

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



TEMREZLİ (SORGUN-YOZGAT) URANYUM YATAĞININ
JEOLJİSİ, JEOKİMYASI VE İŞLETİLEBİLİRLİĞİNİN
İNCELENMESİ

DOKTORA TEZİ

NASUH AYDIN

BALIKESİR, ARALIK - 2016

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



TEMREZLİ (SORGUN-YOZGAT) URANYUM YATAĞININ
JEOLJİSİ, JEOKİMYASI VE İŞLETİLEBİLİRLİĞİNİN
İNCELENMESİ

DOKTORA TEZİ

NASUH AYDIN

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Cemal BÖLÜCEK (Tez Danışmanı)**
Prof. Dr. İbrahim TÜRKMEN
Prof. Dr. Hulusi KARGI
Doç. Dr. Leyla KALENDER
Yrd. Doç. Dr. M. Selman AYDOĞAN

BALIKESİR, ARALIK - 2016

KABUL VE ONAY SAYFASI

Nasuh AYDIN tarafından hazırlanan "TEMREZLİ (SORGUN-YOZGAT) URANYUM YATAĞININ JEOLJİSİ, JEOKİMYASI VE İŞLETİLEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ" adlı tez çalışmasının savunma sınavı 12.12.2016 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

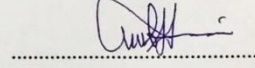
Jüri Üyeleri

İmza

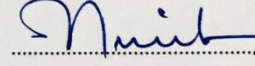
Danışman
Prof. Dr. Cemal BÖLÜCEK



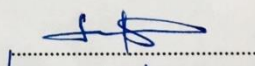
Üye
Prof. Dr. Hulusi KARGI



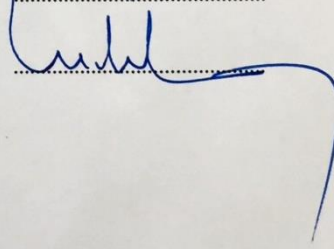
Üye
Prof. Dr. İbrahim TÜRKMEN



Üye
Doç. Dr. Leyla KALENDER



Üye
Yrd. Doç. Dr. M. Selman AYDOĞAN



Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Doç. Dr. Necati ÖZDEMİR

.....

Bu tez çalışması Adur Madencilik Limited Şirketi tarafından desteklenmiştir.

ÖZET

**TEMREZLİ (SORGUN-YOZGAT) URANYUM YATAĞININ JEOLJİSİ,
JEOKİMYASI VE İŞLETİLEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ
DOKTORA TEZİ
NASUH AYDIN
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
BALIKESİR, 2016**

Çalışma alanı Yozgat ilinin 35 km doğusunda, Sorgun ilçesi sınırlarında bulunmaktadır. Temrezli uranyum yatağı Türkiye'nin bilinen en büyük uranyum yatağıdır.

Çalışma alanında toplam 630 adet (yaklaşık 93,000 m) sondaj çalışması yapılmıştır ve cevherli merceklerin geometrisi belirlenmiştir. Uranyum'un ortalama tenörü 1,157 ppm (%0,1157) olup, toplam 6033 ton U_3O_8 'in varlığı tespit edilmiştir.

Jeokimyasal analiz sonuçlarına göre, uranyum kaba taneli kumtaşlarında çoğunlukla 1,000 ppm'in üzerinde zenginleşmiştir ve uranyumun en yüksek konsantrasyonu 8,050 ppm'dir ve toryum yeraltı ve yüzey sularıyla taşınmamıştır. Min-pet analizlerine göre uranyum mineralleri çok ince tanelidir ve kofinit olarak isimlendirilmiştir. Cevherleşme zonundaki minerallerin % 45,2'si kuvars, %23,5'i K-Feldispat, geri kalan kısımları ise kil, pirit ve birkaç minör mineral içermektedir. Bottle roll metalürjik testler örneklerin çoğunluğunda uranyumun kurtarım oranı %75'in üzerinde olduğunu göstermektedir. Genel olarak civardaki içme ve yüzey suların analizleri uranyum konsantrasyonlarının izin verilen değerlerin üzerinde olmadığını göstermiştir.

