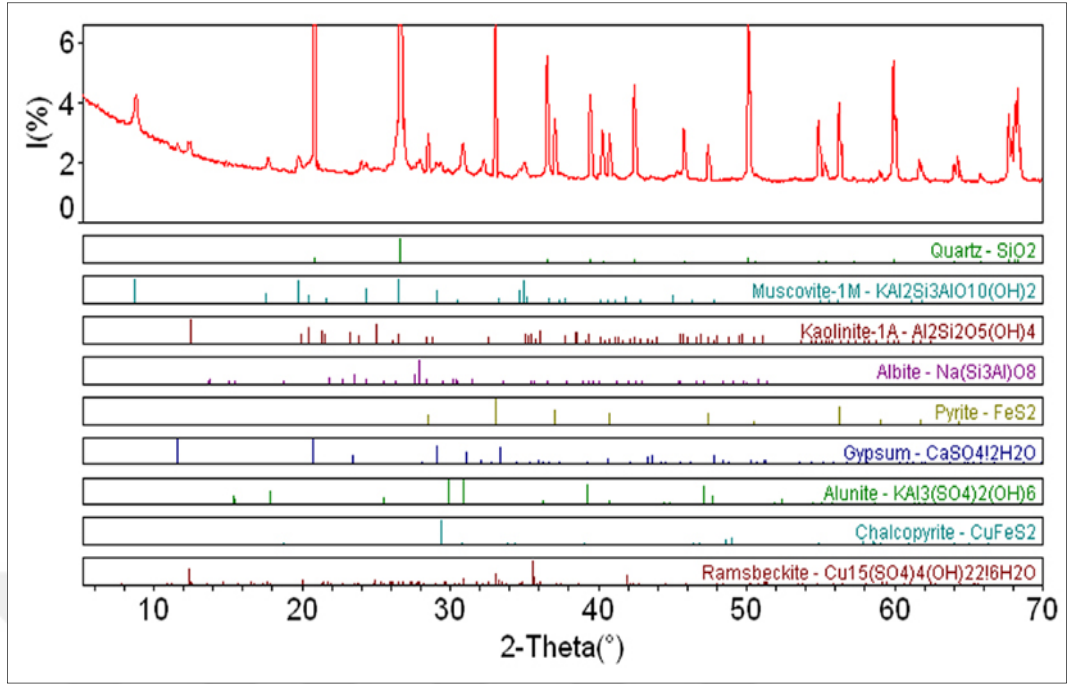
Şekil E.8. K-10 (Çakmakkaya-cevherli dasit) örneğine ait X-ışını difraktogramı



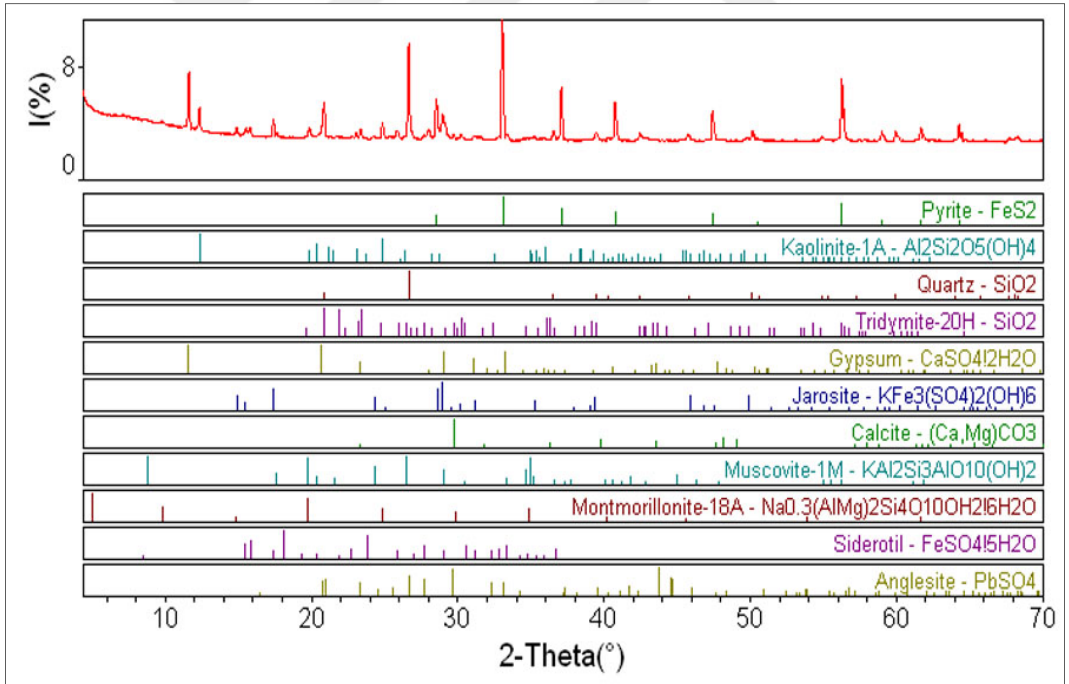
Şekil E.9. K-11 (Çakmakkaya-cevherli dasit) örneğine ait X-ışını difraktogramı



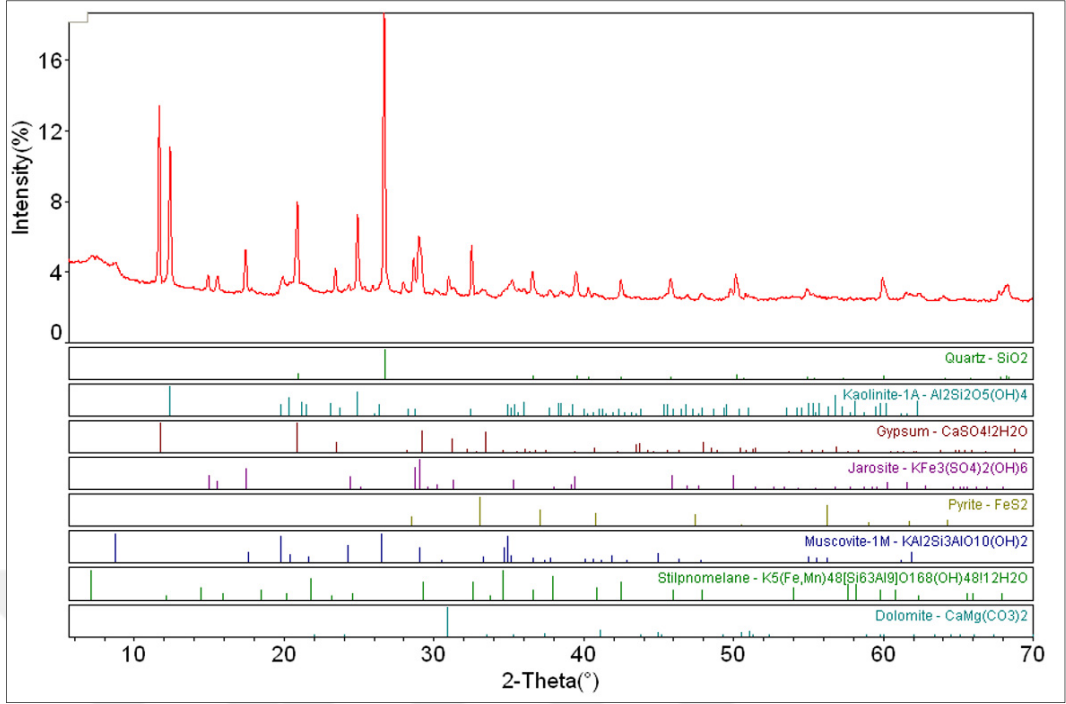
Şekil E.10. K-12 (K.B.İ. eski işletme-cevherli dasit) örneğine ait X-ışını difraktogramı



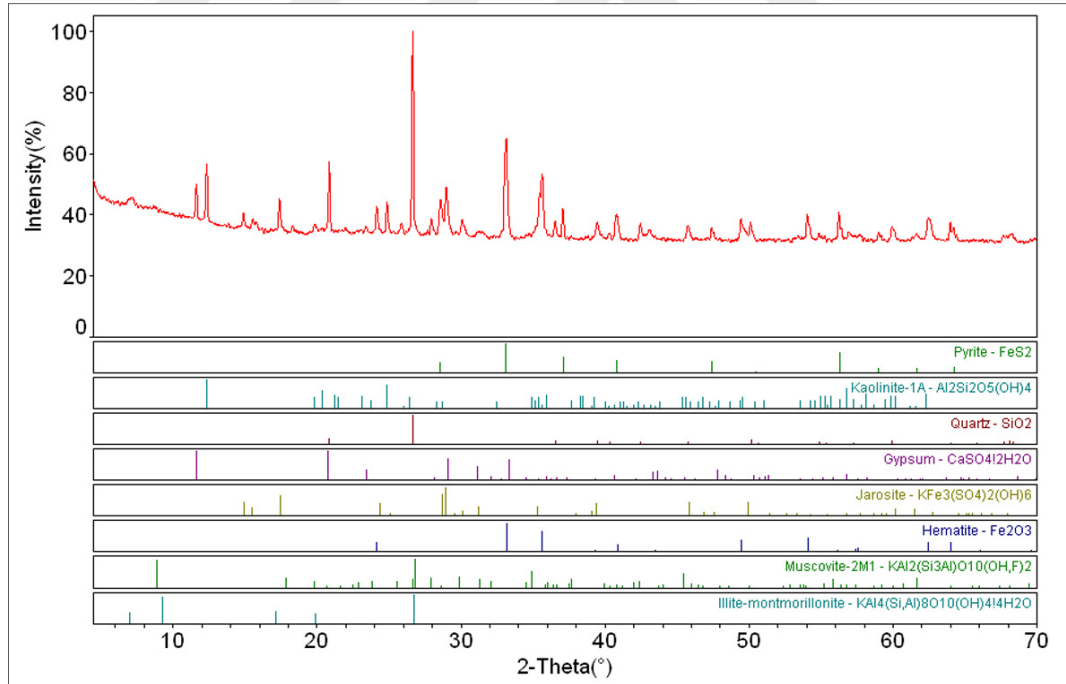
Şekil E.11. K-19 (Çarkbaşı-cevherli dasit) örneğine ait X-ışını difraktogramı



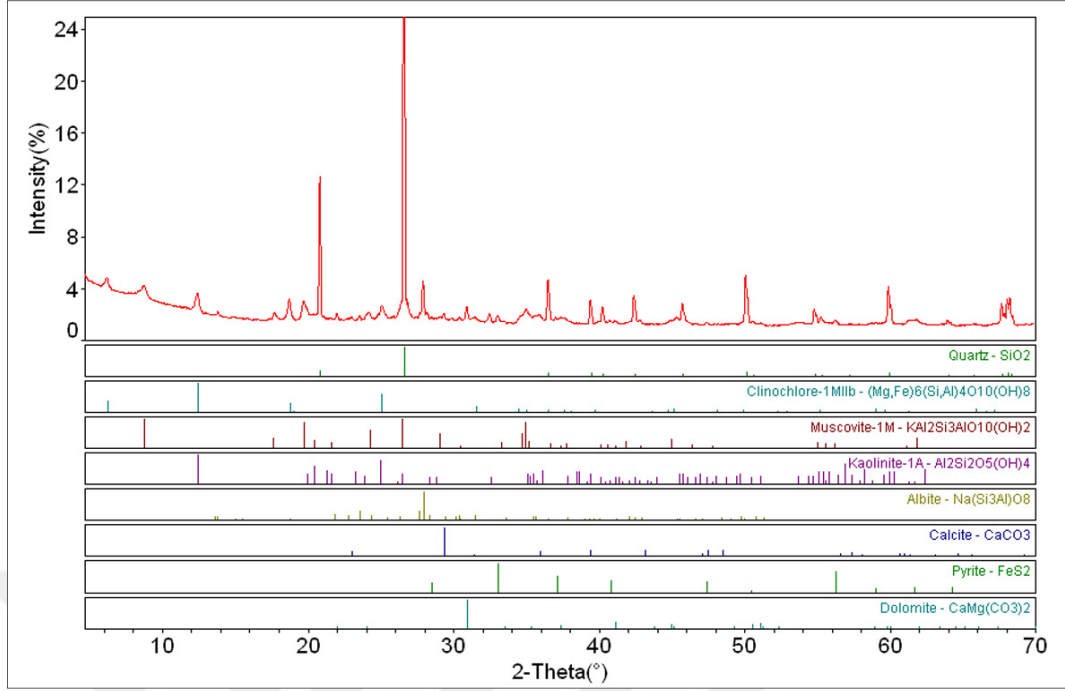
Şekil E.12. K-15 (Kuarshan-flotasyon atığı) örneğine ait X-ışını difraktogramı



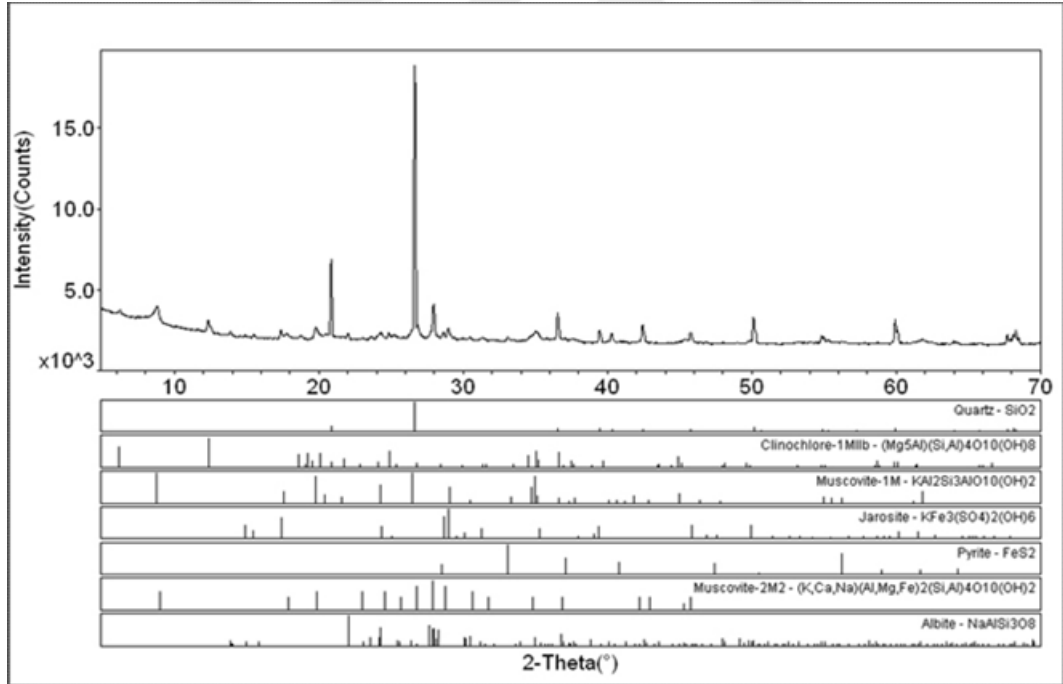
Şekil E.13. K-16 (Kuarshan-mekan kaya) örneğine ait X-ışını difraktogramı



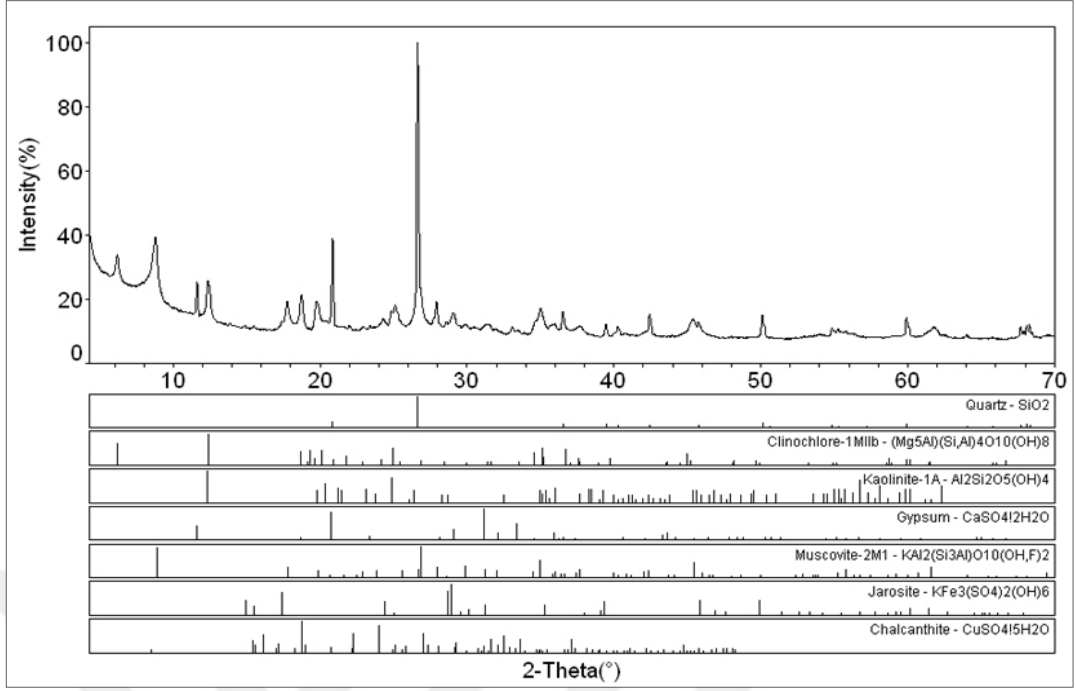
Şekil E.14. K-17 (Kuarshan-pasa) örneğine ait X-ışını difraktogramı



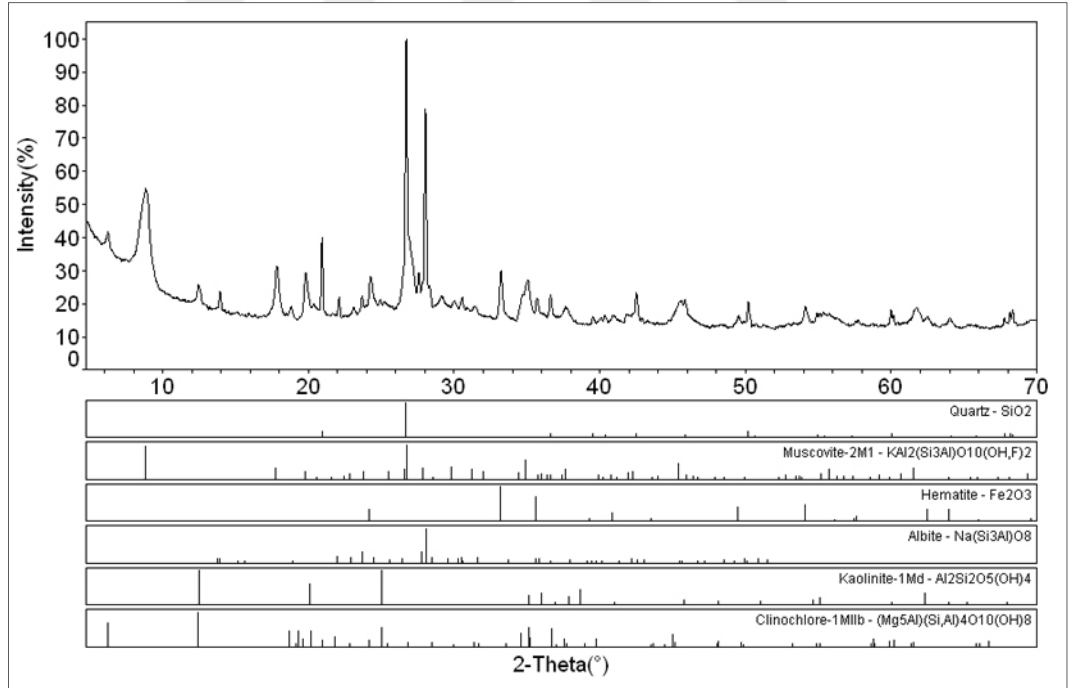
Şekil E.15. K-18 (Murgul-dekapaj) örneğine ait X-ışını difraktogramı



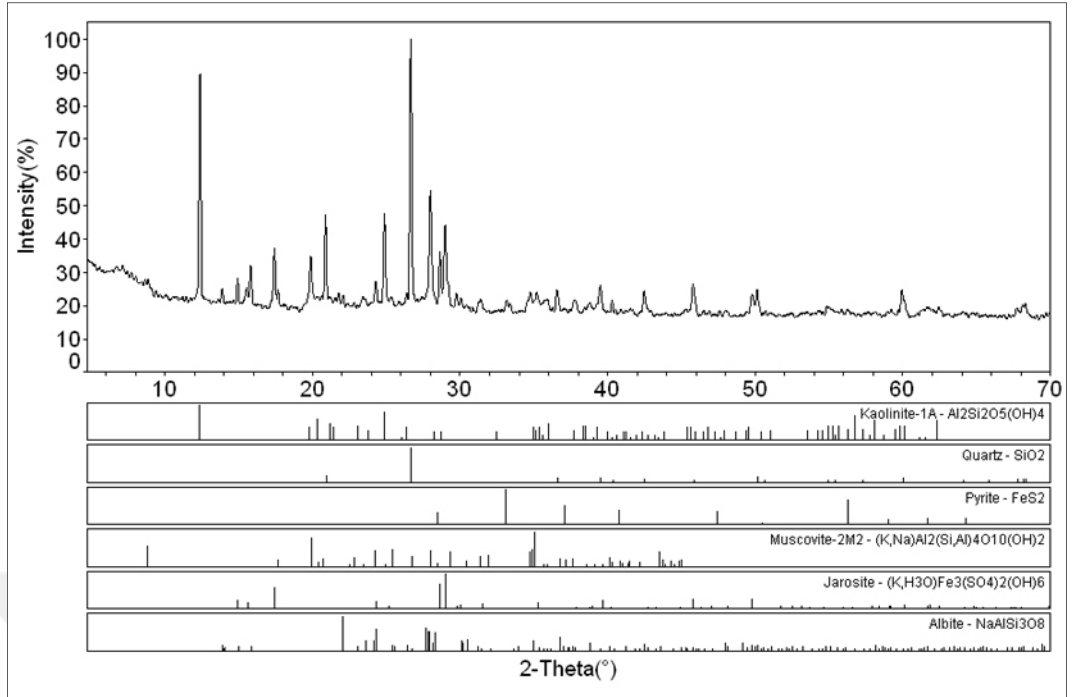
Şekil E.16. SD-1 (Çakmakkaya- AMD çökeli) örneğine ait X-ışını difraktogramı



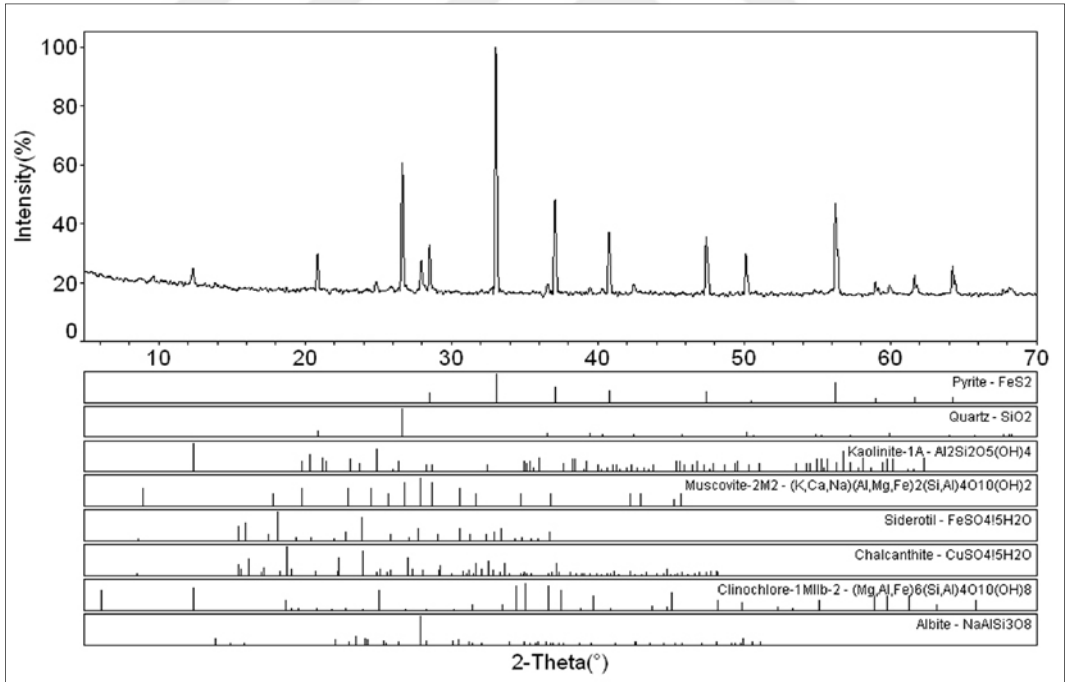
Şekil E.17. SD-2 (Çakmakkaya- AMD çökeli) örneğine ait X-ışını difraktogramı



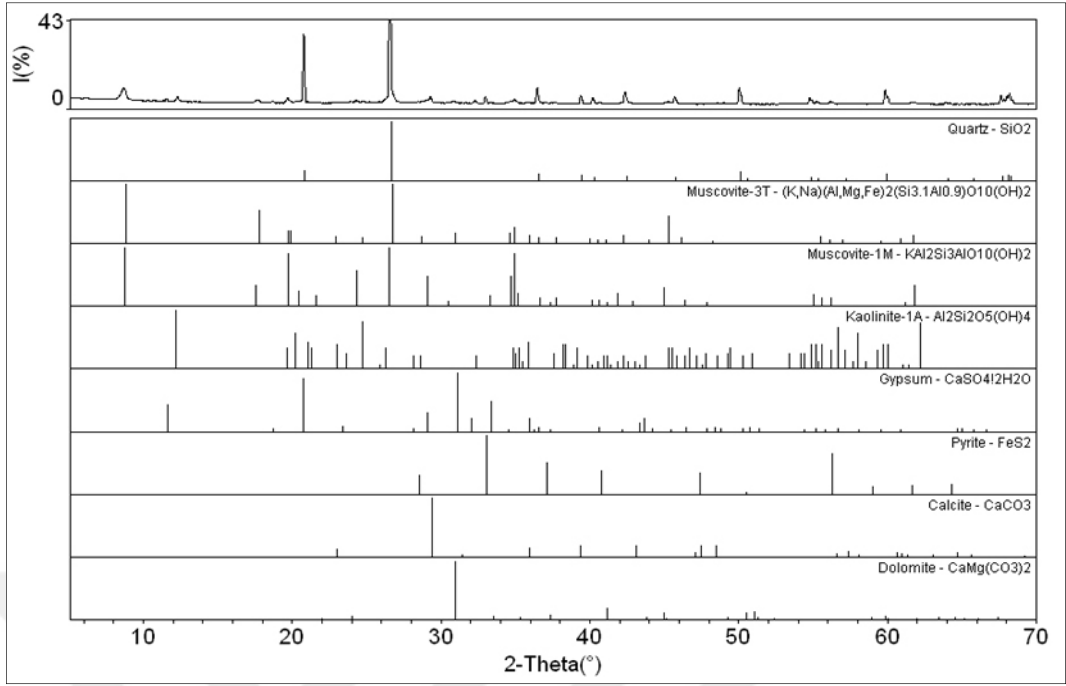
Şekil E.18. SD-5 (Damar- AMD çökeli) örneğine ait X-ışını difraktogramı



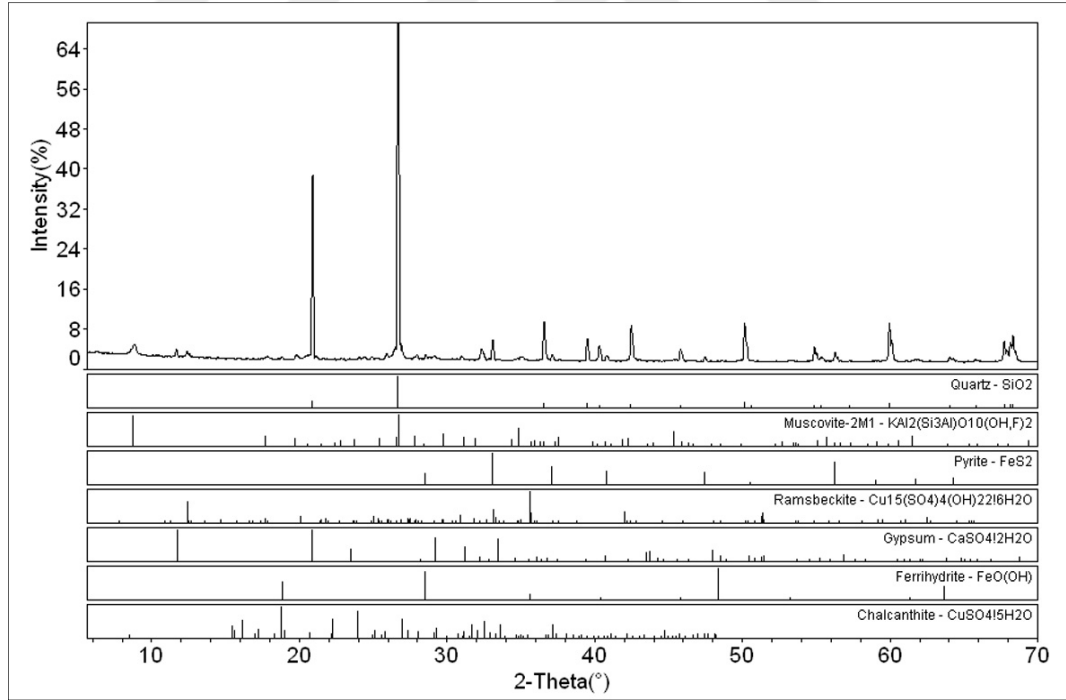
Şekil E.19. SD-28 (Kuarshan- AMD çökeli) örneğine ait X-ışını difraktogramı



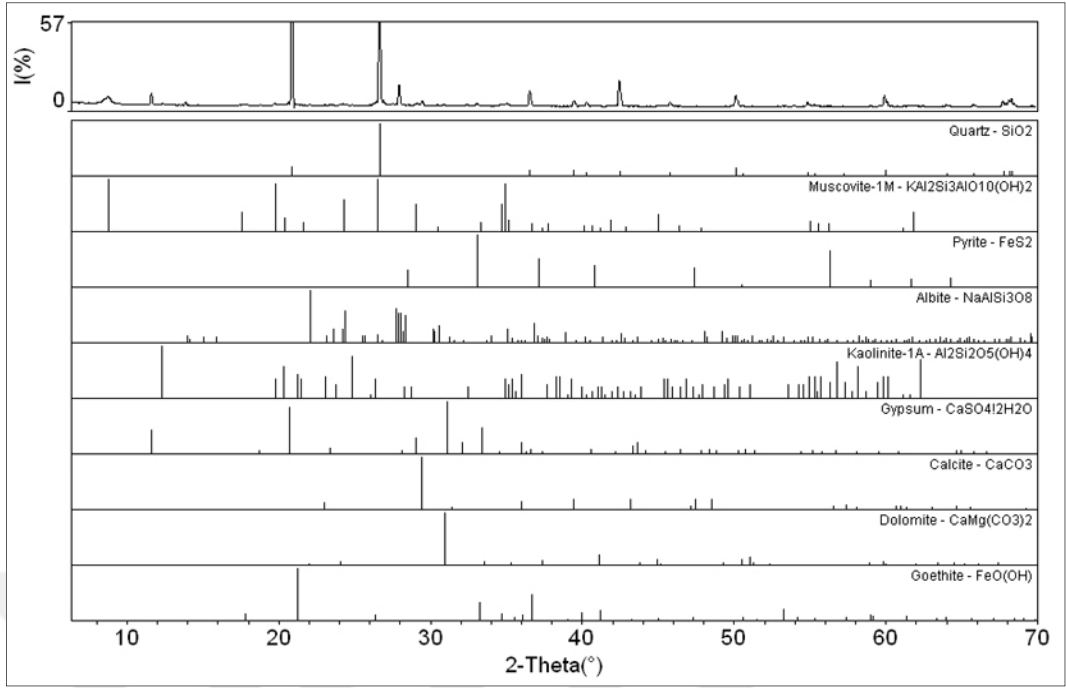
Şekil E.20. SD-29 (Kuarshan- AMD çökeli) örneğine ait X-ışını difraktogramı



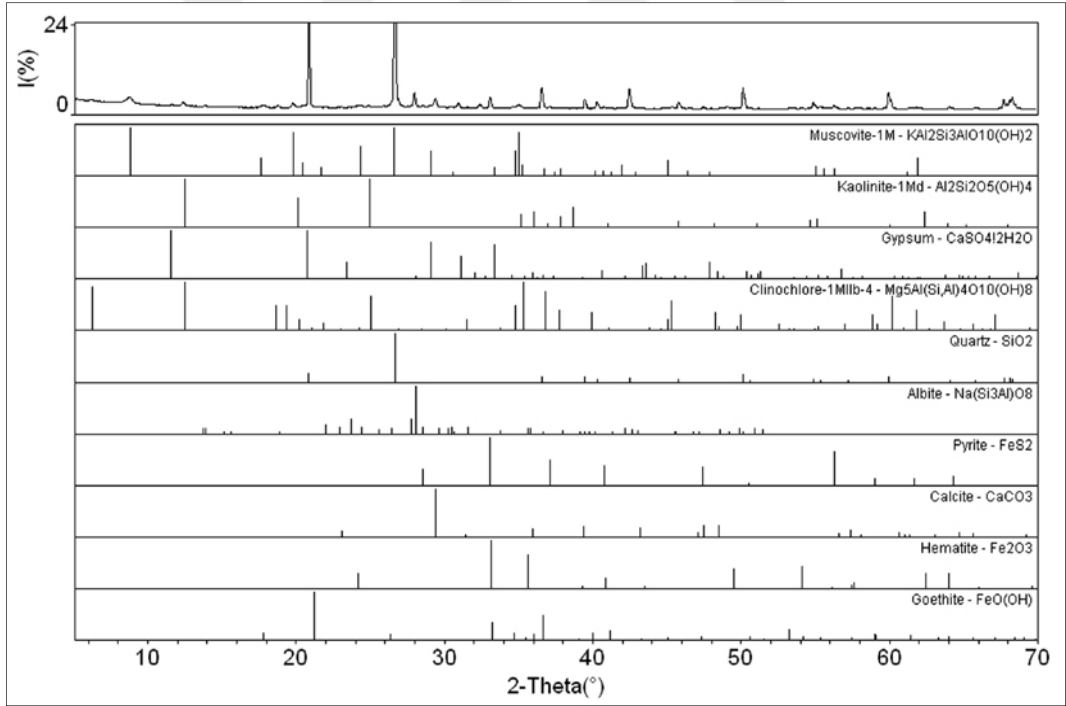
Şekil E.21. SD-4 (Damardamda maden içindeki birikinti suyuna ait çökeli) rneğine ait X-ışını difraktogramı



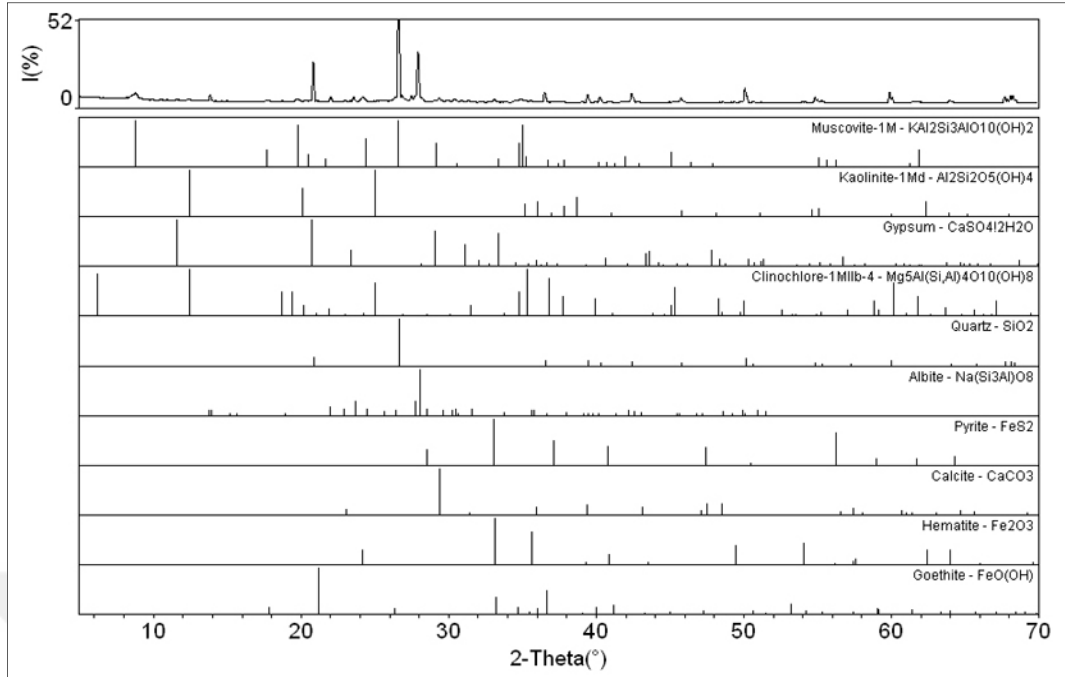
Şekil E.22. SD-34 (Atık barajı flotasyon çamuru) rneğine ait X-ışını difraktogramı



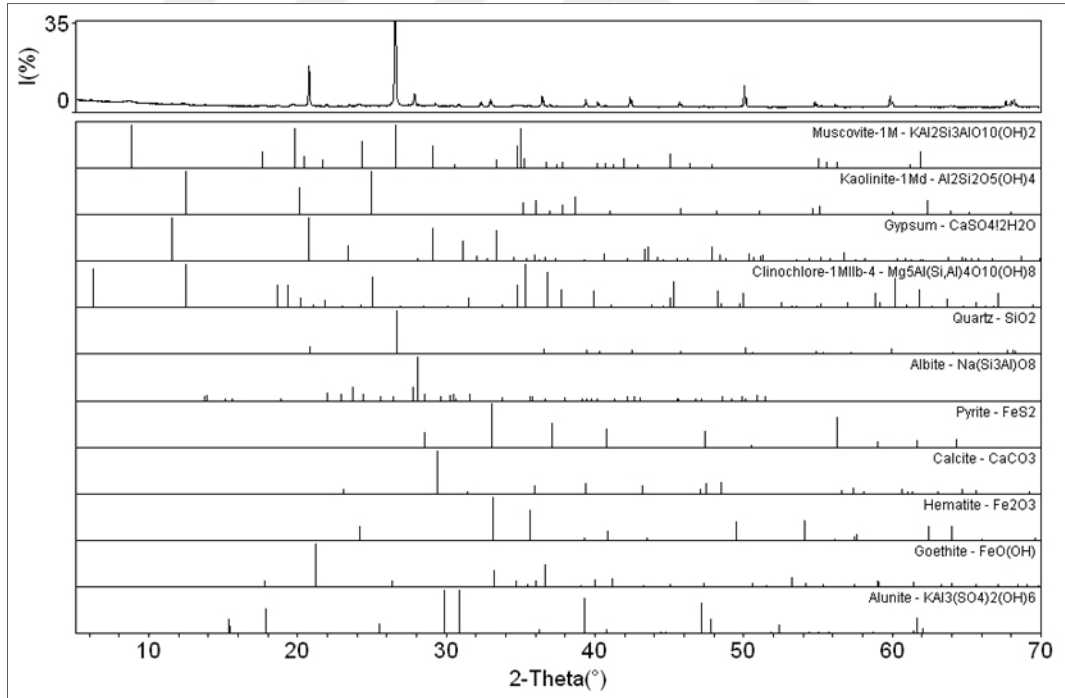
Şekil E.23. SD-3 (Damar-alterasyon ürünü) örneğine ait X-ışını difraktogramı



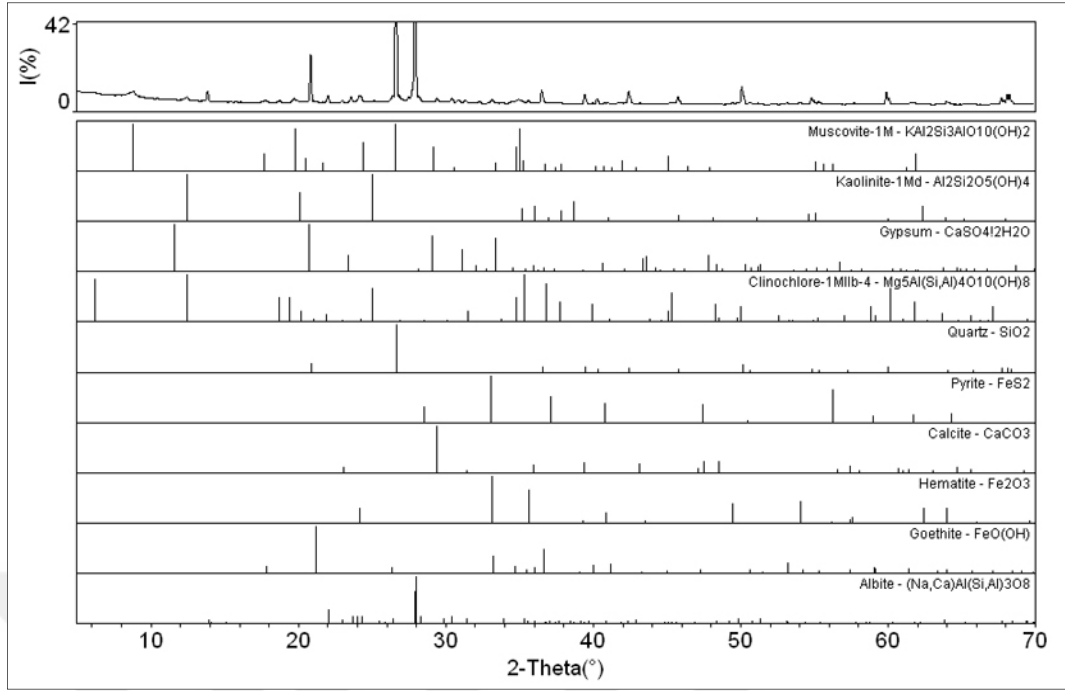
Şekil E.24. SD-6 (Damar D. yankoluna deşarj edilen malzeme) örneğine ait X-ışını difraktogramı



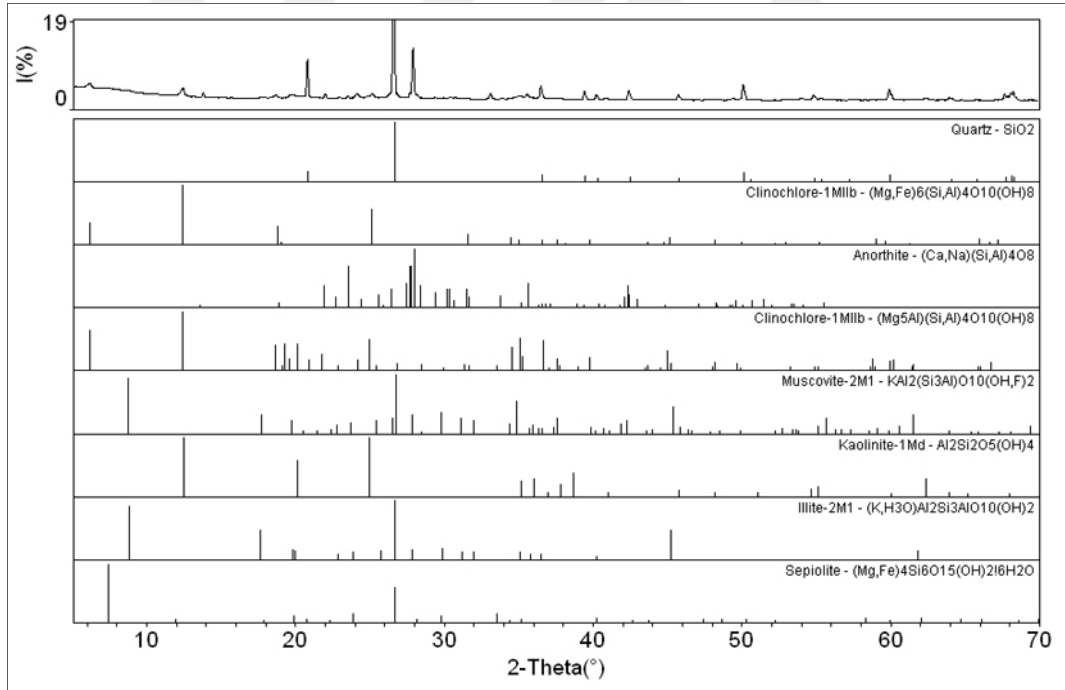
Şekil E.25. SD-7 (Damar D. yankoluna deşarj edilen malzeme) örneğine ait X-ışını difraktogramı



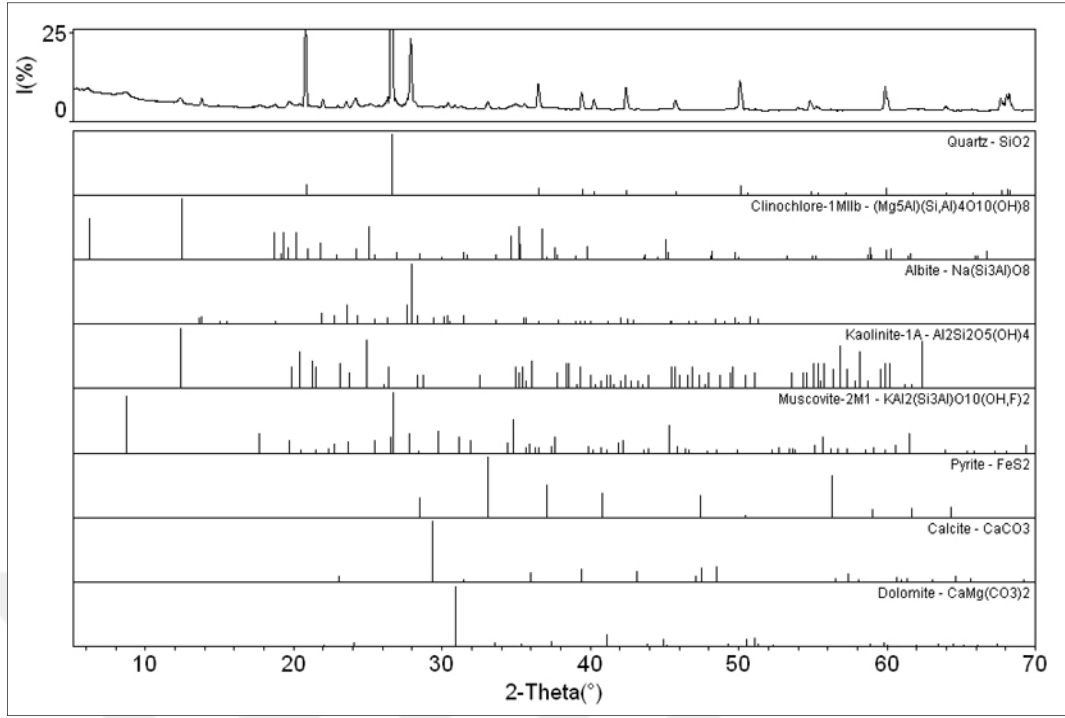
Şekil E.26. SD-8 (Damar D. yankolundan alınan sediment) örneğine ait X-ışını difraktogramı



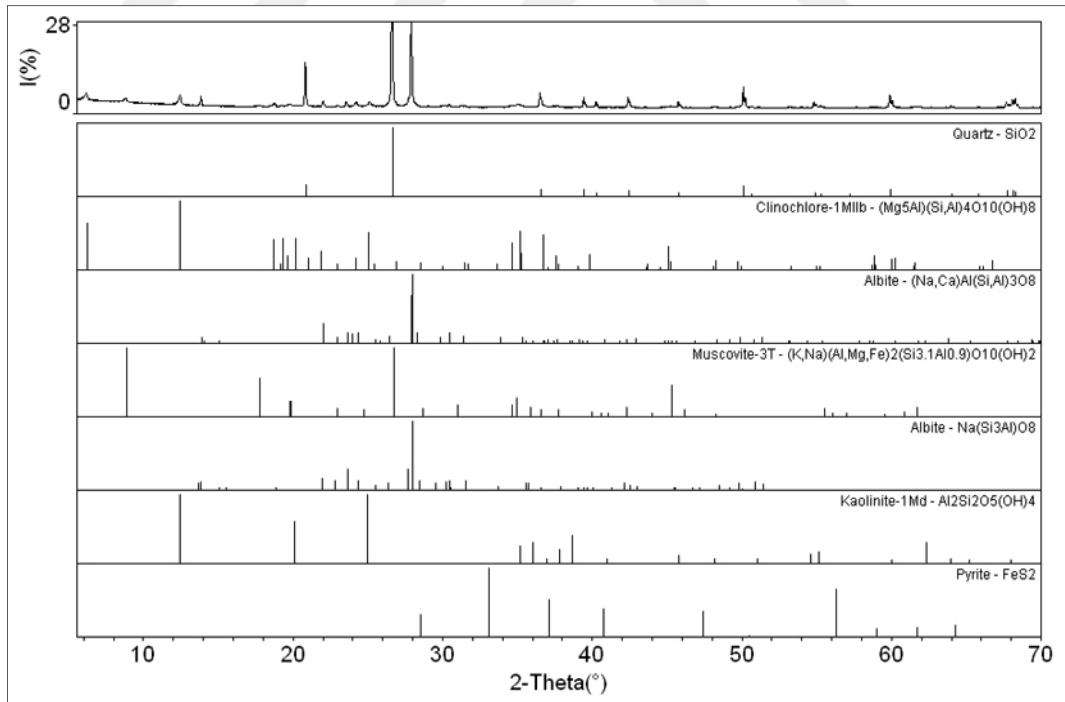
Şekil E.27. SD-9 (Damar D. yankolundan alınan sediment) örneğine ait X-ışını difraktogramı



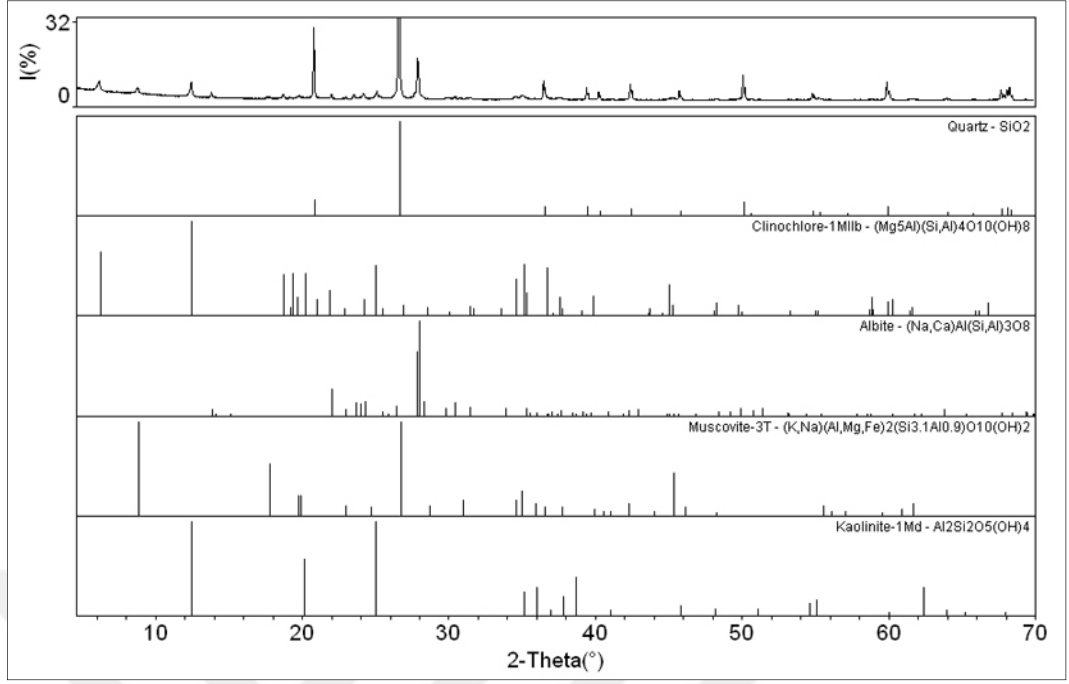
Şekil E.28. SD-10 (Damar D. ana kolundan alınan sediment) örneğine ait X-ışını difraktogramı



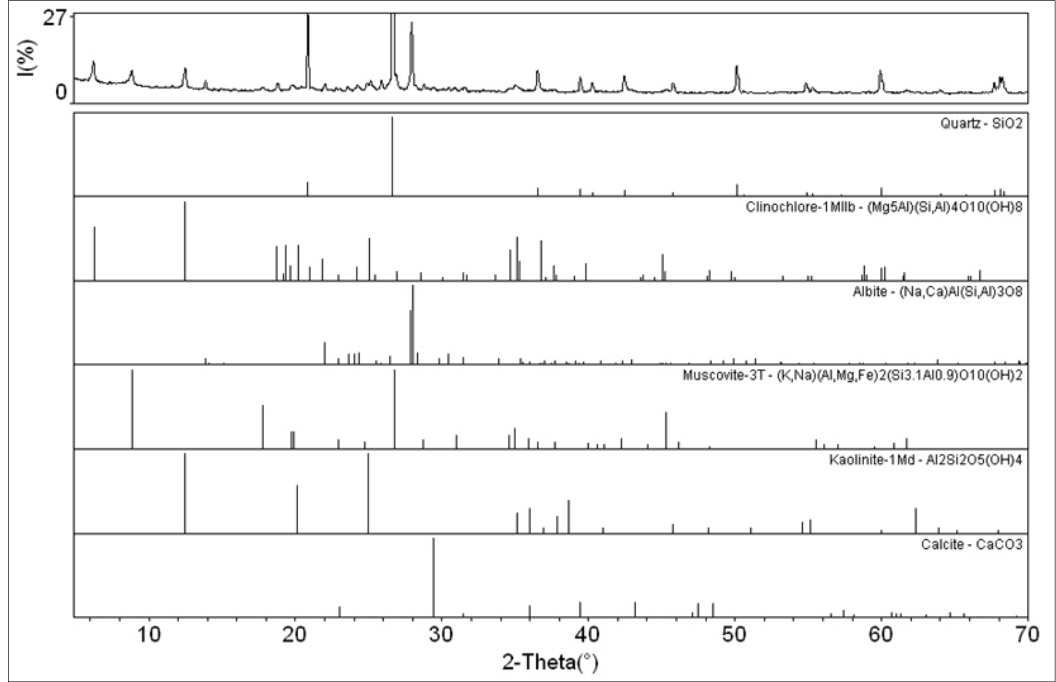
Şekil E.29. SD-11 (Damar D. ana kolundan alınan sediment) örneğine ait X-ışını difraktogramı



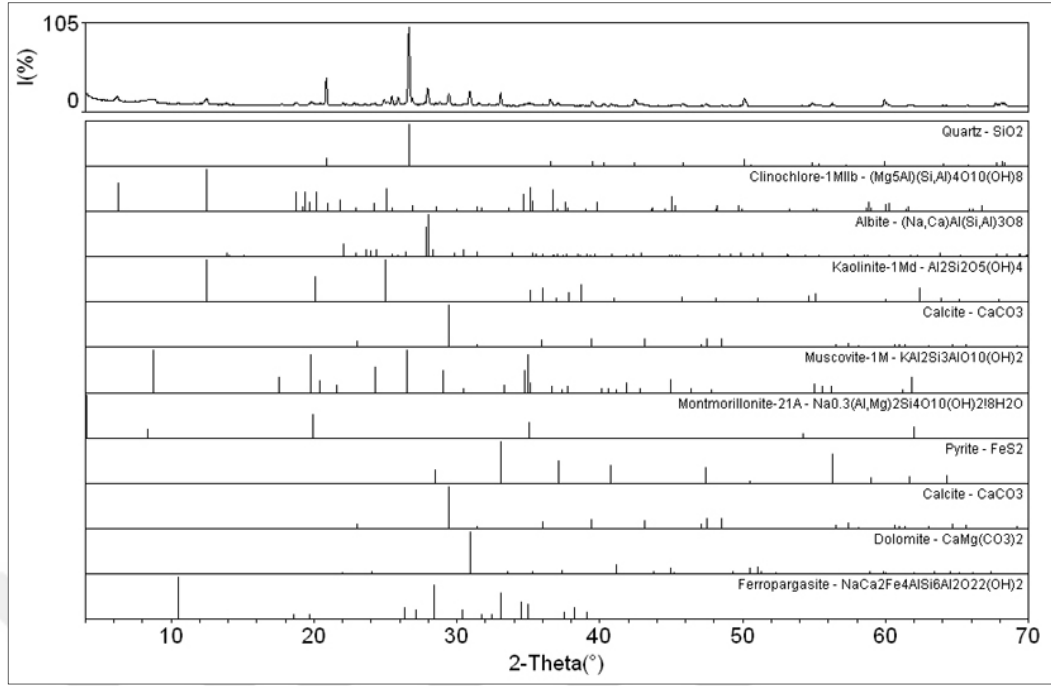
Şekil E.30. SD-12 (Murgul D. ana kolundan alınan sediment) örneğine ait X-ışını difraktogramı



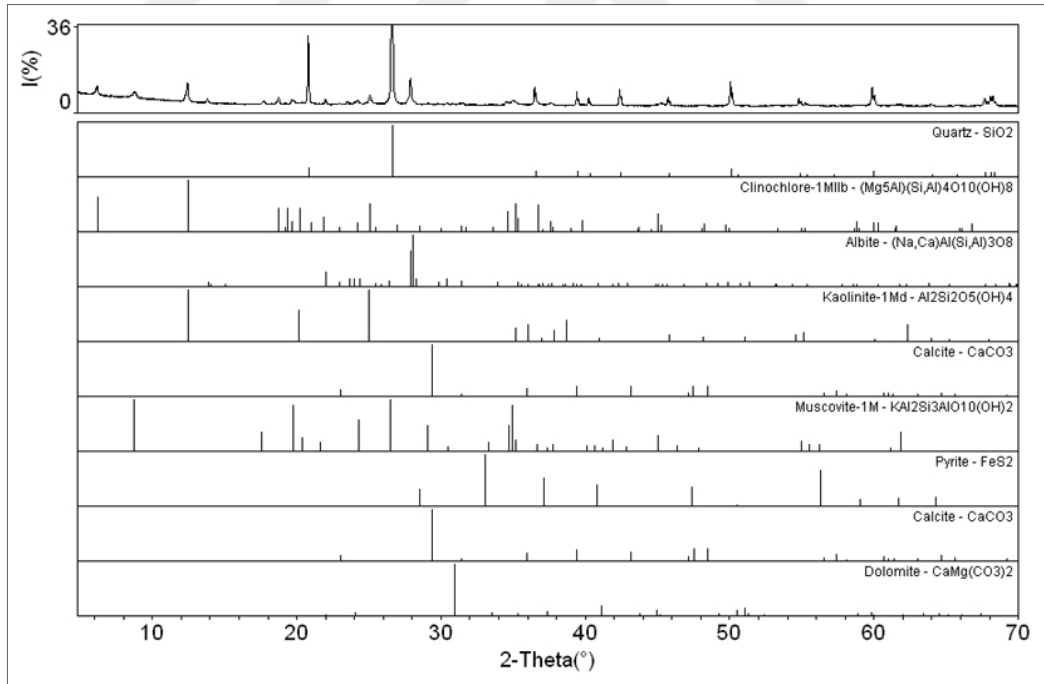
Şekil E.31. SD-13 (Murgul D. ana kolundan alınan sediment) örneğine ait X-ışını difraktogramı



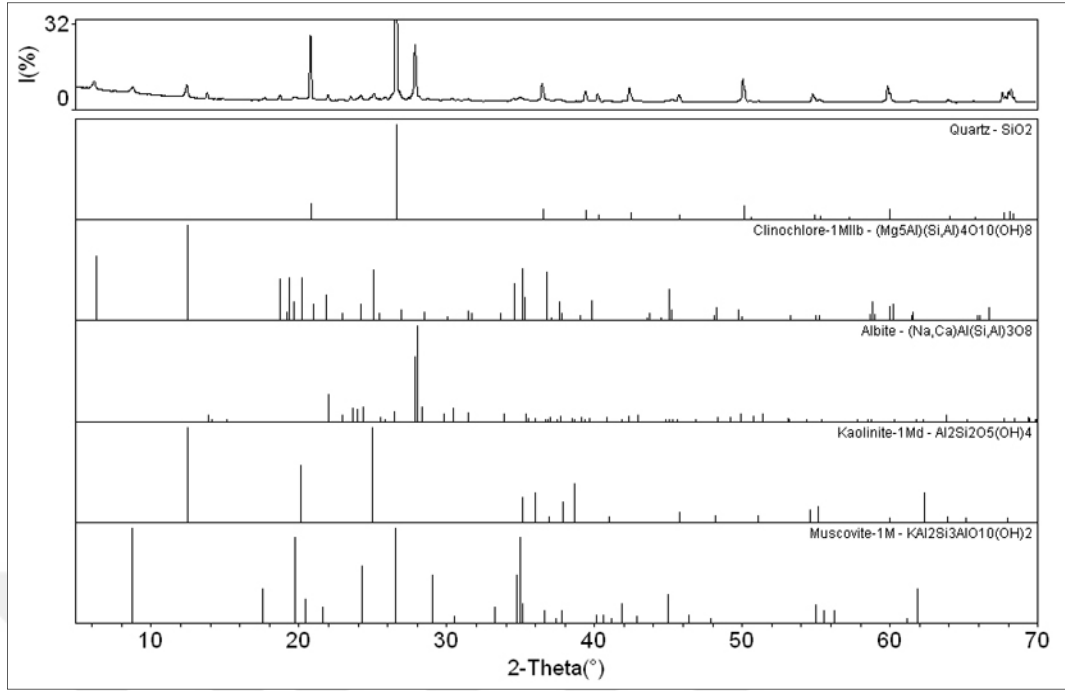
Şekil E.32. SD-14 (Murgul D. ana kolundan alınan sediment) örneğine ait X-ışını difraktogramı



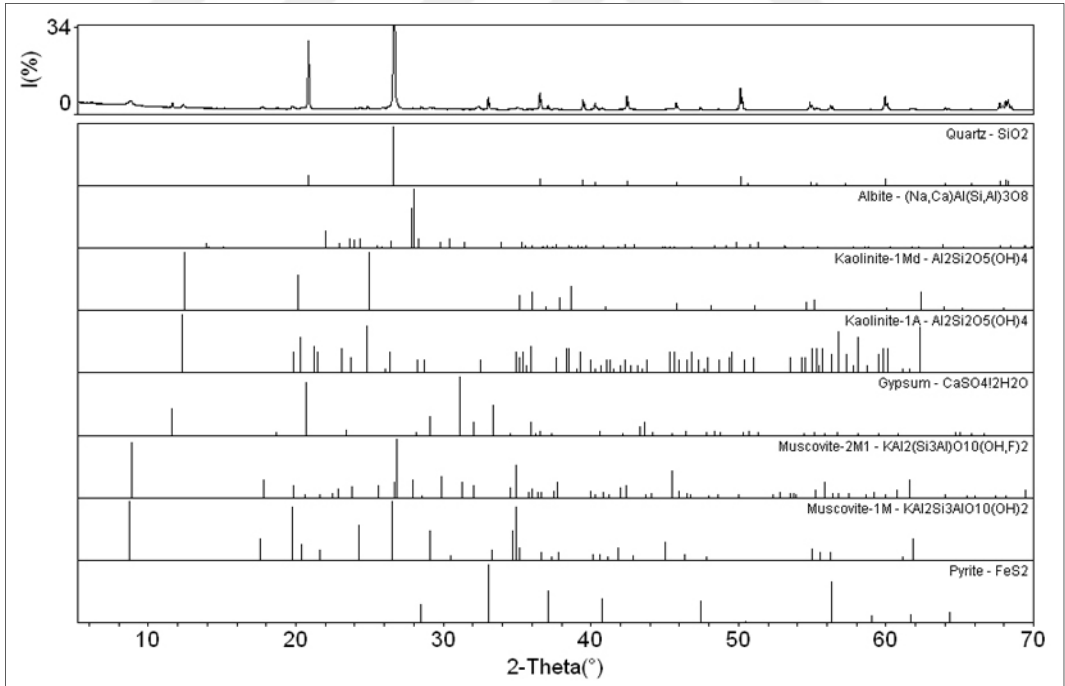
Şekil E.33. SD-15 (Murgul D. yankolundan alınan sediment) örneğine ait X-ışını difraktogramı



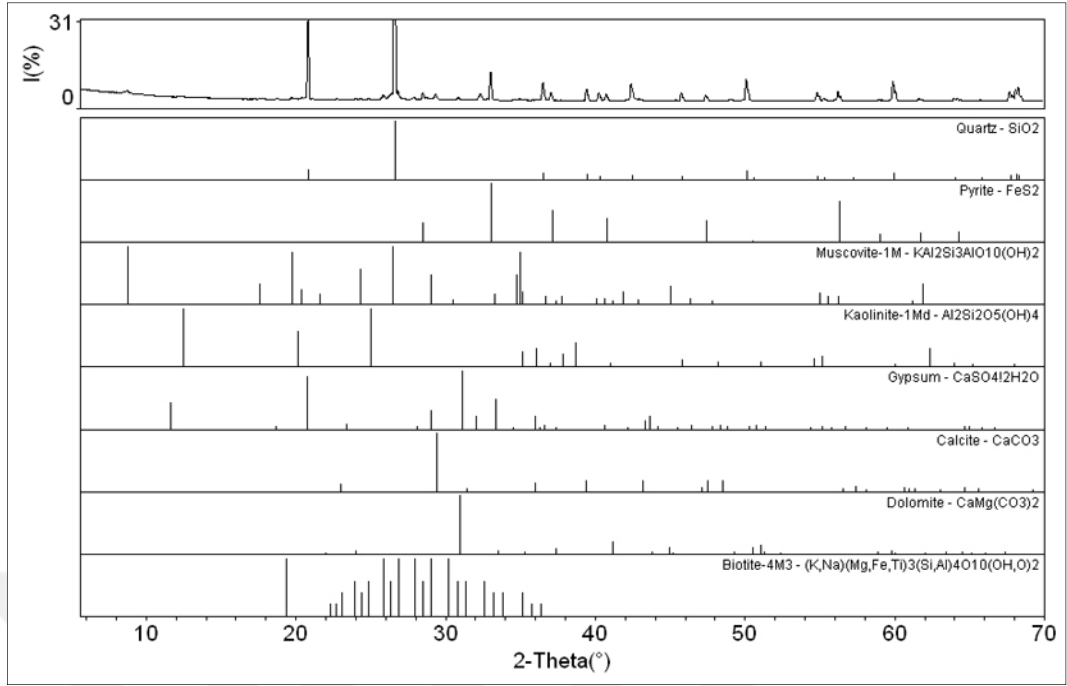
Şekil E.34. SD-16 (Murgul D. ana kolundan alınan sediment) örneğine ait X-ışını difraktogramı



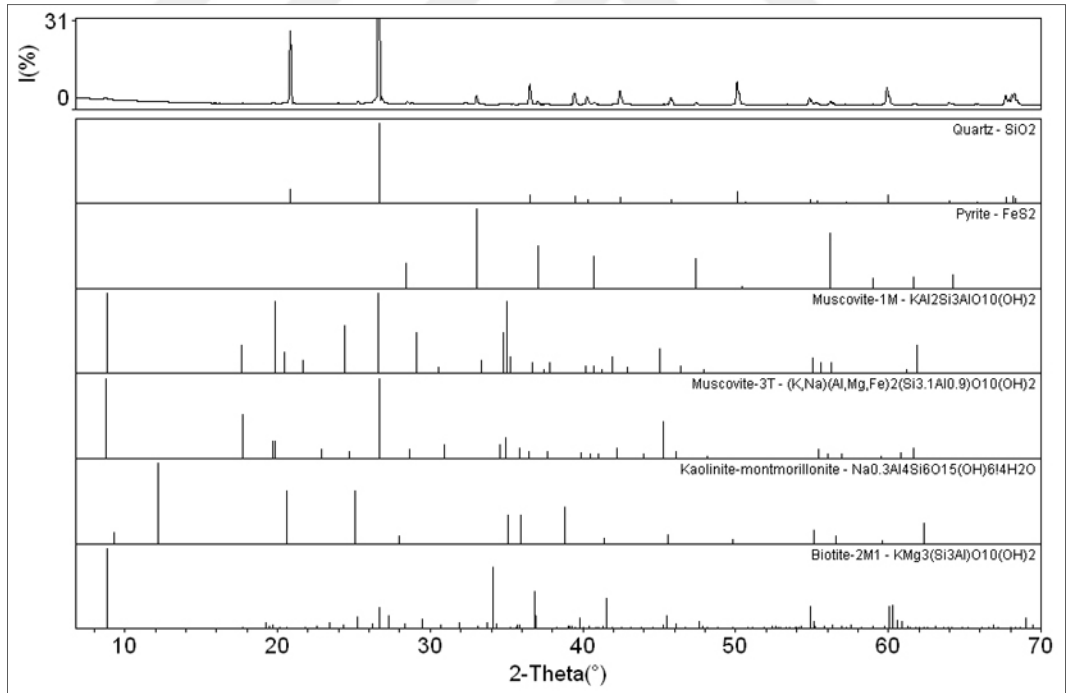
Şekil E.35. SD-17 (Murgul D. ana kolundan alınan sediment) örneğine ait X-ışını difraktogramı



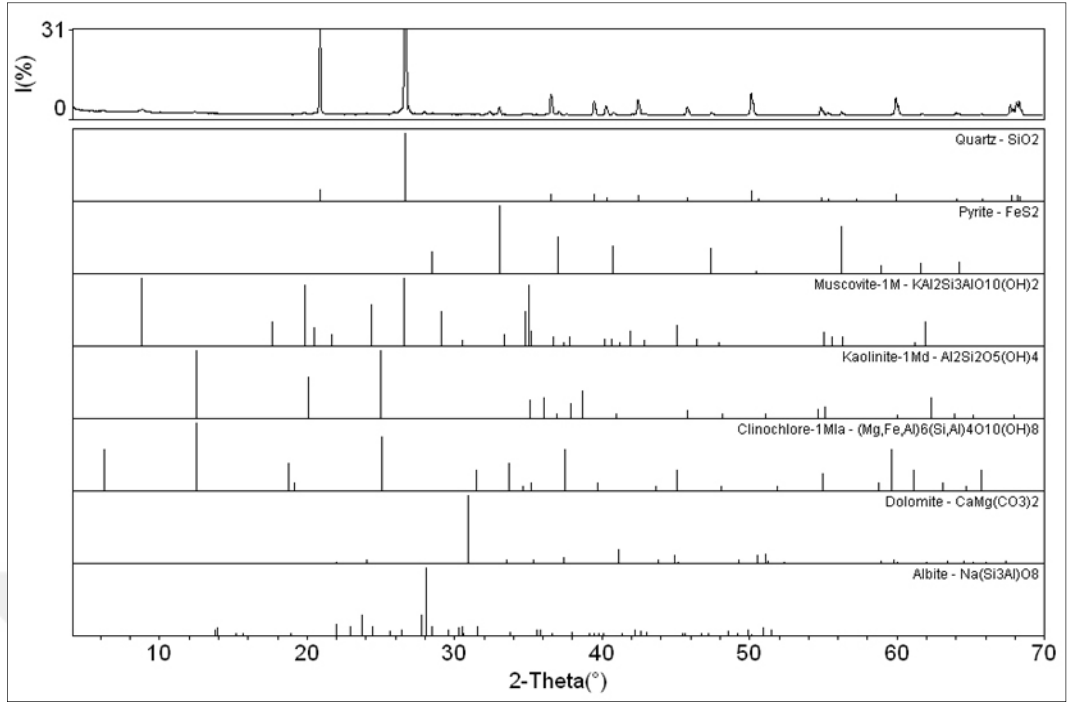
Şekil E.36. SD-18 (Murgul D. ana kolundan alınan sediment) örneğine ait X-ışını difraktogramı



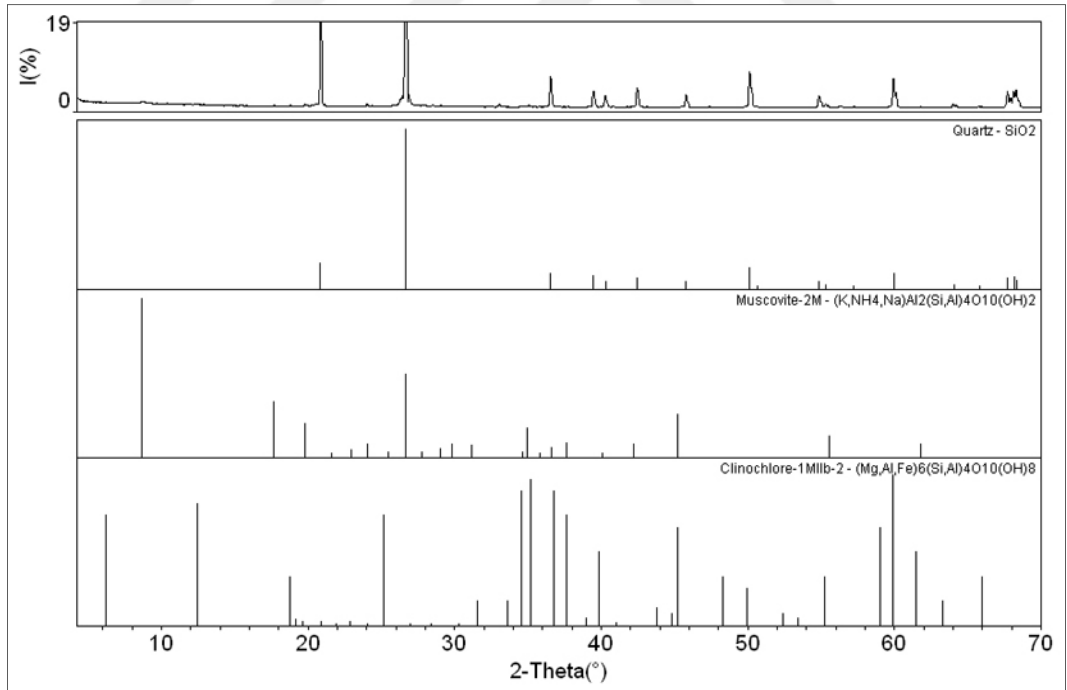
Şekil E.37. SD-19 (Murgul D. ana kolundan alınan sediment) örneğine ait X-ışını difraktogramı



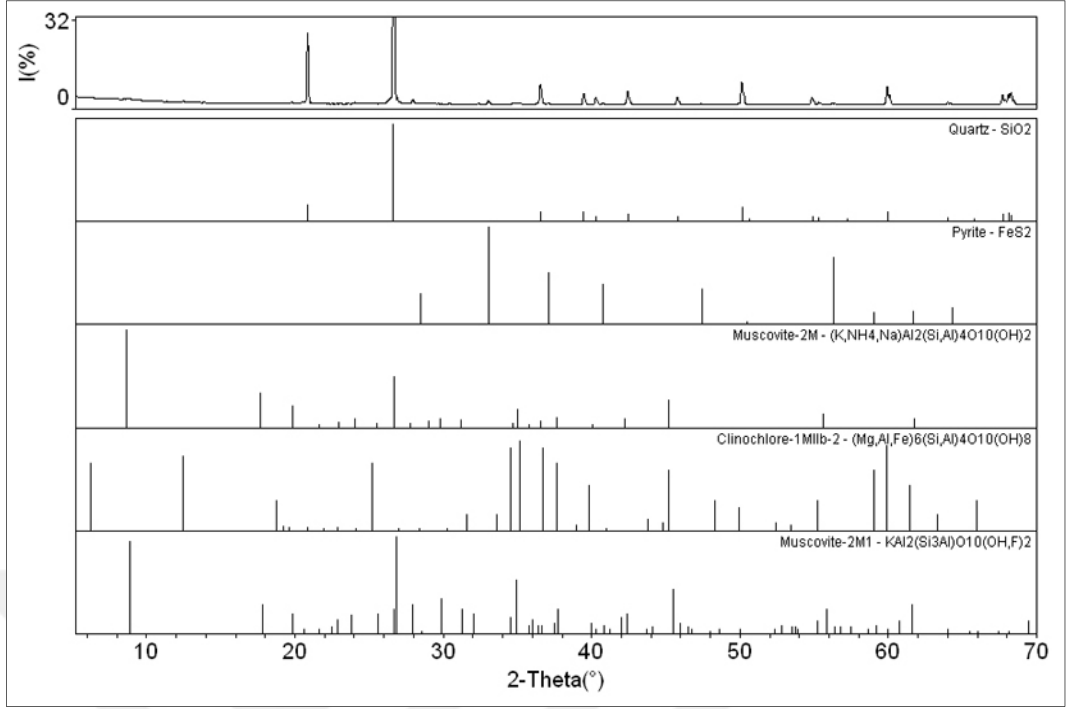
Şekil E.38. SD-20 (Murgul D. ana kolundan alınan sediment) örneğine ait X-ışını difraktogramı



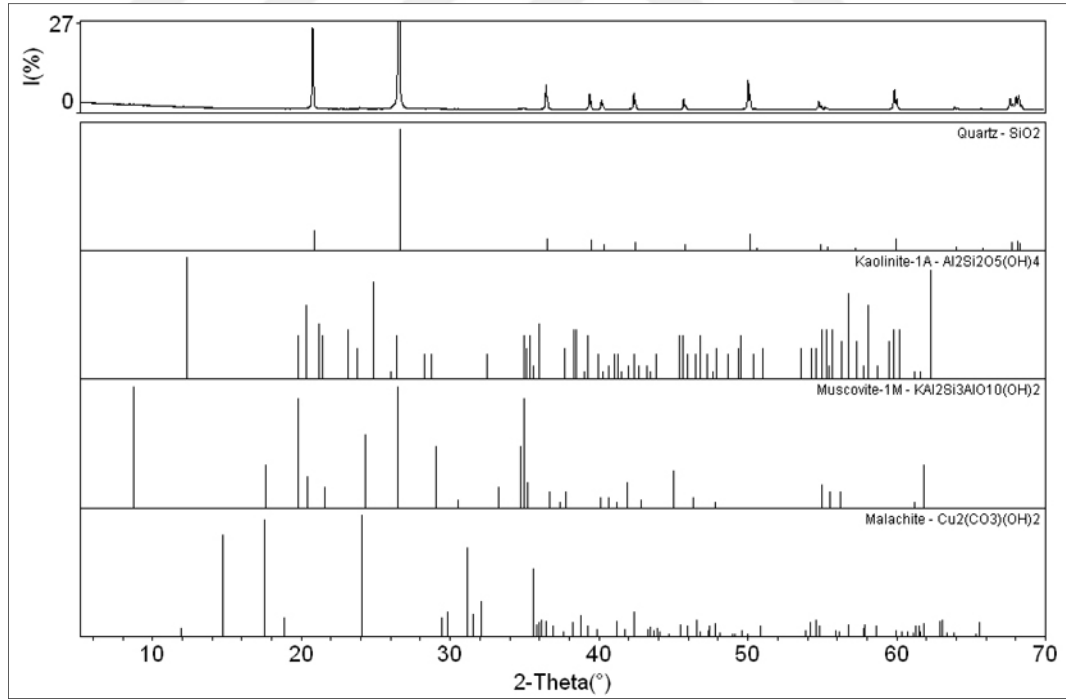
Şekil E.39. SD-21 (Murgul D. ana kolundan alınan sediment) örneğine ait X-ışını difraktogramı



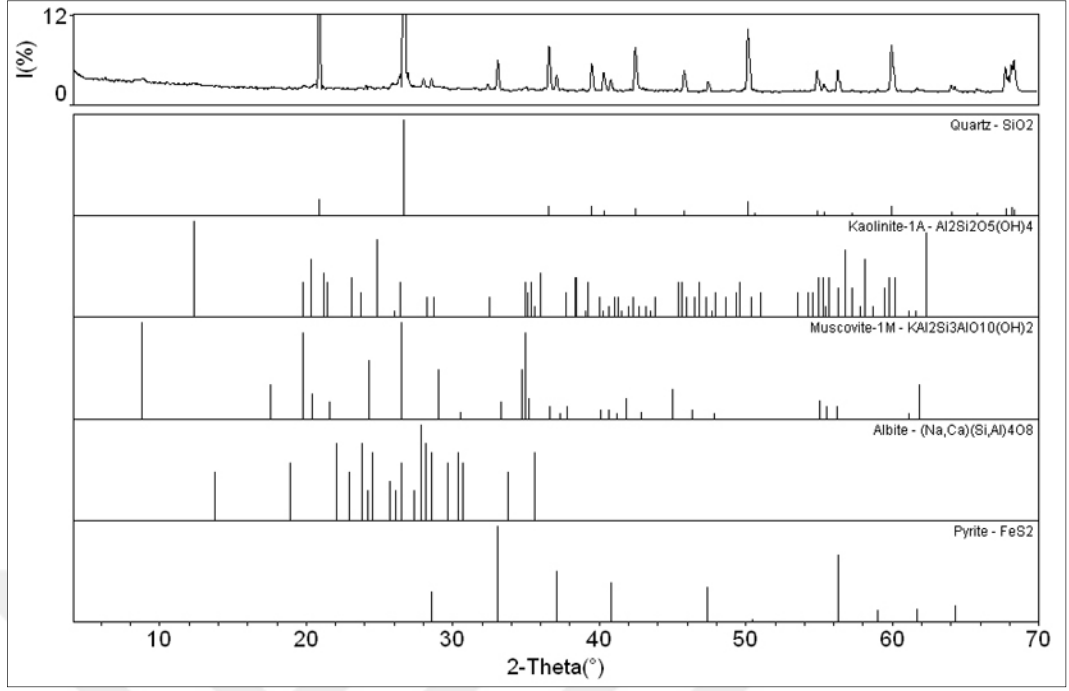
Şekil E.40. SD-22 (Borçka baraj havzasından alınan malzeme) örneğine ait X-ışını difraktogramı



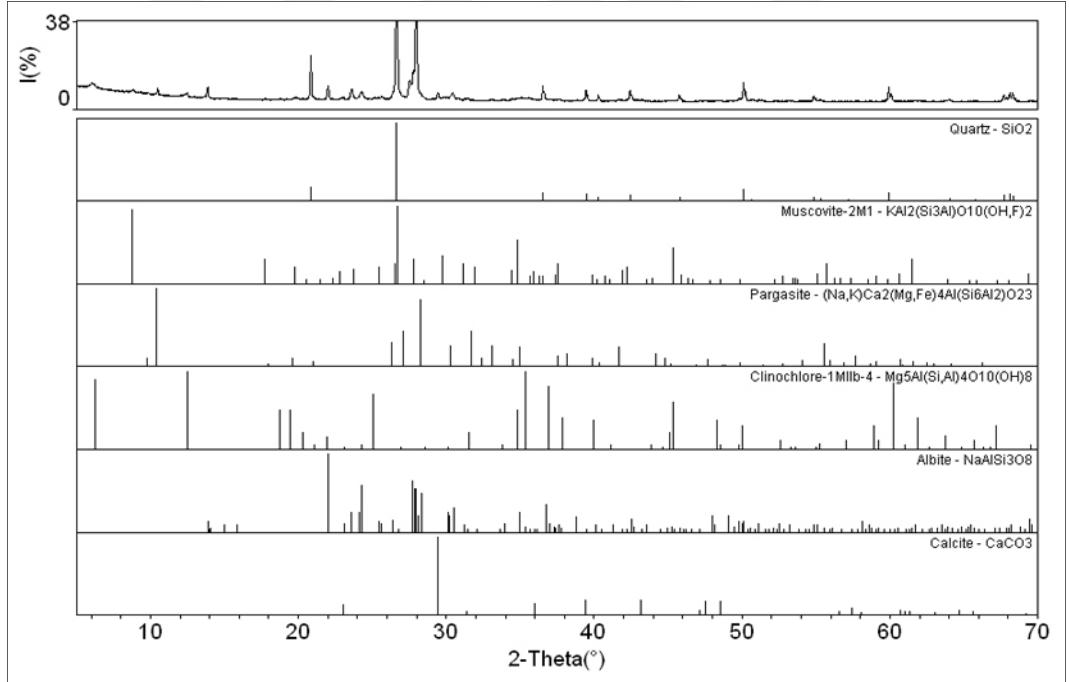
Şekil E.41. SD-23 (Borçka baraj havzasından alınan malzeme) örneğine ait X-ışını difraktogramı



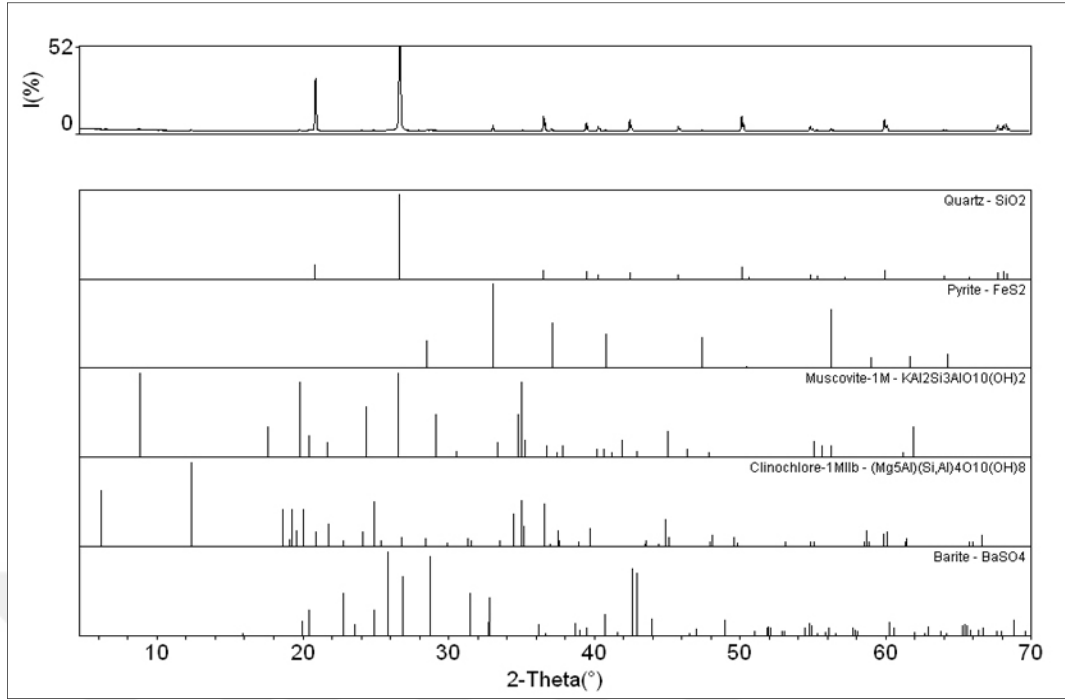
Şekil E.42. SD-24 (Borçka baraj havzasından alınan malzeme) örneğine ait X-ışını difraktogramı



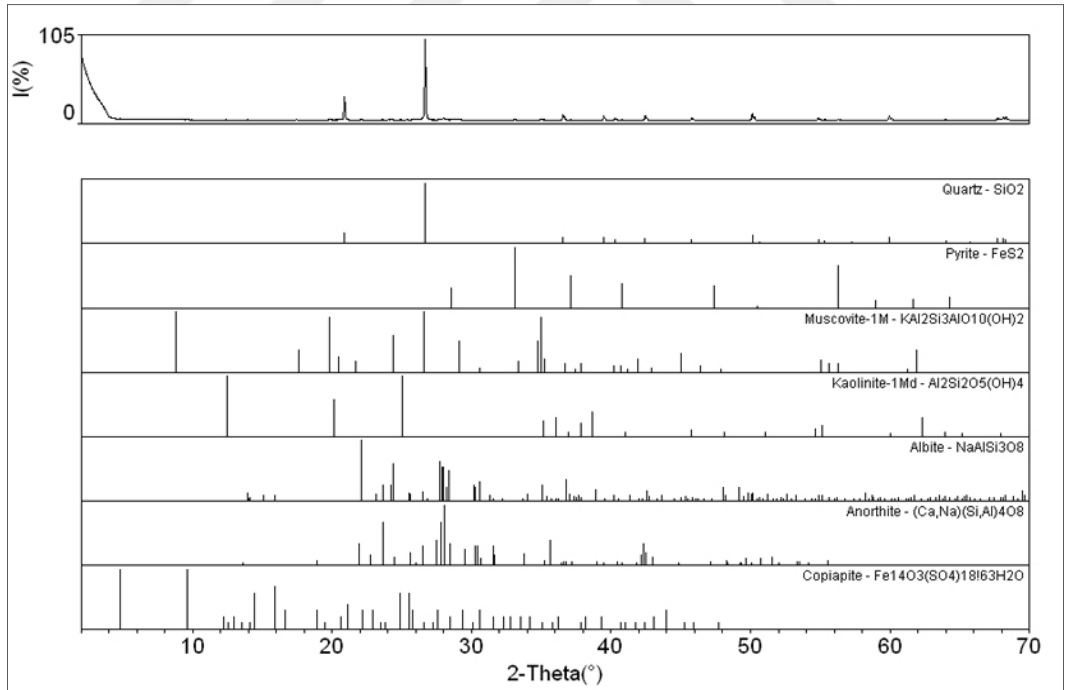
Şekil E.43. SD-25 (Borçka baraj havzasından alınan malzeme) örneğine ait X-ışını difraktogramı



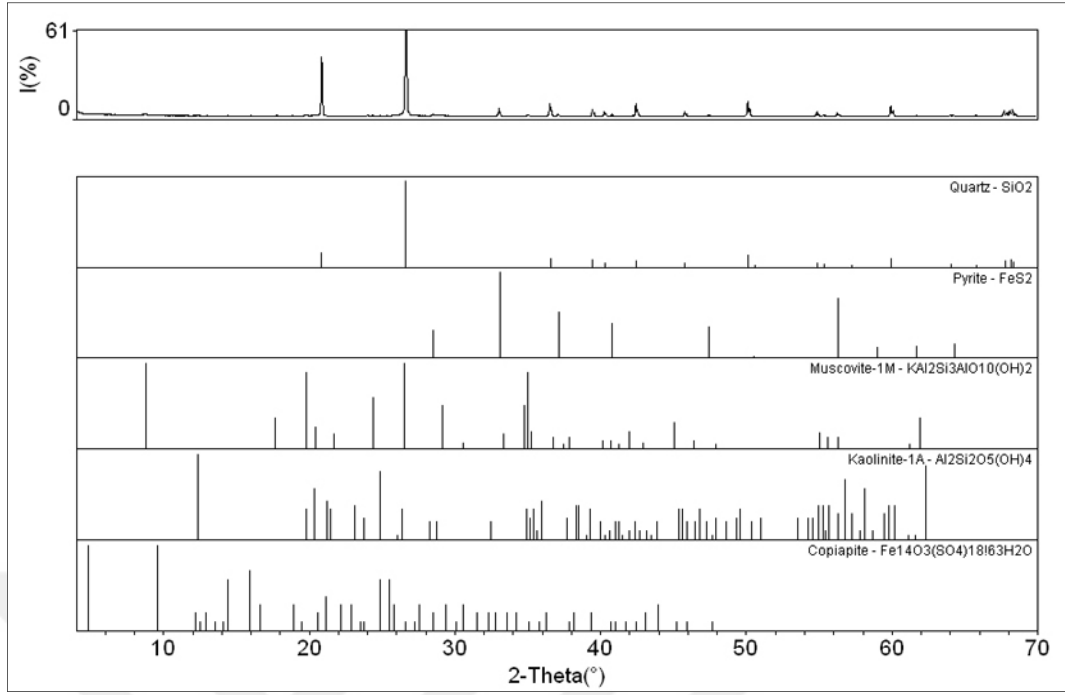
Şekil E.44. SD-26 (Borçka baraj havzası) örneğine ait X-ışını difraktogramı



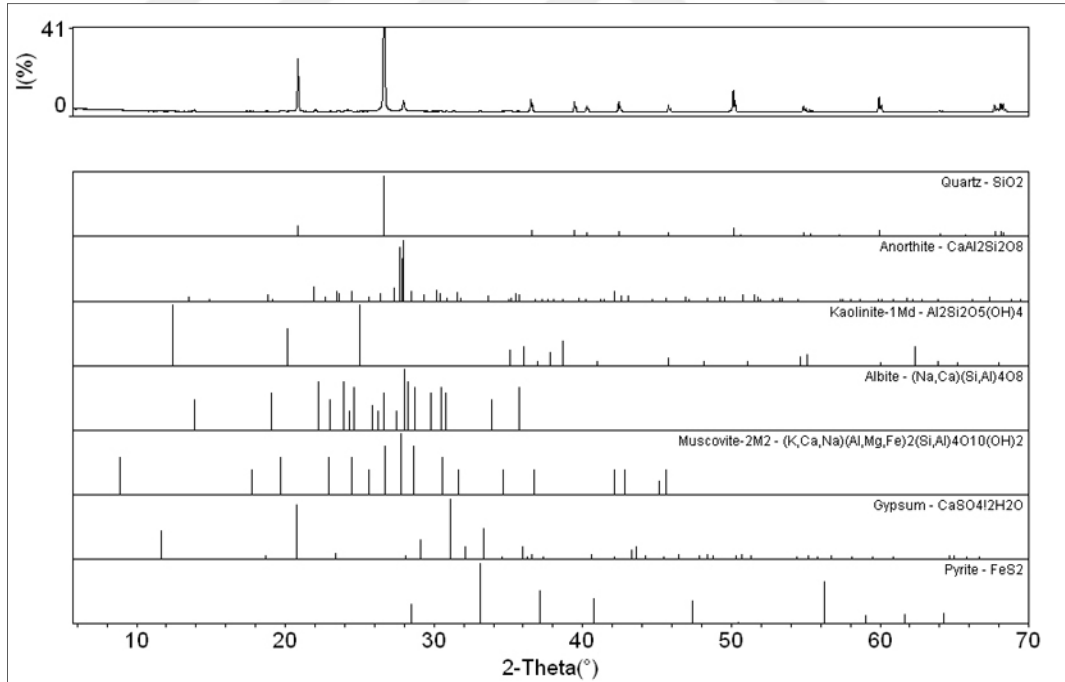
Şekil E.45. SD-35A (Murgul Dere yatağında istiflenmiş sediment-en üst tabaka) örneğine ait X-ışını difraktogramı



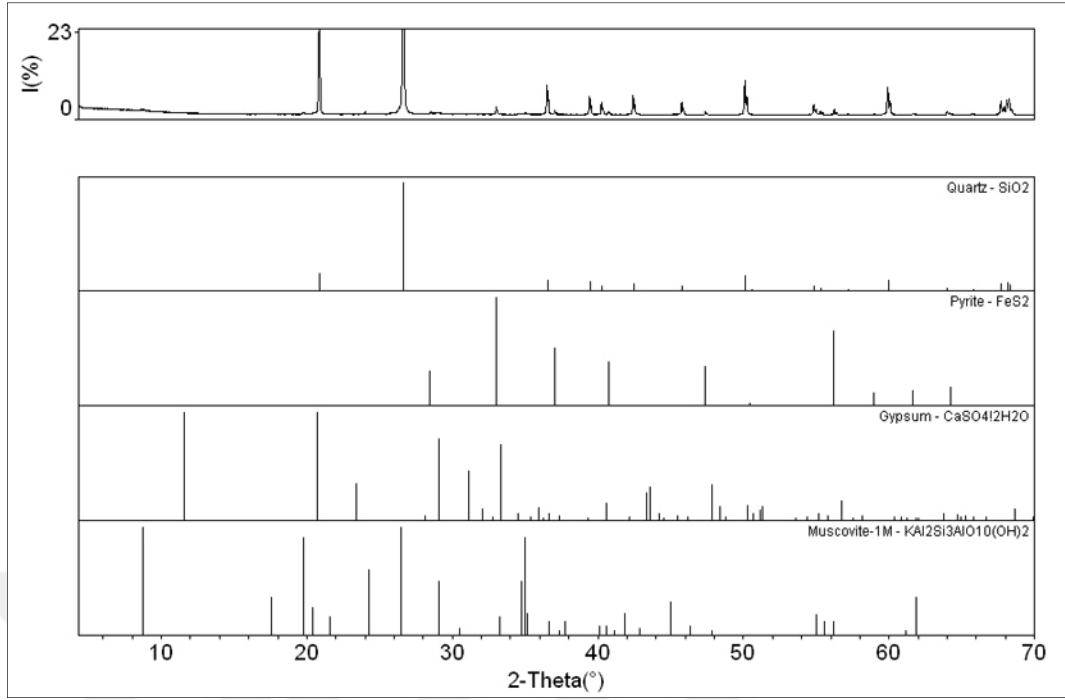
Şekil E.46. SD-35B (Murgul Dere yatağında istiflenmiş sediment) örneğine ait X-ışını difraktogramı