Uranyum, yeraltı ve yüzey suları aracılığıyla Kretase granitik kayalarından çözülmüş ve Eosen sedimanter kayalarında zenginleşmiştir. Kayalardan elde edilen analiz sonuçlarına göre uranyum hem oksitli hem indirgen ortamda bulunmaktadır ancak zenginleşme indirgen ortamla ilişkilidir.

Temrezli uranyum yatağında üretimin; uranyumun, kumtaşları içerisinde çözülebilir bir şekilde bulunması, çok ince cevherli zonlar ve işletilebilir cevher tenörünün diğer işletme yöntemlerine göre düşük olması nedeniyle 'yerinde kazanım' yöntemi ile yapılması planlanmaktadır. Enjeksiyon kuyuları aracılığı ile yer altına pompalanacak olan sodyum bikarbonatlı çözelti, cevheri yerinde çözecektir. Uranyumca zengin çözelti, üretim kuyularından dalgıç pompalar aracılığıyla yüzeye ve zenginleştirme tesisine pompalanacaktır. Zenginleştirme tesisinde uranyum, 'sarı pasta' olarak bilinen uranyum oksit formunda çökeltilecek ve kurutularak paketleneyecektir.

ANAHTAR KELİMELER: Sarı pasta, Sorgun, Uranyum, Yerinde Kazanım, Eosen

ABSTRACT

INVESTIGATION OF GEOLOGY, GEOCHEMISTRY AND OPERABILITY OF TEMREZLI (SORGUN – YOZGAT) URANIUM DEPOSIT

Ph.D THESIS

NASUH AYDIN

BALIKESIR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

GEOLOGICAL ENGINEERING

BALIKESİR, 2016

Study area is located in the vicinity of Sorgun where 35 km east of Yozgat city. Temrezli uranium deposit is the largest known uranium deposit of Turkey.

A total of 630 drill holes (approximately 93,000 m) have been completed in the study area and geometry of the mineralized lenses has been determined. Average grade of the uranium is 1,157 ppm (0,1157%) and the total resource is 6033 tonnes U_3O_8 .

According to the geochemical analytical results, uranium grade is mostly greater than 1,000 ppm in the coarse grained sandstones and the highest concentration of uranium is 8,050 ppm and thourium is not transported via ground and underground waters. According to the min-pet analysis uranium minerals are very fine grained and named as coffinite. Minerals in the mineralized zone are quartz (45,2%), K-Feldspar (23,5%), clay, pyrite and a few minor minerals. Bottle roll metallurgical tests show that the uranium recovery is greater than 75% in most of the samples. In general, analysis of nearby drinking and surface waters shows that the uranium concentrations are not higher than the allowed values.

Uranium is dissolved from Cretaceous granitic rocks by surface and underground waters and deposited in Eocene sedimentary rocks. According to the analytical results of rocks, uranium is found in both oxide and reduced zones however enrichment is related with reduced zone.

In Temrezli uranium deposit production method will be planned as ‘in situ recovery’. The reasons for selecting this method are as follows; the ore is found as soluble in sandstones, very thin mineralized zones and the grade of the productable ore is lower than the other production methods. Sodium bi carbonate bearing solution which will be pumped by injection wells will dissolve uranium in-situ. Uranium rich solution will be pumped to surface and enrichment processing plant by submersible pumps from injection wells. In enrichment processing plant uranium will be precipitated, dried and packaged as oxide form which is known as ‘yellow cake’.