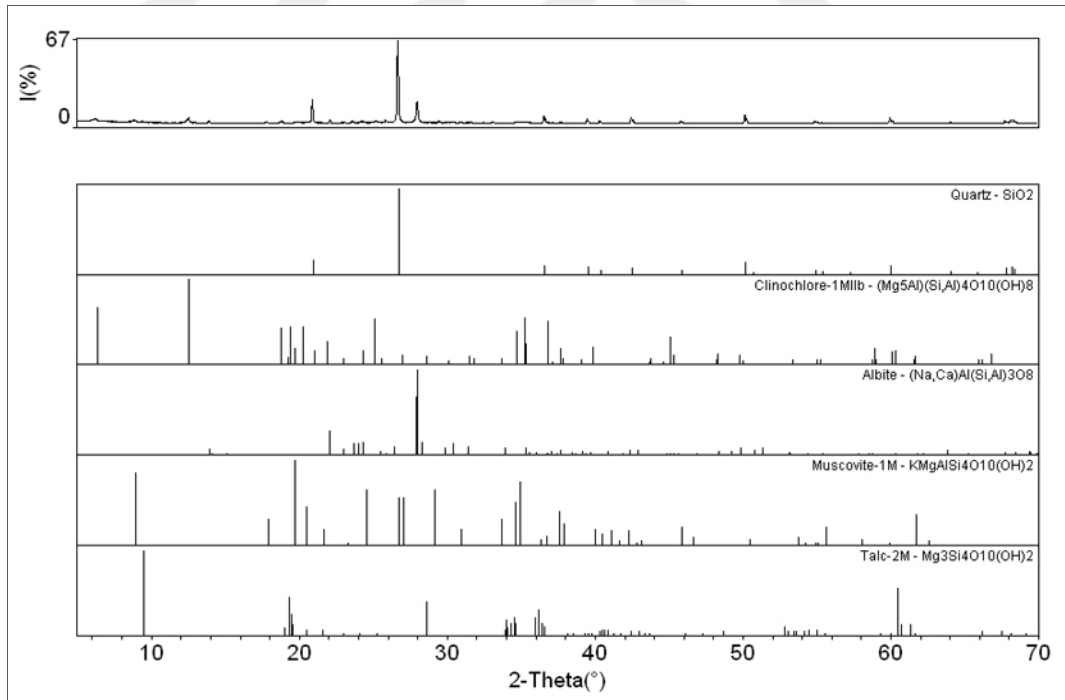
Şekil E.47. SD-35C (Murgul Dere yatağında istiflenmiş sediment) örneğine ait X-ışını difraktogramı



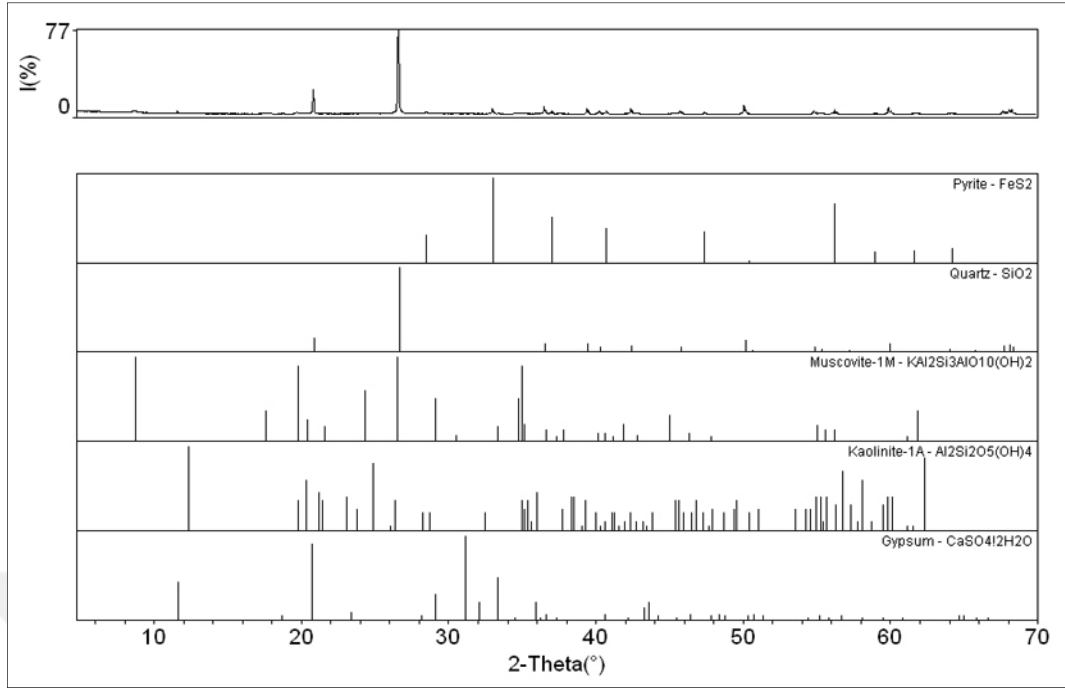
Şekil E.48. SD-35D (Murgul Dere yatağında istiflenmiş sediment) örneğine ait X-ışını difraktogramı



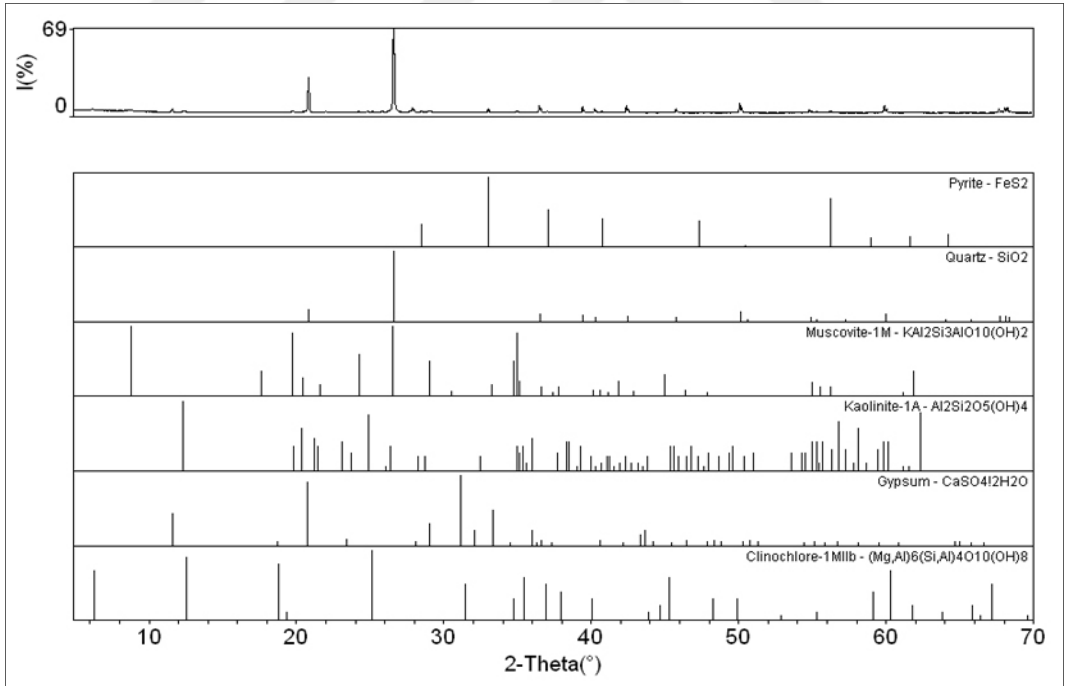
Şekil E.49. SD-35E (Murgul Dere yatağında istiflenmiş sediment) örneğine ait X-ışını difraktogramı



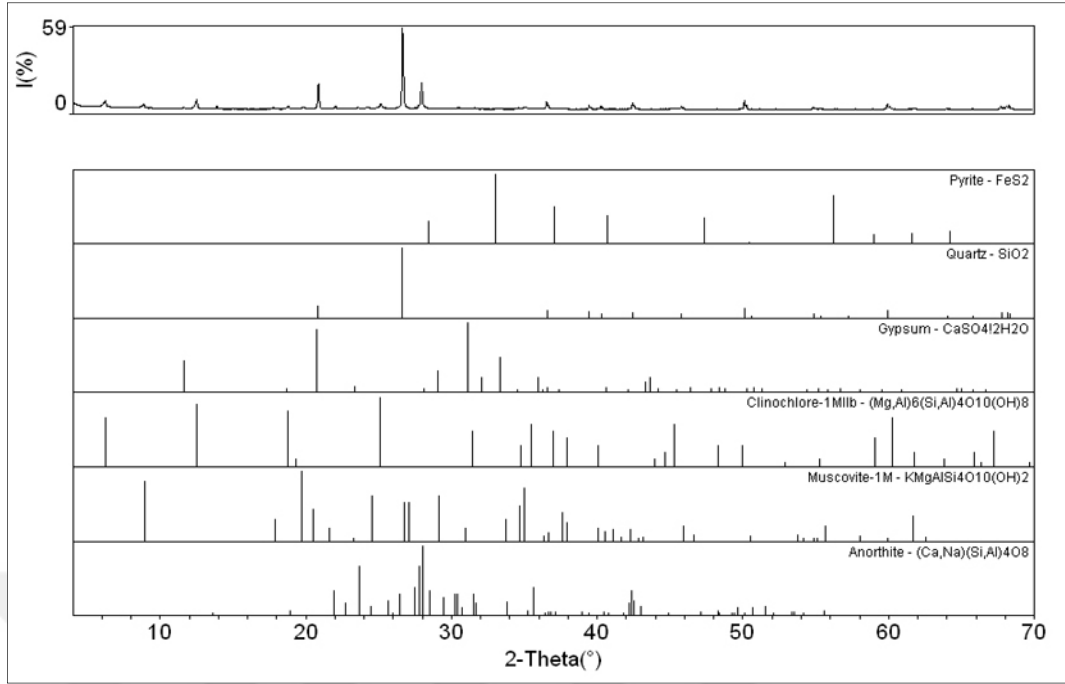
Şekil E.50. SD-35F (Murgul Dere yatağında istiflenmiş sediment-en alt tabaka) örneğine ait X-ışını difraktogramı



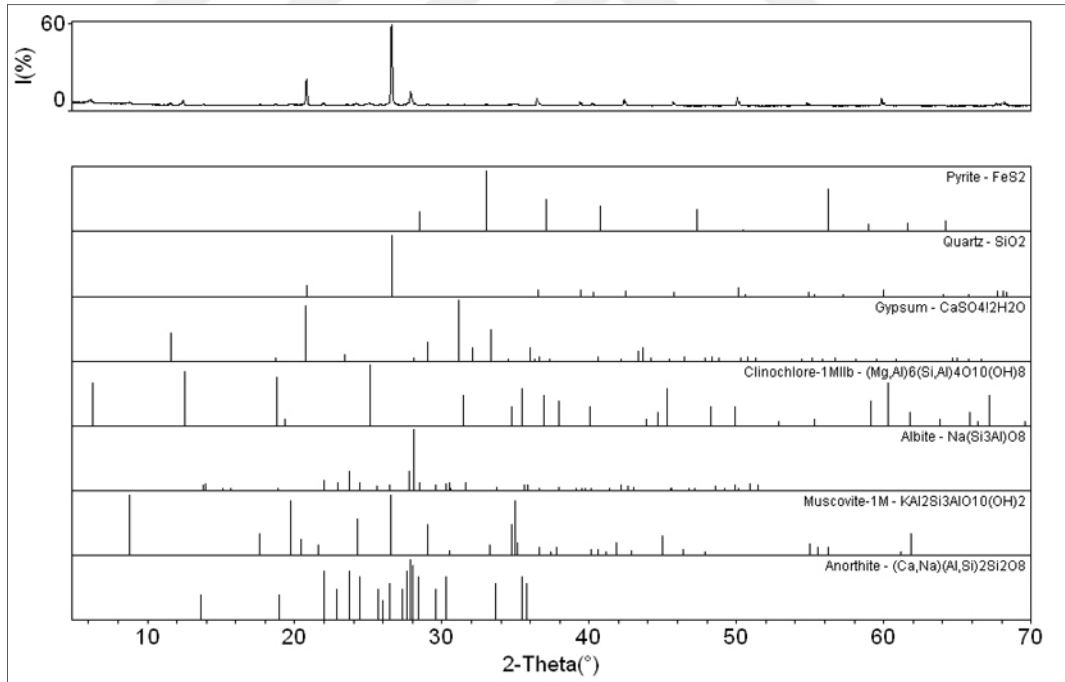
Şekil E.51. SD-36A (Murgul Deresi-Borçka Baraj Havzası kesişim alanında oluşan istif-en üst tabaka) örneğine ait X-ışını difraktogramı



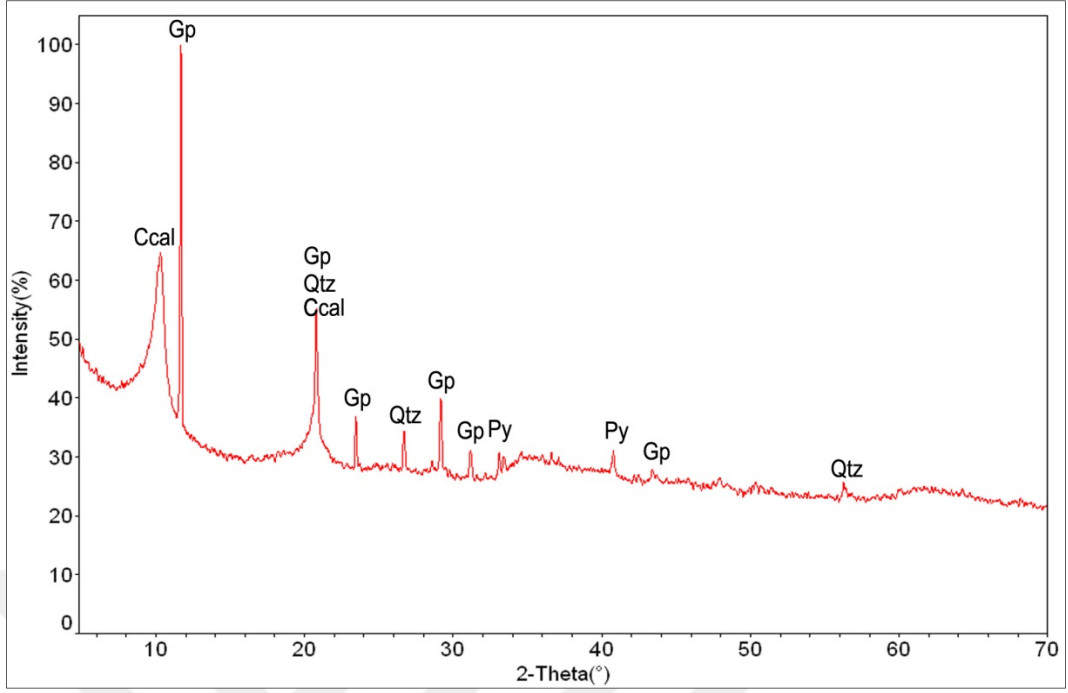
Şekil E.52. SD-36B (Murgul Deresi-Borçka Baraj Havzası kesişim alanında oluşan istif) örneğine ait X-ışını difraktogramı



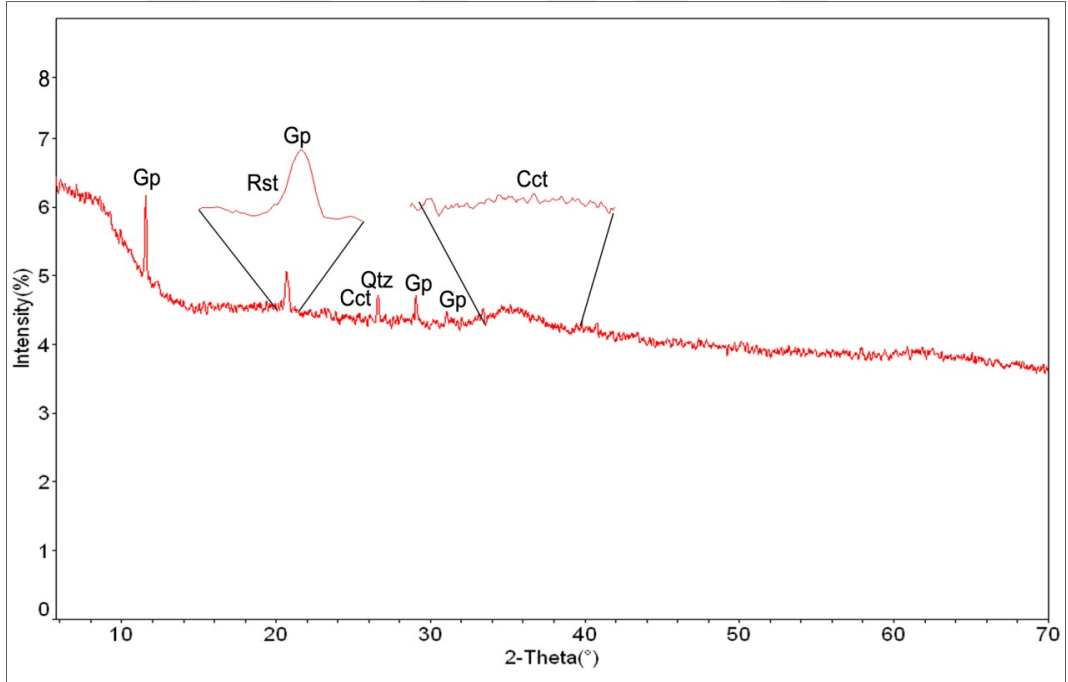
Şekil E.53. SD-36C (Murgul Deresi-Borçka Baraj Havzası kesişim alanında oluşan istif) örneğine ait X-ışını difraktogramı



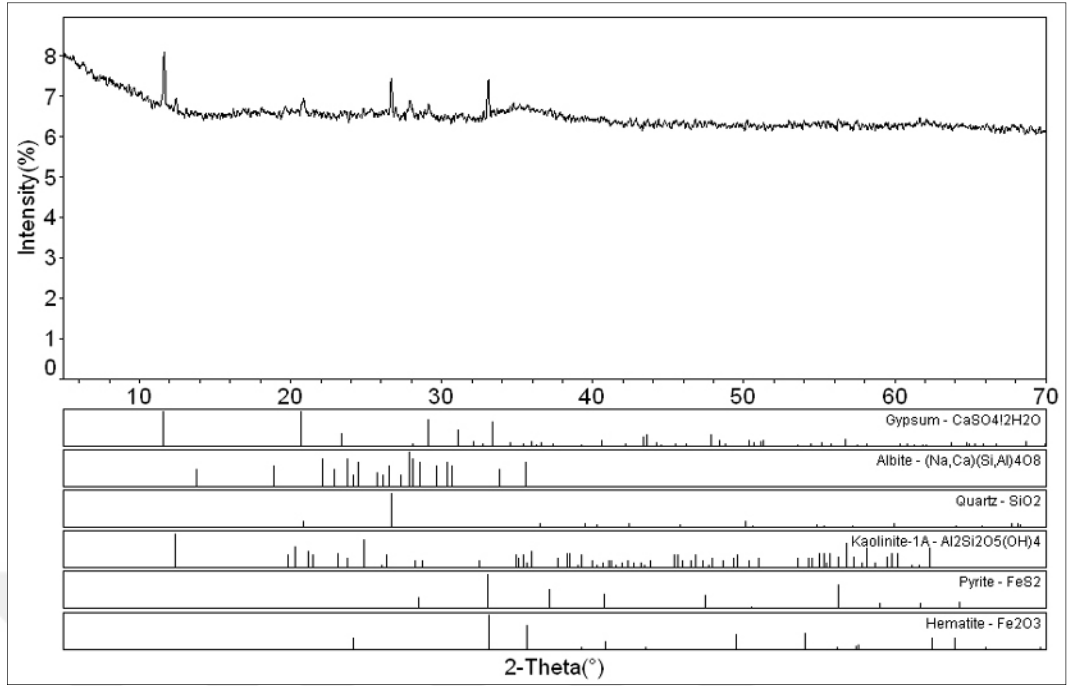
Şekil E.54. SD-36D (Murgul Deresi-Borçka Baraj Havzası kesişim alanında oluşan istif-en alt tabaka) örneğine ait X-ışını difraktogramı



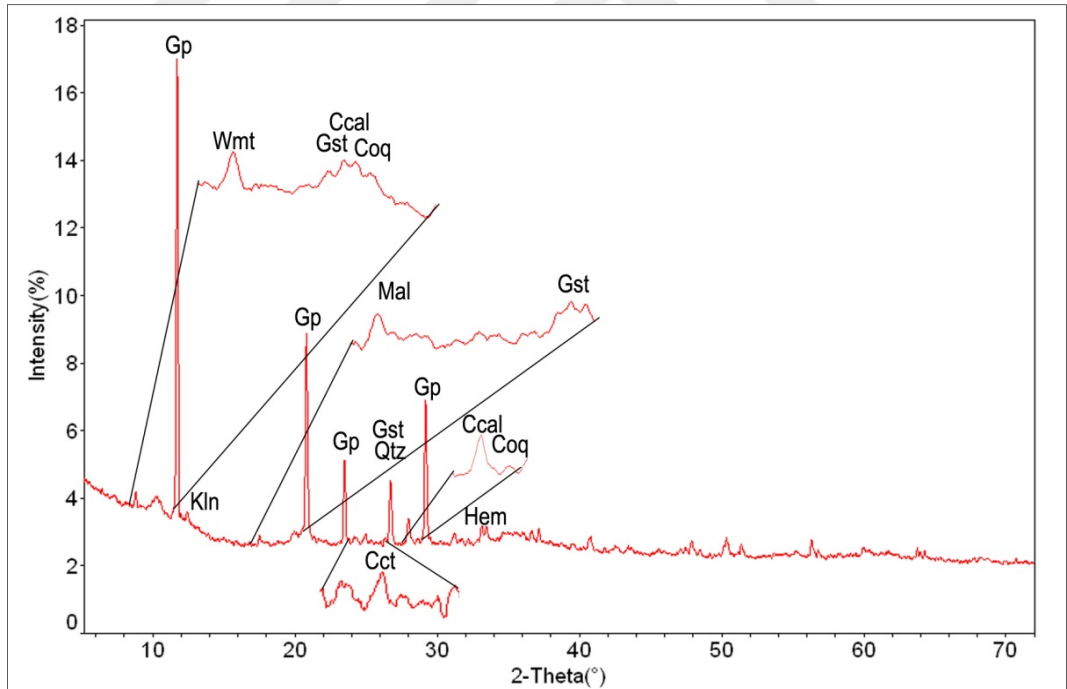
Şekil E.55. SD-30 (Kuarshan-galerilere bağlı olarak oluşan çökeltim-2011) örneğine ait X-ışını difraktogramı



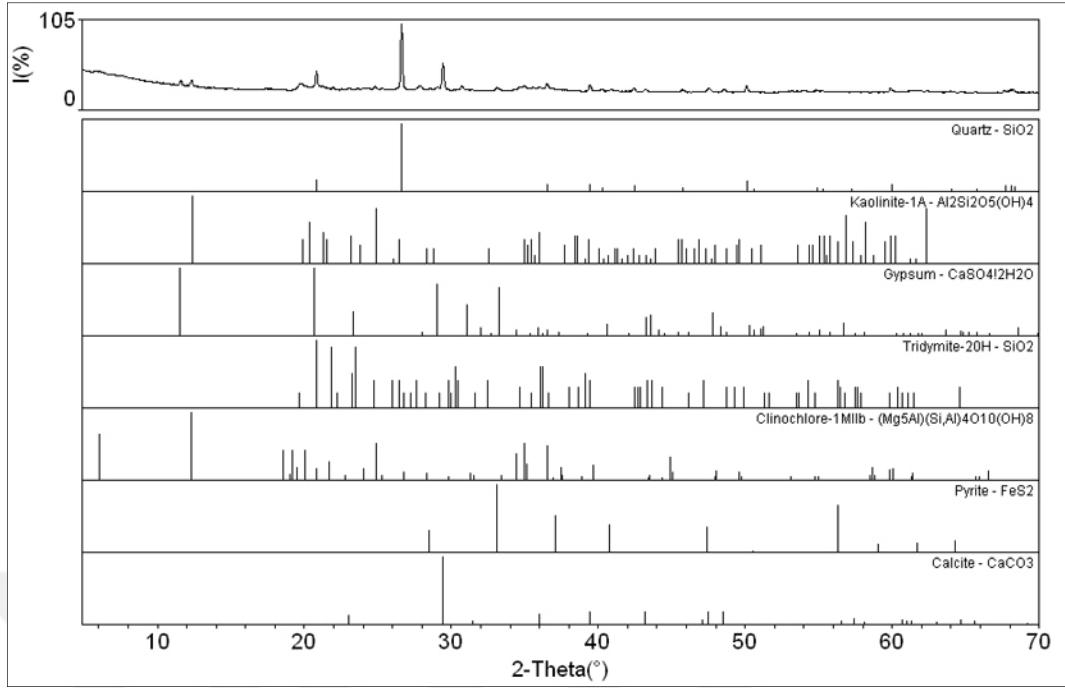
Şekil E.56. SD-30a (Kuarshan-galerilere bağlı olarak oluşan çökeltim-2012) örneğine ait X-ışını difraktogramı



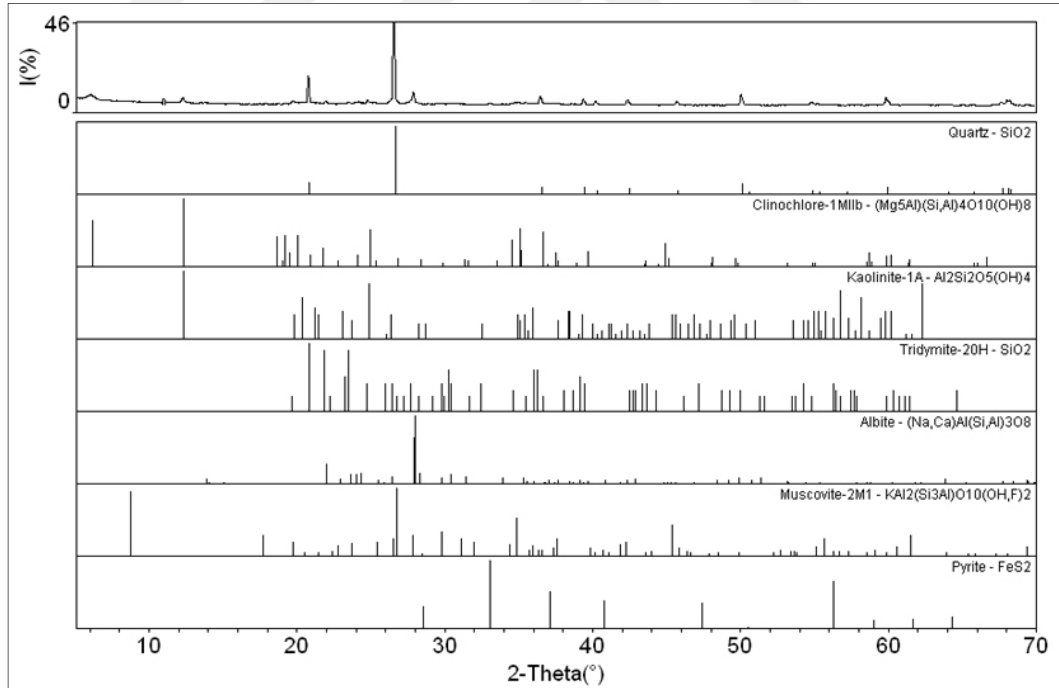
Şekil E.57. SD-30b (Kuarshan-galerilere bağlı olarak oluşan çökeltim-2012) örneğine ait X-ışını difraktogramı



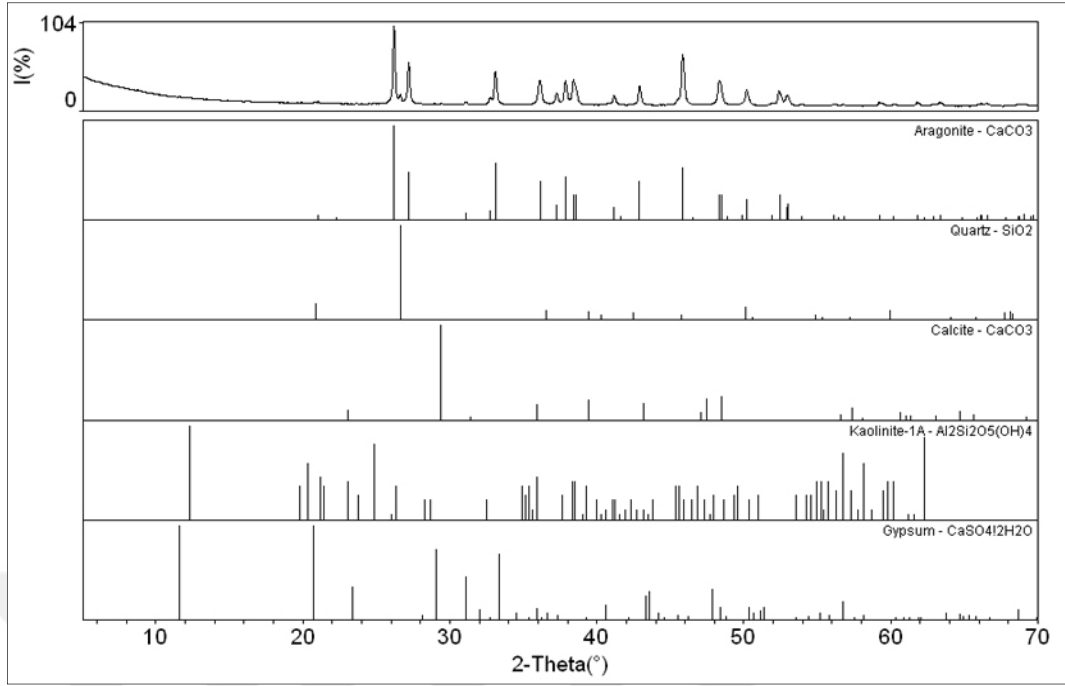
Şekil E.58. SD-30 (Kuarshan-galerilere bağlı olarak oluşan çökeltim-2013) örneğine ait X-ışını difraktogramı



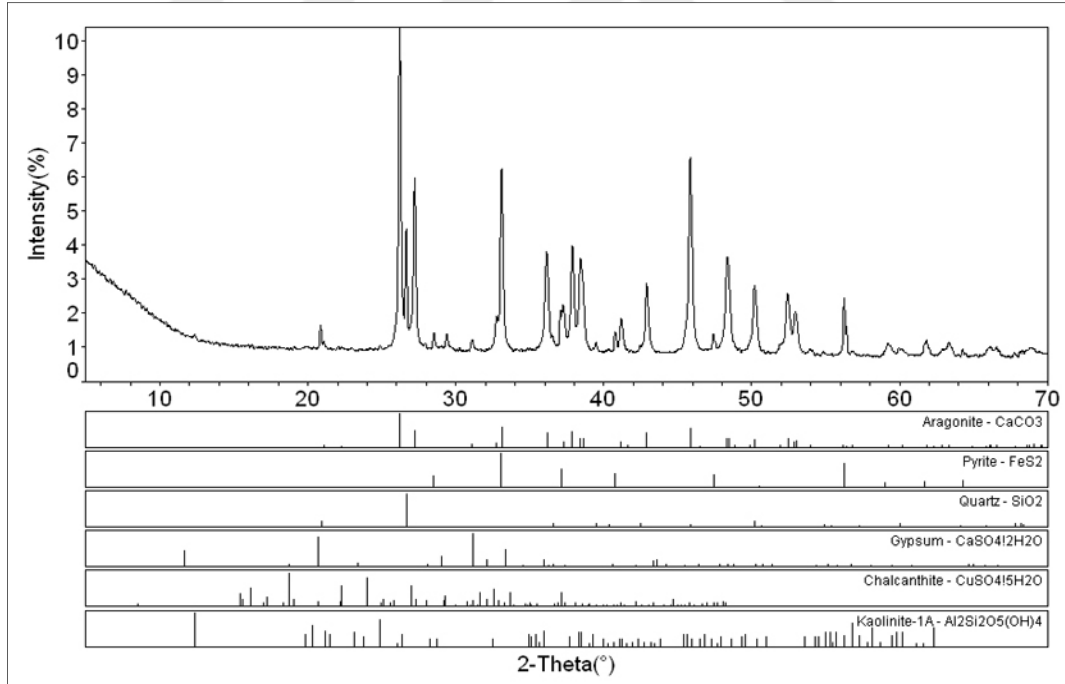
Şekil E.59. SD-31 (Kuarshan-pasa arasında oluşmuş çökel) örneğine ait X-ışını difraktogramı



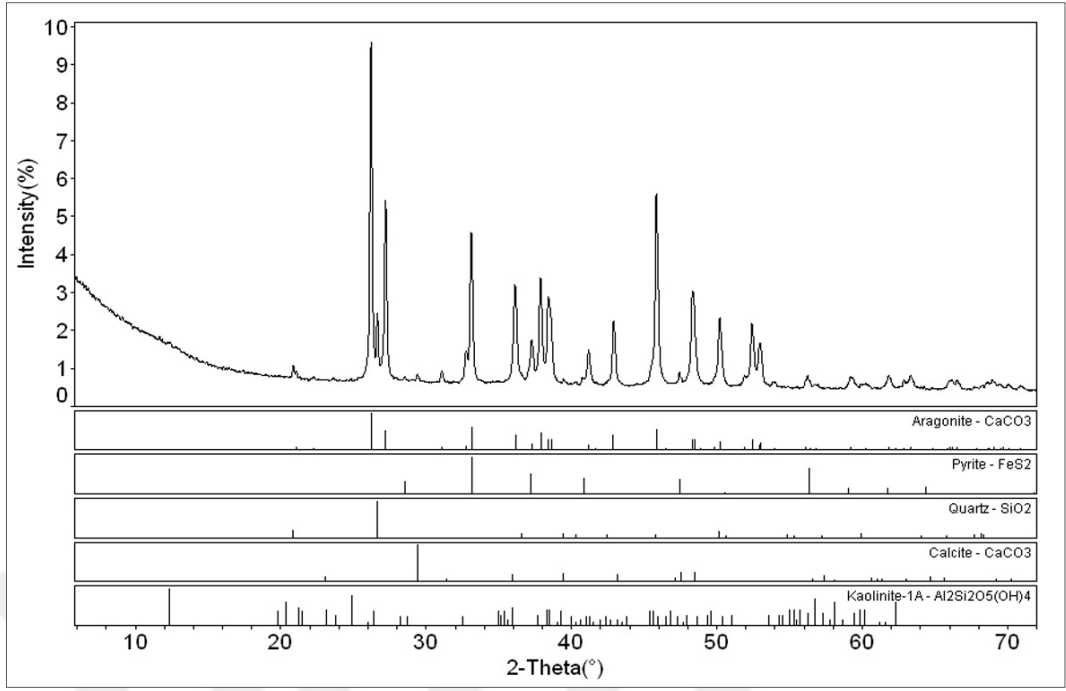
Şekil E.60. SD-33 (Kuarshan-Fabrika deresi sedimenti) örneğine ait X-ışını difraktogramı



Şekil E.61. SD-32 (Kuarshan-Jips/karbonat mineral çökeli-2011) örneğine ait X-ışını difraktogramı



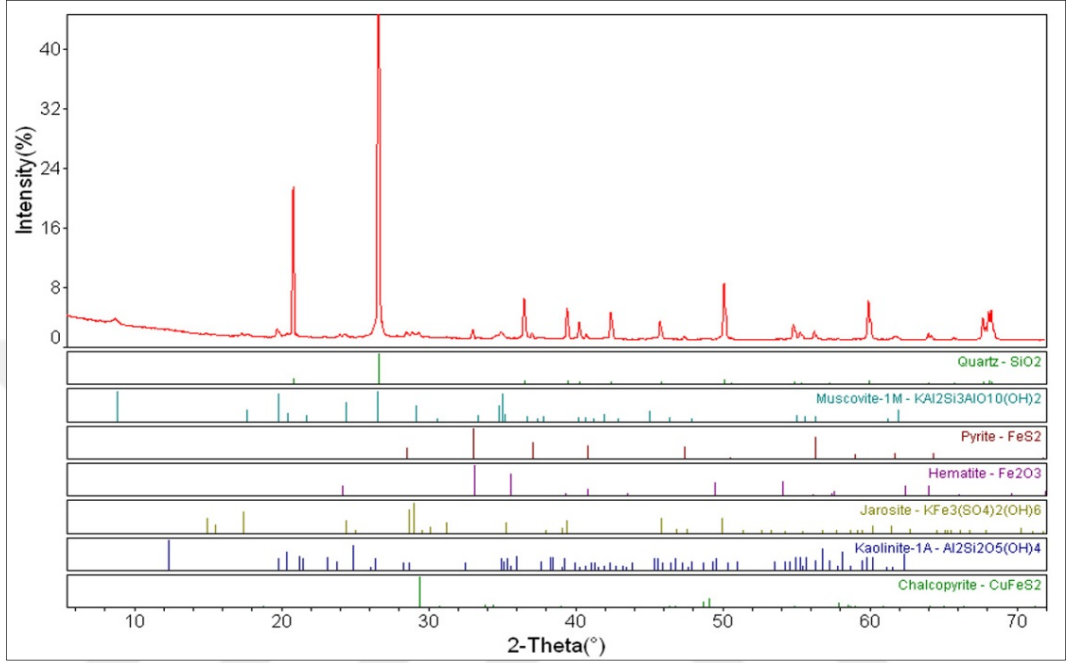
Şekil E.62. SD-32 (Kuarshan-Jips/karbonat mineral çökeli-2012) örneğine ait X-ışını difraktogramı



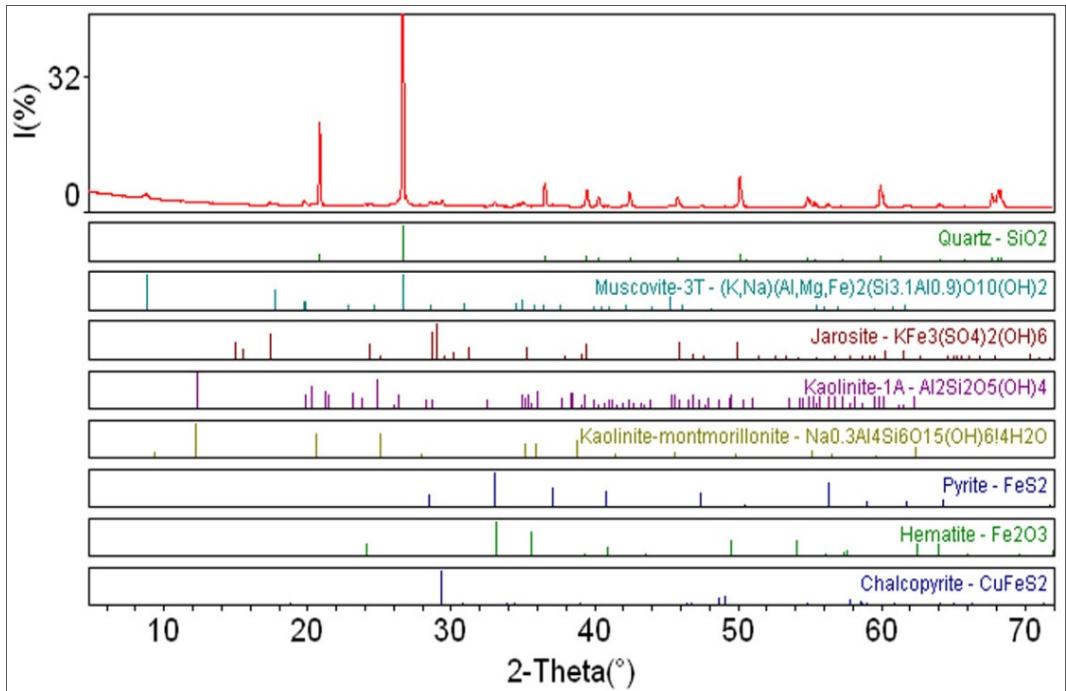
Şekil E.63. SD-32 (Kuarshan-Jips/karbonat mineral çökeli-2013) örneğine ait X-ışını difraktogramı

Ek-F

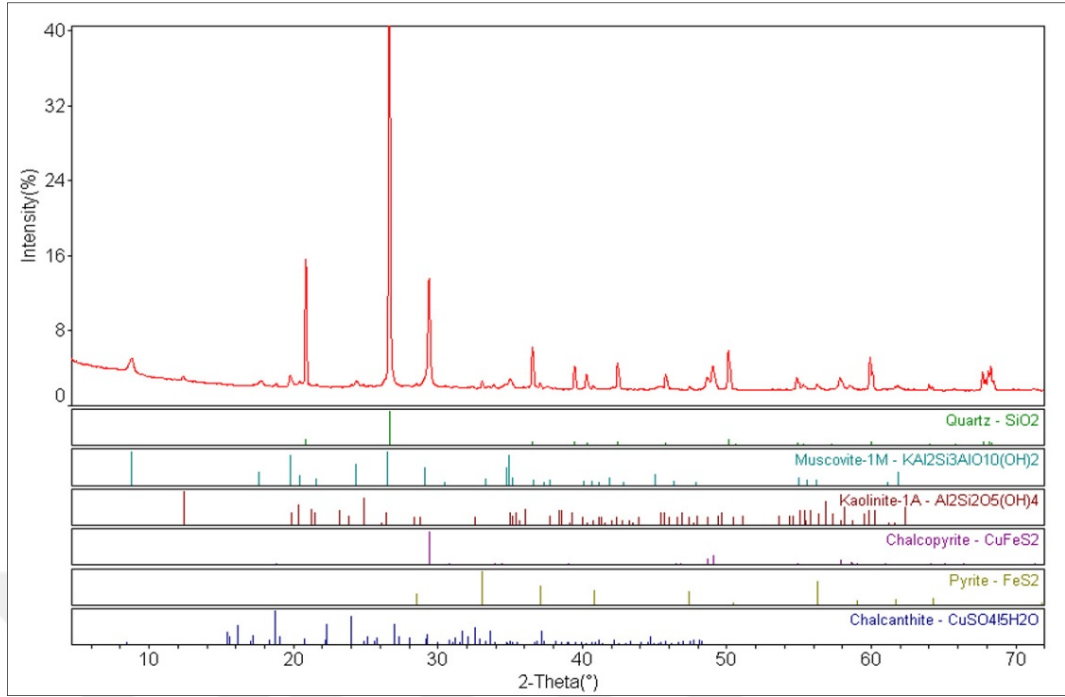
NEM HÜCRESİ TESTİ BİTİMİNDE ÖRNEKLERİN X-IŞINI DİFRAKTOGRAMLARI



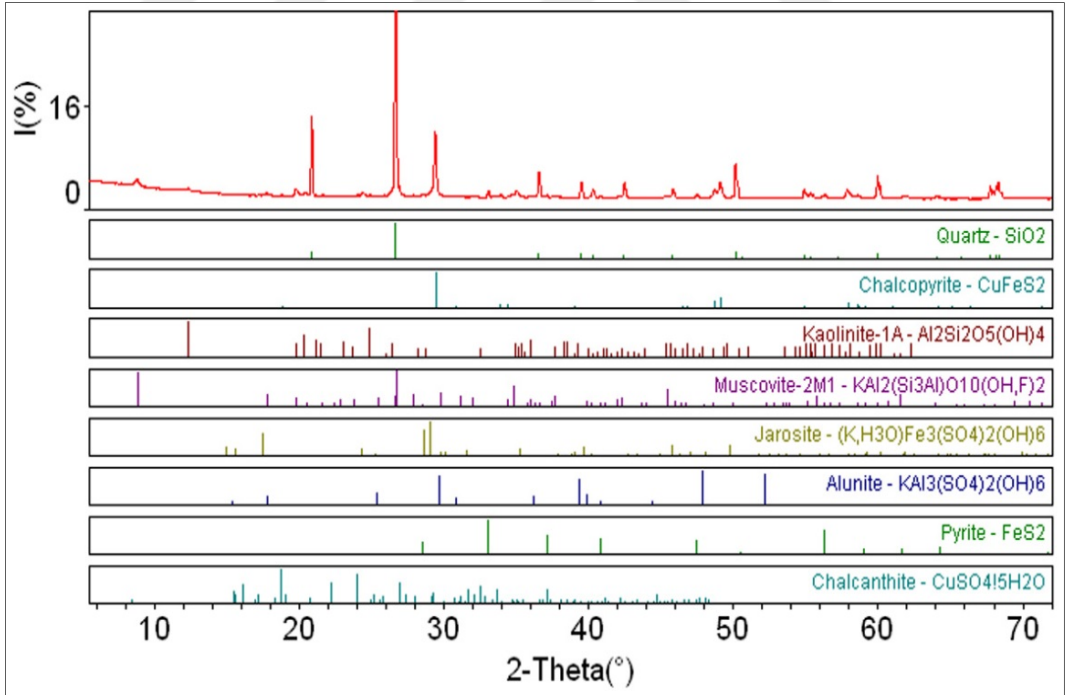
Şekil F.1. K-1/Karışım (Çakmakkaya-cevherli dasit) örneğine ait X-ışını difraktogramı



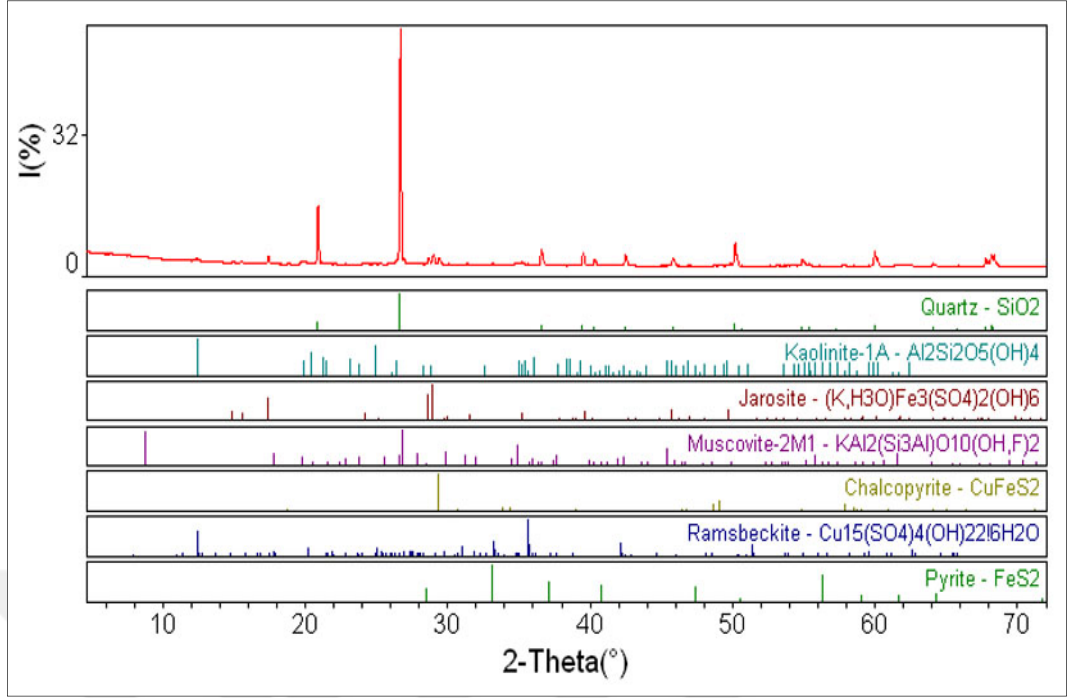
Şekil F.2. K-1/Alt zon (Çakmakkaya-cevherli dasit) örneğine ait X-ışını difraktogramı