KEYWORDS: Yellow Cake, Sorgun, Uranium, In-SituRecovery, Eocene

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	v
ÇİZELGE LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ	viii
1. GİRİŞ	1
1.1 Coğrafik Durum	3
1.2 Çalışmanın Amacı	4
1.3 Materyal ve Metot	4
1.3.1 Kayaç Örneklerinin Toplanması ve Analize Hazırlanması	7
1.3.2 Su Örneklerinin Toplanması ve Analize Hazırlanması	10
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	11
3. JEOLJİK ÖZELLİKLER	18
3.1 Bölgesel Jeoloji	18
3.2 Çalışma Alanının Jeolojisi	19
3.2.1 Kerkenez Granodiyoriti (Kretase – Temel Kayaçları)	23
3.2.2 Paleosen Birimleri.....	25
3.2.3 Çeltekk Formasyonu (Eosen)	26
3.2.4 Pliyosen	28
3.2.5 Alüvyon	28
4. YAPISAL JEOLJİ VE DEPREMSELLİK	30
4.1 Yapısal Jeoloji.....	30
4.2 Neotektonik Yapı	31
5. CEVHERLEŞME	34
6. MİNERALJİ-PETROGRAFI	41
6.1 QEMSCAN Yöntemi İle Yapılan Mineralojik – Petrografik Analizler	42
6.2 Elektron Mikroskopu (SEM) İle Yapılan Mineralojik – Petrografik Analizler	48
7. KAYAÇ ÖRNEKLERİNİN KİMYASAL ANALİZLERİ	64
7.1 Kayaçlardaki Ana Oksitlerin Dağılımı	64
7.2 Kayaçlardaki Elementlerin Dağılımı	66
8. SU ÖRNEKLERİNİN ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	76
8.1 Su Örneklerinin Kimyasal Analizleri	76
8.2 Su Örneklerinin Radyometrik Analizleri	88
9. REZERV ve İŞLETİLEBİLİRLİK	91
9.1. Rezerv	91
9.2. İşletilebilirlik	94
9.2.1 Metalürjik Testler.....	97
9.2.2 Yöntem	98
9.2.3 Dünyadan Örnekler Ve Türkiye	105

10.	SONUÇLAR.....	108
11.	KAYNAKLAR	112

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Çalışma alanı yer bulduru haritası.	3
Şekil 3.1: Orta Anadolu Kristalen Kompleksi ve yakın çevresinin sadeleştirilmiş jeoloji haritası (Işık, 2009).	19
Şekil 3.2: İnceleme alanının genel jeoloji haritası (MTA, 1987'den değiştirilmiştir).	20
Şekil 3.3: İnceleme alanının genelleştirilmiş stratigrafik sütun kesiti (Ölçeksiz; Sungur ve diğ. 1984'den değiştirilerek alınmıştır).	22
Şekil 3.4: a) Şahmuratlı civarında gözlenen Kerkenez granodiyoritinin arazi görüntüsü (Akçe, 2010) ve Kerkenez granodiyoritinden bir görünüm b) Kerkenez granodiyoritinin sondaj karotu görüntüsü. .	24
Şekil 3.5: Kerkenez granodiyoritinin mikroskop görüntüsü (a: Çift Nikol, b: Tek Nikol).	25
Şekil 3.6: Paleosen yaşlı konglomeralardan bir görünüm	26
Şekil 3.7: Eosen yaşlı kaba taneli kumtaşından bir görünüm.	27
Şekil 3.8: Pliyosen yaşlı kireçtaşından bir görünüm.	28
Şekil 3.9: Kuvaterner yaşlı alüvyondan bir görünüm.	29
Şekil 4.1: Bölgesel sismo-tektonik yapı (Erturaç ve Tüysüz, 2010). Kırmızı yıldız Temrezli Madenini göstermektedir. NAF– Kuzey Anadolu Fay Hattı, EzF– Ezinepazar Fayı, DF– Deliçay Fayı, GF– Geldingen Fayı, SF– Sungurlu Fayı.	32
Şekil 4.2: Çalışma alanı ve çevresindeki önemli faylar.....	33
Şekil 5.1: Oksidasyon-Redüksiyon geçiş zonları ve uranyum cevherleşmesi ..	37
Şekil 5.2: Temrezli uranyum yatağının şematik modeli.	39
Şekil 5.3: Temrezli uranyum yatağı A-B' ye ait jeolojik kesitler ve jeolojik harita.	40
Şekil 6.1: QEMSCAN yöntemi ile elde edilen tüm kayac görüntüsü.	42
Şekil 6.2: Şekil 6.1'deki 1 numaralı alanın mikroskopik görüntüsü.	43
Şekil 6.3: Şekil 6.1'deki 2 numaralı alanın mikroskopik görüntüsü.	44
Şekil 6.4: Şekil 6.1'deki 3 numaralı alanın mikroskopik görüntüsü.	44
Şekil 6.5: Şekil 6.1'deki 4 numaralı alanın mikroskopik görüntüsü.	45
Şekil 6.6: Şekil 6.1'deki 5 numaralı alanın mikroskopik görüntüsü.	46
Şekil 6.7: Şekil 6.1'deki 6 numaralı alanın mikroskopik görüntüsü.	46
Şekil 6.8: Şekil 6.1'deki 7 numaralı alanın mikroskopik görüntüsü.	47
Şekil 6.9: Şekil 6.1'deki 8 numaralı alanın mikroskopik görüntüsü.	48
Şekil 6.10: TM1 numaralı örneğin polarizan mikroskop görüntüleri	51
Şekil 6.11: TM1 numaralı örneğin SEM-EDS kullanılarak oluşturulmuş görüntüleri	52
Şekil 6.12: TM2 numaralı örneğin polarize ışık mikroskop görüntüleri.....	53
Şekil 6.13: TM2 numaralı örneğin SEM-EDS kullanılarak oluşturulmuş görüntüleri	54
Şekil 6.14: TM3 numaralı örneğin polarize ışık mikroskop görüntüleri.....	55
Şekil 6.15: TM3 numaralı örneğin SEM-EDS kullanılarak oluşturulmuş görüntüleri	56
Şekil 6.16: TM4 numaralı örneğin polarize ışık mikroskop görüntüleri.....	57

Şekil 6.17: TM4 numaralı örneğin SEM-EDS kullanılarak oluşturulmuş görüntüleri	57
Şekil 6.18: TM5 numaralı örneğin polarize ışık mikroskop görüntüleri	58
Şekil 6.19: TM5 numaralı örneğin SEM-EDS kullanılarak oluşturulmuş görüntüleri	59
Şekil 6.20: TM6 numaralı örneğin polarize ışık mikroskop görüntüleri	60
Şekil 6.21: TM6 numaralı örneğin SEM-EDS kullanılarak oluşturulmuş görüntüleri	60
Şekil 6.22: TM7 numaralı örneğin polarize ışık mikroskop görüntüleri	61
Şekil 6.23: TM7 numaralı örneğin SEM-EDS kullanılarak oluşturulmuş görüntüleri	61
Şekil 6.24: TM8 numaralı örneğin polarize ışık mikroskop görüntüleri	62
Şekil 6.25: TM8 numaralı örneğin SEM-EDS kullanılarak oluşturulmuş görüntüleri	63
Şekil 7.1: Çalışma alanı ve çevresinde alınan kayaç örneklerindeki elementlerin kontur diyagramı.	73
Şekil 8.1: Bazı uranyum minerallerinin duraylılık alanlarını gösteren Eh-pH diyagramı (Kırmızı noktalar: Çalışma alanından alınan su örnekleri)	80
Şekil 8.2: Çalışma alanı ve çevresinde alınan su örneklerindeki elementlerin kontur diyagramı	87
Şekil 9.1: Temrezli uranyum yatağı rezerv kategorileri (Seredkin, 2014).	94
Şekil 9.2: Yerinde Kazanım Yönteminin blok model üzerinde gösterilmesi. ..	96
Şekil 9.3: 7 Noktalı Üretim Deseni (Urgents ve diğ., 2014).	100
Şekil 9.4: Row Block' Üretim Deseni (Urgents ve diğ., 2014).	101
Şekil 9.5: Temrezli uranyum yatağındaki uranyum kurtarım hedefi ile üretkenliğin karşılaştırılması (Urgents ve diğ., 2014).	103
Şekil 9.6: Lost Creek ISR uranyum madeninin proses ünitesinden bir görünüm	106
Şekil 9.7: Beverly uranyum madeninin üretim sahasından bir görünüm	107