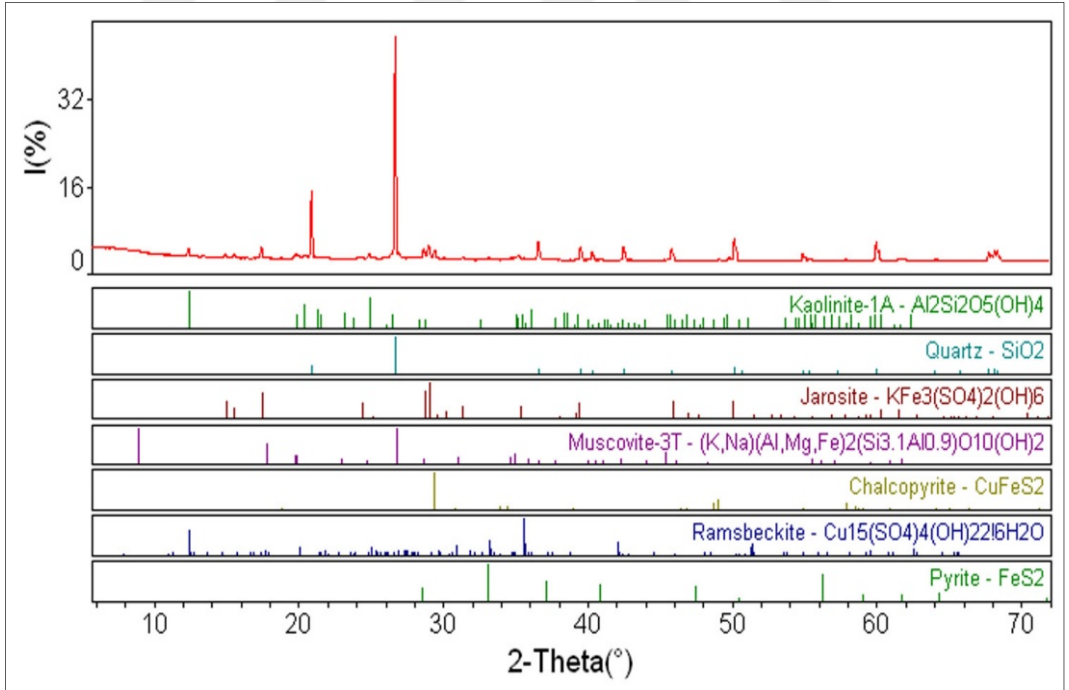
Şekil F.3. K-10/Karışım (Çakmakkaya-cevherli dasit) örneğine ait X-ışını difraktogramı



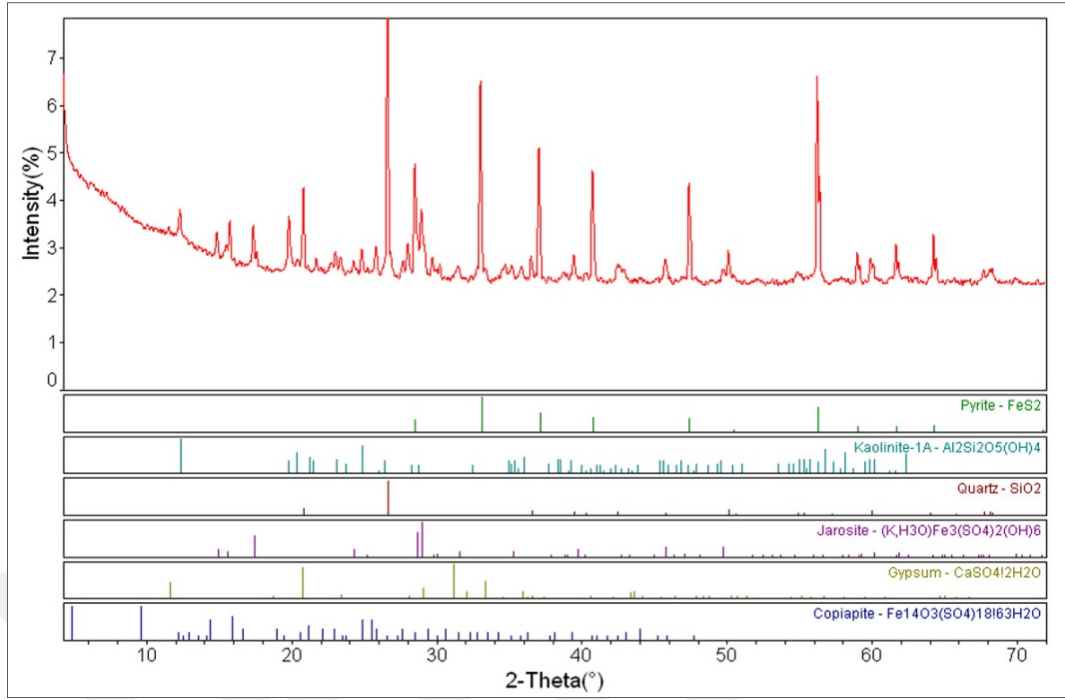
Şekil F.4. K-10/Alt zon (Çakmakkaya-cevherli dasit) örneğine ait X-ışını difraktogramı



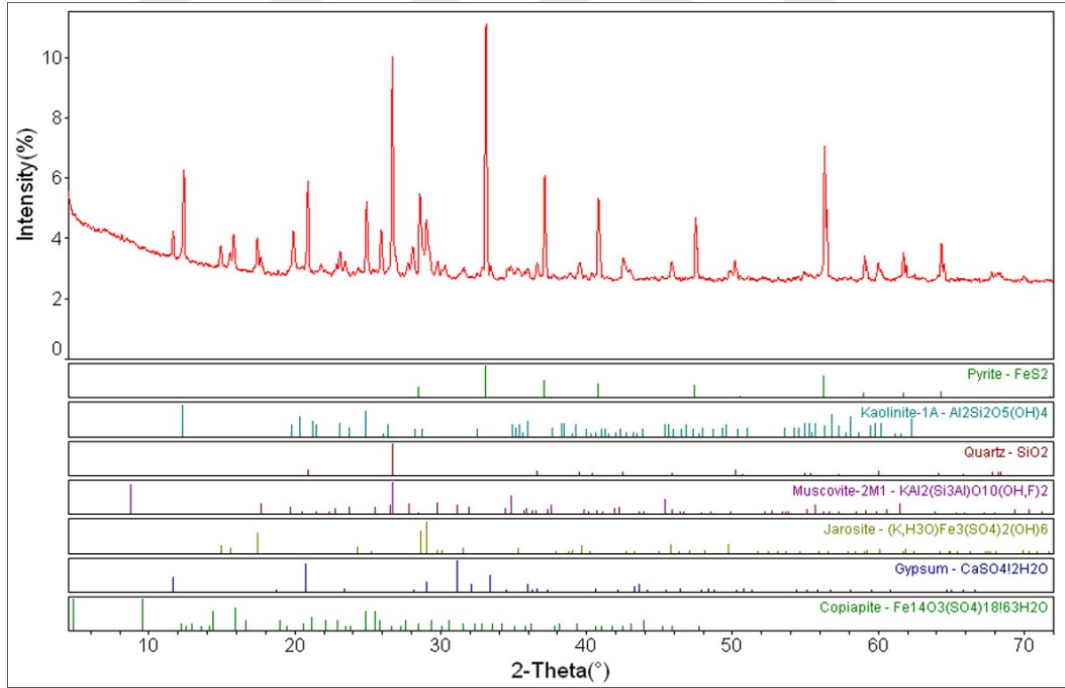
Şekil F.5. K-12/Karışım (K.B.E.İ.-cevherli dasit) örneğine ait X-ışını difraktogramı



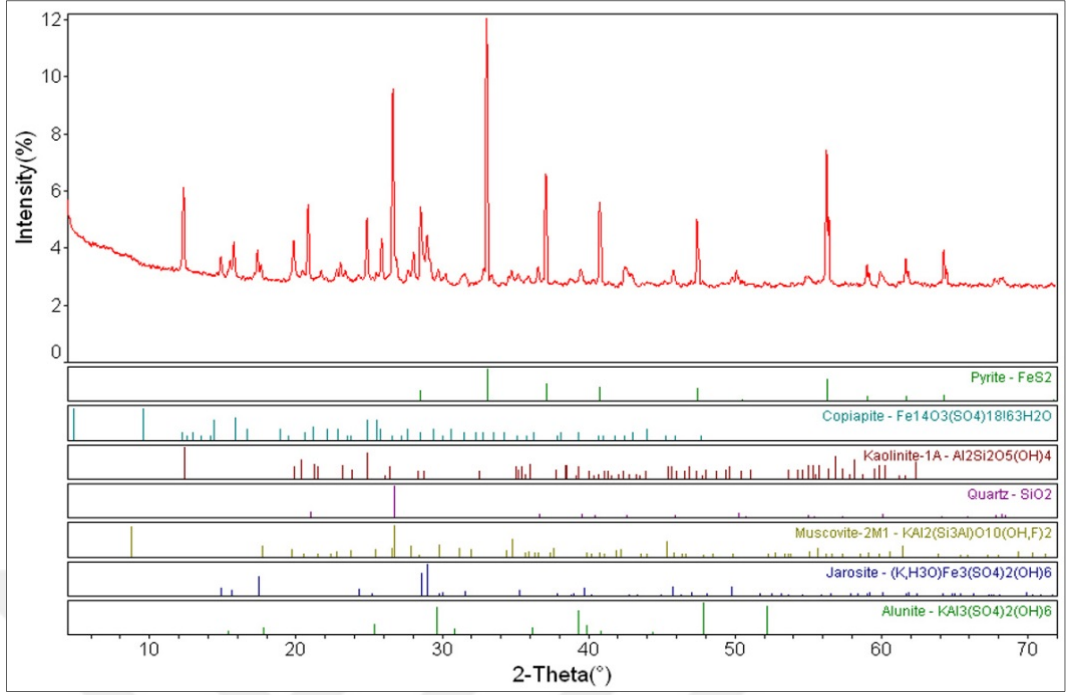
Şekil F.6. K-12/Alt zon (K.B.E.İ.-cevherli dasit) örneğine ait X-ışını difraktogramı



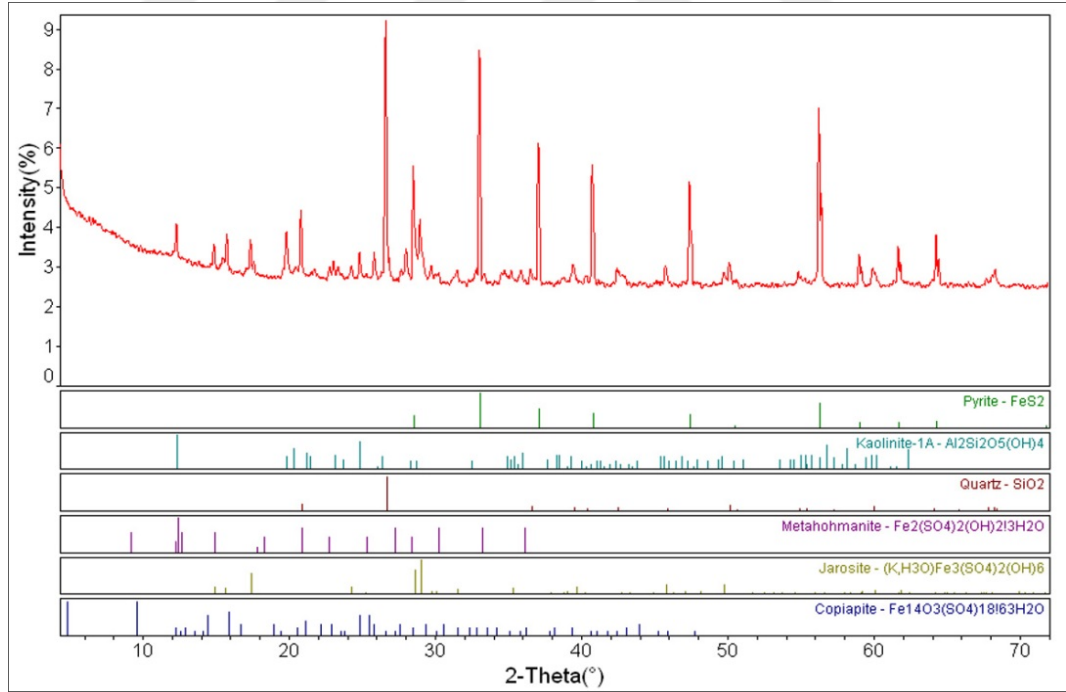
Şekil F.7. K-15/Karışım (Kuarshan-flotasyon atığı) örneğine ait X-ışını difraktogramı



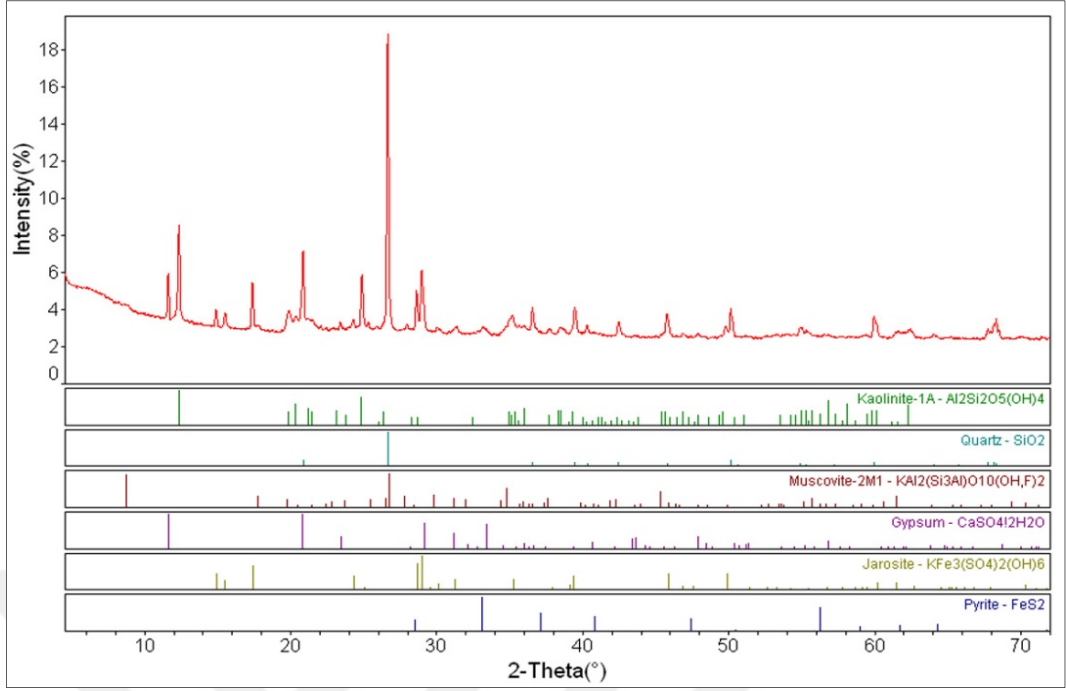
Şekil F.8. K-15/Alt zon (Kuarshan-flotasyon atığı) örneğine ait X-ışını difraktogramı



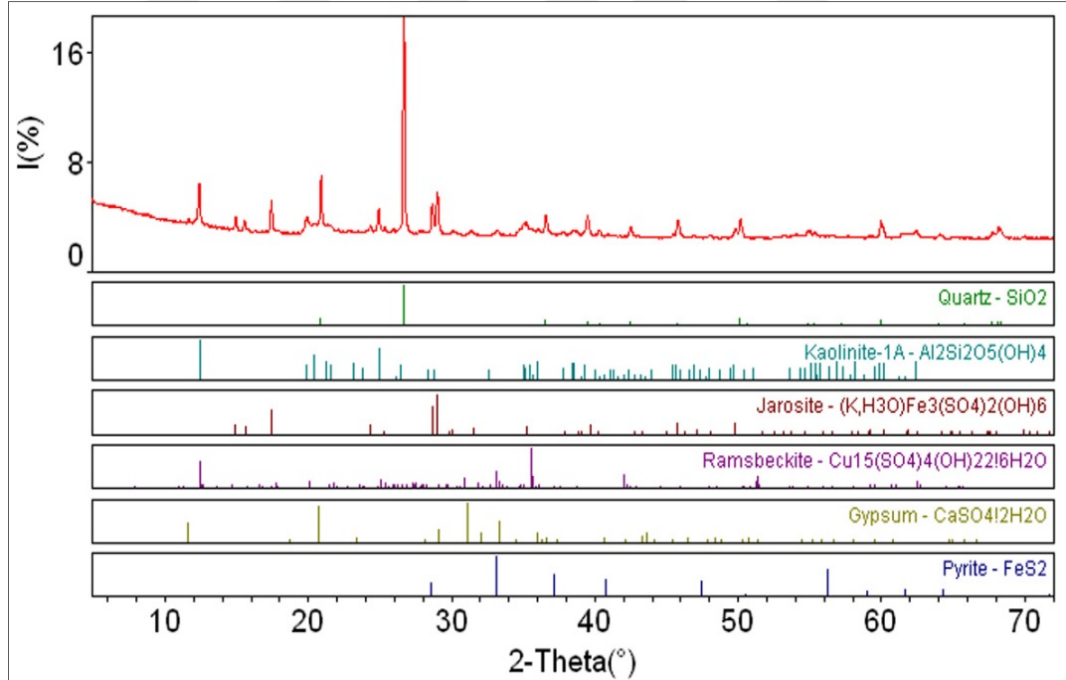
Şekil F.9. K-15/Orta zon (Kuarshan-flotasyon atığı) örneğine ait X-ışını difraktogramı



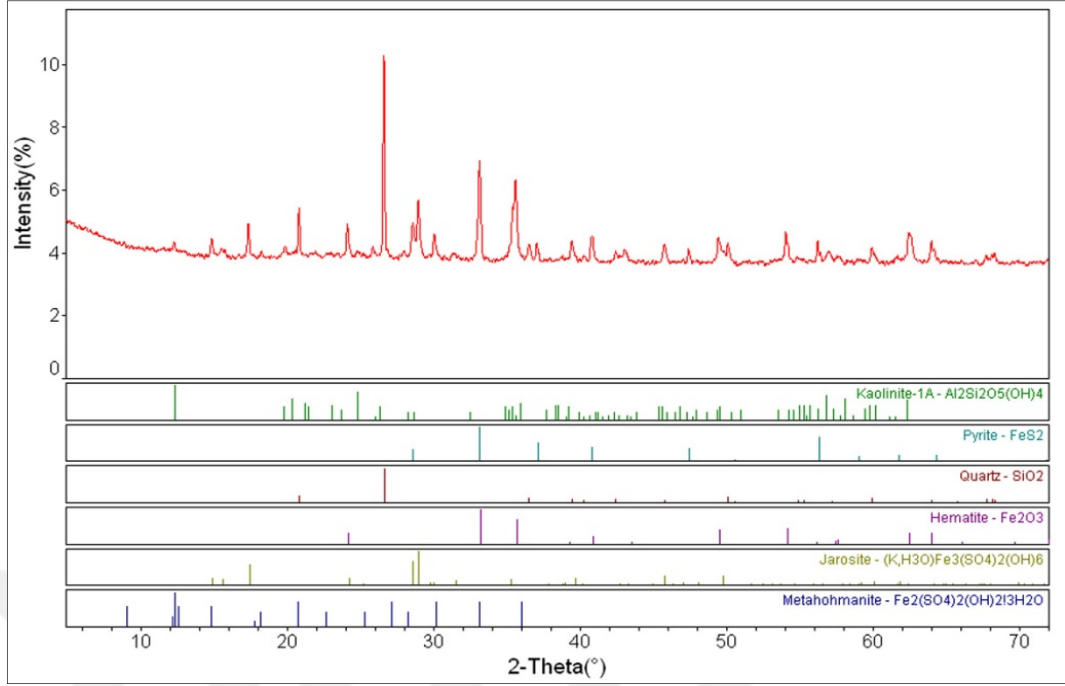
Şekil F.10. K-15/Üst zon (Kuarshan-flotasyon atığı) örneğine ait X-ışını difraktogramı



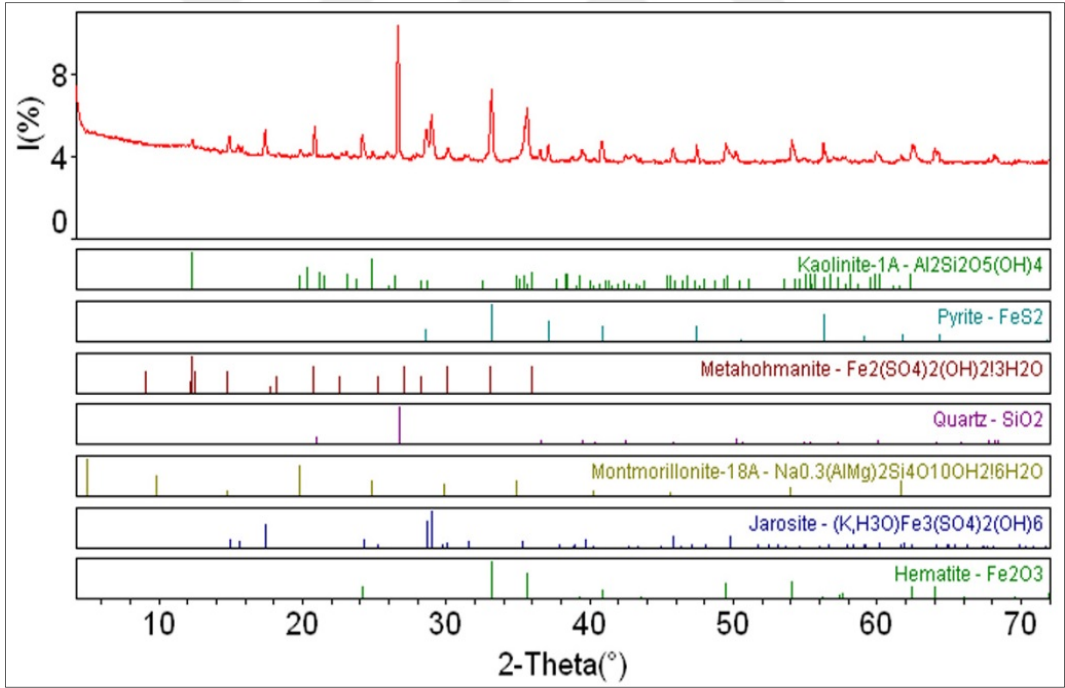
Şekil F.11. K-16/Karışım (Kuarshan-mekan kaya) örneğine ait X-ışını difraktogramı



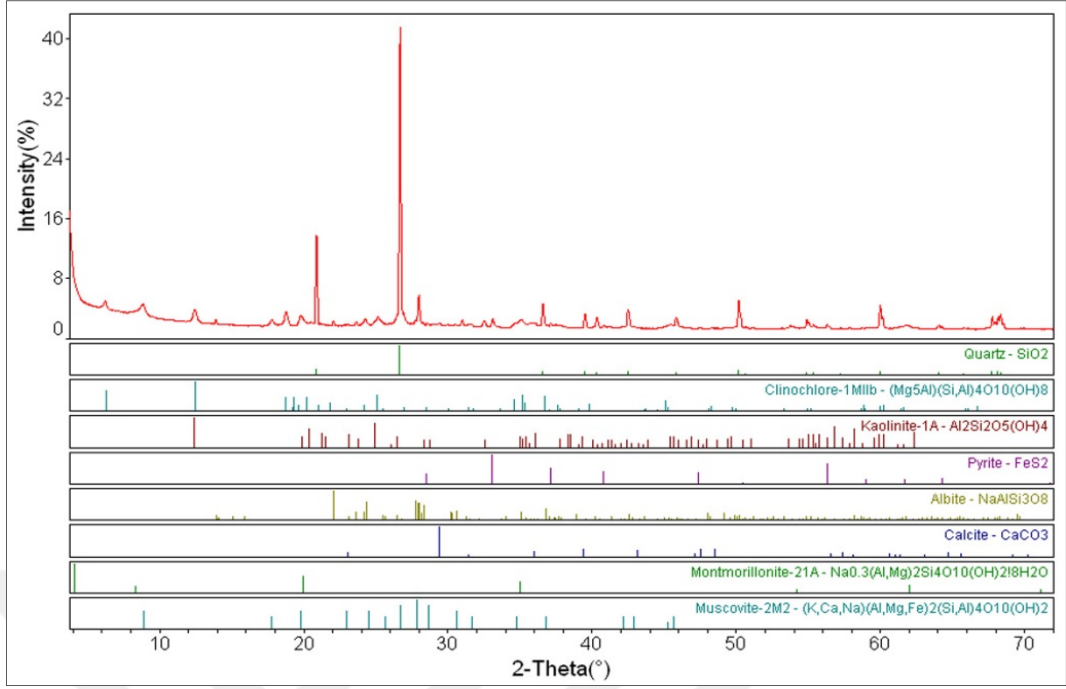
Şekil F.12. K-16/Üst zon (Kuarshan-mekan kaya) örneğine ait X-ışını difraktogramı



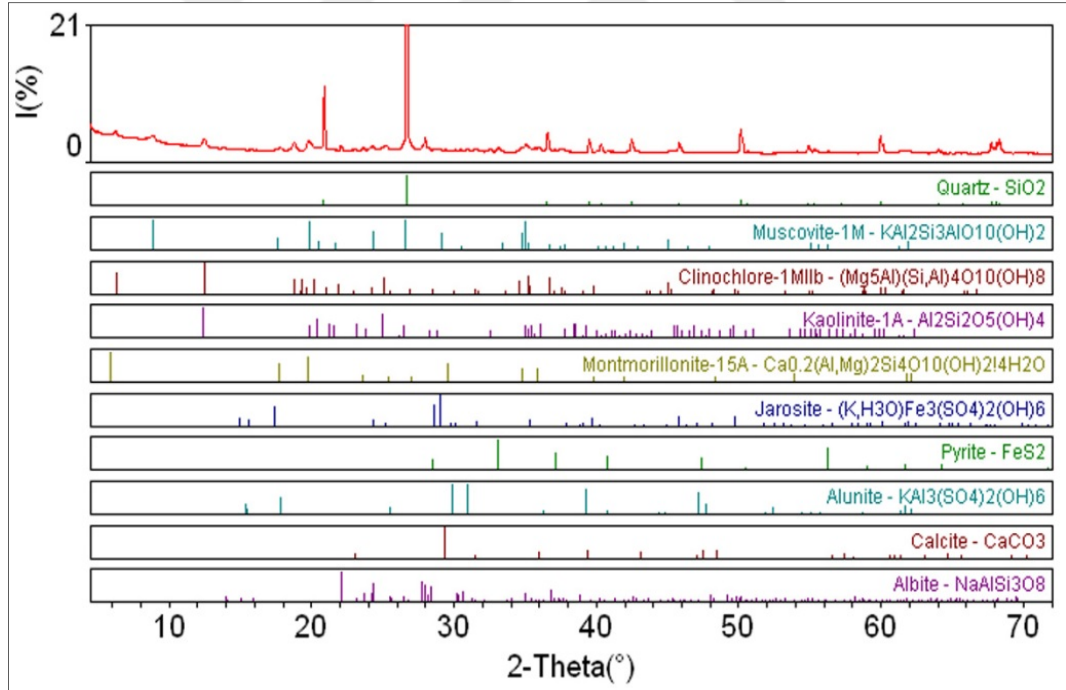
Şekil F.13. K-17/Karışım (Kuarshan-pasa) örneğine ait X-ışını difraktogramı



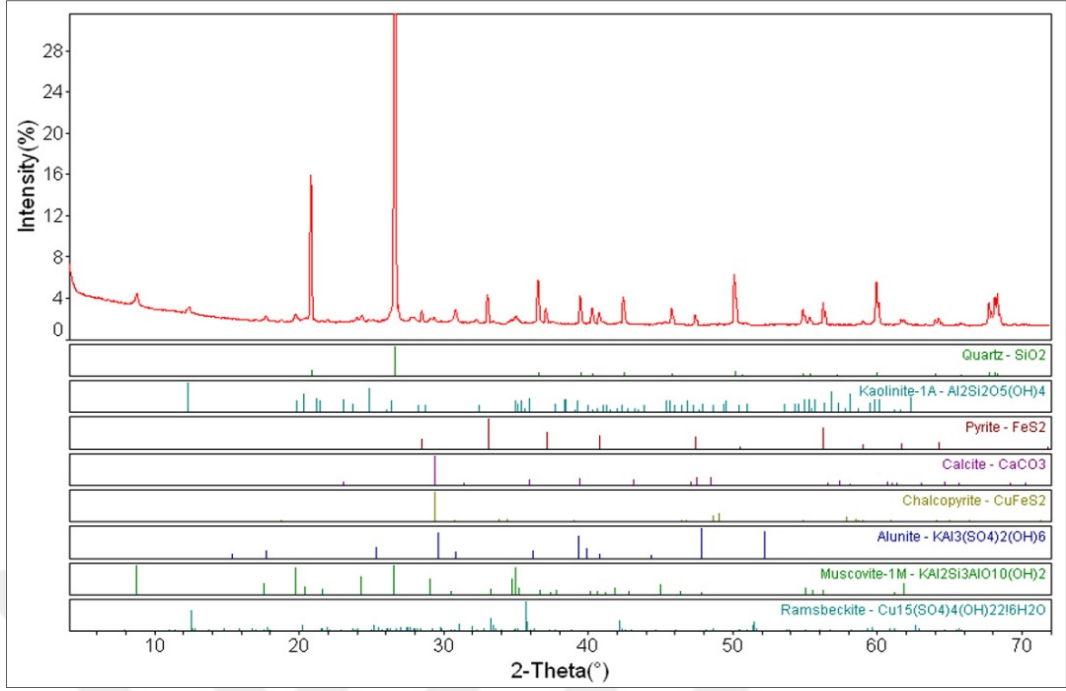
Şekil F.14. K-17/Alt zon (Kuarshan-pasa) örneğine ait X-ışını difraktogramı



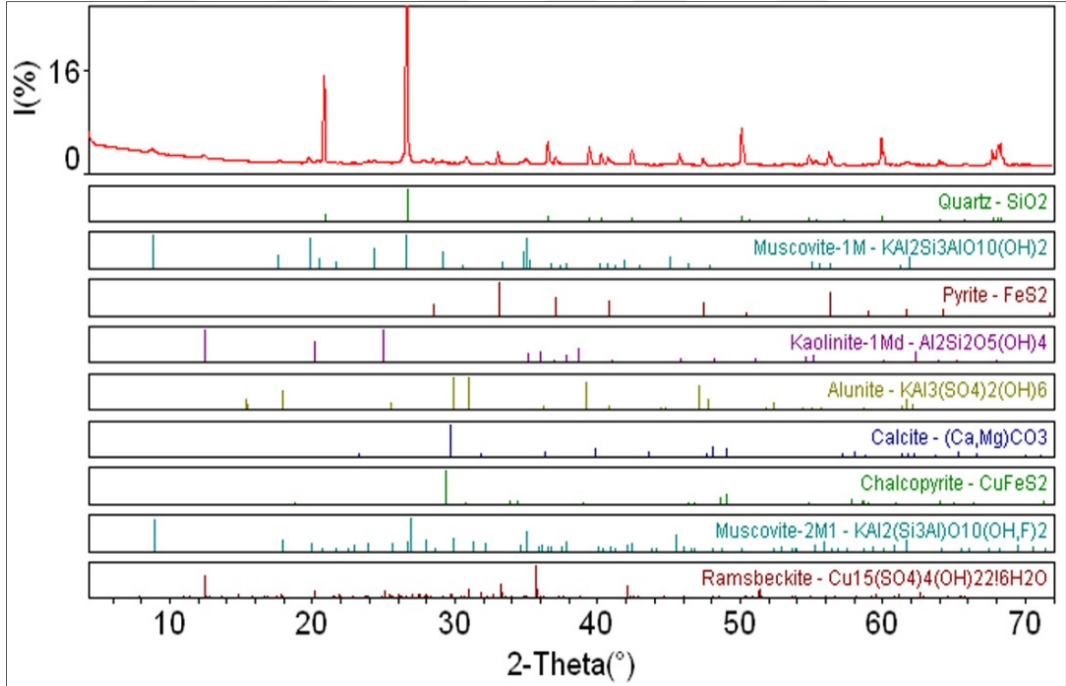
Şekil F.15. K-18/Karışım (Murgul-dekapaj) örneğine ait X-ışını difraktogramı



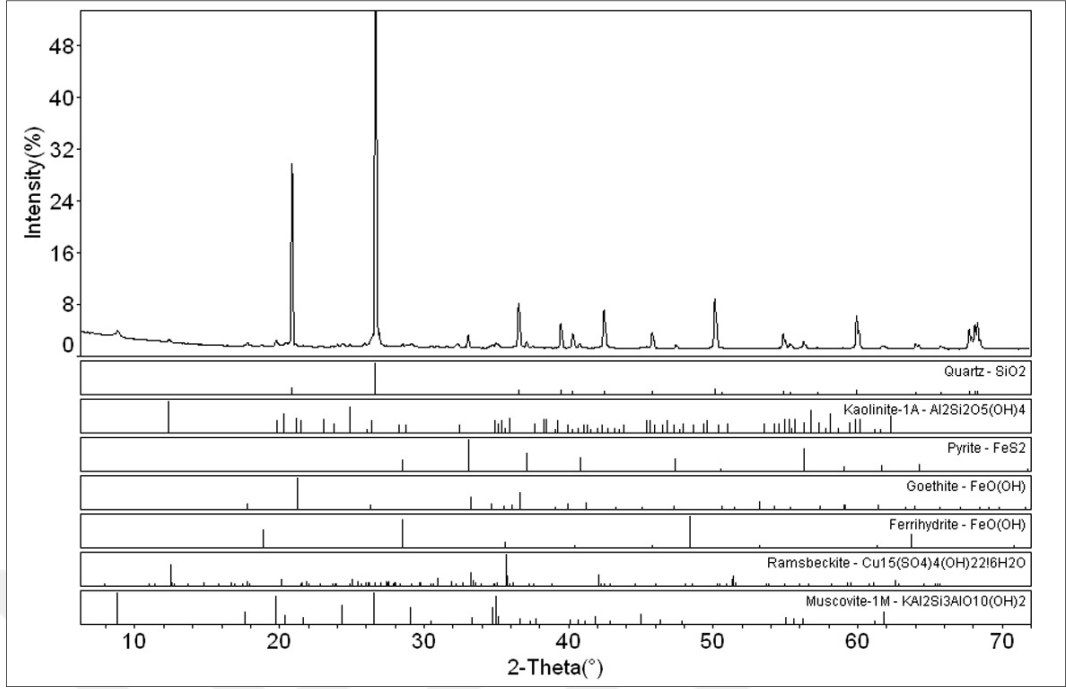
Şekil F.16. K-18/Alt zon (Murgul-dekapaj) örneğine ait X-ışını difraktogramı



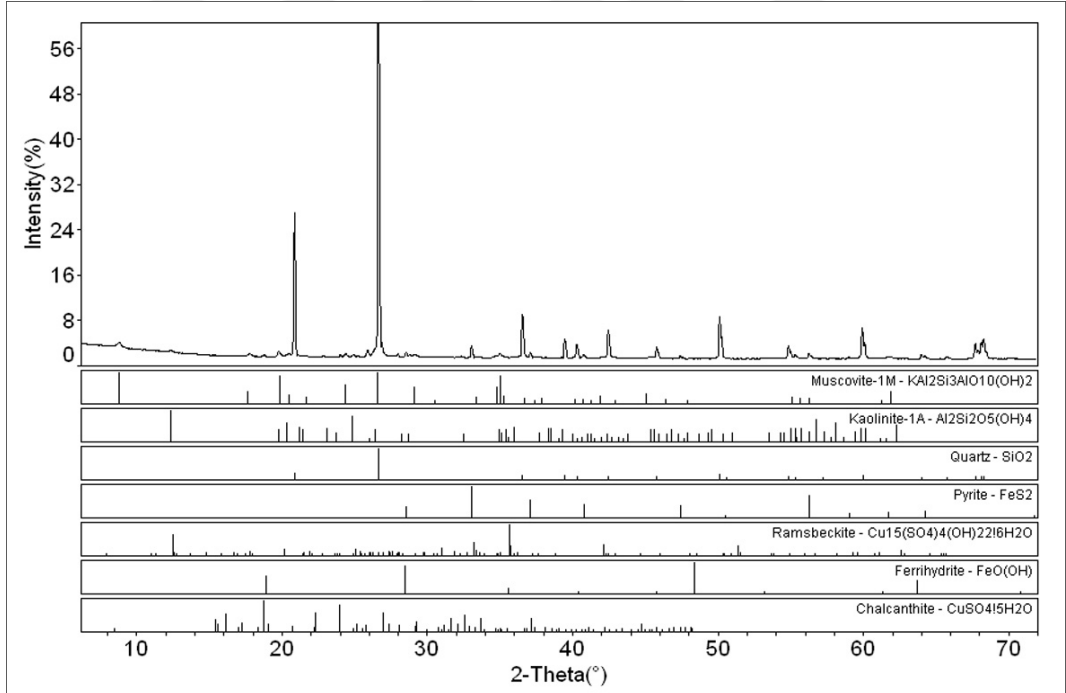
Şekil F.17. K-19/Karışım (Çarkbaşı-cevherli dasit) örneğine ait X-ışını difraktogramı



Şekil F.18. K-19/Üst zon (Çarkbaşı-cevherli dasit) örneğine ait X-ışını difraktogramı



Şekil F.19. SD-34/Karışım (Atık barajı-flotasyon atığı) örneğine ait X-ışını difraktogramı



Şekil F.20. SD-34/Oksitlenmiş zon (Atık barajı-flotasyon atığı) örneğine ait X-ışını difraktogramı

Ek-G

NEM HÜCRESİ DENEYİNDE ÖRNEKLERDEN SALINAN ELEMENT KÜTLELERİ VE DENEY SONUNDA SALINAN TOPLAM ELEMENT YÜZDELERİ

Tablo G.1. K-1 (Çakmakkaya-cevherli dasit) örneğine örneğine ait element salınım kütleleri ve yüzdeleri

K-1	Al (mg)	Ca (mg)	Co (mg)	Cu (mg)	Fe (mg)	K (mg)	Na (mg)	Ni (mg)	Mg (mg)	Mn (mg)	Zn (mg)	As (µg)	Cd (µg)	Cr (µg)	Mo (µg)	Pb (µg)	Ti (µg)	V (µg)
Dışığı \ Cθ	59731	1337		1902	29326	19276	408	205	447	85	59	105650		452310	77530		923320	
0	105.462	73.794	1.641	106.077	1341.125	0.307	1.570	0.424	293.243	15.099	6.014	13923.914	29.169	217.369	316.679	5.109	81.821	145.245
1	51.628	38.552	0.861	57.545	406.244	0.014	0.329	1.155	197.771	7.563	3.724	2292.002	16.845	90.745	18.729	3.576	29.142	23.248
2	17.477	43.129	0.382	19.998	82.884	0.130	0.396	0.273	104.875	3.728	2.067	146.762	8.455	29.554	1.105	0.579	13.047	4.627
3	3.014	32.618	0.136	9.304	7.664	0.038	0.065	0.152	50.364	2.025	0.657	7.065	2.890	3.886		0.132	5.574	0.922
4	0.465	33.468	0.088	6.081	1.025	0.068	0.100	0.078	41.457	1.744	0.501	1.284	2.136	1.671		0.014	4.486	
5	0.184	20.043	0.054	1.478	0.082	0.188	0.162	0.037	36.411	1.018	0.276	0.345	0.728	0.063	0.084	0.020	4.984	0.008
6	0.018	33.006	0.039	2.564	0.149	0.247	0.307	0.044	35.009	0.837	0.230	0.343	0.626	0.050	0.083	0.014	5.042	0.007
7		19.585	0.011	0.595	0.040	0.253	0.402	0.010	11.096	0.263	0.066	0.122	0.177	0.067	0.051	0.017	2.663	
8	0.017	16.424	0.009	0.774	0.024	0.315	0.342	0.015	10.481	0.241	0.066	0.208	0.175	0.061	0.057	0.008	2.339	
9	0.012	15.404	0.009	0.670	0.014	0.160	0.122	0.008	11.453	0.269	0.067	0.112	0.160	0.046	0.056	0.018	2.536	
10	0.014	11.791	0.008	0.772	0.037	0.322	0.352	0.005	11.358	0.271	0.072	0.359	0.156	0.058	0.033	0.031	2.233	
11		12.960	0.002	0.132	0.048	0.131	0.022	0.001	6.223	0.151	0.012	0.154	0.060		0.097	0.015	1.108	
12		26.487	0.006	0.270	0.105	0.237	0.053	0.003	12.552	0.370	0.037	0.340	0.153		0.288	0.004	2.464	
13		32.524	0.004	0.515	0.142	0.191	0.046	0.020	6.009	0.185	0.033	0.411	0.127		0.089	0.015	2.199	
14	0.009	17.974	0.006	1.624	0.087	0.344	0.049	0.003	9.276	0.302	0.066	0.668	0.201		0.031	0.029	1.692	
15	0.198	34.898	0.014	5.294	0.373	0.102	0.045	0.006	15.069	0.521	0.107	1.558	0.339		0.037	0.031	2.908	
16	1.691	32.498	0.044	14.221	1.850	0.180	0.173	0.044	26.774	0.915	0.388	4.877	0.852	0.540	0.043	9.470	4.077	
17	4.616	24.418	0.068	13.168	17.367	0.029	0.050	0.019	28.534	0.965	0.362	11.075	0.928	2.630	0.122	0.226	5.213	
18	9.360	23.666	0.113	14.634	73.790	0.018	0.075	0.020	29.738	1.022	0.413	258.179	1.060	6.915	2.358	0.494	8.714	0.622
19	17.646	21.777	0.190	12.419	195.844	0.027	0.039	0.031	35.491	0.914	0.414	1038.452	1.193	13.643	13.322	0.233	14.826	8.370
20	9.265	11.977	0.141	5.104	148.514	0.019	0.059	0.019	14.165	0.555	0.257	250.141	0.765	7.858	4.302	0.342	11.527	4.682
21	17.593	14.789	0.221	6.502	306.508	0.016	0.070	0.223	21.598	0.736	0.459	1018.243	1.127	12.539	18.038	0.511	19.119	11.253
22	6.476	7.718	0.123	2.805	160.194	0.016	0.044	0.026	9.982	0.370	0.215	838.228	0.651	5.344	23.211	0.507	10.436	8.723
23	11.279	10.958	0.235	6.181	338.353	0.018	0.075	0.802	19.190	0.697	0.734	1449.740	1.152	9.791	72.295	6.603	19.418	27.822
24	5.906	6.780	0.127	3.003	174.958	0.104	0.093	1.252	10.957	0.402	0.365	571.898	0.578	3.744	33.384	2.670	11.422	8.779
25	4.897	6.214	0.094	2.596	128.033	0.143	0.063	0.104	10.192	0.321	0.145	366.737	0.380	2.789	9.699	0.288	5.543	4.742
26	4.998	5.041	0.088	2.582	116.600	0.465	0.073	0.033	9.514	0.299	0.136	246.208	0.360	2.356	8.723	1.771	5.544	4.143
27	4.402	6.881	0.088	2.669	113.440	0.027	0.049	0.017	9.817	0.305	0.141	395.556	0.362	1.751	10.243	0.289	5.014	4.946
28	6.462	8.219	0.139	4.045	220.178	0.012	0.037	0.019	16.608	0.518	0.201	858.022	0.614	2.541	16.369	0.193	6.248	9.791
29	2.839	10.625	0.091	2.182	129.778	0.024	0.056	0.331	9.704	0.299	0.169	504.657	0.403	1.257	13.704	0.524	5.612	4.472
30	4.201	5.849	0.141	3.452	265.628	0.029	0.031	0.030	16.290	0.507	0.210	942.270	0.660	1.859	19.468	0.845	7.253	9.379
31	2.857	4.816	0.105	2.800	195.860	0.026	0.044	0.353	12.770	0.392	0.260	988.747	0.615	1.759	29.501	2.356	5.803	7.846
32	2.523	3.984	0.093	2.682	172.936	0.013	0.031	0.745	11.285	0.343	0.282	583.381	0.507	1.312	22.837	4.069	5.607	5.102
33	2.681	4.213	0.100	3.032	212.124	0.029	0.029	0.870	12.763	0.393	0.274	725.091	0.555	1.291	25.585	4.801	6.023	5.186
34	3.030	5.123	0.130	3.842	283.014	0.024	0.028	2.765	15.533	0.472	0.548	923.127	0.775	1.397	32.596	10.030	8.061	5.788
35	2.007	4.043	0.089	2.789	182.494	0.014	0.034	1.309	10.544	0.316	0.228	716.004	0.528	0.913	31.437	1.600	6.505	2.925
36	1.847	2.534	0.064	2.239	137.437	0.141	0.043	0.548	8.174	0.243	0.144	698.279	0.399	1.171	32.715	1.383	5.294	4.062
37	2.585	2.393	0.090	3.283	194.303	0.034	0.038	0.095	9.817	0.303	0.134	714.544	0.492	1.223	38.868	0.524	7.291	3.650
38	2.129	1.942	0.080	2.470	189.716	0.102	0.026	0.019	4.388	0.217	0.113	502.390	0.322	1.174	26.747	0.905	6.500	3.118
39	2.548	2.017	0.082	3.050	208.399	0.014	0.023	0.011	4.752	0.222	0.124	418.801	0.316	0.881	27.023	0.309	7.550	3.046
40	2.238	1.943	0.089	2.913	230.790	0.028	0.027	1.569	4.182	0.203	0.514	597.467	0.383	0.687	33.814	7.084	8.120	2.090
41	2.047	2.412	0.100	2.891	266.257	0.035	0.026	0.220	4.402	0.219	0.153	658.510	0.422	0.747	42.605	0.568	8.998	2.517
42	1.634	2.217	0.090	2.449	231.561	0.009	0.019	0.018	4.230	0.187	0.115	535.631	0.369	0.645	43.041	0.516	9.151	2.295
43	2.362	3.130	0.113	3.676	327.644	0.016	0.020	0.032	5.066	0.240	0.174	773.344	0.531	0.875	46.343	1.644	10.641	2.857
44	1.693	3.533	0.082	2.805	194.003	0.009	0.021	0.017	4.730	0.186	0.133	279.037	0.384	0.507	27.956	0.340	9.233	1.802
45	1.793	3.053	0.086	2.848	221.053	0.018	0.008	4.460	0.177	0.127	393.725	0.401	0.472	35.884	0.228	9.518	1.714	
46	1.142	1.564	0.052	2.290	136.547	0.038	0.027	0.010	2.943	0.110	0.077	418.710	0.281	0.413	34.271	0.854	6.390	1.064
47	0.507	0.775	0.019	0.996	42.547	0.089	0.017	0.006	1.459	0.045	0.032	115.384	0.089	0.304	10.037	1.088	2.929	0.441
48	1.908	1.192	0.077	3.308	184.767	0.007	0.021	0.010	3.054	0.156	0.099	526.274	0.318	0.654	35.340	1.066	4.940	2.001
49	1.313	1.054	0.068	2.308	172.940	0.020	0.021	0.005	2.576	0.128	0.082	508.971	0.273	0.454	34.472	1.303	4.693	1.663
50	0.898	0.835	0.038	1.406	95.358	0.109	0.026	0.004	1.772	0.078	0.048	372.980	0.175	0.476	28.747	2.116	2.947	1.643
51	2.525	2.129	0.118	4.357	260.667	0.034	0.029	0.010	4.484	0.250	0.137	698.336	0.435	1.303	40.188	1.689	6.961	4.707
52	1.068	0.782	0.049	2.007	123.054	0.020	0.015	0.015	2.322	0.090	0.059	287.838	0.190	0.327	20.839	1.411	4.185	0.967
Toplam	333.466	715.553	6.989	369.693	8494.549	4.985	5.928	13.840	1246.907	48.383	22.461	37566.497	82.223	438.143	1283.547	80.458	451.395	348.266
Toplamdan salınım (%)	0.657	53.515		19.441	28.966	0.026	1.452	6.762	28.039									

Tablo G.2. K-10 (Çakmakkaya-cevherli dasit) örneğine ait element salınım kütleleri ve yüzdeleri

K-10	Al (mg)	Ca (mg)	Co (mg)	Cu (mg)	Fe (mg)	K (mg)	Na (mg)	Ni (mg)	Mg (mg)	Mn (mg)	Zn (mg)	As (µg)	Cd (µg)	Cr (µg)	Mo (µg)	Pb (µg)	Ti (µg)	V (µg)	
Dönüşüm \ C ₀	65396	1062		40464	55724	17906	848	170	5652	88	390	73150		390920	43440	42290	923320	20570	
0	1.010	41.579	0.138	20.383	3.432	15.769	20.237	0.022	55.228	0.766	1.513	1.369	15.020	0.163	0.110	99.404	4.701	0.052	
1	0.457	30.656	0.123	18.085	0.896	12.299	16.616	0.032	46.802	0.896	1.924	0.341	12.663		0.087	6.214	4.431	0.020	
2	0.134	19.019	0.048	7.215	0.301	7.340	4.085	0.011	23.696	0.459	0.899	0.270	5.936		0.051	2.355	1.749	0.008	
3	0.028	8.883	0.021	2.587	0.087	3.290	0.744	0.005	9.029	0.197	0.368	0.116	2.723			0.037	1.430	0.893	
4	0.011	6.012	0.015	1.887	0.040	2.387	0.358	0.004	6.265	0.148	0.274	0.146	2.043			0.033	1.067	0.625	
5	0.002	6.992	0.014	1.093	0.004	2.753	0.401	0.006	6.913	0.153	0.298	0.212	2.050	0.064	0.034	0.325	0.930	0.024	
6		5.487	0.013	0.760	0.001	2.275	0.297	0.003	6.416	0.150	0.251	0.239	1.790	0.086	0.048	0.168	0.840	0.023	
7	0.000	8.798	0.019	1.799	0.058	2.763	0.265	0.005	9.554	0.227	0.458	0.389	3.018	0.074	0.070	0.418	1.107	0.024	
8	0.032	11.378	0.029	7.806	0.140	2.236	0.117	0.006	13.362	0.369	0.891	0.463	5.689		0.004	1.491	1.358	0.022	
9	0.072	10.401	0.028	11.458	0.307	1.622	0.118	0.006	12.516	0.381	1.036	0.463	6.478	0.023	0.004	1.327	1.384	0.022	
10	0.166	21.710	0.042	24.934	0.637	2.805	0.187	0.009	23.847	0.682	2.175	0.555	13.723		0.015	0.844	2.497	0.022	
11	0.092	8.264	0.027	15.869	0.547	1.871	0.119	0.006	10.695	0.435	0.938	0.546	6.280	0.053	0.008	0.652	1.687		
12	0.240	10.342	0.036	29.468	0.920	1.899	0.163	0.008	13.862	0.649	1.426	0.716	9.867	0.054	0.010	0.802	2.376		
13	0.054	4.645	0.013	12.669	0.383	0.952	0.078	0.003	6.351	0.295	0.622	0.245	4.155		0.008	0.637	1.003		
14	0.532	11.351	0.032	39.052	1.459	1.959	0.126	0.007	16.185	0.820	2.148	0.758	11.589	0.038	0.012	0.860	2.516		
15	0.314	5.750	0.014	28.586	0.995	1.575	0.074	0.003	11.267	0.555	1.196	0.694	6.484		0.007	0.489	1.426		
16	0.296	5.194	0.016	23.415	0.711	1.228	0.139	0.005	9.747	0.508	1.090	0.873	6.463	0.816		0.758	1.779		
17	0.266	3.650	0.013	19.120	0.570	0.746	0.098	0.003	8.140	0.434	0.877	0.564	5.210	0.752		0.677	1.552		
18	0.501	4.597	0.017	25.372	1.097	0.699	0.119	0.005	10.731	0.553	1.181	0.779	7.022	0.526		0.572	2.015		
19	0.522	5.462	0.023	33.035	1.360	0.852	0.143	0.011	12.314	0.745	1.611	1.134	9.549	0.590		1.409	2.444		
20	0.727	4.635	0.017	27.666	1.154	0.518	0.086	0.006	11.254	0.589	1.256	0.778	7.733	0.589		0.677	2.302		
21	0.848	5.278	0.023	38.523	1.933	0.543	0.137	0.006	13.148	0.789	1.753	0.998	10.737	0.625		0.719	2.912		
22	0.873	4.074	0.020	36.160	1.669	0.392	0.104	0.006	10.862	0.684	1.554	0.905	9.206	0.608		0.533	2.500		
23	1.047	5.924	0.024	45.336	2.534	0.573	0.141	0.007	13.952	0.874	1.889	1.472	11.706	0.590		0.311	3.138		
24	0.139	2.092	0.005	9.388	0.474	0.252	0.073	0.003	3.852	0.218	0.423	0.292	2.612	0.996		0.540	0.872		
25	0.380	3.799	0.009	22.489	0.591	0.242	0.053	0.002	9.229	0.384	1.029	0.446	4.307			0.111	1.009		
26	0.232	3.493	0.009	20.115	0.392	0.307	0.065	0.002	8.886	0.377	0.999	0.363	4.290			0.068	0.972		
27	0.557	4.101	0.013	27.856	0.350	0.367	0.061	0.002	11.928	0.503	1.340	0.323	5.738			0.077	1.250		
28	0.286	2.745	0.009	21.058	0.358	0.290	0.039	0.002	8.365	0.350	0.976	0.379	4.255			0.235	0.892		
29	0.395	3.544	0.013	30.522	0.615	0.313	0.046	0.002	11.228	0.465	1.417	0.495	5.784			0.291	1.247		
30	0.583	2.890	0.012	29.167	0.723	0.210	0.032	0.002	10.233	0.412	1.283	0.562	5.383			0.262	1.148		
31	0.592	3.951	0.015	43.535	1.208	0.222	0.047	0.002	13.811	0.520	1.874	0.651	6.700			0.157	1.543		
32	0.681	2.968	0.013	37.363	0.951	0.200	0.053	0.002	11.717	0.466	1.589	0.631	6.249			0.264	1.423		
33	0.221	2.294	0.010	26.229	0.734	0.240	0.049	0.002	8.447	0.358	1.158	0.433	4.925			0.093	1.081		
34	0.233	2.257	0.009	24.294	0.447	0.336	0.066	0.002	7.805	0.335	1.130	0.362	4.695			0.120	1.096		
35	0.514	2.562	0.012	35.147	0.612	0.398	0.067	0.002	10.025	0.408	1.428	0.665	5.737			0.189	1.378		
36	0.460	2.163	0.010	31.337	0.799	0.393	0.068	0.002	8.981	0.354	1.269	0.714	4.929			0.119	1.289		
37	0.245	1.756	0.008	21.260	0.469	0.394	0.066	0.002	6.089	0.270	0.859	0.625	3.945			0.142	1.043		
38	0.816	2.688	0.012	41.569	1.028	0.353	0.054	0.002	6.675	0.724	1.595	0.798	6.175		0.018	0.260	1.698		
39	0.032	0.915	0.004	9.312	0.209	0.132	0.028	0.001	2.304	0.185	0.399	0.155	2.100		0.022	0.184	0.626		
40	0.619	2.572	0.012	40.687	1.041	0.342	0.055	0.002	6.874	0.682	1.518	0.695	5.957		0.023	0.178	1.787		
41	0.309	1.631	0.008	24.104	0.785	0.309	0.046	0.001	4.574	0.384	0.984	0.637	3.873		0.032	0.233	1.198		
42	1.715	1.033	0.006	19.781	0.480	0.185	0.028	0.001	3.141	0.273	0.581	0.488	2.948		0.056	0.351	0.967	0.005	
43	0.048	1.396	0.007	20.333	0.238	0.289	0.033	0.001	3.780	0.364	0.756	0.352	3.686		0.050	0.243	1.207	0.006	
44	0.580	2.238	0.012	41.504	0.606	0.405	0.047	0.002	5.986	0.656	1.501	0.907	5.856		0.060	0.271	1.703		
45	0.408	1.316	0.008	25.216	0.490	0.175	0.029	0.001	4.039	0.386	0.880	0.563	4.027		0.075	0.160	1.098	0.005	
46	0.315	0.868	0.006	19.372	0.430	0.167	0.027	0.001	2.996	0.277	0.619	0.479	2.989	0.013	0.134	0.194	0.922		
47	0.681	1.438	0.009	27.657	0.586	0.102	0.032	0.002	3.952	0.394	0.894	0.565	4.274	0.019	0.286	0.208	1.260		
48	0.719	1.380	0.009	25.769	0.881	0.095	0.033	0.001	4.597	0.365	0.852	0.648	3.900	0.049	0.156	0.310	0.826		
49	1.170	1.869	0.013	41.823	1.651	0.158	0.047	0.002	6.908	0.557	1.279	1.258	5.283	0.130	0.177	1.189	1.165		
50	1.498	2.060	0.013	47.102	2.087	0.166	0.042	0.002	7.134	0.585	1.360	1.445	5.479	0.304	0.281	0.323	1.273		
51	0.604	0.845	0.007	19.501	0.784	0.073	0.022	0.001	3.382	0.240	0.629	0.624	2.972	0.119	0.549	0.375	0.780		
52	0.970	1.530	0.009	32.782	1.197	0.084	0.022	0.001	4.425	0.344	0.823	0.705	3.999	0.014	1.257	0.570	1.006		
Toplam	24.222	314.474	1.050	1288.547	42.454	76.545	46.283	0.234	563.478	24.194	59.073	32.284	310.162		7.292	3.712	130.853	81.926	0.238
Toplamdan salınım (%)	0.037	29.614		3.184	0.076	0.427	5.457	0.137	9.969	27.490	15.155	0.0441		0.0019	0.0085	0.3094	0.0089	0.0012	

Tablo G.3. K-12 (K.B.E.İ.-cevherli dasit) örneğine ait element salınım kütleleri ve yüzdeleri

K-12	Al (mg)	Ca (mg)	Co (mg)	Cu (mg)	Fe (mg)	K (mg)	Na (mg)	Ni (mg)	Mg (mg)	Mn (mg)	Zn (mg)	As (µg)	Cd (µg)	Cr (µg)	Mo (µg)	Pb (µg)	Ti (µg)	V (µg)
Dönütü \ C#	56053	3643		7200	59509	15911	2301	183	4409	172	237	234860		530660	87520	170610	1995020	
0	119,006	76,378	0,989	298,327	485,621	0,037	0,090	2,490	69,030	3,178	41,724	862,064	137,873	84,978	5,116	2,541	35,906	27,770
1	64,283	146,836	0,773	324,492	389,400	0,075	0,188	6,077	40,166	5,568	38,325	57,311	82,265	41,065	1,405	5,048	24,998	6,029
2	22,558	180,660	0,146	46,832	106,461	0,022	0,332	0,530	12,601	1,507	6,609	6,354	17,196	13,354	0,231	0,323	15,182	3,385
3	9,850	182,278	0,069	19,676	58,631	0,048	0,483	0,189	4,310	0,582	2,078	5,053	7,042	9,305	0,128	0,575	14,461	1,239
4	7,766	158,388	0,033	10,650	44,251	0,064	0,639	0,165	2,705	0,295	1,321	5,257	3,149	7,156	0,116	2,912	14,228	1,061
5	8,727	152,483	0,018	9,120	20,887		1,142	0,515	2,937	0,201	0,691	4,878	2,094	5,001	0,126	3,050	8,384	0,302
6	6,050	136,242	0,012	5,656	12,936		1,176	0,104	1,854	0,112	0,459	4,628	1,180	4,013	0,072	1,476	9,444	0,209
7	4,747	120,013	0,008	4,159	9,454		1,416	0,045	1,440	0,067	0,330	4,570	0,877	3,052	0,041	0,519	8,180	0,109
8	3,642	102,513	0,006	3,484	8,526		1,227	0,054	1,232	0,046	0,264	4,515	0,734	2,361	0,035	0,361	6,111	0,101
9	2,667	86,415	0,005	2,701	8,148		1,170	0,059	1,027	0,033	0,214	3,605	0,568	1,743	0,027	0,434	5,136	0,112
10	2,283	76,578	0,004	2,431	5,336		1,289	0,060	0,939	0,027	0,195	4,535	0,524	1,640	0,030	0,632	4,782	0,070
11	1,741	71,116	0,006	2,202	11,492	0,146	1,019	0,069	0,877	0,025	0,262	5,666	0,677	2,219	0,047	0,360	7,148	0,126
12	1,789	71,553	0,007	2,298	8,251	0,099	1,208	0,068	1,022	0,025	0,270	6,193	0,693	2,288	0,054	0,440	7,258	0,077
13	1,432	61,353	0,006	2,033	10,439	0,035	1,189	0,063	0,937	0,023	0,256	6,039	0,644	2,057	0,064	0,429	6,675	0,110
14	1,141	52,070	0,006	1,852	10,383	0,084	1,316	0,057	0,953	0,022	0,248	5,873	0,564	1,726	0,085	0,346	6,325	0,119
15	1,047	47,501	0,005	1,816	11,108	0,037	1,216	0,056	0,976	0,029	0,242	5,544	0,561	1,583	0,194	0,551	5,608	0,124
16	1,086	49,698	0,004	1,672	7,454	0,014	1,348	0,053	1,089	0,021	0,179	3,910	0,432	0,974	0,079	0,542	4,426	0,099
17	0,939	48,527	0,004	1,745	7,441	0,023	1,392	0,050	1,197	0,021	0,183	4,395	0,406	1,115	0,139	0,575	4,162	0,035
18	0,882	46,871	0,004	1,657	6,666	0,014	1,331	0,043	1,159	0,020	0,168	3,986	0,383	0,984	0,104	0,681	4,200	
19	0,822	40,122	0,003	1,592	6,450	0,020	1,368	0,041	1,126	0,019	0,161	3,887	0,348	0,921	0,149	0,468	3,733	
20	0,877	44,404	0,004	1,691	5,581	0,015	1,448	0,036	1,235	0,019	0,156	4,431	0,359	1,083	0,145	2,914	4,007	
21	0,917	47,291	0,004	1,820	3,288	0,018	1,571	0,103	1,271	0,019	0,174	5,593	0,424	1,039	0,245	1,648	4,275	
22	0,767	36,908	0,004	1,739	5,261	0,028	1,484	0,056	1,206	0,018	0,156	4,487	0,370	0,759	0,225	0,610	3,662	
23	0,707	34,589	0,003	1,656	4,823	0,025	1,475	0,031	1,164	0,017	0,143	4,026	0,353	0,820	0,295	0,515	3,348	
24	0,493	26,329	0,003	1,415	4,804	0,061	1,300	0,026	1,001	0,014	0,127	3,087	0,317	0,624	0,411	0,679	2,700	
25	0,469	36,830	0,003	1,531	5,297	0,089	1,238	0,022	0,866	0,014	0,116	3,725	0,287	0,539	0,056	0,300	2,539	0,070
26	0,454	39,373	0,003	1,540	3,577	0,052	1,198	0,018	0,800	0,012	0,101	3,743	0,284	0,459	0,097	0,285	2,350	0,069
27	0,321	27,088	0,002	1,395	2,484	0,076	0,986	0,017	0,732	0,011	0,100	2,225	0,284	0,305	0,218	0,359	1,753	0,029
28	0,309	27,776	0,002	1,424	1,793	0,081	0,981	0,014	0,700	0,010	0,093	3,067	0,300	0,342	0,681	0,505	1,837	0,030
29	0,177	16,795	0,002	1,166	1,979	0,158	0,780	0,013	0,549	0,009	0,083	1,964	0,180	0,065		0,397	1,165	0,003
30	0,214	20,231	0,002	1,350	1,188	0,102	0,892	0,012	0,578	0,009	0,085	3,119	0,215	0,139		0,356	1,308	0,010
31	0,148	13,465	0,002	1,187	2,128	0,231	0,849	0,012	0,517	0,009	0,084	2,652	0,197	0,130		0,566	1,171	0,006
32	0,179	15,204	0,002	1,388	2,590	0,219	0,983	0,012	0,591	0,009	0,094	3,002	0,235	0,114		0,544	1,203	0,015
33	0,207	15,431	0,002	1,559	2,020	0,183	1,061	0,012	0,664	0,010	0,098	3,646	0,277	0,246		0,385	1,243	0,019
34	0,154	11,118	0,002	1,409	2,024	0,287	0,843	0,011	0,591	0,009	0,090	2,454	0,227	0,108		0,537	0,993	0,010
35	0,170	11,491	0,002	1,606	1,258	0,324	0,959	0,086	0,658	0,010	0,171	3,174	0,282	0,224		1,154	1,071	0,015
36	0,162	10,301	0,002	1,595	1,530	0,329	0,864	0,016	0,650	0,010	0,105	3,107	0,270	0,200		0,533	1,090	0,012
37	0,174	10,238	0,002	1,729	1,021	0,274	0,872	0,012	0,707	0,010	0,105	3,278	0,300	0,086		0,467	1,082	0,004
38	0,147	8,751	0,003	1,896	1,528	0,224	0,705	0,011	0,637	0,009	0,101	3,826	0,364	0,105		0,622	1,460	
39	0,156	8,493	0,003	2,045	3,378	0,280	0,688	0,012	0,685	0,010	0,106	3,256	0,356	0,303		0,676	1,539	0,006
40	0,130	7,263	0,002	1,719	3,773	0,352	0,586	0,010	0,613	0,009	0,090	2,833	0,303	0,095		0,569	1,326	0,004
41	0,110	6,132	0,002	1,577	1,849	0,467	0,553	0,009	0,568	0,008	0,086	3,245	0,287	0,085		0,694	1,284	
42	0,102	5,659	0,002	1,385	3,180	0,346	0,453	0,008	0,479	0,007	0,075	2,485	0,261	0,104		0,572	1,023	
43	0,156	6,909	0,003	1,928	7,698	0,587	0,707	0,012	0,722	0,010	0,108	2,789	0,369	0,146		0,944	1,461	0,022
44	0,075	4,413	0,002	1,317	0,449	0,340	0,485	0,007	0,438	0,006	0,065	2,738	0,266	0,066		0,326	0,967	0,006
45	0,065	3,532	0,002	1,285	0,377	0,310	0,300	0,006	0,358	0,005	0,061	2,088	0,270	0,120		0,288	0,854	0,007
46	0,080	3,912	0,002	1,500	0,460	0,327	0,239	0,006	0,358	0,006	0,071	2,281	0,296	0,109		0,352	0,934	0,012
47	0,092	4,349	0,002	1,861	0,502	0,356	0,253	0,007	0,436	0,007	0,082	2,565	0,317	0,132		0,345	1,060	0,014
48	0,283	5,500	0,004	2,264	0,982	0,325	0,355	0,012	0,734	0,012	0,120	2,979	0,461	0,336		0,335	0,899	0,014
49	0,353	5,645	0,005	2,578	1,065	0,263	0,320	0,013	0,797	0,014	0,128	3,271	0,527	0,441		0,415	1,005	0,017
50	0,857	7,355	0,008	3,942	2,985	0,189	0,334	0,021	1,123	0,020	0,199	3,672	0,767	0,975		0,341	1,232	0,038
51	0,802	7,067	0,007	3,594	2,684	0,163	0,280	0,016	1,019	0,018	0,181	3,104	0,699	0,782		0,427	1,207	0,039
52	1,130	9,291	0,012	5,746	6,003	0,195	0,405	0,024	1,506	0,027	0,268	5,330	1,043	1,601		0,286	1,817	0,075
Toplam	274,093	2446,731	2,213	8062,33	1318,894	7,992	46,985	11,478	172,534	12,204	98,001	1115,505	269,961	200,214	10,615	42,188	250,311	41,623
Toplamdan salınım (%)	0,489	67,170		11,198	2,216	0,050	2,042	6,279	3,913	7,107	41,337	0,475		0,038	0,012	0,025	0,013	

Tablo G.4. K-15 (Kuarşan-flotasyon atığı) örneğine ait element salım kütleleri ve yüzdeleri

K-15	Al (mg)	Ca (mg)	Co (mg)	Cu (mg)	Fe (mg)	K (mg)	Na (mg)	Ni (mg)	Mg (mg)	Mn (mg)	Zn (mg)	As (µg)	Cd (µg)	Cr (µg)	Mo (µg)	Pb (µg)	Ti (µg)	V (µg)
Dönüşüm \ C ₀	31577	13730		2036	121794	5066	1425	61	1567	26	591	6641010		154810	57630	2601260	1151470	
0	483.670	59.882	2.701	200.610	9917.318	12.682	9.370	0.328	28.458	10.115	55.223	327427.500	198.083	408.515	5495.948	1070.622	1045.571	4957.560
1	67.307	156.778	0.386	26.778	1171.256	0.110	1.134	4.224	4.336	1.012	8.441	10546.602	37.224	51.794	199.176	751.126	36.328	780.034
2	5.500	171.757	0.023	1.173	104.635	0.123	0.087	0.261	0.323	0.081	0.335	176.213	6.621	4.513	11.364	749.792	13.218	60.415
3	3.501	169.098	0.021	0.942	49.665	0.243	0.724	0.013	0.197	0.049	0.217	96.634	6.163	3.294	4.815	789.910	12.939	35.343
4	2.994	120.634	0.044	1.348	37.367	0.145	0.469	0.019	0.201	0.041	0.224	99.354	6.910	2.429	5.649	729.135	10.671	40.301
5	3.365	150.351	0.046	1.525	58.540		0.573	0.063	0.248	0.033	0.169	95.601	4.759	2.299	6.065	972.857	9.729	40.809
6	4.667	136.152	0.078	2.002	106.068		0.957	0.015	0.849	0.052	0.198	161.608	5.670	3.082	11.455	867.825	12.188	53.998
7	4.031	139.501	0.071	1.383	109.579		0.366	0.013	0.250	0.045	0.149	173.466	5.014	2.600	10.917	901.701	12.050	31.822
8	2.280	113.412	0.064	0.835	86.209	0.201	0.336	0.011	0.250	0.035	0.112	119.543	4.176	1.862	8.353	900.403	11.073	21.916
9	1.982	108.725	0.062	0.786	91.474	0.271	0.327	0.012	0.187	0.035	0.112	112.336	3.880	1.765	8.947	910.724	11.394	21.143
10	2.859	129.830	0.087	1.079	159.300		0.458	0.013	0.251	0.046	0.148	222.224	4.660	2.103	15.651	955.800	12.585	26.046
11	2.333	115.161	0.114	0.980	148.172	0.068	0.201	0.017	0.182	0.066	0.210	322.002	5.007	3.022	22.048	828.160	16.683	39.436
12	2.322	135.850	0.131	1.256	169.986	0.057	0.309	0.022	0.238	0.075	0.246	232.309	5.347	3.219	16.481	1001.446	22.201	41.008
13	1.813	115.087	0.110	0.935	143.060	0.045	0.203	0.016	0.204	0.059	0.201	297.558	4.370	2.317	17.743	868.804	17.165	27.817
14	1.933	134.816	0.116	0.922	153.344	0.063	0.261	0.018	0.261	0.060	0.207	214.295	4.548	2.360	14.481	1024.911	19.608	26.814
15	1.850	118.413	0.141	1.033	184.175	0.027	0.280	0.016	0.205	0.064	0.227	278.164	4.190	2.303	18.236	991.758	21.586	29.774
16	1.806	122.934	0.135	1.072	109.942	0.029	0.358	0.014	0.225	0.063	0.264	226.035	5.122	2.273	14.079	943.714	13.924	27.181
17	1.536	105.526	0.121	0.872	93.374	0.040	0.299	0.013	0.198	0.052	0.229	210.413	3.688	2.049	14.788	864.617	13.018	21.399
18	1.619	83.625	0.122	0.882	99.832	0.034	0.347	0.012	0.209	0.053	0.238	180.481	3.426	2.190	13.731	994.832	13.139	22.649
19	1.919	105.144	0.151	1.040	126.826	0.030	0.372	0.015	0.231	0.064	0.282	253.697	3.983	2.431	20.113	980.364	15.552	24.864
20	1.767	85.020	0.131	0.914	111.165	0.031	0.385	0.021	0.210	0.059	0.262	164.648	3.100	2.592	14.326	931.326	12.590	23.711
21	3.043	97.549	0.240	1.417	213.283	0.025	0.518	0.020	0.318	0.099	0.458	437.637	4.514	3.878	40.510	942.355	20.247	39.620
22	2.636	88.655	0.211	1.280	186.975	0.022	0.486	0.018	0.275	0.086	0.402	392.902	3.816	3.085	38.494	962.907	18.313	31.528
23	2.938	88.627	0.257	1.383	222.780	0.029	0.468	0.021	0.288	0.104	0.473	432.297	4.235	3.446	42.396	914.189	20.428	31.182
24	4.620	82.068	0.339	2.010	346.028	0.367	0.618	0.027	0.351	0.142	0.649	2974.830	5.569	5.391	172.160	799.637	42.688	48.701
25	3.803	99.381	0.289	1.689	289.637	0.546	0.502	0.023	0.255	0.109	0.560	1642.679	5.046	3.565	42.921	853.302	16.813	30.191
26	1.963	98.148	0.180	0.968	156.268	0.304	0.445	0.017	0.195	0.079	0.342	683.653	3.895	2.098	17.654	922.137	16.215	16.045
27	1.867	88.118	0.186	0.992	165.821	0.013	0.402	0.016	0.177	0.080	0.340	324.923	3.656	1.953	15.514	769.386	14.412	14.006
28	1.922	88.143	0.212	0.965	199.794	0.007	0.369	0.018	0.161	0.085	0.372	292.484	3.430	1.849	18.325	758.991	17.655	12.822
29	1.935	77.518	0.226	1.004	198.973	0.007	0.302	0.018	0.151	0.089	0.396	392.835	3.483	1.866	20.176	769.368	16.343	11.283
30	1.695	63.694	0.220	0.865	207.472	0.009	0.261	0.016	0.134	0.089	0.391	481.953	3.153	1.709	25.942	711.649	15.320	10.160
31	2.468	69.195	0.326	1.263	319.994	0.016	0.284	0.020	0.155	0.107	0.574	1132.366	3.932	2.182	48.738	763.778	16.340	14.311
32	3.125	74.762	0.416	1.650	437.575	0.008	0.303	0.021	0.166	0.125	0.762	1857.067	4.956	2.500	75.199	800.121	16.824	17.462
33	1.993	62.707	0.298	1.222	298.224	0.022	0.241	0.017	0.137	0.099	0.548	886.174	3.602	1.646	51.310	763.648	17.557	11.336
34	1.986	57.939	0.322	1.274	335.324	0.015	0.224	0.018	0.117	0.100	0.591	1688.659	3.913	1.543	67.403	792.998	16.702	10.380
35	2.125	70.624	0.360	1.337	379.387		0.240	0.019	0.123	0.110	0.687	955.305	4.315	1.617	60.096	773.383	18.783	10.917
36	1.893	83.257	0.283	1.214	317.856	0.015	0.283	0.049	0.133	0.094	0.703	695.508	4.290	1.571	48.600	707.931	18.157	11.119
37	3.041	68.548	0.455	1.942	481.919	0.038	0.294	0.025	0.157	0.127	0.924	2504.652	5.679	2.051	105.035	973.662	18.939	15.784
38	3.375	103.854	0.378	2.382	642.414	0.053	0.267	0.027	0.157	0.175	1.064	3694.846	6.169	3.756	97.219	734.686	21.852	35.212
39	1.748	90.097	0.266	1.240	357.373	0.021	0.246	0.019	0.126	0.111	0.561	652.401	3.505	1.714	38.924	895.871	20.029	13.545
40	1.298	76.482	0.249	0.968	339.238	0.030	0.180	0.016	0.086	0.101	0.437	634.289	2.926	1.272	35.601	765.754	19.547	8.509
41	1.554	79.532	0.298	1.222	444.009	0.042	0.184	0.018	0.082	0.123	0.609	1773.291	3.733	1.555	53.925	844.818	20.018	10.621
42	2.141	83.843	0.219	1.280	362.153	0.279	0.203	0.014	0.101	0.098	0.627	3912.318	3.891	2.144	51.762	780.110	15.847	17.051
43	1.537	91.104	0.202	1.135	279.845	0.015	0.222	0.013	0.100	0.084	0.448	373.852	3.271	1.308	19.882	912.158	14.989	11.056
44	1.347	74.824	0.190	0.972	287.963	0.016	0.176	0.014	0.073	0.077	0.409	466.302	2.638	1.057	21.909	915.534	13.436	7.612
45	1.427	75.577	0.235	1.068	331.071	0.070	0.190	0.015	0.077	0.095	0.427	904.700	2.995	1.220	32.938	843.772	18.285	8.443
46	1.240	83.678	0.215	0.992	324.108	0.056	0.164	0.014	0.065	0.087	0.465	973.477	3.056	1.085	29.484	822.460	14.095	7.226
47	1.197	81.241	0.199	0.960	316.043	0.058	0.148	0.013	0.057	0.080	0.463	903.492	3.081	0.969	29.053	824.006	12.676	6.465
48	1.273	84.233	0.164	0.994	269.423	0.050	0.121	0.020	0.049	0.072	0.476	1116.177	3.010	1.012	23.720	786.596	7.187	7.261
49	1.202	81.758	0.186	0.993	300.290	0.066	0.123	0.013	0.050	0.080	0.461	1019.559	2.823	1.037	23.404	777.147	8.154	7.112
50	1.230	99.400	0.194	1.053	300.691	0.029	0.139	0.014	0.054	0.082	0.455	399.515	2.853	0.919	18.923	937.001	8.633	6.464
51	1.465	81.032	0.223	1.093	321.508	0.049	0.159	0.015	0.064	0.093	0.446	499.699	2.608	1.407	25.503	868.555	10.476	6.850
52	0.971	50.501	0.129	0.654	187.915	0.004	0.094	0.009	0.039	0.052	0.307	357.425	1.616	0.704	18.886	621.914	6.314	3.531
Toplam	667.11	5173.78	13.02	287.85	23052.64	16.48	27.27	5.74	42.39	15.29	84.52	377067.95	445.60	572.12	7355.97	45439.65	1890.48	6847.85
Toplamdan salınan (%)	2.11	37.68		14.14	18.93	0.33	1.91	9.40	2.70	58.84	14.30	5.68		0.37	12.76	1.75	0.16	

Tablo G.5. K-16 (Kuarshan-mekan kaya) örneğine ait element salınım kütleleri ve yüzdeleri

K-16	Al (mg)	Ca (mg)	Co (mg)	Cu (mg)	Fe (mg)	K (mg)	Na (mg)	Ni (mg)	Mg (mg)	Mn (mg)	Zn (mg)	As (µg)	Cd (µg)	Cr (µg)	Mo (µg)	Pb (µg)	Ti (µg)	V (µg)
Döngü \ Cθ	94439	17879		1978	104212	19389	1725	59	3605	85	487	2934520		151650	73060	1857460	3779130	149440
0	31,534	48,355	0,278	40,974	16,618	0,222	0,771	0,152	28,345	1,918	10,047	69,522	82,887	29,628	0,185	17,457	8,600	2,288
1	102,567	176,946	1,004	177,135	16,306	0,004	0,974	0,658	97,071	7,992	39,667	48,559	270,369	54,813		15,567	25,185	0,898
2	46,730	199,465	0,469	81,081	15,385	0,014	0,750	0,411	42,947	3,352	16,240	35,027	134,861	24,421		8,702	20,439	1,318
3	32,236	198,236	0,207	34,879	32,874	0,012	0,812	0,230	31,960	2,087	8,238	19,133	62,858	11,972		5,213	16,930	1,664
4	22,325	194,260	0,110	21,529	27,891	0,034	0,871	0,149	28,051	1,389	4,552	10,879	30,834	8,470		3,767	14,361	0,920
5	15,981	155,009	0,061	14,235	17,951	0,006	0,806	0,119	22,708	1,009	2,699	5,935	18,414	2,069	0,024	1,521	6,915	0,228
6	13,454	160,505	0,042	10,667	12,000		0,921	0,074	21,078	0,772	1,751	3,745	11,744	1,363	0,015	1,645	6,350	0,093
7	11,692	182,591	0,033	8,646	8,970		0,677	0,067	20,484	0,666	1,308	3,478	9,273	0,930	0,011	1,998	6,290	0,042
8	9,124	170,049	0,026	6,432	6,742		1,259	0,051	18,365	0,550	0,927	3,127	6,021	0,704	0,010	1,716	7,186	0,025
9	7,826	171,521	0,021	4,853	5,140		0,633	0,053	16,234	0,455	0,659	2,767	4,792	0,484	0,009	1,539	7,623	0,015
10	7,004	172,250	0,019	4,342	3,557		0,699	0,040	15,804	0,424	0,556	3,187	3,947	0,390	0,008	1,540	7,278	
11	5,984	171,139	0,018	3,538	4,198		0,767	0,037	15,814	0,416	0,452	3,342	3,306	0,301	0,010	1,526	7,012	0,008
12	5,539	175,478	0,018	3,108	2,792		0,954	0,036	16,512	0,420	0,439	3,029	3,031	0,268	0,008	1,264	7,530	
13	4,549	180,230	0,017	2,531	3,063		1,046	0,035	15,685	0,390	0,351	2,838	2,687	0,229	0,008	1,239	8,731	
14	4,089	175,719	0,016	2,316	2,693		0,710	0,041	15,594	0,382	0,304	3,219	2,401	0,336	0,013	1,742	9,958	0,010
15	3,571	173,050	0,016	2,085	2,419		0,843	0,032	15,830	0,375	0,284	2,578	2,394	0,478	0,012	0,988	11,738	0,013
16	3,318	156,777	0,015	1,667	1,099	0,074	0,874	0,034	15,598	0,367	0,424	2,745	2,185	0,218	0,020	1,437	12,884	
17	2,725	158,122	0,014	1,478	0,963	0,081	0,892	0,028	14,583	0,337	0,379	2,815	1,835	0,472	0,025	1,094	12,328	
18	2,233	150,747	0,013	1,282	0,834	0,104	0,839	0,026	13,407	0,307	0,343	2,879	1,735	0,378	0,119	1,273	12,495	
19	2,075	154,671	0,013	1,192	0,721	0,061	0,819	0,025	13,573	0,309	0,333	2,847	1,707	0,234	0,040	1,279	12,306	
20	2,380	157,492	0,015	1,329	0,578	0,064	0,947	0,029	15,953	0,363	0,386	2,564	1,937	0,463	0,050	0,956	12,293	
21	2,284	155,408	0,017	1,401	0,881	0,039	0,931	0,031	17,735	0,412	0,422	2,958	2,125	0,040	0,045	1,102	12,824	
22	2,082	157,144	0,016	1,306	1,177	0,072	0,866	0,029	17,348	0,394	0,409	2,856	2,072	0,050	0,045	0,942	12,955	
23	2,082	153,026	0,014	1,135	1,110	0,086	0,892	0,026	14,981	0,333	0,353	2,748	1,837	0,162	0,059	1,445	12,441	
24	1,613	153,552	0,013	1,057	0,555	0,090	0,852	0,043	13,606	0,299	0,317	2,524	1,670	0,262	0,059	1,260	12,306	
25	1,624	166,325	0,013	0,897	0,424	0,181	0,921	0,036	12,704	0,257	0,241	3,247	1,437	0,305		0,403	12,235	0,071
26	0,906	93,493	0,007	0,498	0,104	0,157	0,440	0,018	6,558	0,153	0,146	2,122	0,842	0,205		0,293	7,268	0,049
27	1,057	120,684	0,008	0,574	0,212	0,140	0,472	0,019	8,365	0,185	0,166	2,011	0,972	0,222		0,277	7,547	0,037
28	0,679	81,941	0,006	0,416	0,075	0,120	0,334	0,013	5,585	0,124	0,125	1,616	0,742	0,201		0,391	5,784	0,024
29	0,700	88,115	0,006	0,419	0,139	0,128	0,312	0,013	5,820	0,130	0,126	1,488	0,738	0,222		0,521	5,781	0,028
30	0,324	41,054	0,003	0,240	0,021	0,111	0,191	0,007	3,209	0,069	0,080	1,509	0,437	0,155		0,439	3,457	0,018
31	0,328	42,859	0,003	0,246	0,071	0,104	0,457	0,007	3,405	0,078	0,091	1,301	0,489	0,169		0,396	3,348	0,023
32	0,390	52,889	0,005	0,294	0,076	0,111	0,302	0,010	4,303	0,101	0,107	1,587	0,547	0,148		0,170	4,655	0,025
33	0,099	26,890	0,003	0,142		0,130	0,221	0,033	2,969	0,057	0,063	2,596	0,276	0,101		0,185	2,688	0,017
34	0,076	24,239	0,003	0,123		0,169	0,423	0,044	2,497	0,052	0,066	4,268	0,282	0,099	0,005	0,169	2,668	0,021
35	0,148	30,652	0,005	0,182	0,007	0,153	0,321	0,022	3,791	0,095	0,097	4,566	0,396	0,091		0,105	4,384	0,039
36	0,616	88,508	0,015	0,689	0,026	0,270	0,661	0,026	13,795	0,275	0,244	5,212	1,489	0,176		0,157	4,113	0,028
37	0,310	53,608	0,006	0,334	0,025	0,187	0,212	0,014	4,487	0,102	0,114	3,402	0,688	0,051	0,020	0,148	4,111	0,025
38	0,187	50,860	0,005	0,314		0,162	0,185	0,012	3,744	0,090	0,106	7,641	0,518	0,048		0,121	3,451	0,009
39	0,304	71,170	0,007	0,433		0,130	0,187	0,015	4,290	0,114	0,128	11,000	0,729	0,066		0,154	4,518	0,013
40	0,094	37,833	0,003	0,189		0,118	0,101	0,005	2,030	0,045	0,062	2,429	0,349	0,022		0,099	2,003	0,009
41	0,494	88,186	0,012	0,631		0,163	0,222	0,015	5,325	0,196	0,227	8,145	1,063	0,086		0,183	4,307	0,021
42	0,100	33,399	0,003	0,196	0,007	0,109	0,105	0,013	2,037	0,046	0,069	2,637	0,316	0,038		0,071	2,332	0,001
43	0,145	56,878	0,006	0,280	0,011	0,127	0,156	0,017	3,608	0,080	0,098	5,048	0,524	0,079	0,004	0,095	3,505	0,009
44	0,068	94,381	0,013	0,283		0,244	0,313	0,016	7,259	0,185	0,195	4,172	0,677	0,033	0,010	0,079	6,376	0,021
45	1,033	170,808	0,022	1,329		0,113	0,225	0,038	6,297	0,338	0,443	15,620	2,269	0,115	0,001	0,162	6,225	0,032
46	0,675	116,368	0,011	0,837		0,115	0,146	0,056	4,251	0,134	0,189	6,226	1,291	0,088	0,005	0,207	4,754	0,011
47	0,077	53,316	0,003	0,189		0,141	0,089	0,006	2,111	0,043	0,076	6,346	0,378	0,000	0,006	0,129	2,875	0,000
48	0,064	43,838	0,003	0,165		0,147	0,108	0,005	1,838	0,048	0,075	8,079	0,342	0,033	0,057	0,105	1,877	
49	0,143	65,058	0,007	0,360		0,191	0,151	0,007	2,905	0,094	0,151	16,532	0,701	0,012	0,060	0,218	2,516	
50	0,083	60,195	0,005	0,285		0,151	0,132	0,006	2,315	0,071	0,121	14,023	0,562	0,059	0,071	0,154	2,034	
51	0,203	63,479	0,007	0,425		0,213	0,169	0,007	2,861	0,092	0,159	14,480	0,837	0,069	0,075	0,141	2,169	0,007
52	0,099	28,997				0,123	0,085		1,169	0,030	0,068	2,248	0,378	0,148	0,108	0,080	0,863	
Toplam	355,843	6047,764	2,674	441,349	187,717	5,174	29,042	2,935	688,797	29,006	95,674	404,852	687,189	142,188	1,197	83,866	402,801	8,061
Toplamdan salınım (%)	0,377	33,825		22,312	0,180	0,027	1,684	5,003	19,105	34,029	19,643	0,014		0,094	0,002	0,005	0,011	0,005

Şekil D.6. K-17 (Kuarshan-pasa) örneğine ait element salınım kütleleri ve yüzdeleri

K-17	Al (mg)	Ca (mg)	Co (mg)	Cu (mg)	Fe (mg)	K (mg)	Na (mg)	Ni (mg)	Mg (mg)	Mn (mg)	Zn (mg)	As (µg)	Cd (µg)	Cr (µg)	Mo (µg)	Pb (µg)	Ti (µg)	V (µg)
Dönemi \ Cü	34966	7510		5039	248308,021	5939	1576	77	1888	86	3297	6926200		153150	173380	4964370	1809800	
0	144,514	60,377		99,088	3031,836	0,112	0,402	0,198	34,212	5,160	59,391	128212,745	328,968	141,226	588,197	137,436	296,454	1310,854
1	147,209	158,593	1,212	110,928	2484,972	0,383	0,678	0,208	36,650	5,532	46,488	86416,060	357,875	148,081	195,649	91,019	130,400	1835,876
2	10,456	160,583	0,095	6,621	336,734	0,004	0,359	0,024	3,875	0,486	3,555	411,740	50,212	20,921	7,501	40,506	25,500	237,607
3	5,090	175,167	0,057	3,286	222,921	0,005	0,547	0,017	2,745	0,160	1,476	156,663	32,609	9,453	3,428	23,264	19,411	99,436
4	3,157	177,723	0,062	2,588	185,151	0,011	0,659	0,015	2,630	0,119	1,215	124,156	30,375	9,513	2,404	18,102	16,518	72,801
5	4,287	170,393	0,040	1,806	174,762		1,262	0,016	2,354	0,068	0,539	81,556	17,962	5,486	1,262	7,330	15,777	40,001
6	3,088	169,267	0,032	1,366	144,389		0,844	0,014	1,785	0,054	0,461	66,341	16,336	4,122	0,873	6,683	13,463	25,853
7	2,220	157,104	0,028	1,103	119,536		0,912	0,013	1,483	0,044	0,399	58,548	15,174	3,030	0,610	5,416	12,881	17,763
8	2,095	149,538	0,030	1,205	122,975		1,053	0,012	1,658	0,047	0,449	58,536	16,626	2,824	0,455	5,657	11,461	17,315
9	1,889	137,603	0,029	1,085	111,463		0,868	0,010	1,489	0,043	0,420	46,311	15,832	2,387	0,319	6,264	9,519	15,733
10	1,445	99,616	0,020	0,858	81,370		0,710	0,007	1,203	0,029	0,305	28,849	11,244	1,524	0,273	5,129	7,397	8,285
11	0,666	30,760	0,022	0,539	15,302	0,056	0,180	0,005	0,530	0,027	0,292	16,795	7,863	1,291	0,219	2,161	4,195	2,423
12	1,626	47,514	0,040	1,024	39,518	0,026	0,259	0,092	1,087	0,049	0,493	32,395	13,490	2,781	0,402	1,972	6,633	11,668
13	2,105	37,171	0,053	1,086	40,405	0,039	0,153	0,012	1,249	0,056	0,491	62,530	11,330	3,434	0,717	2,341	6,732	16,462
14	4,347	48,011	0,085	1,747	72,277	0,036	0,123	0,247	2,213	0,086	0,704	272,536	13,987	6,118	2,637	9,110	9,873	51,616
15	4,316	29,280	0,083	1,335	93,938	0,011	0,059	0,264	1,901	0,075	0,590	565,261	9,746	5,968	4,840	13,625	9,212	52,666
16	9,988	45,225	0,239	4,342	208,769		0,112	0,712	4,150	0,228	1,677	3768,448	29,660	17,000	29,363	30,080	23,393	172,306
17	5,731	22,166	0,145	1,196	127,726		0,055	0,840	2,165	0,127	0,988	1918,956	13,828	7,841	16,070	12,806	13,605	84,123
18	7,914	29,064	0,232	1,732	228,181		0,050	0,104	3,449	0,211	1,445	4012,977	22,629	11,703	33,979	7,064	23,383	123,457
19	10,310	45,450	0,352	2,936	367,022		0,108	0,740	5,119	0,331	2,579	7371,379	34,833	15,764	76,364	13,281	39,588	170,967
20	6,282	20,788	0,168	1,181	190,210		0,075	0,107	2,905	0,168	1,078	1728,741	15,325	7,127	17,945	1,058	15,644	85,011
21	7,648	25,528	0,242	1,620	264,360		0,066	0,296	4,027	0,237	1,635	3553,850	22,471	9,203	37,057	3,883	24,293	106,136
22	10,536	35,472	0,355	3,116	410,870		0,089	0,213	6,118	0,353	2,398	5037,477	34,674	13,139	59,172	3,314	37,222	150,726
23	15,127	54,936	0,508	4,355	682,331	0,039	0,312	1,896	8,904	0,514	3,802	7953,238	48,659	18,979	161,250	21,605	88,157	209,625
24	10,044	56,802	0,413	2,970	511,893		0,351	0,199	5,537	0,354	2,562	4711,065	37,197	11,271	122,147	30,026	71,114	122,159
25	7,240	64,871	0,242	1,921	297,375	0,055	0,346	1,687	2,950	0,194	1,976	1220,057	20,397	6,850	18,844	28,900	28,013	65,442
26	4,954	59,098	0,224	1,483	323,054	0,022	0,456	0,490	2,087	0,156	1,238	1119,706	13,196	5,033	18,575	60,518	28,193	39,917
27	2,488	48,019	0,115	0,663	110,504	0,013	0,101	0,100	1,313	0,083	0,522	417,396	7,417	2,228	3,806	7,865	13,672	15,126
28	3,733	47,679	0,158	0,797	171,429	0,014	0,119	0,079	1,603	0,111	0,636	761,393	9,859	2,871	6,583	9,448	17,257	22,712
29	2,397	34,595	0,121	0,600	122,567	0,017	0,085	0,209	1,273	0,085	0,495	703,052	7,917	2,144	5,029	9,387	12,748	17,883
30	3,591	38,930	0,172	0,837	206,238	0,013	0,086	0,068	1,995	0,127	0,709	1204,725	10,885	3,179	8,702	7,149	17,845	28,829
31	4,500	39,822	0,215	1,102	266,445	0,024	0,102	0,133	2,147	0,143	0,973	2253,222	17,410	4,280	15,450	22,075	20,553	39,702
32	6,236	47,055	0,315	1,636	432,309	0,014	0,113	0,066	2,965	0,218	1,504	3975,188	24,646	6,933	23,755	25,033	27,246	53,869
33	6,445	39,531	0,288	1,551	443,041	0,015	0,110	0,045	2,764	0,199	1,464	3753,906	25,068	5,446	25,350	27,001	26,508	49,730
34	9,149	40,037	0,422	2,520	734,138	0,008	0,188	0,038	3,811	0,299	2,426	8500,333	31,852	6,822	66,371	48,937	32,317	73,268
35	8,184	45,455	0,316	1,708	428,451	0,040	0,096	0,031	3,201	0,229	1,745	3340,056	32,156	6,145	18,702	4,959	24,805	62,152
36	5,796	41,256	0,242	1,330	310,017	0,058	0,097	0,025	2,654	0,187	1,278	2283,000	22,462	4,741	16,209	11,919	21,999	44,436
37	6,520	39,285	0,300	2,029	498,208	0,003	0,181	0,024	3,040	0,221	1,888	4594,305	23,540	5,268	40,328	64,541	23,946	53,717
38	5,704	45,992	0,275	1,674	423,030		0,060	0,025	1,604	0,182	1,494	2069,092	22,348	4,433	15,556	10,178	15,596	41,283
39	6,636	50,764	0,338	2,201	498,309		0,105	0,034	1,488	0,227	1,828	2958,438	28,631	5,365	23,685	64,457	16,834	48,550
40	3,052	37,232	0,159	1,210	245,903		0,103	0,035	0,778	0,100	1,037	1470,212	14,186	2,515	14,165	79,235	10,965	18,187
41	2,617	30,145	0,147	1,014	221,460	0,013	0,066	0,062	0,754	0,088	0,887	1022,010	16,711	2,067	11,177	44,843	10,482	15,252
42	5,425	47,913	0,338	2,075	512,913		0,103	0,245	1,109	0,196	1,925	3230,890	34,488	4,261	31,293	117,315	18,352	33,376
43	3,217	29,882	0,207	1,000	311,733	0,005	0,074	0,134	0,903	0,117	0,942	1489,847	15,881	2,222	14,119	30,097	15,252	15,597
44	1,923	27,993	0,129	0,577	222,673	0,010	0,052	0,057	0,644	0,073	0,503	925,624	7,752	1,475	10,320	9,757	11,855	10,357
45	2,799	30,982	0,193	0,807	317,393		0,062	0,058	0,795	0,106	0,705	1786,297	10,318	1,996	15,485	36,577	15,215	13,847
46	4,040	35,413	0,000	1,250	476,094	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,143	3451,730	0,000	0,000	0,000	47,701	0,000	0,000
47	2,592	25,560	0,202	0,980	309,144	0,018	0,099	0,743	0,950	0,121	1,116	2383,898	16,001	2,519	25,935	52,316	22,714	16,925
48	3,410	24,052	0,195	1,281	398,708		0,059	0,150	0,591	0,113	1,258	3640,901	21,893	2,067	34,738	52,912	14,089	17,121
49	3,225	19,452	0,187	1,170	361,703	0,007	0,041	0,025	0,641	0,110	1,168	3601,574	21,893	1,949	34,088	31,315	13,516	17,584
50	4,162	21,150	0,225	1,659	491,880	0,116	0,059	0,026	0,872	0,146	1,647	5280,204	35,127	2,771	48,419	40,639	17,528	24,890
51	2,881	15,063	0,168	1,070	333,743	0,035	0,034	0,014	0,664	0,101	1,094	3350,610	18,809	1,891	31,220	16,803	11,865	16,929
52	3,219	16,982	0,177	1,119	372,640		0,033	0,013	0,659	0,106	1,197	3848,887	23,544	1,944	33,236	11,590	12,700	16,919
Toplam	548,23	3188,34	11,86	296,57	20109,01		13,31	10,88	183,69	18,60	170,23	331304,61	1743,49	579,60	1974,			

Şekil G.7. K-18 (Murgul-dekapaj) örneğine ait element salınım kütleleri ve yüzdeleri

K-18	Al (mg)	Ca (mg)	Co (mg)	Cu (mg)	Fe (mg)	K (mg)	Na (mg)	Ni (mg)	Mg (mg)	Mn (mg)	Zn (mg)	As (µg)	Cd (µg)	Cr (µg)	Mo (µg)	Pb (µg)	Ti (µg)	V (µg)
Dönüşüm \ CO	111832	9275		4897	35144	25414	5451	119	32444	516	1201	65440		443680	41040	31060	2060890	
0	0.014	115,513	0.07886	29,336	0.446	6,105	2,959	0.022	87,455	6,212	4,590	0.275	41,243			2,544	11,904	
1	0.034	158,567	0.01983	0.528	0.706	6,078	2,628	0.014	92,894	4,945	0.530	0.165	8,530			0,863	0,891	14,608
2	0.000	126,440	0.00836	0.482	0.680	5,271	0.990	0.012	30,489	2,866	0.385	0.150	6,465			0,469	1,643	12,591
3	0.046	107,638	0.00262	0.064	0.482	3,395	0.498	0.008	39,771	2,117	0.081		2,165			1,128	0,809	8,010
4	0.067	76,197	0.00181	0.078	0.459	2,921	0.397	0.006	21,818	1,248	0.077		1,709			1,050	0,411	6,216
5	0.014	53,148	0.00073	0.024	0.570	2,238	0.585	0.004	16,286	0.585	0.028	0.207	0.522	0.416	1,258	0,112	4,159	0,010
6		45,046	0.00055	0.028	0.473	1,611	0.428	0.003	11,490	0.412	0.016	0.193	0.404	0.091	1,356	0,041	3,384	0,005
7		32,904	0.00036	0.017	0.276	1,463	0.499	0.002	7,560	0.237	0.012	0.180	0.278	0.504	1,405	0,059	2,471	0,005
8	0.142	24,329	0.00024	0.015	0.218	1,170	0.253	0.002	5,509	0.133	0.010	0.171	0.196	0.091	1,375	0,021	1,858	0,005
9		17,195	0.00017	0.013	0.181	1,241	0.918	0.001	3,981	0.082	0.010	0.141	0.173	0.190	1,158	0,032	1,304	0,010
10	0.005	12,659	0.00011	0.009	0.128	0,836	0.167	0.001	3,029	0.044	0.007	0.175	0.124	0.165	1,300	0,052	1,106	
11	0.000	13,024	0.00006	0.006	0.042	1,081	0.078	0.001	2,422	0.025	0.004	0.145	0.129	0.134	1,278	0,010	0,583	
12		9,797	0.00004	0.005	0.032	0,906	0.066	0.000	2,125	0.013	0.004	0.208	0.096	0.159	1,087	0,043	0,442	
13	0.000	8,419	0.00004	0.004	0.031	0,896	0.076	0.001	1,785	0.011	0.006	0.133	0.091	0.278	1,021	0,019	0,429	
14	0.001	11,327	0.00005	0.005	0.044	0,882	0.099	0.001	2,514	0.011	0.010	0.164	0.110	0.281	1,544	0,022	0,570	
15	0.004	6,549	0.00003	0.004	0.026	0,716	0.082	0.000	1,492	0.005	0.009	0.099	0.076	0.147	1,067	0,037	0,309	
16	0.005	7,256	0.00005	0.005		0,469	0.130	0.005	1,373	0.004	0.023	0.084	0.103	0.801	0,841	0,511	0,560	
17	0.005	4,976	0.00003	0.006		0,348	0.103	0.001	1,101	0.003	0.013	0.083	0.059	0.777	0,728	0,269	0,484	
18	0.002	8,745	0.00005	0.004		0,512	0.143	0.002	1,853	0.003	0.023	0.078	0.087	0.795	1,207	0,184	0,737	
19	0.002	8,831	0.00004	0.005		0,446	0.158	0.002	1,721	0.003	0.023	1,279	0,089	0,879	0,928	0,277	0,647	
20	0.029	7,808	0.00013	0.078		0,448	0.124	0.002	1,687	0.006	0.134	1,330	0,494	0,875	0,973	0,724	0,641	
21	0.193	3,918	0.00006	0.023	0.057	0,289	0.074	0.002	0,849	0.004	0.016	0.238	0,058	0,749	0,243	0,472	1,304	0,170
22	0.011	10,317	0.00006	0.011	0.173	0,487	0.154	0.002	2,435	0.003	0.022	1,284	0,110	0,824	0,354	0,273	1,121	0,086
23	0.002	6,304	0.00004	0.003		0,423	0.131	0.002	1,416	0.002	0.015	0.070	0.070	0,660	0,870	0,196	0,936	
24	0.002	7,915	0.00004	0.003		0,402	0.098	0.002	1,839	0.001	0.013	0.076	0.229	0,642	0,948	0,162	0,849	
25	0.002	14,062	0.00004	0.003		0,349	0.075	0.001	2,281	0.002	0.008	0.098	0.118	0,061	0,986	0,005	0,674	
26	0.001	41,423	0.00009	0.005		0,760	0.172	0.001	6,545	0.008	0.016	0.185	0.352	1,114	1,771	0,020	1,761	0,005
27	0.001	8,640	0.00003	0.004		0,231	0.058	0.001	1,471	0.003	0.013	0.058	0.144	1,514	0,515	0,288	0,344	0,006
28	0.006	5,541	0.00006	0.004		0,167	0.056	0.000	1,039	0.002	0.007	0.116	0.088	0,323	0,366	0,051	0,255	0,011
29	0.003	9,600	0.00003	0.004		0,242	0.071	0.001	1,809	0.003	0.012	0.135	0.142	0,236	0,034	0,107	0,389	0,011
30	0.001	9,580	0.00003	0.003		0,309	0.068	0.000	1,929	0.003	0.011	0.185	0.141	0,202	0,071	0,049	0,407	0,008
31	0.013	6,145	0.00002	0.002		0,185	0.044	0.000	1,194	0.002	0.006	0.047	0.079	0,132	0,530	0,067	0,262	
32	0.002	13,939	0.00004	0.003		0,320	0.082	0.001	2,752	0.003	0.013	0.104	0.168	0,177	0,946	0,029	0,607	
33	0.002	6,073	0.00002	0.002		0,178	0.037	0.000	1,222	0.001	0.006	0.049	0.073	0,188	0,561	0,010	0,274	
34	0.003	7,720	0.00002	0.004		0,180	0.048	0.002	1,604	0.001	0.011	0.034	0.097	0,120	0,487	0,410	0,379	
35	0.002	17,735	0.00006	0.003		0,253	0.069	0.001	3,479	0.003	0.024	0.065	0.246	0,179	0,710	0,012	0,850	
36	0.001	18,528	0.00004	0.004		0,280	0.081	0.001	3,595	0.003	0.023	0.642	0.241	0,162	0,868	0,023	0,927	
37	0.001	13,265	0.00004	0.003		0,238	0.068	0.001	2,710	0.004	0.025	0.067	0.208	0,160	0,736	0,008	0,632	
38	0.000	11,175	0.00005	0.006		0,188	0.049	0.001	2,235	0.004	0.019	0.119	0.178	0,110	0,340	0,086	0,587	0,031
39	0.001	10,031	0.00005	0.006		0,174	0.044	0.001	2,075	0.003	0.024	0.047	0.202	0,124	0,239	0,085	0,546	0,041
40	0.001	11,790	0.00004	0.010		0,164	0.047	0.001	2,590	0.005	0.040	0.113	0.318	0,126	0,214	0,087	0,676	0,043
41	0.001	8,512	0.00004	0.009		0,553	0.035	0.002	1,782	0.005	0.032	0.046	0.238	0,141	0,216	0,098	0,499	0,051
42	0.000	35,427	0.00011	0.015		0,434	0.110	0.002	7,031	0.022	0.057	0.149	0.752	0,161	0,787	0,090	1,896	0,050
43	0.001	7,461	0.00003	0.003		0,201	0.049	0.000	1,694	0.003	0.012	0.052	0.125	0,137	0,519	0,178	0,406	0,052
44	0.001	4,889	0.00003	0.006		0,180	0.038	0.000	1,066	0.005	0.012	0.124	0.115	0,094	0,065	0,237	0,224	0,067
45	0.001	7,111	0.00003	0.007		0,248	0.041	0.000	1,686	0.006	0.019	0.055	0.174	0,071	0,294	0,363	0,357	0,066
46	0.001	17,174	0.00007	0.007		0,327	0.077	0.001	3,566	0.013	0.038	0.090	0.388	0,127	0,603	0,472	0,823	0,085
47	0.001	22,203	0.00007	0.007		0,307	0.111	0.001	5,782	0.015	0.031	0.154	0.387	0,067	0,433	0,078	1,121	0,006
48	0.006	8,900	0.00003	0.004		0,266	0.070	0.001	2,426	0.003	0.011	0.075	0.100	0,077	0,074	0,043	0,467	0,007
49	0.000	13,712	0.00004	0.004		0,273	0.092	0.001	4,135	0.005	0.023	0.053	0.212	0,109	0,720	0,034	0,744	0,007
50	0.000	13,325	0.00004	0.000		0,307	0.099	0.001	3,964	0.005	0.021	0.045	0.166	0,694	0,889	0,010	0,609	0,012
51	0.000	13,904	0.00004	0.004		0,371	0.121	0.001	4,157	0.006	0.025	0.066	0.220	0,160	1,112	0,034	0,624	0,014
52	0.002	4,260	0.00003	0.006		0,162	0.060	0.000	1,320	0.006	0.018	0.061	0.136	0,080	0,470	0,212	0,230	0,027
Toplam	0.638	1246,048	0.116	30,895	5,025	48,490	13,807	0.118	442,032	19,119	6,619	9,962	69,418	13,854	40,009	12,738	94,794	0,892
Toplamdan salınım (%)	0.001	13,434		0.631	0.014	0.191	0.254	0.099	1,362	3,707	0.551	0.015		0.003	0.097	0.041	0.005	

Şekil G.8. K-19 (Çarkbaşı-cevherli dasit) örneğine ait element salınım kütleleri ve yüzdeleri

K-19	Al (mg)	Ca (mg)	Co (mg)	Cu (mg)	Fe (mg)	K (mg)	Na (mg)	Ni (mg)	Mg (mg)	Mn (mg)	Zn (mg)	As (µg)	Cd (µg)	Cr (µg)	Mo (µg)	Pb (µg)	Ti (µg)	V (µg)
Döngül \ C0	47453	8470	-	1328	55751	14014	1659	399	7281	347	55	58130		841820	119620		1005040	69310
0	0,014	116,287	0,184	0,114	0,462	22,973	3,836	0,138	405,293	18,051	0,278		3,962	1,287	0,708	0,102	27,094	0,044
1	0,024	227,838	0,005	0,004	0,918	22,860	1,266	0,015	48,198	1,975	0,016		0,106	3,445	2,270	0,276	13,479	
2	0,001	214,578	0,004	0,004	1,010	17,548	1,047	0,076	13,817	1,616	0,006		0,079	2,345	1,531	0,108	13,944	
3	0,001	197,272	0,004	0,004	1,376	16,761	1,264	0,019	11,266	1,423	0,005		0,010	3,780	2,838	0,196	13,411	
4	0,022	101,562	0,001	0,019	0,578	7,248	0,693	0,013	7,624	0,274	0,043	2,102	0,053	3,164	3,329	0,706	6,178	
5	0,009	36,489	0,000	0,003	0,584	4,390	0,736	0,003	5,934	0,099	0,001	0,196	0,025	0,338	2,908	0,048	2,084	0,025
6		18,832	0,000	0,002	0,151	2,178	0,391	0,002	5,182	0,051	0,002	0,068	0,051	0,293	2,267	0,041	1,951	0,014
7	0,034	98,587	0,001	0,004	0,656	5,536	0,826	0,004	27,876	0,275	0,001	0,193	0,096	0,738	3,186	0,052	5,148	0,023
8	0,023	20,194	0,000	0,002	0,098	3,124	0,611	0,002	8,801	0,054	0,001	0,153	0,029	0,983	4,190	0,019	1,266	0,015
9	0,025	12,839	0,000	0,001	0,056	2,793	0,539	0,001	6,469	0,037	0,001	0,130	0,026	0,074	3,264	0,033	0,750	0,013
10	0,026	18,542	0,000	0,003	0,107	2,108	0,411	0,003	10,894	0,029	0,001	0,100	0,026	0,277	3,099	0,336	2,117	0,016
11	0,003	48,218	0,001	0,001	0,247	3,258	0,188	0,003	39,988	0,125		0,160	0,065	0,123	4,233	0,025	5,606	0,018
12	0,004	29,073	0,0003	0,002	0,139	1,954	0,125	0,002	18,920	0,085		0,097	0,043	0,032	2,922	0,008	2,768	
13	0,005	11,126	0,0001	0,001	0,060	0,980	0,068	0,001	6,590	0,012	0,001	0,074	0,023	0,101	2,620	0,110	1,059	
14	0,004	44,379	0,0004	0,001	0,185	2,722	0,244	0,002	29,138	0,106	0,001	0,150	0,062	0,004	4,900	0,007	3,862	
15	0,005	19,935	0,0002	0,001	0,082	1,637	0,140	0,001	8,952	0,053		0,105	0,034	0,004	2,940	0,011	1,431	
16	0,007	24,527	0,0003	0,002	0,011	1,688	0,240	0,003	7,635	0,063	0,014	0,222	0,059	0,920	5,023	0,218	1,839	0,040
17	0,009	14,424	0,0002	0,004	0,013	1,725	0,280	0,003	6,129	0,041	0,047	0,252	0,059	1,106	7,128	0,301	0,874	0,049
18	0,006	10,435	0,0002	0,002	0,005	1,393	0,214	0,002	5,371	0,031	0,014	0,183	0,054	0,879	10,796	0,232	0,672	0,044
19	0,010	5,631	0,0001	0,005	0,005	0,870	0,174	0,002	2,755	0,015	0,019	0,189	0,045	1,041	5,452	0,314	0,388	0,065
20	0,010	11,107	0,0001	0,003	0,003	1,315	0,235	0,002	6,298	0,022	0,012	0,203	0,068	0,903	9,091	0,261	0,855	0,058
21	0,011	12,279	0,0001	0,007	0,008	1,178	0,189	0,031	7,061	0,014	0,023	0,125	0,056	1,031	9,666	0,404	1,338	0,056
22	0,006	21,567	0,0003	0,003	0,009	1,727	0,296	0,003	11,605	0,014	0,195	0,098	1,166	16,761	2,249	2,001	0,063	
23	0,006	5,716	0,0001	0,002	0,009	0,664	0,152	0,002	3,758	0,006	0,033	0,058	0,058	0,943	10,161	0,270	0,699	0,066
24	0,003	26,550	0,0002	0,002	0,001	1,889	0,267	0,003	14,083	0,023	0,012	0,102	0,120	0,724	25,771	0,211	3,217	0,044
25	0,002	25,788	0,0002	0,001		1,974	0,180	0,001	11,363	0,015	0,001	0,141	0,073	0,114	22,742		1,752	0,024
26	0,006	22,131	0,0001	0,001		1,734	0,169	0,003	9,510	0,014	0,009	0,138	0,087	0,201	29,786	0,048	1,327	0,025
27	0,007	11,875	0,0001	0,001		0,888	0,082	0,000	4,948	0,009	0,003	0,077	0,044	0,213	14,910	0,031	0,620	0,019
28	0,002	5,424	0,0001	0,001		0,383	0,046	0,000	2,515	0,005	0,001	0,051	0,025	0,085	7,087		0,319	0,003
29	0,004	11,634	0,0001	0,001		0,720	0,078	0,000	5,042	0,009	0,001	0,092	0,031	0,189	8,488	0,050	0,745	0,015
30	0,003	19,530	0,0001	0,001		1,191	0,116	0,001	8,623	0,014	0,001	0,086	0,073	0,274	26,910		1,140	0,022
31	0,003	20,320	0,0001	0,001		1,579	0,146	0,001	9,013	0,014	0,001	0,117	0,110	0,492	46,440	0,015	1,171	0,029
32	0,005	15,509	0,0001	0,001		1,192	0,105	0,000	6,640	0,010	0,001	0,114	0,121	0,340	54,040	0,012	0,801	0,030
33	0,009	7,402	0,0001	0,001	0,001	0,542	0,048	0,000	3,355	0,004	0,002	0,518	0,042	0,248	18,070	0,045	0,397	0,015
34	0,002	17,837	0,0001	0,000		1,159	0,098	0,001	7,710	0,007	0,002	0,155	0,173	0,458	70,217	0,085	1,054	0,017
36	0,002	15,371	0,0001	0,001		1,026	0,092	0,001	6,245	0,006	0,001	0,122	0,186	0,584	79,065	0,005	0,791	0,020
37	0,003	11,373	0,0001	0,001		0,619	0,065	0,001	4,706	0,008	0,003	0,121	0,122	0,639	46,715	0,007	0,535	0,009
38	0,002	13,068	0,0001	0,001		0,793	0,086	0,001	5,703	0,008	0,003	0,135	0,207	0,236	102,832	0,057	1,064	0,040
39	0,004	5,698	0,0000	0,001		0,440	0,040	0,000	2,585	0,003	0,003	0,073	0,103	0,160	50,990	0,037	0,475	0,032
40	0,003	5,942	0,0001	0,001		0,340	0,035	0,000	2,096	0,003	0,002	0,058	0,080	0,132	39,026	0,040	0,409	0,023
41	0,002	12,788	0,0001	0,001		0,785	0,068	0,001	5,292	0,007	0,002	0,154	0,247	0,305	131,174	0,029	1,061	0,041
42	0,002	9,098	0,0001	0,001		0,650	0,064	0,000	3,762	0,004	0,002	0,112	0,273	0,309	140,022	0,055	0,639	0,032
43	0,001	17,516	0,0001	0,001		1,257	0,108	0,001	7,811	0,010	0,002	0,214	0,363	0,763	173,856	0,061	1,023	0,033
44	0,001	12,082	0,0001	0,001		1,025	0,074	0,001	5,077	0,008	0,001	0,328	0,293	0,421	148,188	0,086	0,731	0,034
45	0,001	11,307	0,0001	0,001	0,015	1,015	0,071	0,001	5,260	0,005	0,003	0,255	0,214	0,446	111,220	0,069	0,721	0,039
46	0,024	17,311	0,0002	0,001		1,154	0,098	0,001	7,608	0,014	0,003	0,176	0,203	0,997	102,226	0,040	0,668	0,054
47	0,001	18,966	0,0001	0,001		1,255	0,129	0,001	8,554	0,010	0,001	0,123	0,330	0,123	125,883	0,023	0,848	0,026
48	0,001	16,486	0,0001	0,001		1,110	0,103	0,001	7,328	0,008	0,002	1,507	0,265	0,133	105,717	0,059	0,661	0,025
49	0,004	15,461	0,0001	0,002		0,750	0,089	0,001	7,082	0,010	0,004	0,112	0,183	0,189	69,436	0,271	0,503	0,033
50	0,000	11,465	0,0001			0,613	0,082	0,001	5,241	0,008	0,001	0,384	0,163	2,364	64,389		0,346	0,027
51	0,001	12,782	0,0001	0,001		0,732	0,111	0,000	5,845	0,013	0,003	0,351	0,169	0,372	68,171	0,030	0,330	0,038
52	0,006	8,218	0,0001	0,001		0,483	0,076	0,0004	3,595	0,007	0,006	0,778	0,127	0,169	45,143	0,084	0,261	0,048
Toplam	0,372	1720,371	0,206	0,216	6,789	155,928	16,892	0,355	882,150	24,770	0,607	11,551	9,611	36,655	2049,795	5,778	134,377	1,408
Toplamdan silinim (%)	0,001	20,312		0,016	0,012	1,113	1,018	0,089	12,115	7,147	1,109	0,020		0,0044	1,714		0,013	0,002

Şekil G.9. SD-34 (Atık barajı-flotasyon çamuru) örneğine ait element salınım kütleleri ve yüzdeleri

SD-34	Al (mg)	Ca (mg)	Co (mg)	Cu (mg)	Fe (mg)	K (mg)	Na (mg)	Ni (mg)	Mg (mg)	Mn (mg)	Zn (mg)	As (µg)	Cd (µg)	Cr (µg)	Mo (µg)	Pb (µg)	Ti (µg)	V (µg)
Dönüştürme \ CO	53257	3338		436	30718	16154	1238	89	7175	172	566	117860		152330		82280	999600	
0	1,921	65,780	0,4672	15,213	2,541	8,784	42,450	0,080	186,736	9,485	25,355	1,923	105,232		0,555	53,886	9,920	0,041
1	0,008	183,339	0,0478	0,138	0,496	5,123	1,336	0,015	66,527	2,239	1,086	1,625	9,839		4,055	1,557	8,021	0,048
2	0,001	198,889	0,0097	0,094	0,604	2,805	0,739	0,032	8,260	0,636	0,234	1,161	3,573		7,717	0,767	8,090	
3	0,000	12,535	0,0054	0,046	0,614	1,783	0,895	0,007	3,075	0,259	0,104	1,171	1,785		13,531	0,270	7,376	0,020
4		27,901	0,0019	0,013	0,122	1,533	0,760	0,001	2,993	0,105	0,039	0,845	0,448		11,633	1,984	1,102	
5	0,216	19,784	0,0011	0,003	0,148	2,072	1,415	0,001	4,194	0,063	0,018	0,464	0,319		11,120	0,080	0,638	
6		14,043	0,0013	0,004	0,011	1,935	1,085	0,001	4,051	0,078	0,027	0,511	0,295	1,512	15,172	0,095	0,619	0,009
7		11,993	0,0013	0,006		1,843	0,826	0,001	4,448	0,089	0,024	0,570	0,264	0,521	18,235	0,114	0,609	0,009
8	0,032	12,417	0,0014	0,004	0,062	2,045	1,296	0,001	5,371	0,105	0,030	0,498	0,279	0,311	17,591	0,213	0,670	0,009
9	0,053	10,473	0,0011	0,004	0,007	2,020	1,047	0,001	4,989	0,097	0,025	0,433	0,227	0,069	17,883	0,060	0,622	0,008
10	0,064	9,473	0,0012	0,004	0,015	2,092	1,110	0,001	5,329	0,105	0,026	0,567	0,252	0,533	18,947	0,064	0,567	0,017
11	0,001	11,519	0,0014	0,006	0,059	2,372	1,350	0,001	5,588	0,128	0,039	0,641	0,277	0,117	19,897	0,078	0,661	0,008
12	0,001	11,893	0,0013	0,005	0,058	2,348	0,862	0,001	5,600	0,123	0,036	0,610	0,250	0,168	18,909	0,063	0,781	0,008
13	0,000	9,217	0,0010	0,005	0,048	2,226	0,677	0,001	5,123	0,111	0,026	0,554	0,206	0,113	19,238	0,043	0,539	0,007
14	0,001	8,664	0,0010	0,005	0,047	2,124	0,559	0,001	4,968	0,111	0,031	0,568	0,263	0,151	19,668	0,059	0,508	0,015
15	0,001	8,124	0,0007	0,004	0,044	2,005	0,693	0,001	4,945	0,097	0,021	0,527	0,208	0,084	19,593	0,054	0,456	0,021
16	0,013	7,926	0,0005	0,005		1,667	0,414	0,002	4,895	0,093	0,031	0,402	0,213	1,231	19,432	0,328	0,615	0,065
17	0,002	7,959	0,0005	0,013		1,403	0,301	0,003	4,817	0,081	0,039	0,407	0,199	0,696	19,257	0,517	0,562	0,075
18	0,002	7,503	0,0004	0,003		1,243	0,243	0,003	4,652	0,072	0,034	0,397	0,209	0,472	18,338	0,263	0,512	0,075
19	0,002	6,426	0,0003	0,005		0,713	0,183	0,001	3,483	0,054	0,019	0,264	0,194		15,801	0,199		
20	0,002	7,186	0,0003	0,004		0,685	0,172	0,004	3,551	0,051	0,026	0,219	0,189		15,267	0,234		
21	0,002	6,631	0,0003	0,004		0,657	0,168	0,001	3,767	0,053	0,019	0,350	0,205		15,612	0,430		
22	0,002	6,203	0,0002	0,006		0,605	0,152	0,001	3,748	0,046	0,021	0,412	0,184		16,194	0,358		
23	0,001	6,000	0,0002	0,004		0,520	0,140	0,001	3,580	0,041	0,024	0,316	0,214		15,641	0,180		
24	0,001	6,083	0,0001	0,005		0,463	0,120	0,002	3,452	0,036	0,032	0,288	0,164		15,378	0,263		
25	0,000	7,089	0,0001	0,003		0,589	0,094	0,000	4,264	0,040	0,036	0,382	0,193	0,215	15,373	0,024	0,292	0,015
26	0,001	6,745	0,0001	0,002		0,550	0,093	0,000	4,191	0,037	0,040	0,374	0,195	0,225	14,325	0,019	0,275	0,015
27	0,001	6,526	0,0001	0,002		0,493	0,075	0,000	4,235	0,035	0,053	0,301	0,223	0,266	13,086	0,015	0,282	0,012
28	0,002	6,537	0,0001	0,004	0,012	0,461	0,072	0,000	4,279	0,036	0,056	0,402	0,220	0,300	5,378	0,036	0,301	0,027
29	0,002	6,075	0,0001	0,002		0,424	0,061	0,003	4,138	0,032	0,053	0,299	0,246	0,334	12,209	1,651	0,279	0,019
30	0,004	6,521	0,0001	0,003		0,456	0,083	0,000	4,439	0,036	0,060	0,377	0,262	0,348	11,623	0,072	0,307	0,019
31	0,001	6,549	0,0001	0,004		0,430	0,078	0,000	4,654	0,034	0,063	0,314	0,275	0,367	12,818	0,040	0,306	0,017
32	0,001	6,406	0,0001	0,002		0,436	0,071	0,001	4,652	0,033	0,057	0,335	0,271	0,399	13,006	0,033	0,308	0,017
33	0,001	6,363	0,0001	0,005		0,396	0,066	0,001	4,789	0,034	0,071	0,361	0,282	0,502	12,269	0,030	0,321	0,018
34	0,001	6,000	0,0000	0,004		0,376	0,062	0,002	4,678	0,033	0,071	0,361	0,000	0,584	0,000	0,354	0,000	0,026
35	0,001	6,022	0,0002	0,003		0,403	0,062	0,000	4,813	0,034	0,072	0,396	0,291	0,579	11,321	0,030	0,332	0,027
36	0,003	2,659	0,0005	0,005		0,222	0,083	0,001	2,279	0,054	0,086	0,476	0,291	0,238	3,610	0,108	0,233	0,025
37	0,002	9,890	0,0003	0,007	0,018	0,442	0,233	0,007	7,353	0,074	0,052	1,015	0,386	0,342	21,201	1,332	0,638	0,152
Toplam	2,344	761,342	0,550	15,650	4,905	56,743	60,125	0,182	416,906	14,871	28,137	21,117	128,620	10,677	530,892	65,903	46,741	0,824
Toplamdan salınım (%)	0,004	22,809		3,591	0,016	0,351	4,858	0,205	5,810	8,629	4,972	0,018		0,007	0,080	0,005		

Tablo H.2. K-10 (Çakmak kaya-cevherli dasit) örneğine ait element konsantrasyonları

Döngü	Alman sat	Ag	Al	As	Br	Ba	Bc	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	Pb	Rb	Se	Sb	Sn	Sr	Ti	Tl	U	V	Zn
0	0.33	0.01	3.03	4.11	na	25.25	124.90	45.12	0.41	0.49	61.23	103.31	47.37	38.96	165.90	2.30	0.33	60.79	0.066	298.60	35.13	298.80	4.24	0.09	2.73	14.12	1.70	13.79	0.16	4.55	
1	0.46	<0.001	0.99	0.74	na	11.00	66.55	27.49	0.27	<0.1	39.26	1.94	26.70	29.00	101.60	1.95	0.19	36.07	0.070	13.49	22.58	32.17	104.10	0.08	0.02	1.88	9.62	1.08	5.56	0.04	1.86
2	0.48	0.001	0.28	0.56	na	3.54	39.41	12.30	0.11	<0.1	14.95	0.92	15.20	6.93	49.10	1.95	0.11	8.46	0.024	4.88	11.72	107.10	0.04	<0.01	0.88	3.62	0.53	1.40	0.02	1.86	
3	0.47	0.00	0.06	0.25	na	1.35	18.81	5.77	0.03	<0.1	5.48	1.19	6.97	1.96	19.12	0.42	0.08	1.58	0.010	3.03	6.71	49.83	0.03	<0.01	0.45	1.89	0.32	0.35	<0.01	0.78	
4	0.46	0.00	0.02	0.32	na	0.73	13.07	4.44	0.05	<0.1	4.10	0.09	5.19	1.02	13.62	0.32	0.07	0.78	0.008	2.32	6.28	41.40	0.03	<0.01	0.30	1.36	0.33	0.15	<0.01	0.60	
5	0.40	nd	<0.0005	0.57	na	0.16	17.60	5.11	0.03	0.16	2.75	0.01	6.93	1.35	17.40	0.39	0.09	1.01	0.015	0.82	9.63	65.70	0.02	<0.01	0.39	2.34	0.53	0.01	0.06	0.75	
6	0.42	nd	0.00	0.98	na	0.08	13.00	4.24	0.03	0.20	1.80	0.00	5.39	1.15	15.20	0.36	0.11	0.70	0.008	0.40	7.63	66.60	0.02	<0.01	0.29	1.99	0.46	0.01	0.05	0.60	
7	0.40	nd	0.07	1.05	na	2.21	22.10	7.58	0.05	0.19	4.52	0.15	6.94	1.08	24.00	0.57	0.18	0.67	0.012	1.05	9.29	87.50	0.05	<0.01	0.48	2.78	0.65	0.04	0.06	1.15	
8	0.44	nd	0.16	1.05	na	2.26	25.80	12.90	0.06	<0.01	17.70	0.32	5.07	0.60	30.30	0.84	0.01	0.27	0.014	3.38	5.92	52.40	0.02	<0.01	0.47	3.14	0.42	1.69	0.06	2.35	
9	0.44	nd	0.07	1.05	na	3.61	23.60	14.70	0.06	0.05	26.00	0.70	3.68	0.47	28.40	0.87	0.01	0.27	0.014	3.01	4.12	34.60	0.02	1.12	0.47	3.14	0.42	1.69	0.06	2.35	
10	0.37	nd	0.44	1.48	na	8.87	57.90	36.60	0.11	<0.01	66.50	1.70	7.48	1.26	63.60	1.82	0.04	0.50	0.023	2.25	8.57	66.70	0.03	0.03	1.08	6.66	0.83	4.15	0.06	5.80	
11	0.43	0.01	0.21	1.27	na	11.55	7.69	19.20	0.49	0.06	12	36.87	1.27	4.35	1.50	24.85	1.01	0.02	0.28	0.013	1.54	4.60	35.10	0.01	<0.01	0.38	3.92	0.38	1.75	<0.01	2.18
12	0.38	0.05	0.63	1.87	na	14.19	13.69	27.03	0.09	0.14	77.02	2.40	4.96	2.41	36.23	1.70	0.02	0.43	0.020	2.10	5.32	47.81	0.02	0.03	0.56	6.21	0.43	3.36	<0.01	3.73	
13	0.42	0.01	0.13	0.59	na	7.84	4.30	11.19	0.01	0.03	<0.01	30.52	0.92	2.29	1.04	15.30	0.71	0.02	0.19	0.007	1.54	1.76	19.00	0.01	0.01	0.20	2.42	0.17	0.97	<0.01	1.50
14	0.40	0.02	1.32	1.89	na	11.77	28.23	28.82	0.08	0.10	97.12	3.63	4.87	1.59	40.25	2.04	0.03	0.31	0.018	2.14	4.76	42.63	0.02	0.03	0.49	6.26	0.48	2.71	<0.01	5.34	
15	0.47	0.01	0.66	1.47	na	5.00	5.12	12.14	0.03	<0.01	60.36	2.10	3.33	0.79	23.79	1.17	0.01	0.16	0.007	1.03	2.44	17.35	0.01	<0.01	0.24	3.01	0.31	1.29	<0.01	5.33	
16	0.48	0.06	0.62	1.83	na	5.86	3.84	10.89	0.03	0.03	1.71	49.09	1.49	2.57	0.52	20.44	1.06	<0.01	0.39	0.011	1.59	2.44	14.42	0.03	<0.01	0.20	3.73	0.23	0.83	<0.01	2.29
17	0.47	0.11	0.57	1.20	na	4.82	2.62	7.76	0.03	1.60	40.66	1.21	1.59	0.25	17.31	0.92	<0.01	0.29	0.006	1.44	1.50	11.19	0.02	<0.01	0.10	2.52	0.29	0.30	<0.01	2.59	
18	0.41	0.07	1.21	1.88	na	2.66	3.67	11.09	0.04	1.27	61.20	2.65	1.69	0.59	25.89	1.33	<0.01	0.29	0.011	1.38	1.87	15.58	0.03	<0.01	0.20	4.86	0.21	0.81	<0.01	2.85	
19	0.45	0.07	1.16	2.52	na	1.98	3.93	12.14	0.05	1.31	73.41	3.02	1.89	0.47	27.36	1.65	<0.01	0.32	0.023	3.13	2.48	19.97	0.31	<0.01	0.22	5.43	0.29	0.91	<0.01	3.58	
20	0.44	0.09	1.65	1.77	na	0.54	3.48	10.55	0.04	1.34	62.97	2.63	1.18	0.30	25.61	1.34	<0.01	0.19	0.014	1.54	1.60	15.23	0.02	<0.01	0.19	5.24	0.19	0.83	<0.01	2.86	
21	0.45	0.82	1.89	2.22	na	2.25	3.94	11.74	0.05	1.39	85.71	4.30	1.21	0.55	29.25	1.75	<0.01	0.30	0.013	1.60	2.57	19.56	0.04	<0.01	0.20	6.48	0.35	1.04	<0.01	3.90	
22	0.44	0.08	2.00	2.07	na	<0.1	3.60	9.32	0.05	1.39	82.72	3.82	0.90	0.40	24.85	1.56	<0.01	0.24	0.013	1.22	1.68	13.51	0.05	<0.01	0.15	5.72	0.25	0.84	<0.01	3.56	
23	0.37	0.08	2.86	4.02	na	2.02	5.63	16.18	0.07	1.61	123.82	6.92	1.56	1.02	38.05	2.39	<0.01	0.39	0.018	0.85	2.97	21.66	0.04	<0.01	0.25	8.57	0.36	1.33	<0.01	5.16	
24	0.50	0.08	0.28	0.59	na	<0.1	0.83	4.22	0.03	2.01	18.94	0.96	0.51	0.28	7.77	0.44	<0.01	0.12	0.005	1.09	0.95	4.47	0.24	<0.01	0.07	1.76	0.06	0.17	<0.01	0.85	
25	0.40	<0.01	0.96	1.12	na	1.38	9.56	10.83	0.02	<0.1	56.56	1.49	0.61	0.37	23.21	0.97	<0.01	0.13	0.005	0.28	1.53	9.75	0.02	0.03	0.11	2.54	0.23	0.43	<0.01	2.59	
26	0.39	0.01	0.60	0.94	na	<0.1	1.24	9.07	0.02	<0.1	52.22	1.02	0.80	0.34	23.07	0.98	<0.01	0.17	0.005	0.18	2.06	11.79	0.02	0.01	0.10	2.52	0.29	0.30	<0.01	3.22	
27	0.41	<0.01	1.35	0.78	na	<0.1	1.59	9.93	0.03	<0.1	67.46	0.85	0.89	0.52	28.89	1.22	<0.01	0.15	0.005	0.19	2.05	15.23	0.01	0.01	0.11	3.03	0.53	0.54	<0.01	3.25	
28	0.45	<0.01	0.63	0.84	na	<0.1	1.36	6.07	0.03	<0.1	46.57	0.79	0.64	0.23	18.50	0.77	<0.01	0.09	0.005	0.52	1.37	10.28	0.02	<0.01	0.07	1.97	0.21	0.42	<0.01	2.16	
29	0.45	<0.01	0.88	1.10	na	<0.1	1.77	7.89	0.03	<0.1	67.96	1.37	0.70	0.29	25.00	1.04	<0.01	0.10	0.005	0.65	1.63	13.19	0.02	0.02	0.01	2.78	0.29	0.53	<0.01	3.16	
30	0.44	<0.01	1.32	1.28	na	<0.1	1.66	6.55	0.03	<0.1	66.13	1.64	0.48	0.21	23.20	0.94	<0.01	0.07	0.005	0.59	1.38	11.20	0.01	0.03	0.08	2.60	0.26	0.52	<0.01	2.91	
31	0.39	<0.01	1.54	1.69	na	2.01	10.25	17.39	0.04	<0.1	112.98	3.14	0.58	0.21	35.84	1.35	<0.01	0.12	0.005	0.41	2.14	15.21	0.01	0.19	0.10	4.00	0.45	0.74	<0.01	4.86	
32	0.42	0.03	1.61	1.49	na	<0.1	1.96	7.02	0.03	<0.1	88.43	2.25	0.47	0.20	27.73	1.10	<0.01	0.12	0.005	0.62	1.29	13.04	0.01	0.04	0.07	3.37	0.36	0.64	<0.01	3.76	
33	0.38	<0.01	0.58	1.13	na	1.33	6.00	12.88	0.03	<0.1	68.56	1.92	0.63	0.19	22.08	0.94	<0.01	0.13	0.005	0.24	1.37	13.15	0.01	0.03	0.06	2.83	0.26	0.33	<0.01	3.03	
34	0.37	0.01	0.63	0.98	na	<0.1	1.26	6.12	0.03	<0.1	65.85	1.21	0.91	0.29	21.15	0.91	<0.01	0.18	0.005	0.32	1.93	13.35	0.01	0.02	0.06	2.97	0.35	0.30	<0.01	3.06	
35	0.44	<0.01	1.16	1.50	na	<0.1	1.97	5.78	0.03	<0.1	79.28	1.38	0.90	0.29	22.62	0.92	<0.01	0.15	0.005	0.43	1.42	14.42	0.01	0.13	0.06	3.11	0.29	0.61	<0.01	3.22	
36	0.37	0.01	1.25	1.93	na	<0.1	1.84	5.85	0.03	<0.1	84.81	2.16	1.06	0.30	24.31	0.96	<0.01	0.18	0.005	0.32	1.68	14.60	0.01	0.23	0.06	3.49	0.53	0.50	<0.01	3.44	
37	0.37	0.06	0.66	1.69	na	<0.1	1.35																								

Tablo H.3. K-12 (K.B.E.İ.-Cevherli dasit) örneğine ait element konsantrasyonları

Döngü	Alman Sü	Ag	Al	As	Ba	Ba	Be	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fc	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	Pb	Rb	Sr	Sr	Sn	Sr	Ti	V	Zn
0	0.23	1.83	513.40	3719.0	4.92	329.50	594.80	4.268	366.60	1287	2095	0.16	115.90	297.80	13.7	22.07	0.39	10.7	10.96	10.96	120.20	9.80	5.6	0.12	154.90	19.80	180.0		
1	0.48	0.001	133.70	19.2	2.57	305.40	171.10	1.608	85.41	674.90	809.90	0.14	58.08	83.54	1.1	2.92	12.6	10.50	0.66	0.61	46.31	0.86	1.3	0.16	50.12	12.54	79.7		
2	0.49	<0.001	46.15	13.00	0.52	369.60	35.18	0.298	27.32	95.81	17.80	0.04	17.80	0.16	67.68	25.78	3.1	0.67	1.10	0.66	39.29	0.53	0.03	0.18	31.06	6.93	13.5		
3	0.49	<0.001	20.06	10.29	0.22	371.20	14.34	0.141	18.95	40.07	119.40	0.12	15.49	8.78	1.2	0.26	0.98	0.38	1.17	0.75	29.62	0.37	0.07	0.22	29.45	2.52	4.23		
4	0.49	<0.001	15.91	10.77	na <th>0.19</th> <th>324.50</th> <th>6.45</th> <th>0.068</th> <th>14.66</th> <th>21.82</th> <th>0.04</th> <th>1.31</th> <th>0.34</th> <th>5.54</th> <th>0.6</th> <th>0.24</th> <th>1.31</th> <th>0.34</th> <th>5.97</th> <th>1.02</th> <th>20.78</th> <th>0.35</th> <th>0.03</th> <th>0.24</th> <th>29.15</th> <th>2.17</th> <th>2.71</th>	0.19	324.50	6.45	0.068	14.66	21.82	0.04	1.31	0.34	5.54	0.6	0.24	1.31	0.34	5.97	1.02	20.78	0.35	0.03	0.24	29.15	2.17	2.71	
5	0.49	<0.001	17.80	9.95	na <th>0.12</th> <th>311.00</th> <th>4.27</th> <th>0.037</th> <th>10.20</th> <th>18.60</th> <th>0.41</th> <th>10.50</th> <th>5.99</th> <th>0.41</th> <th>0.26</th> <th>2.33</th> <th>1.05</th> <th>6.22</th> <th>0.84</th> <th>19.40</th> <th>0.28</th> <th><0.01</th> <th>0.22</th> <th>17.10</th> <th>0.62</th> <th>1.41</th>	0.12	311.00	4.27	0.037	10.20	18.60	0.41	10.50	5.99	0.41	0.26	2.33	1.05	6.22	0.84	19.40	0.28	<0.01	0.22	17.10	0.62	1.41		
6	0.49	<0.001	12.30	9.41	na <th>0.07</th> <th>275.00</th> <th>2.40</th> <th>0.024</th> <th>8.16</th> <th>11.50</th> <th>26.30</th> <th><0.1</th> <th>8.72</th> <th>3.77</th> <th>0.23</th> <th>0.15</th> <th>2.39</th> <th>0.21</th> <th>3.00</th> <th>0.84</th> <th>15.50</th> <th>0.25</th> <th><0.01</th> <th>0.19</th> <th>19.20</th> <th>0.42</th> <th>0.93</th>	0.07	275.00	2.40	0.024	8.16	11.50	26.30	<0.1	8.72	3.77	0.23	0.15	2.39	0.21	3.00	0.84	15.50	0.25	<0.01	0.19	19.20	0.42	0.93	
7	0.49	<0.001	9.69	9.33	na <th>0.06</th> <th>245.00</th> <th>1.79</th> <th>0.016</th> <th>6.23</th> <th>8.49</th> <th>19.30</th> <th><0.1</th> <th>6.48</th> <th>2.94</th> <th>0.14</th> <th>0.08</th> <th>2.89</th> <th>0.09</th> <th>1.06</th> <th>0.86</th> <th>12.30</th> <th>0.20</th> <th><0.01</th> <th>0.17</th> <th>16.70</th> <th>0.22</th> <th>0.67</th>	0.06	245.00	1.79	0.016	6.23	8.49	19.30	<0.1	6.48	2.94	0.14	0.08	2.89	0.09	1.06	0.86	12.30	0.20	<0.01	0.17	16.70	0.22	0.67	
8	0.49	<0.001	7.39	9.16	na <th>0.04</th> <th>208.00</th> <th>1.49</th> <th>0.013</th> <th>4.79</th> <th>7.07</th> <th>17.30</th> <th><0.1</th> <th>6.44</th> <th>2.50</th> <th>0.09</th> <th>0.07</th> <th>2.49</th> <th>0.11</th> <th>0.73</th> <th>0.88</th> <th>10.60</th> <th>0.19</th> <th><0.01</th> <th>0.15</th> <th>12.40</th> <th>0.21</th> <th>0.54</th>	0.04	208.00	1.49	0.013	4.79	7.07	17.30	<0.1	6.44	2.50	0.09	0.07	2.49	0.11	0.73	0.88	10.60	0.19	<0.01	0.15	12.40	0.21	0.54	
9	0.49	<0.001	5.40	7.30	na <th>0.03</th> <th>175.00</th> <th>1.15</th> <th>0.009</th> <th>3.53</th> <th>5.47</th> <th>16.50</th> <th><0.1</th> <th>5.09</th> <th>2.08</th> <th>0.07</th> <th>0.05</th> <th>2.37</th> <th>0.12</th> <th>0.88</th> <th>0.85</th> <th>8.27</th> <th>0.15</th> <th><0.01</th> <th>0.13</th> <th>10.40</th> <th>0.23</th> <th>0.43</th>	0.03	175.00	1.15	0.009	3.53	5.47	16.50	<0.1	5.09	2.08	0.07	0.05	2.37	0.12	0.88	0.85	8.27	0.15	<0.01	0.13	10.40	0.23	0.43	
10	0.49	<0.001	4.62	9.18	na <th>0.04</th> <th>155.00</th> <th>1.06</th> <th>0.009</th> <th>3.32</th> <th>4.92</th> <th>10.80</th> <th><0.1</th> <th>4.98</th> <th>1.90</th> <th>0.05</th> <th>0.06</th> <th>2.61</th> <th>0.12</th> <th>1.28</th> <th>1.02</th> <th>7.81</th> <th>0.17</th> <th><0.01</th> <th>0.13</th> <th>9.68</th> <th>0.14</th> <th>0.39</th>	0.04	155.00	1.06	0.009	3.32	4.92	10.80	<0.1	4.98	1.90	0.05	0.06	2.61	0.12	1.28	1.02	7.81	0.17	<0.01	0.13	9.68	0.14	0.39	
11	0.50	<0.001	3.50	11.40	9.1	0.03	143.08	1.36	0.012	4.47	4.43	23.12	0.29	9.71	1.76	0.05	0.10	2.05	0.14	0.72	1.35	8.23	0.23	<0.01	0.11	14.38	0.25	0.53	
12	0.50	<0.001	3.60	12.45	9.5	0.05	123.45	1.30	0.014	4.60	4.62	16.59	0.20	10.83	2.06	0.05	0.11	2.43	0.14	0.89	1.38	8.89	0.22	<0.01	0.12	14.59	0.16	0.54	
13	0.50	<0.001	2.88	12.15	9.5	0.05	123.45	1.30	0.012	4.14	4.09	21.00	0.07	10.42	1.89	0.05	0.13	2.39	0.13	0.86	1.56	7.98	0.21	<0.01	0.11	13.43	0.22	0.52	
14	0.50	<0.001	2.30	11.83	10.1	0.04	104.88	1.14	0.011	3.48	3.73	20.91	0.17	1.92	0.04	0.17	2.65	0.11											
15	0.50	<0.001	2.11	11.17	9.5	0.05	95.71	1.13	0.011	3.19	3.66	22.38	0.07	10.41	1.97	0.06	0.39	2.45	0.11										
16	0.50	0.01	2.19	7.87	7.3	0.07	100.04	0.87	0.008	1.96	3.37	15.00	0.03	8.00	2.19	0.04	0.16	2.71	0.11										
17	0.50	0.02	1.89	8.87	8.6	0.03	97.94	0.82	0.008	2.25	3.52	15.02	0.05	8.24	2.42	0.04	0.28	2.81	0.10										
18	0.50	<0.001	1.78	8.02	7.9	0.08	94.30	0.77	0.008	1.98	3.33	13.41	0.03	7.58	2.33	0.04	0.21	2.68	0.09										
19	0.50	0.03	1.65	7.81	8.2	0.03	80.61	0.70	0.007	1.85	3.20	12.96	0.04	8.56	2.26	0.04	0.30	2.75	0.08										
20	0.50	0.06	1.76	8.88	8.3	0.06	89.00	0.72	0.007	2.17	3.39	11.19	0.03	8.12	2.48	0.04	0.29	2.90	0.07										
21	0.50	0.02	1.84	11.20	11.0	0.07	94.70	0.85	0.008	2.08	3.64	6.58	0.04	8.41	2.55	0.04	0.49	3.15	0.21										
22	0.50	0.09	1.54	8.98	10.8	0.05	73.87	0.74	0.007	1.52	3.48	10.53	0.06	7.81	2.41	0.04	0.45	2.97	0.11										
23	0.50	0.14	1.44	8.20	10.4	0.11	70.45	0.72	0.007	1.67	3.37	9.82	0.05	7.65	2.37	0.03	0.60	3.00	0.06										
24	0.50	0.11	0.99	6.23	10.5	0.06	53.14	0.64	0.005	1.26	2.86	9.70	0.12	5.57	2.02	0.03	0.83	2.62	0.05										
25	0.50	<0.01	0.94	7.49	13.10	0.03	74.12	0.58	0.006	1.08	3.08	10.66	0.18	5.69	1.74	0.03	1.11	2.49	0.05										
26	0.50	<0.01	0.91	7.54	11.77	0.03	79.36	0.57	0.005	0.93	3.10	7.21	0.11	5.17	1.61	0.02	0.20	2.41	0.04										
27	0.50	0.01	0.65	4.48	10.24	0.03	54.57	0.57	0.005	0.62	2.81	5.00	0.15	4.23	1.47	0.02	0.44	1.99	0.03										
28	0.50	0.01	0.62	6.16	12.23	0.03	55.81	0.60	0.005	0.69	2.86	3.60	0.16	4.27	1.41	0.02	0.37												
29	0.50	<0.01	0.36	3.96	10.46	0.02	33.85	0.36	0.004	0.13	2.35	3.99	0.32	3.05	1.11	0.02	<0.01												
30	0.50	<0.01	0.43	6.27	11.22	0.02	40.67	0.43	0.004	0.28	2.71	2.39	0.20	3.75	1.16	0.02	<0.01												
31	0.50	<0.01	0.30	5.35	12.61	0.02	27.15	0.40	0.004	0.26	2.39	4.29	0.47	4.01	1.04	0.02	<0.01												
32	0.50	<0.01	0.36	6.05	12.65	0.02	30.64	0.47	0.004	0.23	2.80	5.22	0.44	4.47	1.19	0.02	<0.01												
33	0.49	<0.01	0.42	7.37	11.47	0.02	31.21	0.56	0.005	0.50	3.15	4.09	0.37	4.68	1.34	0.02	<0.01												
34	0.49	<0.01	0.52	5.03	12.48	0.02	22.80	0.47	0.004	0.22	2.89	4.15	0.59	3.75	1.21	0.02	<0.01												
35	0.49	<0.01	0.34	6.45	12.79	0.03	23.36	0.57	0.005	0.46	3.27	2.56	0.66	4.32	1.34	0.02	<0.01												
36	0.49	<0.01	0.33	6.30	13.79	0.02	20.90	0.55	0.005	0.41	3.24	3.10	0.67	4.43	1.32	0.02	<0.01												
37	0.49	<0.01	0.35	6.63	13.08	0.02	20.67	0.61	0.005	0.17	3.49	<0.01																	
38	0.49	<0.01	0.30	7.75	18.1	0.03	17.73	0.74	0.005	0.21	3.84	0.03																	
39	0.49	<0.01	0.32	6.60	18.0	0.02	17.20	0.72	0.005	0.61	0.05																		

Tablo H.4. K-15 (Kuarşhan-flotasyon atığı) örneğine ait element konsantrasyonları

Döngü	Alman/Su	Ag	Al	As	Ba	Bc	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	K	Li	Mg	Mn	Mo	Ni	Nu	Pb	Rb	Sc	Sr	Sr	Sr	Ti	V	Zn
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
0	0.42	59.0	220.10	1490000	19.3	1850.0	912.9	43750	57.7	394.3	129.5	466.0	350.0	47.6	15.5	4872.0	209.5	5964.0	1576.0	205.3	0.5	4758.0	75.4	1619.0	17.52			
1	0.48	0.28	139.70	21890	0.80	107.50	55.58	243.1	0.23	2.524	9.41	31.0	31.34	2.35	8.77	1529.0	5.67	69.5	34.9	0.15	0.33	29.5	74.7	19.5	0.46			
2	0.48	0.02	11.46	367.8	na	0.16	358.5	13.8	0.85	9.42	2.45	2.18	2.59	0.67	1.17	23.7	1.43	0.55	1565.0	5.67	69.5	34.9	0.15	0.33	29.5	74.7	19.5	
3	0.44	0.10	8.88	294.3	na	0.09	357.5	13.0	0.04	6.96	1.99	1.05	0.51	2.05	0.42	0.10	1.53	0.03	1670.0	7.15	92.9	35.4	0.05	0.30	25.5	71.7	0.46	
4	0.34	0.10	7.99	227.0	na	0.06	357.0	11.3	0.11	5.46	3.62	1.19	-0.11	1.43	0.59	0.08	1.44	1.36	0.15	2162.0	25.18	294.5	52.0	0.10	0.34	31.6	119.5	0.66
5	0.42	na	12.10	419.0	na	0.07	353.0	14.7	0.20	7.99	5.19	2.75	-0.11	1.61	2.20	0.14	29.7	2.48	0.04	2250.0	20.20	361.0	53.1	0.17	0.35	31.6	140.0	0.51
6	0.40	na	9.97	429.0	na	0.04	345.0	12.4	0.18	6.43	3.42	2.71	-0.11	0.94	0.62	0.11	27.0	0.91	0.03	2350.0	14.20	286.0	47.4	0.15	0.33	29.8	78.7	0.37
7	0.40	na	5.95	312.0	na	0.03	296.0	10.9	0.17	4.86	2.18	2.25	0.53	1.00	0.65	0.09	21.8	0.88	0.03	2350.0	12.00	225.0	40.7	0.24	0.29	28.9	57.2	0.29
8	0.38	na	4.94	280.0	na	0.04	271.0	9.7	0.16	4.40	1.96	2.28	0.68	0.96	0.47	0.09	22.3	0.81	0.03	2270.0	11.10	194.0	36.1	0.14	0.25	28.4	52.7	0.28
9	0.40	na	7.18	558.0	na	0.03	326.0	11.7	0.22	5.28	2.71	4.00	-0.11	1.00	0.63	0.12	39.3	1.15	0.03	2400.0	13.00	261.0	51.6	0.24	0.31	31.6	65.4	0.37
10	0.40	na	6.45	890.0	8.73	0.08	318.3	13.8	0.32	8.35	2.71	409.54	0.19	2.12	0.50	0.18	60.9	0.73	0.03	2285.0	9.80	254.5	55.3	0.19	0.31	51.6	109.0	0.58
11	0.36	0.27	6.45	890.0	8.73	0.08	318.3	13.8	0.32	8.35	2.71	409.54	0.19	2.12	0.50	0.18	60.9	0.73	0.03	2285.0	9.80	254.5	55.3	0.19	0.31	51.6	109.0	0.58
12	0.44	0.16	5.23	523.1	8.63	0.06	305.9	12.0	0.29	7.25	2.83	382.76	0.13	2.18	0.54	0.17	37.1	0.70	0.05	2285.0	6.52	210.4	57.1	0.23	0.34	50.0	92.3	0.55
13	0.37	0.12	4.89	802.8	9.45	0.06	310.5	11.8	0.30	6.25	2.52	385.97	0.12	1.62	0.55	0.16	47.9	0.55	0.04	2344.0	7.16	204.1	49.5	0.17	0.29	46.3	75.1	0.54
14	0.45	0.09	4.28	474.0	12.05	0.07	298.2	10.1	0.26	5.22	2.04	339.18	0.14	1.66	0.58	0.13	32.0	0.58	0.04	2267.0	3.92	157.0	52.8	0.13	0.30	43.4	59.3	0.46
15	0.42	0.09	4.40	600.8	8.91	0.05	281.3	10.0	0.33	5.47	2.45	437.52	0.06	1.70	0.49	0.15	43.3	0.67	0.04	2356.0	4.83	149.7	53.8	0.11	0.27	51.3	70.2	0.54
16	0.44	1.04	4.07	509.3	4.28	0.04	277.0	11.5	0.30	5.12	2.42	247.70	0.07	1.43	0.51	0.14	31.7	0.81	0.04	2326.0	3.38	96.4	58.6	0.18	0.27	31.4	61.2	0.60
17	0.41	0.69	3.74	512.4	12.84	0.03	257.0	9.0	0.29	4.99	2.12	227.38	0.10	1.28	0.48	0.12	36.0	0.73	0.03	2285.0	5.24	96.5	52.3	0.25	0.25	31.7	52.1	0.56
18	0.44	0.19	3.67	408.8	14.87	0.04	189.4	7.8	0.28	4.96	2.00	226.12	0.08	1.44	0.47	0.12	31.1	0.70	0.03	2353.0	3.19	76.9	51.2	0.11	0.23	29.8	51.3	0.54
19	0.41	0.30	4.65	614.7	11.61	0.03	254.7	9.7	0.37	5.89	2.52	307.27	0.07	1.49	0.56	0.16	48.7	0.90	0.04	2375.0	5.35	90.5	60.1	0.14	0.25	37.7	60.2	0.68
20	0.45	0.20	3.90	363.3	22.48	0.03	187.6	6.8	0.29	5.72	2.02	245.29	0.07	1.52	0.46	0.13	31.6	0.85	0.05	2055.0	2.69	52.5	48.9	0.25	0.20	27.8	52.3	0.58
21	0.39	0.26	7.79	1120.7	10.16	0.08	249.8	11.6	0.62	9.93	3.63	546.18	0.06	2.35	0.82	0.25	103.7	1.33	0.05	2413.2	7.62	100.8	72.3	0.27	0.28	51.9	101.5	1.17
22	0.41	1.21	6.45	961.6	11.91	0.07	217.0	9.3	0.52	7.55	3.13	457.60	0.05	1.78	0.67	0.21	94.2	1.19	0.04	2356.6	4.25	75.3	63.0	0.60	0.25	44.8	77.2	0.98
23	0.43	0.27	6.78	997.3	13.68	0.12	204.5	9.8	0.59	7.95	3.19	513.97	0.07	1.75	0.67	0.24	97.8	1.08	0.05	2109.1	3.41	72.7	69.8	0.74	0.38	47.1	71.9	1.09
24	0.29	0.22	15.80	10170.4	6.79	0.19	280.6	19.0	1.16	18.43	6.87	1183.00	1.26	2.77	1.20	0.48	88.6	2.11	0.09	2723.8	9.50	235.0	99.2	1.75	0.37	145.9	166.5	2.22
25	0.33	0.27	10.96	4731.9	9.25	0.14	286.3	14.5	0.83	10.27	4.87	834.33	1.57	2.40	0.73	0.31	123.6	1.45	0.07	2458.0	7.46	171.4	49.9	0.81	0.30	48.4	87.0	1.61
26	0.40	0.63	4.22	1714.9	10.97	0.08	246.2	9.8	0.45	5.26	2.43	391.99	0.76	1.78	0.49	0.20	44.3	1.12	0.04	2313.2	4.36	94.5	47.8	0.41	0.32	40.7	40.2	0.86
27	0.41	0.12	4.55	791.2	9.04	0.05	196.1	7.6	0.47	4.12	2.15	444.53	0.01	1.52	0.36	0.19	40.8	0.82	0.04	1688.7	3.00	66.9	43.8	0.32	0.28	39.3	34.1	0.83
28	0.45	0.14	4.28	650.8	10.94	0.05	196.1	7.6	0.47	4.12	2.15	444.53	0.01	1.52	0.36	0.19	40.8	0.82	0.04	1688.7	3.00	66.9	43.8	0.32	0.28	39.3	34.1	0.83
29	0.43	0.13	4.51	914.7	11.27	0.06	180.5	8.1	0.53	4.34	2.34	463.32	0.02	1.23	0.35	0.21	47.0	0.70	0.04	1791.5	4.89	64.8	40.1	0.12	0.27	38.1	26.3	0.92
30	0.42	0.20	4.03	1146.3	24.68	0.04	151.5	7.5	0.52	4.07	2.06	493.45	0.02	1.05	0.32	0.21	61.7	0.62	0.04	1692.6	4.22	66.6	42.9	0.12	0.22	36.4	24.2	0.93
31	0.39	0.05	6.29	2883.5	14.56	0.05	176.2	10.0	0.83	5.56	3.22	814.86	0.04	1.32	0.40	0.27	124.1	0.72	0.05	1944.9	4.28	95.9	44.8	0.21	0.23	45.4	36.4	1.46
32	0.36	0.63	8.69	5167.1	12.26	0.06	208.0	13.8	1.16	6.96	4.59	1217.52	0.02	1.36	0.46	0.35	209.2	0.84	0.06	2226.3	4.66	142.6	52.7	0.24	0.25	45.5	48.6	2.12
33	0.41	0.05	4.82	2145.2	17.03	0.05	151.8	8.7	0.72	3.99	2.96	721.92	0.05	0.96	0.33	0.24	124.2	0.58	0.04	1848.6	1.76	86.5	42.5	0.38	0.24	42.5	27.4	1.33
34	0.39	0.07	5.04	4283.2	16.56	0.05	147.0	9.9	0.82	3.91	3.23	850.54	0.04	0.85	0.30	0.25	171.0	0.57	0.05	2011.4	1.82	104.6	42.6	0.21	0.21	42.4	26.3	1.50
35	0.46	0.17	4.65	2091.1	19.70	0.05	154.6	9.4	0.79	3.54	2.93	830.44	-0.01	0.79	0.27	0.24	131.5	0.53	0.04	1692.9	0.52	79.6	46.8	0.51	0.23	41.1	23.9	1.50
36	0.46	0.27	4.15	1523.4	25.37	0.07	182.4	9.4	0.62	3.44	2.66	696.21	0.03	0.88	0.29	0.21	106.5	0.62	0.11	1550.6	0.38	63.8	43.9	0.50	0.22	39.8	24.4	1.54
37	0.42	0.75	7.24	5967.7	13.42	0.06	163.3	13.5	1.08	4.89	4.63	1148.25	0.09	0.85	0.37	0.30	250.3	0.70	0.06	2319.9	2.92	137.0	50.3	0.57	0.20	45.1	37.6	2.20
38	0.30	0.97	11.2	12301.8	10.7	0.16	345.8	20.5	1.26	12.5	7.93	2139	0.2	2.55	0.5	0.58	323.7	0.09	0.09	2446.1	6.6	299.5	44.5	0.6	0.29	72.8	117.2	3.54
39	0.40	1.35	4.4	1624.1	11.5	0.07	224.3	8.7	0.66	4.3	3.09	890	0.1	0.74	0.3	0.28	96.9	0.6	0.05	2230.2	2.3	110.7	35.8	0.2	0.26	49.9	33.7	1.40
40	0.42	0.83	3.1	1519.8	15.8	0.04	183.3	7.0	0.60	3.0	2.32	813	0.1	0.45	0.2	0.24	85.3	0.4	0.04	1834.8	1.1	99.0	31.6	0.3	0.24	46.8	20.4	1.05
41	0.36	7.28	4.3	4867.0	12.7	0.05	218.3	10.2	0.82	4.3	3.35	1219	0.1	0.64	0.2	0.34	148.0	0.5	0.05	2318.7	2.6	164.1	37.5	0.4	0.27	54.9	29.2	1.67
42	0.29	7.78	7.5	13665.1	10.6	0.13	292.9	13.6	0.77	7.5	4.67	1265	1.0	1.70	0.4	0.34	180.8	0.7	0.05	2724.8	6.6	209.7	40.6	0.4	0.29	55.4	59.6	2.19
43	0.43	1.23	3.6	865.9	14.4	0.08	211.0	7.6	0.47	3.0	2.63	648	0.0	0.89	0.2	0.19	46.1	0.5	0.03	2121.7	1.2	100.1	34.1	0.3	0.28	34.7	25.6	1.04
44	0.40	2.56	3.3																									

Tablo H.5. K-16 (Kuarzhan-mekan kaya) örneğine ait element konsantrasyonları

Döngü	AlmanSu	Ag	Al	As	Ba	Be	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	Pb	Rb	Se	Sb	Sn	Str	Ti	V	Zn	
L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	mg/L	µg/L	µg/L	µg/L	mg/L	µg/L	mg/L	µg/L	mg/L	mg/L	mg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	
0	0.13	0.05	248.20	547.20	na	31.24	380.60	652.40	2.19	2.33.20	322.50	130.80	17.5	178.40	22.10	15.10	1.45	6.07	1.20	137.40	7.50	79.87	10.88	0.25	0.42	67.69	18.01	79.08	
1	0.47	0.03	216.50	102.50	na	28.69	373.50	570.70	2.12	115.70	373.90	34.42	0.01	140.30	204.90	16.87	<0.01	2.06	1.39	32.86	4.30	78.14	2.51	0.07	0.45	53.16	1.90	83.73	
2	0.48	0.01	96.71	72.49	na	17.96	412.80	279.10	0.97	50.54	167.80	31.84	0.03	44.82	88.88	6.64	<0.01	1.55	0.85	18.01	2.37	59.04	2.09	0.02	0.45	42.30	2.73	33.61	
3	0.49	0.01	66.72	39.60	na	9.88	410.30	130.10	0.43	24.78	72.19	68.04	0.03	22.84	66.15	4.32	<0.01	1.68	0.48	10.79	1.13	36.51	1.36	<0.01	0.37	35.04	3.45	17.05	
4	0.49	0.04	48.97	22.40	na	3.77	400.00	63.49	0.23	17.44	44.33	37.45	0.07	15.27	59.16	2.86	<0.01	1.79	0.31	7.76	0.90	26.37	1.02	<0.01	0.33	29.57	1.89	9.37	
5	0.49	0.04	32.77	12.17	na	3.23	317.87	37.76	0.13	4.24	29.19	36.81	0.01	12.60	46.37	2.07	0.03	1.65	0.24	3.12	1.07	14.32	0.37	<0.01	0.22	14.18	0.47	3.34	
6	0.49	0.03	27.39	7.68	na	2.84	329.11	24.08	0.09	2.80	21.87	24.60	<0.01	9.12	45.22	1.58	0.03	1.89	0.15	3.37	0.43	12.34	0.34	<0.01	0.22	13.02	0.19	3.59	
7	0.49	0.03	25.68	7.04	na	1.85	369.80	18.78	0.07	1.88	17.51	18.17	<0.01	9.25	41.49	1.35	0.02	1.37	0.14	4.05	0.47	11.93	0.31	<0.01	0.24	12.74	0.09	2.65	
8	0.49	0.02	18.49	6.34	na	1.43	344.54	12.20	0.05	1.43	13.03	13.66	<0.01	10.43	37.21	1.12	0.02	2.55	0.10	3.48	0.50	12.37	0.27	<0.01	0.22	14.56	0.05	1.88	
9	0.49	0.02	15.90	5.62	na	1.51	348.55	9.74	0.04	0.98	9.86	10.45	<0.01	7.77	32.99	0.93	0.02	1.29	0.11	3.13	0.50	11.83	0.26	<0.01	0.21	15.49	0.03	1.34	
10	0.49	0.01	14.25	6.49	na	5.28	0.66	350.53	8.03	0.04	0.79	8.84	7.24	<0.01	9.02	32.16	0.86	0.02	3.13	0.62	11.61	0.39	<0.01	0.22	14.81	<0.01	1.13		
11	0.50	0.02	12.06	6.74	na	5.89	0.39	344.87	6.66	0.04	0.61	7.13	8.46	<0.01	8.70	31.87	0.84	0.02	1.55	0.07	3.08	0.71	12.07	0.36	<0.01	0.22	14.13	0.02	0.91
12	0.50	0.02	10.79	6.10	na	5.68	0.61	353.29	6.10	0.04	0.54	6.26	5.62	<0.01	12.73	33.24	0.85	0.02	1.92	0.07	2.55	0.75	12.66	0.30	<0.01	0.22	15.16	<0.01	0.88
13	0.50	0.01	9.16	5.72	na	5.92	0.30	363.11	5.41	0.03	0.46	5.10	6.17	<0.01	11.93	31.60	0.79	0.02	2.11	0.07	2.50	0.88	12.35	0.30	<0.01	0.22	17.59	<0.01	0.71
14	0.50	0.01	8.24	6.48	na	6.61	0.58	353.99	4.84	0.03	0.68	4.67	5.43	<0.01	12.16	31.41	0.77	0.03	1.43	0.08	3.51	1.06	13.51	0.38	<0.01	0.22	20.06	0.02	0.61
15	0.49	0.01	7.25	5.23	na	6.70	0.64	351.16	4.86	0.03	0.97	4.23	4.91	<0.01	14.31	32.12	0.76	0.03	1.71	0.06	2.01	1.34	16.73	0.41	<0.01	0.22	23.82	0.03	0.58
16	0.50	0.09	6.70	5.54	na	7.26	0.66	316.37	4.41	0.03	0.44	3.36	2.22	<0.01	31.48	7.74	0.04	1.76	0.07	2.90	1.68	17.10	0.58	<0.01	0.25	26.00	<0.01	0.86	
17	0.50	0.49	5.48	5.66	na	6.78	0.50	317.96	3.69	0.03	0.95	2.97	1.94	0.16	5.16	29.32	0.68	0.05	1.79	0.06	2.20	1.61	14.13	0.58	0.26	25.25	24.79	<0.01	0.76
18	0.50	0.11	4.49	5.79	na	8.14	0.38	303.19	3.49	0.03	0.76	2.38	1.68	0.21	4.37	26.97	0.62	0.24	1.69	0.05	2.56	1.68	14.24	0.66	0.18	24.24	25.13	<0.01	0.69
19	0.50	0.07	4.17	5.72	na	6.90	0.38	310.71	3.43	0.03	0.47	2.39	1.45	0.12	4.92	27.27	0.62	0.08	1.64	0.05	2.57	1.76	12.52	0.61	<0.01	0.24	24.72	<0.01	0.67
20	0.50	0.20	4.78	5.15	na	7.49	0.46	316.31	3.89	0.03	0.93	2.67	1.16	0.13	5.58	32.04	0.73	0.10	1.90	0.06	1.92	2.06	13.90	0.50	<0.01	0.26	24.69	<0.01	0.85
21	0.50	0.11	4.38	5.93	na	7.41	0.42	311.56	4.26	0.03	0.08	2.81	1.77	0.08	6.01	35.55	0.83	0.09	1.87	0.06	2.21	2.06	15.90	0.50	<0.01	0.26	25.71	<0.01	0.85
22	0.50	0.70	4.20	5.76	na	7.94	0.38	316.95	4.18	0.03	0.12	2.63	2.27	0.15	5.66	34.99	0.79	0.09	1.75	0.06	1.90	2.11	15.40	0.56	<0.01	0.26	26.13	<0.01	0.82
23	0.49	0.02	4.25	5.61	na	7.08	0.36	312.43	3.75	0.03	0.33	2.32	2.27	0.17	4.80	30.59	0.68	0.12	1.82	0.05	2.55	2.09	13.05	0.56	<0.01	0.25	25.40	<0.01	0.72
24	0.49	0.05	3.26	5.11	na	6.16	0.32	310.83	3.38	0.03	0.53	2.14	1.12	0.18	4.27	17.54	0.61	0.12	1.72	0.09	2.55	1.98	13.69	0.32	<0.01	0.27	24.73	0.14	0.49
25	0.49	0.01	3.28	6.56	na	10.40	0.40	336.15	2.90	0.03	0.62	1.81	0.86	0.37	6.42	25.68	0.52	<0.01	1.86	0.07	0.82	2.36	13.23	0.46	<0.01	0.27	24.73	0.14	0.49
26	0.50	<0.01	1.83	4.28	na	8.51	0.27	188.42	1.70	0.01	0.41	1.00	0.21	0.32	3.04	13.22	0.31	<0.01	0.89	0.04	0.59	1.25	7.28	0.23	<0.01	0.14	14.65	0.10	0.29
27	0.50	<0.01	2.13	4.06	na	7.19	0.24	243.31	1.96	0.02	0.45	1.16	0.43	0.28	3.19	16.87	0.37	<0.01	0.95	0.04	0.56	1.29	9.14	0.23	<0.01	0.18	15.22	0.07	0.33
28	0.49	0.05	1.37	3.27	na	8.89	0.18	165.71	1.50	0.01	0.41	0.84	0.15	0.24	2.07	11.29	0.25	<0.01	0.67	0.03	0.79	1.11	6.60	0.29	0.02	0.12	11.70	0.05	0.25
29	0.50	0.02	1.41	2.99	na	7.46	0.21	177.24	1.48	0.01	0.45	0.84	0.28	0.26	2.18	11.71	0.26	<0.01	0.63	0.03	1.05	1.04	6.95	0.21	0.02	0.13	11.63	0.06	0.25
30	0.49	0.01	0.66	3.06	na	7.74	0.10	83.13	0.89	0.01	0.31	0.49	0.04	0.22	1.42	6.50	0.14	<0.01	0.39	0.01	0.89	0.67	3.70	0.16	0.19	0.06	7.00	0.04	0.16
31	0.50	0.02	0.66	2.62	na	7.36	0.13	86.15	0.98	0.01	0.34	0.50	0.14	0.21	1.77	6.84	0.16	<0.01	0.92	0.01	0.80	0.67	3.78	0.16	0.23	0.06	6.73	0.05	0.18
32	0.50	<0.01	0.78	3.19	na	7.64	0.14	106.18	1.10	0.01	0.30	0.59	0.15	0.22	2.30	8.64	0.20	<0.01	0.61	0.02	0.34	0.87	4.31	0.17	0.35	0.08	9.35	0.05	0.21
33	0.45	<0.01	0.22	5.75	na	5.48	0.05	59.52	0.61	0.01	0.22	0.31	<0.01	0.29	1.57	6.57	0.13	<0.01	0.49	0.07	0.41	2.11	3.07	0.14	0.03	0.04	5.95	0.04	0.14
34	0.45	0.01	0.17	9.40	na	6.26	0.08	73.26	0.95	0.01	0.22	0.43	0.02	0.37	1.47	5.50	0.12	<0.01	0.93	0.10	0.37	1.56	2.44	0.15	0.21	0.04	5.88	0.05	0.15
35	0.42	<0.01	0.35	10.91	na	6.26	0.08	73.26	0.95	0.01	0.22	0.43	0.02	0.37	1.47	5.50	0.12	<0.01	0.93	0.10	0.37	1.56	2.44	0.15	0.21	0.04	5.88	0.05	0.15
36	0.27	0.03	2.30	19.47	na	9.51	0.38	330.68	5.57	0.06	0.66	2.57	0.10	1.01	8.75	51.54	1.03	<0.01	0.77	0.05	0.25	2.15	3.81	0.17	1.42	0.06	10.48	0.09	0.23
37	0.48	<0.01	0.64	7.07	na	13.74	0.11	111.35	1.43	0.01	0.11	0.69	0.05	0.39	1.94	9.32	0.21	0.04	0.44	0.03	0.31	1.73	4.20	0.21	0.16	0.09	8.54	0.05	0.24
38	0.44	<0.01	0.42	17.29	na	15.48	0.09	115.10	1.17	0.01	0.11	0.71	<0.01	0.37	2.13	8.47	0.20	<0.01	0.42	0.03	0.27	1.86	3.88	0.24	0.03	0.07	7.81	0.02	0.24
39	0.45	<0.01	0.68	24.63	na	16.23	0.14	159.32	1.63	0.02	0.15	0.97	<0.01	0.29	2.77	9.60	0.26	<0.01	0.42	0.03	0.35	1.82	5.02	0.26	0.04	0.09	10.11	0.03	0.29
40	0.46	<0.01	0.20	5.26	na	12.74	0.06	81.96	0.76	0.01	0.05	0.41	<0.01	0.26	1.31	4.40	0.10	<0.01	0.22	0.01	0.22	0.99	2.49	0.20	0.08	0.04	4.34	0.02	0.13
41	0.30	0.12	1.67	27.51	na	13.18	0.24	297.87	3.59	0.04	0.29	2.13	<0.01	0.55	7.60	17.99	0.66	<0.01	0.75	0.05	0.62	4.99	10.61	0.35	0.13	0.19	14.55	0.07	0.77
42	0.46	0.03	0.22	5.69	na	12.99	0.07	72.05	0.68	0.01	0.08	0.42	0.02	0.24	1.18	4.39													

Tablo H.6. K-17 (Kuarshan-pasa) örneğine ait element konsantrasyonları

Dönüşüm	Altman sivi	Ag	Al	As	Ba	Be	Cu	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	Pb	Rb	Se	Sb	Sn	Sr	Ti	Tl	U	V	Zn
L	µg/L	mg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	mg/L	µg/L	µg/L	µg/L	mg/L	mg/L	mg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L
0	0.33	0.01	3.03	4.11	25.25	124.90	45.12	0.41	0.49	61.23	10.31	47.37	38.96	165.90	2.30	0.33	60.79	0.066	298.60	35.13	298.80	4.24	0.09	2.73	14.12	1.70	13.79	0.16	4.55	
1	0.46	<0.01	0.99	0.74	11.00	66.55	27.49	0.27	-0.1	39.26	1.94	26.70	29.00	101.60	1.95	0.19	8.46	0.070	13.49	22.58	321.70	0.08	0.02	1.88	9.62	1.08	5.56	0.04	4.18	
2	0.48	0.01	0.28	0.56	3.54	39.41	12.30	0.10	<0.1	14.95	0.62	15.21	6.63	49.10	0.95	0.11	8.46	0.024	4.88	11.72	104.10	0.04	<0.01	0.88	3.62	0.53	1.40	0.02	1.86	
3	0.47	0.00	0.06	0.25	1.35	18.81	5.77	0.05	-0.1	5.48	0.19	6.97	1.96	13.62	0.42	0.08	1.98	0.010	3.03	6.71	49.83	0.03	<0.01	0.41	1.89	0.32	0.35	<0.01	0.78	
4	0.46	0.00	0.02	0.32	0.73	13.07	4.44	0.03	-0.1	4.10	0.09	5.19	1.32	13.62	0.32	0.07	0.78	0.008	2.32	6.28	41.40	0.03	<0.01	0.30	1.36	0.33	0.15	<0.01	0.60	
5	0.40	nd	0.01	0.53	0.16	17.60	5.11	0.03	0.16	2.75	0.01	6.93	1.35	17.40	0.39	0.09	1.01	0.015	0.82	9.85	65.70	0.02	<0.01	0.29	2.34	0.53	0.01	0.05	0.75	
6	0.42	nd	<0.0005	0.57	0.08	13.00	4.24	0.03	0.20	1.80	0.00	5.39	1.15	15.20	0.36	0.11	0.70	0.008	0.40	7.63	66.60	0.02	<0.01	0.39	1.99	0.46	0.01	0.06	0.60	
7	0.40	nd	0.00	0.98	0.21	22.10	7.58	0.05	0.19	4.52	0.15	6.94	1.08	24.00	0.57	0.18	0.67	0.012	1.05	9.29	87.50	0.05	<0.01	0.48	2.78	0.65	0.04	0.06	1.15	
8	0.44	nd	0.07	1.05	2.26	25.80	12.90	0.06	<0.01	17.70	0.32	5.07	0.60	30.30	0.84	0.01	0.27	0.014	3.38	5.92	52.40	0.02	<0.01	0.54	3.08	0.51	0.98	0.05	2.02	
9	0.44	nd	0.16	1.05	3.61	23.60	14.70	0.06	0.05	26.00	0.70	3.68	0.47	28.40	0.87	0.01	0.27	0.014	3.01	4.12	34.60	0.02	1.12	0.47	3.14	0.42	1.69	0.06	2.35	
10	0.43	nd	0.44	1.48	8.87	57.90	36.60	0.11	<0.01	66.50	1.70	7.48	1.26	63.60	1.82	0.04	0.50	0.025	2.25	8.57	66.70	0.03	0.03	1.08	6.66	0.83	4.15	0.06	5.80	
11	0.43	0.01	0.21	1.27	11.55	7.69	19.20	14.59	0.06	0.12	36.87	1.27	4.35	24.85	1.01	0.02	0.28	0.013	1.51	4.60	35.10	0.01	<0.01	0.38	3.92	0.38	1.75	<0.01	2.18	
12	0.38	0.05	0.63	1.87	14.19	13.69	27.03	25.79	0.09	0.14	77.02	2.40	4.96	2.41	36.23	1.70	0.02	0.43	0.020	2.10	5.32	47.81	0.02	0.03	0.56	6.21	0.43	3.36	<0.01	3.73
13	0.42	0.01	0.13	0.59	7.84	4.30	11.19	10.01	0.03	<0.01	30.52	0.92	2.29	1.04	15.30	0.71	0.02	0.19	0.007	1.54	1.76	19.00	0.01	0.01	0.20	2.42	0.17	0.97	<0.01	1.50
14	0.40	0.02	1.32	1.89	9.65	11.77	28.23	28.82	0.08	0.10	97.12	3.63	4.87	1.59	40.25	2.04	0.03	0.31	0.018	2.14	4.76	42.63	0.02	0.03	0.49	6.26	0.48	2.71	<0.01	5.34
15	0.47	0.01	0.66	1.47	5.00	5.12	12.14	13.69	0.03	<0.01	60.36	2.10	3.33	0.79	23.79	1.17	0.01	0.16	0.007	1.03	2.44	17.35	0.01	<0.01	0.24	3.01	0.31	1.29	<0.01	2.53
16	0.48	0.06	0.62	1.83	3.86	3.84	10.89	13.55	0.03	1.71	49.09	1.49	2.57	0.52	20.44	1.06	<0.01	0.29	0.011	1.59	2.44	14.42	0.03	<0.01	0.20	3.73	0.23	0.83	<0.01	2.29
17	0.47	0.11	0.57	1.20	4.82	2.62	7.76	11.08	0.03	1.60	40.66	1.21	1.59	0.28	17.31	0.92	<0.01	0.21	0.006	1.44	1.50	11.19	0.02	<0.01	0.14	3.30	0.15	0.61	<0.01	1.87
18	0.41	0.07	1.21	1.88	2.66	3.67	11.09	16.94	0.04	1.27	61.20	2.65	1.69	0.39	25.89	1.33	<0.01	0.29	0.011	1.38	1.87	15.58	0.03	<0.01	0.20	4.86	0.21	0.81	<0.01	2.85
19	0.45	0.07	1.16	2.52	1.98	3.93	12.14	21.22	0.05	1.31	73.41	3.02	1.89	0.47	27.36	1.65	<0.01	0.32	0.023	3.13	2.48	19.97	0.31	<0.01	0.22	5.43	0.29	0.91	<0.01	3.58
20	0.44	0.09	1.65	1.77	0.54	3.48	10.55	17.60	0.04	1.34	62.97	2.63	1.18	0.30	25.61	1.34	<0.01	0.19	0.014	1.54	1.60	15.23	0.02	<0.01	0.19	5.24	0.19	0.83	<0.01	2.86
21	0.45	0.82	1.89	2.22	0.25	3.94	11.74	23.89	0.05	1.39	85.71	4.30	1.21	0.55	29.25	1.75	<0.01	0.30	0.013	1.60	2.57	19.56	0.04	<0.01	0.20	6.48	0.35	1.04	<0.01	3.90
22	0.44	0.08	2.00	2.07	<0.1	3.60	9.32	21.06	0.05	1.39	82.72	3.82	0.90	0.40	24.85	1.56	<0.01	0.24	0.013	1.22	1.68	13.51	0.05	<0.01	0.15	5.72	0.25	0.84	<0.01	3.56
23	0.37	0.08	2.86	4.02	2.02	5.63	16.18	31.97	0.07	1.61	123.82	6.92	1.56	1.02	38.05	2.39	<0.01	0.39	0.018	0.85	2.97	21.66	0.04	<0.01	0.25	8.57	0.36	1.33	<0.01	3.16
24	0.40	0.08	0.28	0.59	<0.1	0.83	4.22	5.27	0.01	2.01	18.94	0.96	0.51	0.28	7.77	0.44	<0.01	0.15	0.005	1.09	0.65	4.47	0.24	<0.01	0.07	1.76	0.06	0.17	<0.01	0.85
25	0.40	<0.01	0.96	1.12	<0.1	1.38	9.56	10.83	0.02	-0.01	56.56	1.49	0.61	0.37	23.21	0.97	<0.01	0.13	0.005	0.28	1.53	9.75	0.22	0.03	0.11	2.54	0.23	0.43	<0.01	2.59
26	0.39	0.01	0.60	0.94	<0.1	1.24	9.07	11.14	0.02	-0.01	52.22	1.02	0.80	0.34	23.07	0.98	<0.01	0.17	0.005	0.18	2.06	11.79	0.02	0.01	0.10	2.52	0.29	0.30	<0.01	2.59
27	0.41	<0.01	1.35	0.78	<0.1	1.59	9.93	13.90	0.03	<0.1	67.46	0.85	0.89	0.32	28.89	1.22	<0.01	0.15	0.005	0.19	2.05	15.23	0.01	0.01	0.11	3.03	0.33	0.54	<0.01	3.25
28	0.45	<0.01	0.63	0.84	<0.1	1.36	6.07	9.41	0.02	-0.01	46.57	0.79	0.64	0.23	18.50	0.77	<0.01	0.09	0.005	0.52	1.37	10.28	0.02	<0.01	0.07	1.97	0.21	0.42	<0.01	2.16
29	0.45	<0.01	0.88	1.10	<0.1	1.77	7.89	12.88	0.03	-0.01	67.96	1.37	0.70	0.29	25.00	1.04	<0.01	0.10	0.005	0.65	1.63	13.19	0.02	0.02	0.10	2.78	0.29	0.53	<0.01	3.16
30	0.44	<0.01	1.32	1.28	<0.1	1.66	6.55	12.21	0.03	-0.01	66.13	1.64	0.48	0.12	23.20	0.94	<0.01	0.07	0.005	0.59	1.38	11.20	0.01	0.03	0.08	2.60	0.26	0.52	<0.01	2.91
31	0.39	<0.01	1.54	1.69	<0.1	2.01	10.25	17.39	0.04	-0.01	112.98	3.14	0.58	0.21	35.84	1.35	<0.01	0.12	0.005	0.41	2.14	15.21	0.01	0.19	0.10	4.00	0.45	0.74	<0.01	4.86
32	0.42	0.03	1.61	1.49	<0.1	1.96	7.02	14.79	0.03	-0.01	88.43	2.25	0.47	0.20	27.73	1.10	<0.01	0.12	0.005	0.62	1.29	13.04	0.01	0.04	0.07	3.37	0.26	0.64	<0.01	3.76
33	0.38	<0.01	0.58	1.13	<0.1	1.33	6.00	12.88	0.03	-0.01	68.56	1.92	0.63	0.19	22.08	0.94	<0.01	0.13	0.005	0.24	1.37	13.15	0.01	0.03	0.06	2.83	0.26	0.33	<0.01	3.03
34	0.37	0.01	0.63	0.98	<0.1	1.26	6.12	12.72	0.03	-0.01	65.85	1.21	0.91	0.29	21.15	0.91	<0.01	0.18	0.005	0.32	1.93	13.35	0.01	0.02	0.06	2.97	0.35	0.30	<0.01	3.06
35	0.44	<0.01	1.16	1.50	<0.1	1.97	5.78	12.94	0.03	-0.01	79.28	1.38	0.90	0.29	22.62	0.92	<0.01	0.15	0.005	0.43	1.42	14.42	0.01	0.13	0.06	3.11	0.29	0.61	<0.01	3.22
36	0.37	0.01	1.25	1.93	<0.1	1.84	5.85	13.34	0.03	-0.01	84.81	2.16	1.06	0.30	24.31	0.96	<0.01	0.18	0.005	0.32	1.68	14.60	0.01	0.23	0.06	3.49	0.33	0.50	<0.01	3.44
37	0.37	0.06	0.66	1.69	<0.1	1.35	4.76	10.68	0.02	-0.01	57.58	1.27	1.07	0.27	16.49	0.73	<0.01	0.18	0.005	0.38	1.80	13.04	0.01	<0.01	0.05	2.83	0.31	0.31	<0.01	2.33
38	0.41	0.21	1.97	1.92	1.38	1.36	6.48	14.88	0.03	-0.01	100.18	2.48	0.85	0.19	16.09	1.74	0.04	0.13	0.005	0.63	1.85	17.20	0.01	0.25	0.05	4.09	0.45	0.71	<0.01	3.84
39	0.38	0.03	0.08	0.41	1.56	0.28	2.41	5.53	0.01	-0.01	24.50	0.55	0.35	<0.01	6.06	0.49	0.06	0.07	0.002	0.48	0.83	6.61	0.01	0.08	0.02	1.65	0.16	0.09	<0.01	1.05
40	0.38	0.10	1.62	1.82	2.07	1.52	6.74	15.60	0.03	-0.01	106.58	2.73	0.90	0.16	18.01	1.79	0.06	0.14	0.005	0.47	1									

Tablo H.7. K-18 (Murgul-dekapaj) örneğine ait element konsantrasyonları

Döngü	Ahram Sü	Ag	Al	As	Ba	Bc	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	Pb	Rb	Sr	Sr	Sr	Ti	V	Zn	
0	0.31	<0.001	0.04474	0.88	na	0.76	369.70	132.00	0.25240	<0.1	93.89	1.43	19.54	19.82	279.90	19.88	<0.01	9.47	0.07188	8.14	4.64	6.14	0.03	2.69	38.10	<0.01	14.69	
1	0.48	<0.001	0.07395	0.31	na	<0.001	340.20	18.30	0.04235	<0.1	1.13	1.52	13.04	5.94	190.30	10.61	1.85	5.64	0.03996	1.91	3.75	51.29	0.37	2.00	31.34	<0.01	1.14	
2	0.48	<0.001	0.00933	<0.01	na	<0.001	261.70	13.38	0.01731	<0.1	1.00	1.41	7.04	4.10	104.50	5.93	0.97	2.50	0.02411	3.40	2.81	30.46	0.24	<0.01	1.60	26.06	<0.01	0.80
3	0.48	0.02	0.09633	<0.01	na	<0.001	223.20	4.49	0.00543	<0.1	0.13	1.00	7.04	1.91	82.47	4.39	2.14	1.03	0.01661	1.68	1.80	8.00	0.27	<0.01	0.99	16.61	<0.01	0.17
4	0.48	<0.001	0.13880	<0.01	na	<0.001	157.40	3.53	0.00374	<0.1	0.16	0.95	6.06	1.53	45.07	2.58	2.17	1.82	0.01277	0.85	1.91	4.44	0.14	0.04	0.79	12.84	<0.01	0.16
5	0.48	<0.001	0.02880	0.42	na	<0.01	109.00	1.07	0.00150	0.85	0.05	1.17	4.59	0.66	33.40	1.20	2.88	1.20	0.00722	0.23	1.20	9.17	0.07	<0.01	0.46	8.53	0.02	0.06
6	0.48	<0.001	<0.005	0.37	na	<0.01	67.90	0.57	0.00074	1.04	0.04	0.57	3.02	0.44	15.60	0.49	2.90	1.03	0.00443	0.12	0.91	5.41	0.08	<0.01	0.41	7.04	0.01	0.03
7	0.48	<0.001	0.29200	0.35	na	<0.01	49.90	0.40	0.00049	1.04	0.04	0.45	2.40	0.34	11.30	0.27	2.82	0.52	0.00356	0.04	0.79	5.39	0.06	<0.01	0.23	3.81	0.01	0.02
8	0.49	<0.001	<0.005	0.29	na	<0.01	35.20	0.36	0.00035	0.39	0.03	0.37	2.54	0.34	8.15	0.17	2.37	1.88	0.00259	0.07	0.64	4.59	0.05	<0.01	0.17	2.67	0.02	0.02
9	0.49	<0.001	0.01100	0.36	na	<0.01	26.20	0.26	0.00023	0.34	0.02	0.26	1.73	0.24	6.27	0.09	2.69	1.35	0.00230	0.11	0.72	5.15	0.06	<0.01	0.14	2.29	<0.01	0.01
10	0.49	0.004	0.00034	0.30	23.76	<0.01	26.71	0.27	0.00013	0.27	0.01	0.09	2.22	0.36	4.97	0.05	2.62	0.16	0.00129	0.02	0.68	1.06	0.08	0.09	0.11	1.20	<0.01	0.01
11	0.49	0.004	0.00005	0.43	20.69	<0.01	20.12	0.20	0.00009	0.33	0.01	0.07	1.86	0.32	4.36	0.03	2.23	0.14	0.00100	0.09	0.56	0.72	0.10	0.01	0.09	0.91	<0.01	0.01
12	0.49	0.04	0.00033	0.27	19.56	<0.01	17.30	0.19	0.00008	0.57	0.01	0.06	1.84	0.32	3.67	0.02	2.10	0.16	0.00109	0.04	0.55	0.74	0.07	0.04	0.08	0.88	<0.01	0.01
13	0.49	0.01	0.00290	0.34	25.09	<0.01	23.37	0.23	0.00010	0.58	0.01	0.09	1.82	0.44	5.19	0.02	3.19	0.20	0.00118	0.05	0.82	1.06	0.09	0.03	0.12	1.18	<0.01	0.02
14	0.49	0.09	0.00871	0.20	18.89	<0.01	13.34	0.15	0.00006	0.30	0.01	0.05	1.46	0.39	3.04	0.01	2.17	0.17	0.00094	0.07	0.49	0.79	0.07	<0.01	0.07	0.63	<0.01	0.02
15	0.49	0.08	0.01083	0.17	18.72	<0.01	14.76	0.21	0.00010	1.63	0.01	<0.01	0.96	0.25	2.79	0.01	1.71	0.26	0.00986	1.04	0.45	0.55	0.21	<0.01	0.06	1.14	<0.01	0.05
16	0.49	0.39	0.01099	0.17	15.56	<0.01	10.18	0.12	0.00006	1.59	0.01	<0.01	0.71	0.08	2.25	0.01	1.49	0.21	0.00124	0.55	0.44	0.84	0.08	<0.01	0.04	0.99	<0.01	0.03
17	0.48	0.22	0.00418	0.16	21.39	<0.01	18.03	0.18	0.00010	1.64	0.01	<0.01	1.06	0.15	3.82	0.01	2.49	0.29	0.00434	0.38	0.59	1.11	0.10	<0.01	0.08	1.52	<0.01	0.05
18	0.48	0.45	0.00342	2.59	14.97	<0.01	17.88	0.18	0.00008	1.78	0.01	<0.01	0.90	0.22	3.48	0.01	1.88	0.32	0.00429	0.56	0.50	1.36	0.14	<0.01	0.07	1.31	<0.01	0.05
19	0.49	0.21	0.05997	2.72	14.16	<0.01	15.97	1.01	0.00027	1.79	0.01	<0.01	0.92	0.15	3.45	0.01	1.99	0.25	0.00421	1.48	0.41	1.36	0.09	<0.01	0.07	1.31	<0.01	0.27
20	0.49	0.55	0.39704	0.49	11.68	<0.01	8.05	0.12	0.00013	1.54	0.05	0.12	0.60	0.22	1.75	0.01	0.50	0.15	0.00335	0.97	0.65	1.14	0.05	<0.01	0.03	2.68	0.35	0.04
21	0.48	0.13	0.02304	2.68	21.03	<0.01	21.54	0.23	0.00012	1.72	0.02	0.36	1.02	0.13	5.08	0.01	0.74	0.32	0.00503	0.57	0.57	1.03	0.25	<0.01	0.10	2.34	0.18	0.03
22	0.47	0.14	0.00531	0.15	16.46	<0.01	13.48	0.15	0.00009	1.41	0.01	<0.01	0.90	0.12	3.03	0.004	1.86	0.28	0.00397	0.42	0.38	1.27	0.25	<0.01	0.06	2.00	<0.01	0.03
23	0.45	0.13	0.00571	0.17	14.21	<0.01	17.62	0.51	0.00008	1.43	0.01	<0.01	0.89	0.30	4.09	0.003	2.11	0.22	0.00360	0.36	0.48	1.48	0.07	<0.01	0.08	1.89	<0.01	0.03
24	0.44	<0.01	0.00362	0.22	13.93	<0.01	31.86	0.27	0.00010	0.14	0.01	<0.01	0.79	0.21	5.17	0.002	2.23	0.17	0.00184	0.01	0.73	0.88	0.09	0.03	0.10	1.53	<0.01	0.02
25	0.35	<0.01	0.00411	0.53	26.85	<0.01	119.17	1.01	0.00027	0.33	0.01	<0.01	1.18	0.48	18.83	0.02	5.09	0.50	0.00383	0.06	1.78	2.48	0.16	0.07	0.35	5.07	0.02	0.04
26	0.49	<0.01	0.00207	0.12	20.11	<0.01	17.60	0.29	0.00005	0.31	0.01	<0.01	0.47	0.20	3.00	0.01	1.05	0.12	0.00106	0.06	0.30	0.36	0.10	0.03	0.05	0.70	0.01	0.03
27	0.49	<0.01	0.01176	0.24	16.62	<0.01	11.27	0.18	0.00013	0.66	0.01	<0.01	0.34	0.13	2.11	0.00	0.74	0.11	0.00043	0.10	0.17	0.33	0.04	0.95	0.04	0.52	0.02	0.01
28	0.49	<0.01	0.00686	0.27	21.42	<0.01	19.52	0.29	0.00007	0.48	0.01	<0.01	0.49	0.34	3.68	0.01	0.07	0.14	0.00024	0.22	0.19	0.33	0.05	0.50	0.06	0.79	0.02	0.02
29	0.49	<0.01	0.00212	0.38	23.26	<0.01	19.52	0.29	0.00006	0.41	0.01	<0.01	0.63	0.28	3.93	0.01	0.15	0.14	0.00064	0.10	0.24	0.30	0.06	0.50	0.07	0.83	0.02	0.02
30	0.49	<0.01	0.02721	0.10	14.63	<0.01	12.64	0.16	0.00004	0.27	0.00	<0.01	0.38	0.22	2.46	0.00	1.09	0.09	0.00040	0.14	0.22	0.32	0.04	0.40	0.04	0.54	<0.01	0.01
31	0.48	<0.01	0.00407	0.22	21.17	<0.01	28.81	0.35	0.00009	0.37	0.01	<0.01	0.66	0.23	5.69	0.01	1.96	0.17	0.00111	0.06	0.37	0.56	0.07	0.48	0.09	1.26	<0.01	0.01
32	0.48	<0.01	0.00449	0.10	12.29	<0.01	12.73	0.15	0.00003	0.39	0.00	<0.01	0.37	0.16	2.56	0.00	1.18	0.08	0.00038	0.02	0.25	0.30	0.04	0.86	0.04	0.58	<0.01	0.01
33	0.47	<0.01	0.00689	0.07	11.43	<0.01	16.34	0.21	0.00005	0.25	0.01	<0.01	0.38	0.20	3.40	0.00	1.03	0.10	0.00373	0.87	0.25	0.40	0.04	0.87	0.05	0.80	<0.01	0.02
34	0.48	<0.01	0.00378	0.14	14.30	<0.01	37.11	0.52	0.00012	0.37	0.01	<0.01	0.53	0.29	7.28	0.01	1.49	0.14	0.00136	0.03	0.22	0.79	0.06	0.35	0.11	1.78	<0.01	0.05
35	0.48	0.05	0.00223	1.34	15.12	<0.01	38.65	0.50	0.00009	0.34	0.01	<0.01	0.58	0.33	7.50	0.01	1.81	0.17	0.00162	0.05	0.21	0.82	0.12	0.90	0.12	1.93	<0.01	0.05
36	0.48	0.05	0.00223	1.34	15.12	<0.01	38.65	0.50	0.00009	0.34	0.01	<0.01	0.58	0.33	7.50	0.01	1.81	0.17	0.00162	0.05	0.21	0.82	0.12	0.90	0.12	1.93	<0.01	0.05
37	0.46	<0.01	0.00232	0.15	17.31	<0.01	28.80	0.45	0.00010	0.35	0.01	<0.01	0.52	0.31	5.88	0.01	1.60	0.15	0.00154	0.02	0.19	0.64	0.05	2.16	0.09	1.37	<0.01	0.05
38	0.45	<0.01	0.00092	0.27	15.4	<0.01	24.99	0.40	0.00012	0.2	0.01	<0.01	0.42	0.11	5.00	0.01	0.76	0.11	0.002	0.19	0.20	0.69	0.04	1.16	0.07	1.3	0.07	0.04
39	0.46	<0.01	0.00121	0.10	11.4	<0.01	21.84	0.44	0.00010	0.3	0.01	<0.01	0.38	0.09	4.52	0.01	0.52	0.10	0.001	0.18	0.17	0.52	0.03	1.13	0.06	1.2	0.09	0.05
40	0.45	<0.01	0.00134	0.25	12.4	<0.01	25.92	0.70	0.00009	0.3	0.02	<0.01	0.36	0.17	5.70	0.01	0.47	0.10	0.001	0.19	0.10	0.69	0.03	1.03	0.07	1.3	0.10	0.09
41	0.45	0.083	0.00184	0.10	9.0	<0.01	18.77	0.53	0.00009	0.3	0.02	<0.01	1.22	0.25	3.93	0.01	0.48	0.08	0.004	0.22	0.12	0.56	0.03	0.77	0.05	1.1	0.11	0.07
42	0.35	0.019	0.00091	0.42	27.5	<0.01	99.95	2.12	0.00032	0.3	0.04	<0.01	1.22	0.04	19.84	0.06	2.22	0.31	0.0005	0.25	0.41	3.91	0.08	0.99	0.29	5.3	0.14	0.1

Tablo H.8. K-19 (Çarkbaşı-cevherli dasit) örneğine ait element konsantrasyonları

Döğüş	Alman sül	Ag	Al	As	Ba	Ba	Be	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	Pb	Rb	Sc	Sb	Sn	Sr	Ti	U	V	Zn		
μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L	μg/L		
0	<0.001	0.043	<0.01	0.050	0.048	0.06	0.06	359.8	12.3	0.6	3.98	0.35	1.43	71.1	28.9	1254.0	55.9	2.19	11.87	0.427	0.31	39.55	45.83	4.81	0.01	2.03	83.83	1.07	0.495	0.14	8.60	
1	<0.001	0.050	<0.01	0.050	0.048	0.06	0.06	476.5	0.2	0.10	7.20	0.009	1.92	36.08	8.06	100.8	4.1	4.7	2.6	0.031	0.62	28.19	2.82	0.27	<0.01	1.96	28.19	0.5	0.505	<0.01	0.032	
2	<0.001	0.050	<0.01	0.050	0.048	0.06	0.06	441.20	0.16	0.0074	4.82	0.008	2.08	36.08	8.06	100.8	4.1	3.32	3.15	2.15	0.157	0.22	19.67	<0.01	0.17	0.02	1.81	28.19	0.36	0.529	<0.01	0.012
3	<0.001	0.050	<0.01	0.050	0.048	0.06	0.06	405.70	0.02	0.0082	7.76	0.009	2.83	34.47	7.50	23.17	2.93	5.84	2.60	0.040	0.40	18.49	<0.01	0.15	0.02	2.04	27.58	0.24	0.525	<0.01	0.011	
4	<0.001	0.047	4.36	<0.01	0.0027	6.56	0.040	210.60	0.11	0.0027	6.56	0.040	1.19	8.95	0.95	12.10	2.0	5.93	1.50	0.006	0.10	10.09	<0.01	0.13	<0.01	0.82	12.81	0.18	0.227	<0.01	0.089	
5	<0.001	0.018	0.40	<0.01	0.0010	0.69	0.006	74.40	0.05	0.0010	0.69	0.006	1.19	8.95	0.95	12.10	2.0	5.93	1.50	0.006	0.10	10.09	<0.01	0.13	<0.01	0.82	12.81	0.18	0.227	<0.01	0.089	
6	<0.001	0.005	0.16	<0.01	0.0004	0.70	0.004	447.0	0.12	0.0004	0.70	0.004	0.36	5.17	0.50	12.30	0.12	5.38	0.93	0.009	0.10	4.70	1.95	0.06	<0.01	0.22	4.63	0.07	0.013	0.05	0.004	
7	<0.001	0.070	0.40	<0.01	0.0004	1.52	0.009	203.00	0.20	0.0016	1.52	0.009	1.35	11.40	1.23	57.40	0.57	6.56	1.70	0.009	0.11	7.48	1.35	0.09	<0.01	0.62	10.60	0.14	0.110	0.05	0.002	
8	<0.001	0.048	0.31	<0.01	0.0005	2.01	0.003	41.30	0.06	0.0005	2.01	0.003	0.20	6.39	0.83	18.00	0.11	8.57	1.25	0.003	0.04	3.72	0.47	0.17	<0.01	0.26	2.59	0.07	0.020	0.03	0.002	
9	<0.001	0.050	0.27	<0.01	0.0004	0.15	0.002	26.20	0.05	0.0004	0.15	0.002	0.11	5.70	0.71	13.20	0.08	6.66	1.10	0.002	0.07	2.83	0.49	0.07	<0.01	0.20	1.53	0.06	0.013	0.03	0.002	
10	<0.001	0.058	0.23	<0.01	0.0004	0.62	0.006	41.70	0.06	0.0004	0.62	0.006	0.24	4.74	0.51	24.50	0.06	6.97	0.93	0.006	0.76	3.71	2.35	0.06	<0.01	0.23	4.76	0.06	0.010	0.04	0.002	
11	<0.001	0.007	0.35	24.74	<0.01	105.80	0.14	0.0011	0.27	0.003	0.54	0.04	7.15	0.87	87.74	0.27	9.29	0.41	0.006	0.05	6.53	4.08	0.11	0.01	0.56	12.30	0.10	0.052	0.04	<0.0001		
12	<0.001	0.009	0.20	20.64	<0.01	59.76	0.09	0.0006	0.07	0.004	0.29	0.04	4.02	0.57	38.89	0.17	6.01	0.26	0.003	0.02	2.64	0.41	0.07	0.02	0.28	5.69	0.03	0.027	<0.01	<0.0001		
13	<0.001	0.008	0.16	11.49	<0.01	24.48	0.05	0.0002	0.22	0.002	0.13	0.02	2.16	0.27	14.50	0.03	5.77	0.15	0.001	0.24	1.60	0.56	0.07	0.08	0.11	2.33	0.05	0.002	<0.01	0.002		
14	<0.001	0.008	0.31	26.69	<0.01	90.94	0.13	0.0008	0.01	0.001	0.38	0.04	5.58	1.06	59.71	0.22	10.04	0.50	0.004	0.01	4.55	0.54	0.09	<0.01	0.41	7.91	0.09	0.059	<0.01	0.002		
15	<0.001	0.015	0.45	40.02	0.01	49.61	0.01	40.33	0.07	0.0004	0.01	0.002	0.17	3.31	0.72	18.11	0.11	5.95	0.28	0.002	0.02	2.13	0.26	0.11	<0.01	0.17	2.90	0.05	0.019	<0.01	<0.0001	
16	<0.001	0.015	0.45	40.02	0.01	49.61	0.01	40.33	0.07	0.0004	0.01	0.002	0.17	3.31	0.72	18.11	0.11	5.95	0.28	0.002	0.02	2.13	0.26	0.11	<0.01	0.17	2.90	0.05	0.019	<0.01	<0.0001	
17	<0.001	0.018	0.51	50.35	0.03	29.20	0.12	0.0004	2.24	0.007	0.03	0.04	2.54	0.68	15.20	0.03	20.81	0.41	0.067	0.87	1.76	1.84	0.08	<0.01	0.24	4.10	0.06	0.020	0.10	0.094		
18	<0.001	0.018	0.51	50.35	0.03	29.20	0.12	0.0004	2.24	0.007	0.03	0.04	2.54	0.68	15.20	0.03	20.81	0.41	0.067	0.87	1.76	1.84	0.08	<0.01	0.24	4.10	0.06	0.020	0.10	0.094		
19	<0.001	0.020	0.38	28.34	<0.01	11.31	0.09	0.0002	2.09	0.011	0.11	0.01	1.75	0.52	5.53	0.03	10.95	0.35	0.004	0.63	1.30	0.93	0.15	<0.01	0.08	0.78	0.03	<0.001	0.13	0.038		
20	<0.001	0.021	0.42	44.84	0.02	22.99	0.14	0.0003	1.87	0.005	0.01	0.01	2.72	0.70	13.04	0.05	18.82	0.49	0.004	0.54	1.92	0.64	0.10	<0.01	0.16	1.77	0.05	0.020	0.12	0.025		
21	<0.001	0.025	0.27	18.38	0.01	26.44	0.12	0.0003	2.22	0.016	0.02	0.02	2.54	0.68	15.20	0.03	20.81	0.41	0.067	0.87	1.76	1.84	0.08	<0.01	0.24	4.10	0.06	0.020	0.10	0.050		
22	<0.001	0.031	0.40	23.39	0.02	44.20	0.20	0.0007	2.39	0.006	0.02	0.02	2.54	0.68	15.20	0.03	20.81	0.41	0.067	0.87	1.76	1.84	0.08	<0.01	0.24	4.10	0.06	0.020	0.10	0.050		
23	<0.001	0.014	0.13	11.24	0.03	12.92	0.13	0.0002	1.33	0.004	0.02	0.02	1.50	0.38	8.49	0.01	22.96	0.34	0.005	0.61	0.97	1.44	0.08	<0.01	0.08	1.58	0.03	0.010	0.15	0.074		
24	<0.001	0.007	0.28	28.22	0.02	72.95	0.33	0.0006	1.99	0.006	0.00	0.00	5.19	0.96	38.70	0.06	70.81	0.73	0.010	0.58	4.93	2.78	0.15	<0.01	0.37	8.84	0.11	0.050	0.12	0.034		
25	<0.001	0.005	0.34	<0.01	<0.01	61.32	0.17	0.0004	0.27	0.001	<0.001	<0.001	4.25	0.85	23.29	0.03	72.93	0.43	0.003	<0.01	5.57	1.53	0.10	0.02	0.24	4.17	0.10	0.020	0.06	0.021		
26	<0.001	0.015	0.34	<0.01	<0.01	54.19	0.21	0.0003	0.49	0.001	<0.001	<0.001	1.87	0.40	10.40	0.02	31.33	0.17	0.001	0.07	2.19	0.68	0.06	<0.01	0.10	1.30	0.05	0.006	0.04	0.006		
27	<0.001	0.014	0.16	<0.01	<0.01	24.93	0.09	0.0002	0.45	0.001	<0.001	<0.001	0.81	0.19	5.30	0.01	14.92	0.10	0.000	<0.01	1.00	0.28	0.05	<0.01	0.04	0.67	0.03	0.001	0.01	0.003		
28	<0.001	0.005	0.11	<0.01	<0.01	11.42	0.05	0.0002	0.18	0.001	<0.001	<0.001	1.50	0.46	10.48	0.02	17.65	0.16	0.001	0.10	2.02	0.58	0.05	<0.01	0.09	1.55	0.04	0.007	0.03	0.002		
29	<0.001	0.008	0.19	<0.01	<0.01	24.19	0.07	0.0002	0.39	0.001	<0.001	<0.001	1.50	0.46	10.48	0.02	17.65	0.16	0.001	0.10	2.02	0.58	0.05	<0.01	0.09	1.55	0.04	0.007	0.03	0.002		
30	<0.001	0.007	0.18	<0.01	<0.01	41.23	0.15	0.0003	0.58	0.001	<0.001	<0.001	2.51	0.74	18.20	0.03	56.82	0.25	0.001	<0.01	3.00	0.96	0.09	0.17	0.15	2.41	0.07	0.013	0.05	0.003		
31	<0.001	0.006	0.25	<0.01	<0.01	43.35	0.23	0.0003	1.05	0.001	<0.001	<0.001	3.37	1.02	19.23	0.03	99.07	0.31	0.003	0.03	4.54	0.86	0.11	0.02	0.17	2.50	0.10	0.015	0.06	0.003		
32	<0.001	0.010	0.25	<0.01	<0.01	34.42	0.27	0.0002	0.75	0.001	<0.001	<0.001	2.65	1.19	14.74	0.02	119.93	0.23	0.001	0.08	1.63	0.66	0.11	0.03	0.14	1.78	0.09	0.010	0.07	0.003		
33	<0.001	0.020	1.17	<0.01	<0.01	16.75	0.09	0.0001	0.56	0.001	<0.001	<0.001	1.23	0.42	7.59	0.01	40.89	0.11	0.001	0.10	1.83	0.45	0.07	0.03	0.07	0.90	0.04	0.002	0.03	0.005		
34	<0.001	0.005	0.40	<0.01	<0.01	46.19	0.45	0.0003	1.19	0.001	<0.001	<0.001	3.00	0.89	19.96	0.02	181.82	0.25	0.002	0.22	4.98	1.17	0.10	0.16	0.19	2.73	0.10	0.013	0.05	0.004		
36	<0.001	0.006	0.30	<0.01	<0.01	37.29	0.45	0.0002	1.42	0.001	<0.001	<0.001	2.49	0.62	15.15	0.01	191.79	0.22	0.002	0.01	4.06	0.91	0.10	0.03	0.16	1.92	0.09	0.008	0.05	0.003		
37	<0.001	0.006	0.25	<0.01	<0.01	23.29	0.25	0.0002	1.31	0.001	<0.001	<0.001	1.70	0.57	12.25	0.02	220.93	0.19	0.001	0.12	3.15	0.53	0.11	0.20	0.12	2.29	0.10	0.010	0.09	0.006		
38	<0.001	0.003	0.29	22.22	0.01	28.08	0.45	0.0002	0.51	0.003	<0.001	<0.001	1.70	0.57	12.25	0.02	220.93	0.19	0.001	0.12	3.15	0.53	0.11	0.20	0.12	2.29	0.10	0.010	0.09	0.006		
39	<0.001	0.008	0.16	10.52	<0.01	12.21	0.22	0.0001	0.34	0.001	<0.001	<0.001																				

Tablo H.9. SD-34 (Atık barajı-flotasyon çamuru) örneğine ait element konsantrasyonları

Dönüştürme	Alman Sü	Ag	Al	As	Ba	Be	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	Pb	Rb	Se	Sb	Sn	St	Ti	V	Zn
L	µg/L	µg/L	mg/L	µg/L	µg/L	µg/L	mg/L	µg/L	mg/L	µg/L	mg/L	mg/L	mg/L	µg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	mg/L	µg/L	µg/L	mg/L
0	0.20	0.11	9,68	9,69	na	12,98	331,30	530,00	2,3530	<0.1	76,62	12,80	44,24	55,68	940,50	47,77	2,80	213,80	0,4043	271,40	18,31	149,20	7,05	<0.01	1,36	49,96	0,21	127,70
1	0.47	0.47	0.02	3,43	na	0.01	387,20	20,78	0.1010	<0.1	0.29	1.05	10,79	5,59	140,50	4,73	8,56	2,82	0.0319	3,29	5,86	25,42	1,35	<0.01	0,67	16,94	0,10	2,29
2	0.48	13,37	0.002	2,40	na	<0.001	410,80	7,38	0.0201	<0.1	0.19	1,25	5,79	2,91	17,06	1,31	15,94	1,53	0.0659	1,58	2,86	2,84	1,57	0.01	0,63	16,71	<0.01	0,48
3	0.49	17,68	0.001	2,40	na	<0.001	25,66	3,66	0.0111	<0.1	0.09	1,26	3,65	2,33	6,29	0,53	27,70	1,83	0.0149	0,55	1,60	2,01	<0.01	0,66	15,10	0,04	0,21	
4	0.49	5,51	<0.0001	1,74	na	<0.001	57,32	0,92	0.0039	<0.1	0.03	0,25	3,15	1,01	6,15	0,22	23,50	1,56	0.0022	4,08	1,22	0,68	1,46	<0.01	0,28	2,26	<0.01	0,08
5	0.49	<0.01	0,44	0,94	na	<0.01	40,00	0,64	0.0023	<0.01	0.01	0,30	4,19	0,49	8,48	0,13	22,50	2,86	0.0018	4,16	0,22	0,46	1,09	<0.01	0,18	1,29	<0.01	0,04
6	0.49	<0.01	<0.005	1,04	na	<0.01	28,60	0,60	0.0027	3,08	0.01	0,02	3,94	0,47	8,25	0,16	30,90	2,21	0.0025	0,19	0,96	0,59	1,12	<0.01	0,20	1,26	0,02	0,06
7	0.49	<0.01	<0.005	1,16	na	<0.01	24,40	0,54	0.0027	1,06	0.01	<0.01	3,75	0,57	9,05	0,18	37,10	1,68	0.0019	0,23	1,07	0,80	1,17	<0.01	0,23	1,34	0,02	0,05
8	0.49	<0.01	0,07	1,01	na	<0.01	25,20	0,57	0.0029	0,63	0.01	0,13	4,15	0,59	10,90	0,21	35,70	2,63	0.0018	0,43	1,09	0,72	1,07	<0.01	0,24	1,26	0,02	0,06
9	0.49	<0.01	0,11	0,88	na	<0.01	21,20	0,46	0.0024	0,14	0.01	0,01	4,09	0,51	10,10	0,20	36,20	2,12	0.0017	0,12	0,97	0,71	0,98	<0.01	0,23	1,26	0,02	0,05
10	0.49	<0.01	0,13	1,15	na	<0.01	19,20	0,51	0.0024	1,08	0.01	0,03	4,24	0,55	10,80	0,21	38,40	2,25	0.0017	0,13	1,17	0,72	1,17	<0.01	0,25	1,15	0,03	0,05
11	0.50	0,05	0,002	1,29	49,69	<0.01	23,21	0,56	0.0029	0,24	0.01	0,12	4,78	1,38	11,26	0,26	40,09	2,72	0.0016	0,16	1,55	0,66	1,18	<0.01	0,27	1,33	0,02	0,08
12	0.50	0,07	0,002	1,22	49,06	<0.01	23,85	0,50	0.0026	0,34	0.01	0,12	4,71	1,32	11,23	0,25	37,92	1,73	0.0029	0,13	1,42	0,72	1,06	0,02	0,26	1,57	0,02	0,07
13	0.50	0,01	0,000	1,12	53,89	<0.01	18,55	0,42	0.0020	0,23	0.01	0,10	4,48	1,22	10,31	0,22	38,72	1,36	0.0013	0,09	1,30	0,75	1,09	<0.01	0,24	1,08	0,02	0,05
14	0.49	0,02	0,002	1,15	60,37	<0.01	17,51	0,53	0.0020	0,31	0.01	0,09	4,29	1,08	10,04	0,22	39,75	1,13	0.0024	0,12	1,26	0,73	1,11	<0.01	0,24	1,03	0,03	0,06
15	0.50	0,00	0,001	1,06	60,81	<0.01	16,35	0,42	0.0014	0,17	0.01	0,09	4,29	1,04	9,95	0,19	39,43	1,39	0.0012	0,11	1,10	0,57	1,02	<0.01	0,23	0,92	0,04	0,04
16	0.50	0,18	0,027	0,81	76,23	<0.01	15,97	0,43	0.0011	2,48	0.01	<0.01	3,36	0,53	9,86	0,19	39,15	0,83	0.0046	0,66	0,97	1,52	1,32	<0.01	0,24	1,24	0,13	0,06
17	0.50	0,26	0,004	0,82	77,23	<0.01	16,02	0,40	0.0010	1,40	0.03	<0.01	2,82	0,55	9,69	0,16	38,75	0,61	0.0059	1,04	0,85	1,42	1,10	<0.01	0,23	1,13	0,15	0,08
18	0.50	0,21	0,004	0,80	78,58	<0.01	15,11	0,42	0.0009	0,95	0.01	<0.01	2,50	0,48	9,37	0,15	36,92	0,49	0.0058	0,53	0,77	1,59	1,14	<0.01	0,22	1,03	0,15	0,07
19	0.50	0,06	0,005	0,53	71,99	<0.01	12,90	0,39	0.0006	<0.1	0.01	<0.01	1,43	0,64	6,99	0,11	31,72	0,37	0.0030	0,40	0,64	0,80	1,10	<0.01	0,20	<0.1	<0.01	0,04
20	0.50	0,07	0,004	0,44	73,16	<0.01	14,45	0,38	0.0006	<0.1	0.01	<0.01	1,38	0,74	7,14	0,10	30,71	0,35	0.0090	0,47	0,60	1,35	6,37	<0.01	0,20	<0.1	<0.01	0,05
21	0.50	0,07	0,003	0,70	73,75	<0.01	13,27	0,41	0.0006	<0.1	0.01	<0.01	1,31	0,85	7,54	0,11	31,24	0,34	0.0027	0,86	0,54	0,95	2,89	18,84	0,20	<0.1	<0.01	0,04
22	0.50	0,10	0,004	0,83	82,90	<0.01	12,49	0,37	0.0004	<0.1	0.01	<0.01	1,22	0,75	7,55	0,09	32,61	0,31	0.0028	0,72	0,52	1,37	1,48	<0.01	0,19	<0.1	<0.01	0,05
23	0.49	0,03	0,002	0,65	76,79	<0.01	12,35	0,44	0.0004	<0.1	0.01	<0.01	1,07	0,74	7,37	0,08	32,20	0,29	0.0027	0,37	0,44	1,11	1,39	<0.01	0,19	<0.1	<0.01	0,05
24	0.50	0,04	0,003	0,58	79,55	<0.01	12,26	0,33	0.0003	<0.1	0.01	<0.01	0,93	0,75	6,96	0,07	31,00	0,24	0.0031	0,53	0,44	0,95	1,52	<0.01	0,18	<0.1	<0.01	0,07
25	0.50	<0.01	0,001	0,77	73,23	<0.01	14,32	0,39	0.0003	0,44	0.01	<0.01	1,19	0,41	8,61	0,08	31,05	0,19	0.0004	0,05	0,38	0,43	1,40	<0.01	0,18	<0.1	<0.01	0,07
26	0.49	<0.01	0,001	0,76	72,25	<0.01	13,76	0,40	0.0003	0,46	0.005	<0.01	1,12	0,42	8,55	0,08	29,22	0,19	0.0005	0,04	0,35	0,51	1,53	0,01	0,17	0,56	0,03	0,08
27	0.50	<0.01	0,002	0,61	60,95	<0.01	13,13	0,45	0.0003	0,54	0.005	<0.01	0,99	0,39	8,52	0,07	26,32	0,15	0.0004	0,03	0,25	0,49	1,45	<0.01	0,17	0,57	0,02	0,11
28	0.49	<0.01	0,004	0,82	63,54	<0.01	13,26	0,45	0.0003	0,61	0.01	0,02	0,94	0,40	8,68	0,07	10,91	0,15	0.0007	0,07	0,26	0,51	1,44	0,01	0,17	0,61	0,06	0,11
29	0.49	<0.01	0,003	0,61	64,44	<0.01	12,32	0,50	0.0002	0,68	0.004	<0.01	0,86	0,39	8,39	0,06	24,75	0,12	0.0055	3,35	0,23	0,45	1,65	0,03	0,16	0,57	0,04	0,11
30	0.49	<0.01	0,007	0,76	71,20	<0.01	13,19	0,53	0.0003	0,70	0.01	<0.01	0,92	0,58	8,98	0,07	23,50	0,17	0.0007	0,15	0,27	0,53	1,76	0,03	0,17	0,62	0,04	0,12
31	0.49	<0.01	0,002	0,65	68,77	<0.01	13,49	0,57	0.0002	0,76	0.01	<0.01	0,88	0,50	9,59	0,07	26,40	0,16	0.0009	0,08	0,27	0,39	1,88	0,01	0,17	0,63	0,04	0,13
32	0.49	<0.01	0,001	0,68	70,81	<0.01	12,96	0,55	0.0003	0,81	0.005	<0.01	0,88	0,51	9,41	0,07	26,31	0,14	0.0024	0,07	0,26	0,41	1,96	0,03	0,16	0,62	0,03	0,11
33	0.49	<0.01	0,002	0,74	67,89	<0.01	12,99	0,58	0.0003	1,03	0.01	<0.01	0,81	0,48	9,77	0,07	25,04	0,14	0.0015	0,06	0,24	0,45	1,92	0,17	0,16	0,66	0,04	0,14
34	0.49	0,01	0,001	0,73	65,45	<0.01	12,20	0,56	0.0003	1,19	0.01	<0.01	0,76	0,48	9,51	0,07	24,01	0,13	0.0034	0,72	0,23	0,34	1,92	0,04	0,15	0,66	0,05	0,15
35	0.50	<0.01	0,003	0,79	65,97	<0.01	12,07	0,58	0.0003	1,16	0.01	<0.01	0,81	0,52	9,65	0,07	22,69	0,12	0.0006	0,06	0,26	0,48	1,98	0,17	0,15	0,67	0,05	0,15
36	0.50	<0.01	0,005	0,95	102,74	<0.01	5,33	0,58	0.0001	0,48	0.01	<0.01	0,44	0,41	4,57	0,11	7,23	0,17	0.0024	0,22	0,18	1,02	0,80	0,36	0,07	0,47	0,05	0,17
37	0.47	0,003	0,004	2,14	41,8	0,013	20,88	0,8	0.0007	0,72	0.01	0,04	0,93	1,14	15,52	0,16	44,8	0,49	0.0046	2,81	0,50	1,33	2,64	3,9	0,25	1,35	0,32	0,11

Ek-I

ÖRNEKLERİN KOORDİNAT VE TÜR BİLGİLERİ, ALINDIĞI YILLAR

Tablo I.1. Kaya ve toprak örneklerine ait koordinat ve tür bilgileri, alındığı yıllar

Örnek Kodu	Örnekleme Yeri	Örnek Türü	Boylam	Enlem	Yükseklik (m)	Örnekleme Yılı
K-1	Çakmakkaya	Cevherli dasit	41° 34' 56.99" D	41° 14' 52.52" K	1140	2011
K-4	Çakmakkaya	Mor Dasit	41° 34' 55.4664" D	41° 14' 37.5000" K	1234	2011
K-5	Çakmakkaya	Yeşil Dasit	41° 34' 55.4664" D	41° 14' 37.5000" K	1234	2011
K-6	Damar	Cevherli dasit	41° 34' 46.8732" D	41° 14' 54.0600" K	1124	2011
K-10	Çakmakkaya	Cevherli dasit	41° 34' 47.31" D	41° 14' 52.28" K	1140	2011
K-11	Çakmakkaya	Cevherli dasit	41° 34' 47.31" D	41° 14' 52.28" K	1140	2011
K-12	K.B.İ. Eski İşletme	Cevherli dasit	41° 33' 59.2740" D	41° 16' 15.2724" K	513	2011
K-15	Kuvarshan	Flotasyon atığı	41° 49' 9.0660" D	41° 14' 58.8048" K	931	2011
K-16	Kuvarshan	Mekan kaya	41° 49' 9.0660" D	41° 14' 58.8048" K	931	2011
K-17	Kuvarshan	Pasa yığını	41° 49' 18.7140" D	41° 14' 41.7948" K	862	2011
K-18	Murgul	Dekapaj	41° 32' 56.6664" D	41° 14' 21.7752" K	607	2011
K-19	Çakmakkaya	Cevherli dasit	41° 34' 31.9260" D	41° 13' 57.1224" K	1164	2011
K-20	Damar	Cevherli dasit	41°34'52.53"D	41°15'13.12"K	974	2012
T-1	K.B.İ. Eski İşletme	Toprak	41° 33' 59.1264" D	41° 16' 20.3952" K	515	2011
T-2	K.B.İ. Eski İşletme	Toprak (Background)	41° 33' 58.8528" D	41° 16' 16.2048" K	506	2011
T-3	Murgul'dan uzak ala	Toprak (Kontrol)	41° 34' 11.6868" D	41° 17' 9.7188" K	356	2011

Tablo I.2. Sediment ve çökel örneklerine ait koordinat ve tür bilgileri, alındığı yıllar

Örnek Kodu	Örnekleme Yeri	Örnek Türü	Boylam	Enlem	Yükseklik (m)	Örnekleme Yılı
SD-1	Çakmakkaya	Asidik birikinti çökeli	41° 34' 38.7624" D	41° 14' 24.5436" K	1128	2011
SD-2	Çakmakkaya	Asidik birikinti çökeli	41° 34' 42.2652" D	41° 14' 25.0368" K	1127	2011
SD-3	Damar	Cevherli atıkta oluşan alterasyon malzemesi	41° 34' 44.5296" D	41° 14' 54.4272" K	1116	2011
SD-4	Damar	Su birikintisi çökeli	41° 34' 58.1556" D	41° 15' 5.2884" K	991	2011
SD-5	Damar	Asidik birikinti çökeli	41° 35' 10.2732" D	41° 14' 54.1572" K	1080	2011
SD-6 / SD-7	Damar Deresi Yan Kol	Deşarj malzemesi	41° 35' 7.9116" D	41° 15' 13.8384" K	1057	2011
SD-8	Damar Deresi Yan Kol	Dere sedimenti	41° 35' 7.9490" D	41° 15' 27.4500" K	972	2011
SD-9	Damar Deresi Yan Kol	Dere sedimenti	41° 35' 8.0196" D	41° 15' 12.8952" K	1067	2011
SD-10	Damar Deresi Ana Kol	Dere sedimenti	41° 36' 2.8116" D	41° 15' 18.1404" K	1044	2011
SD-11	Damar Deresi Ana Kol	Dere sedimenti	41° 33' 57.3444" D	41° 16' 11.1648" K	461	2011
SD-12	Murgul Deresi	Dere sedimenti	41° 32' 46.6872" D	41° 10' 38.0424" K	955	2011
SD-13	Murgul Deresi	Dere sedimenti	41° 32' 46.9176" D	41° 13' 29.5248" K	663	2011
SD-14	Murgul Deresi	Dere sedimenti	41° 32' 36.9780" D	41° 13' 36.3108" K	636	2011
SD-15	Murgul Deresi Yan Kol	Dere sedimenti	41° 31' 43.1904" D	41° 13' 21.3204" K	720	2011
SD-16	Murgul Deresi Yan Kol	Dere sedimenti	41° 31' 41.8734" D	41° 13' 19.2542" K	725	2011
SD-17	Murgul Deresi	Dere sedimenti	41° 32' 51.6408" D	41° 14' 8.4012" K	582	2011
SD-18	Murgul Deresi	Dere sedimenti	41° 32' 56.6664" D	41° 14' 21.7752" K	607	2011
SD-19	Murgul Deresi	Deşarj malzemesi	41° 33' 13.3884" D	41° 15' 14.6376" K	521	2011
SD-20	Murgul Deresi	Dere sedimenti	41° 33' 41.5944" D	41° 16' 18.5016" K	399	2011
SD-21	Murgul Deresi	Dere sedimenti	41° 34' 32.3400" D	41° 17' 26.1060" K	310	2011
SD-22 / SD-23 / SD-24	Borçka barajı havzası	Sediment istif	41° 38' 21.5412" D	41° 19' 26.2632" K	176	2011
SD-25	Borçka barajı havzası	Murgul Deresi'nin biriktirdiği malzeme	41° 38' 18.4704" D	41° 19' 20.9172" K	167	2011
SD-26	Borçka barajı havzası	Murgul Deresi'nin biriktirdiği malzeme	41° 39' 47.4804" D	41° 20' 15.7416" K	194	2011
SD-27	Kuvarshan	Maden atıkları arasında oluşan yüzey suyu çökelişi	41° 49' 9.0660" D	41° 14' 58.8048" K	931	2011
SD-28 / SD-29	Kuvarshan	Asidik birikinti ve çevresinden toplanan örnek	41° 48' 59.9652" D	41° 15' 4.8960" K	963	2011
SD-30	Kuvarshan	Galerilere bağlı oluşan çökelim	41° 49' 10.4088" D	41° 14' 51.2808" K	871	2011
SD-31	Kuvarshan	Galerilere bağlı oluşan çökelim	41° 49' 10.4088" D	41° 14' 51.2808" K	871	2011
SD-32	Kuvarshan	Galerilere bağlı oluşan çökelim	41° 49' 10.4088" D	41° 14' 51.2808" K	871	2011
SD-33	Kuvarshan-Fabrika deresi	Dere sedimenti	41° 49' 22.4568" D	41° 14' 40.8030" K	864	2011
SD-34	Atık Barajı	Flotasyon çamuru	41° 34' 10.8696" D	41° 13' 44.0472" K	1036	2011
SD-35A/35B/35C/35D/35E/35F	Murgul Deresi ile Borçka barajı havzası sınırı	Murgul deresi, istif	41°38'1.23"D	41°19'22.14"K	180	2012
SD-36A/36B/36C/36D	Borçka barajı su toplama sınırı	Borçka Barajı su toplama sınırı, istif	41°38'21.5412"D	41°19'26.2632"K	176	2012
SD-18Y	Murgul	Lepiskürderesi deşarj	41° 32' 56.6664" D	41° 14' 21.7752" K	607	2012
SD-19Y	Murgul	Deşarj malzemesi	41° 33' 13.3884" D	41° 15' 14.6376" K	521	2012
SD-37	Murgul	Dere sedimenti	41° 32' 56.6664" D	41° 14' 21.7752" K	607	2012
SD-38	Murgul	Dere sedimenti	41° 33' 13.3884" D	41° 15' 14.6376" K	521	2012
SD-30/2012A	Kuvarshan	Drenajda oluşan çökel	41° 49' 10.4088" D	41° 14' 51.2808" K	871	2012
SD-30/2012B	Kuvarshan	Drenajda oluşan çökel	41° 49' 10.4088" D	41° 14' 51.2808" K	871	2012
SD-32/2012	Kuvarshan	Galerilere bağlı oluşan çökelim	41° 49' 10.4088" D	41° 14' 51.2808" K	871	2012

Tablo I.3. Su örneklerine ait koordinat ve tür bilgileri, alındığı yıllar

Örnek Kodu	Örnekleme Yeri	Boylam	Enlem	Yükseklik (m)	Örnekleme Yılı
S-1	Çarkbaşı AMD	41° 34' 31.9260" D	41° 13' 57.1224" K	1164	2011,2012
S-2	Lepüsküderede	41° 34' 44.6736" D	41° 13' 25.2732" K	1049	2011,2012
S-3	Lepüsküderede	41° 34' 37.8372" D	41° 13' 23.8476" K	1052	2011,2012
S-4	Atık barajı	41° 34' 38.6724" D	41° 13' 26.1012" K	1072	2011,2012
S-5	Lepüsküderede Yan kol	41° 34' 43.2048" D	41° 13' 25.6512" K	1041	2011,2013
S-6	Lepüsküderede	41° 35' 5.1540" D	41° 13' 24.2004" K	1060	2011,2012
S-7	Çakmakkaya AMD	41° 34' 38.7624" D	41° 14' 24.5436" K	1128	2011,2012
S-8	Çakmakkaya AMD	41° 34' 42.2652" D	41° 14' 25.0368" K	1127	2011,2012
S-9	Çakmakkaya gölet	41° 34' 42.9924" D	41° 14' 24.2556" K	1111	2011,2012
S-10	Damar	41° 35' 58.1556" D	41° 15' 5.2884" K	991	2011
S-11	Damar	41° 35' 11.7924" D	41° 14' 57.3576" K	1077	2011,2012
S-12	Damar Sahası- kaynak	41° 35' 10.1976" D	41° 14' 53.3724" K	1085	2011,2012
S-13	Damar Sahası- kaynak	41° 35' 12.4008" D	41° 14' 53.0988" K	1080	2011,2012
S-14	Damar AMD	41° 35' 10.2732" D	41° 14' 54.1572" K	1080	2011,2012
S-15	Damar Deresi yan kol	41° 35' 8.0196" D	41° 15' 12.8952" K	1067	2011,2012,2013
S-16	Damar Deresi yan kol	41° 35' 7.4940" D	41° 15' 27.4500" K	972	2011
S-17	Damar Deresi yan kol	41° 35' 7.4940" D	41° 15' 27.4500" K	972	2011
S-18	Damar Deresi	41° 36' 2.8116" D	41° 15' 18.1404" K	1044	2011,2013
S-19	Damar Deresi yan kol	41° 35' 8.0196" D	41° 15' 12.8952" K	1067	2011
S-19d	Damar Deresi yan kol	41° 35' 8.0196" D	41° 15' 12.8952" K	1067	2012
S-20	Damar Deresi	41° 33' 57.3444" D	41° 16' 11.1648" K	461	2011,2012,2013
S-21	Murgul Deresi	41° 32' 46.6872" D	41° 10' 38.0424" K	955	2011,2012,2013
S-22	Murgul Deresi	41° 32' 48.1776" D	41° 10' 40.2600" K	997	2011,2012,2013
S-23	Murgul Deresi yan kol	41° 32' 49.0740" D	41° 10' 40.0800" K	905	2011,2012,2013
S-24	Murgul Deresi	41° 32' 53.5920" D	41° 11' 26.0700" K	839	2011,2012,2013
S-25	Murgul Deresi	41° 32' 46.9176" D	41° 13' 29.5248" K	663	2011,2012,2013
S-26	Murgul Deresi	41° 32' 36.9780" D	41° 13' 36.3108" K	636	2011,2012,2013
S-27	Murgul Deresi yan kol	41° 31' 43.1904" D	41° 13' 21.3204" K	720	2011
S-28	Murgul Deresi yan kol	41° 31' 41.8734" D	41° 13' 19.2542" K	725	2011
S-29	Murgul Deresi	41° 32' 51.6408" D	41° 14' 8.4012" K	582	2011,2012,2013
S-30	Murgul Deresi	41° 32' 56.6664" D	41° 14' 21.7752" K	607	2011,2012,2013
S-30 tahliye galerisi	Murgul Deresi	41° 33' 3.37" D	41° 14' 37.26" K	577	2013
S-31ö	Murgul Deresi	41° 33' 12.70" D	41° 15' 18.14" K	525	2013
S-31	Murgul Deresi	41° 33' 13.3884" D	41° 15' 14.6376" K	521	2011,2012,2013
S-32	Murgul Deresi	41° 33' 13.3884" D	41° 15' 14.6376" K	522	2011,2012,2013
S-32d	Murgul Deresi	41° 33' 13.3884" D	41° 15' 14.6376" K	522	2012
S-33	Murgul Deresi	41° 33' 41.5944" D	41° 16' 18.5016" K	399	2011,2012,2013
S-34	Damar Deresi	41° 36' 8.0352" D	41° 14' 46.3452" K	1292	2011,2012
S-35	Murgul Deresi	41° 34' 32.3400" D	41° 17' 26.1060" K	310	2011,2012,2013
S-36	Murgul Deresi	41° 38' 21.5412" D	41° 19' 26.2632" K	176	2011,2012,2013
S-37	Murgul Deresi	41° 39' 47.4804" D	41° 20' 15.7416" K	194	2011,2012,2013
S-38	Borçka Baraj Mansap	41° 40' 36.4150" D	41° 21' 50.9826" K	107	2011,2012,2013
S-39	Kuvarshan Sahası AMD	41° 48' 59.9652" D	41° 15' 4.8960" K	963	2011,2012
S-40	Kuvarshan-Fabrika Deresi	41° 49' 22.4568" D	41° 14' 40.8030" K	864	2011,2012,2013
S-41	Kuvarshan Sahası: Galerilerden sızan su	41° 49' 10.4088" D	41° 14' 51.2808" K	871	2011,2012,2013
S-42	Kuvarshan Sahası:Galerilerden sızan su	41° 49' 10.4088" D	41° 14' 51.2808" K	872	2011,2012
S-43	Kuvarshan Sahası:Galerilerden sızan su	41° 49' 5.2392" D	41° 14' 52.6596" K	872	2011
S-44	Borçka Baraj memba	41° 43' 54.1920" D	41° 18' 41.0400" K	182	2011,2012
S-45	Damar Deresi'ne deşarj edilen malzeme	41° 35' 8.0196" D	41° 15' 12.8952" K	1067	2011
S-46	Fabrika Deresi	41°46'53.83"D	41°15'13.53"K	207	2012,2013
S-47	Murgul Deresi	41°38'1.23"D	41°19'22.14"K	180	2012
S-48	Damar AMD	41°35'13.67"D	41°15'0.29"K	1077	2012

KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

Doğrul A., Akyol N. H., Yolcubal I., Çobanoğlu G., Biomonitoring of Atmospheric Heavy Metal Deposition in Kocaeli Area Using Lichens and Mosses, *60. Türkiye Jeoloji Kurultayı*, Ankara, Türkiye, 16-22 Nisan 2007.

Doğrul A., Akyol N. H., Yolcubal I., Çobanoğlu G., Biomonitoring of Atmospheric Heavy Metal Deposition in Kocaeli Area Using Lichens and Mosses, *IV. Atmospheric Science Symposium*, İstanbul, Türkiye, 25-28 Mart 2008.

Doğrul A., Yolcubal I., Akyol N. H., Çobanoğlu G., Biomonitoring of Airborne Metals Using The Lichen *Xanthoria Parietina* in Kocaeli Province, Turkey, *Ecological Indicators*, 2012, **18**, 632-643.

Doğrul Demiray A., Yolcubal İ., Çiftçi E., Sanğu E., Murgul (Artvin) Madencilik Faaliyetlerinin yüzey Sularına Etkisi, *II. Tıbbi Jeoloji Çalıştayı*, Antalya, Türkiye, 4-6 Aralık 2013.

Yolcubal I., **Doğrul Demiray A.**, Çiftçi E., Mechanisms of Arsenic Attenuation in Acid Mine Drainage from Copper Mines, Northeastern Turkey, *The Sixth International Perspectives On Water Resources & The Environment Conference*, İzmir, Turkey, 7-9 January 2013.

Yolcubal İ., **Doğrul Demiray A.**, Çiftçi E., Sanğu E., The Role of Secondary Sulfate Minerals on Metal Recycling in the Abandoned Copper Mine-Kuvarshan, Northeastern Turkey, *Goldschmidt2014*, Sacramento, USA, 8-13 June 2014.

Yolcubal İ., **Doğrul Demiray A.**, Çiftçi E., Sanğu E., Kinetics and Mechanisms of Metal Release from Wastes of a Historic Copper Mine– Kuvarshan, Northeastern Turkey, *Goldschmidt2014*, Sacramento, USA, 8-13 June 2014.

Yaprak E., Yolcubal I., **Doğrul Demiray A.**, Sinanoğlu A., Güzeldemir Akçakanat E., Çelik Karakaya M., Marakoğlu İ., Sigaranın Dıştaşında Toksik Ağır Metal Birikimine Etkisi, *Türk Peridontoloji Derneği 44. Bilimsel Kongresi*, İstanbul, Türkiye, 8-9 Mayıs 2014.

Doğrul Demiray A., Yolcubal İ., Çiftçi E., Investigation of AMD Potential of Flotation Slurry From Tailing Dam in a Copper mine-Murgul Northeastern Turkey, *12th International Congress for Applied Mineralogy*, İstanbul, Turkey, 10-12 August 2015.

Yolcubal I., **Doğrul Demiray A.**, Çiftçi E., Sanğu E., Environmental Impact of Mining Activities on Surface Water and Sediment Qualities Around Murgul Copper Mine, Northeastern Turkey, *Environmental Earth Sciences*, 2016, **75**, 1-25.

Yolcubal I., **Doğrul Demiray A.**, Çiftçi E., Assessment of Acid Mine Drainage Potential of Flotation Slurry from a Tailing Dam in a Copper Mine- Murgul, Northeastern Turkey, *Environmental Earth Sciences*, 2017, **76**, 1-10.



ÖZGEÇMİŞ

Ayda DOĞRUL DEMİRAY 1982 yılında Muğla'da doğdu. İlkokulu Milas Sakarya İlkokulu'nda; orta öğrenimini Milas Ortaokulu ve İzmit 23 Nisan İlköğretim Okulu'nda yaptı. Lise öğrenimini, İzmit Atılım Lisesi'nde 1999 yılında tamamladı. 2000 yılında Kocaeli Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimine başladı ve 2005 yılında mezun oldu. 2005 yılında, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nde başladığı yüksek lisans eğitimini ve 2007 yılında bitirdi. 2009 yılının Eylül ayında, aynı bölümde doktora çalışmasına başladı. Ayda DOĞRUL DEMİRAY evli ve bir çocuk annesidir.