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1: Tüm örneklere ait lokasyon ve diğer bilgiler	6
Çizelge 5.1: Uranyum ve toryumun değişik kaya tiplerindeki global ortalama değerleri (Lassetter (2010)'den değiştirilerek alınmıştır).	36
Çizelge 6.1: Mineralojik-Petrografik analiz sonuçlarına göre kayaç adlandırmaları.	49
Çizelge 7.1: Temrezli ve çevresinde alınan karot örneklerinin ana oksit içerikleri (%).	65
Çizelge 7.2: Temrezli ve çevresinde alınan kayaç örneklerine ait element (XRF) değerleriyle ilgili bazı istatistik veriler (%).	66
Çizelge 7.3: Temrezli ve çevresinde alınan kayaç örneklerinin ICP element içerikleri (Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, P, S, Ti değerleri %, diğer elementler ppm'dir).	68
Çizelge 7.4: Temrezli ve çevresinde alınan kayaç örneklerine ait element (ICP-MS) değerleriyle ilgili bazı istatistik veriler (ppm). Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, P, S, Ti değerleri %, diğer elementler ppm olarak verilmiştir.	69
Çizelge 7.5: Temrezli ve çevresinde alınan karot örneklerinin Sperman korelasyon katsayıları.	70
Çizelge 8.1: Temrezli ve çevresinden alınan su örneklerinin parametrik değerleri.	78
Çizelge 8.2: Su örneklerinin element içerikleri (Ba, B, Ca, Fe, K, Si, Na, Sr ve S: ppm, diğer elementler: ppb olarak verilmiştir).	82
Çizelge 8.3: Su örneklerinin bazı fiziksel ve kimyasal parametreleri.	83
Çizelge 8.4: Temrezli ve çevresinde alınan su örneklerine ait element değerleriyle ilgili bazı istatistik veriler (ppm). Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, P, S, Ti değerleri %, diğer elementler ppm olarak verilmiştir.	85
Çizelge 8.5: Temrezli ve çevresinde alınan su örneklerinin Sperman korelasyon katsayıları.	86
Çizelge 8.6: Yüzey (YS) ve yeraltı sularının (YAS) radyometrik analiz sonuçları (SD: Su Deposu).	89
Çizelge 8.7: Yeraltı sularının radyometrik analiz sonuçlarına ait özet istatistiksel değerler	90
Çizelge 8.8: Yüzey sularının radyometrik analiz sonuçlarına ait özet istatistiksel değerler	90
Çizelge 9.1: Temrezli uranyum yatağı rezerv miktarları.	91
Çizelge 9.2: Maden ünitelerindeki rezerv miktarları.	93
Çizelge 9.3: Temrezli Uranyum yatağından belirli cevherli bölgelerden alınan karot örneklerinin metalurjik analiz sonuçları	98

ÖNSÖZ

Bu tezin hazırlanması aşamasında maddi manevi katkıları bulunan başta Prof. Dr. Cemal BÖLÜCEK'e ardından, jeostatistik konusundaki bilgilerini ve deneyimlerini benimle paylaşarak diyagramların hazırlanmasında ve tezin yazılması aşamasında benden yardımlarını hiç esirgemeyen Bozok Üniversitesi'nde görevli Yrd. Doç. Dr. Güllü KIRAT'a teşekkürü borç bilirim. Balıkesir Üniversitesi'nden Prof. Dr. İbrahim TÜRKMEN'e tezin stratigrafiyle ilgili olan bölümlerindeki yardımlarından ve tezin daha evrensel hale gelmesindeki katkılarından dolayı teşekkür ederim. Pamukkale Üniversitesi'nden Prof. Dr. Hulusi KARGI'ya tezindeki mineralojik petrografik bölümlerin detaylandırılmasındaki yol gösterici yardımlarından dolayı, Fırat Üniversitesi'nden Doç. Dr. Leyla KALENDER'e tez genelindeki detaylı ve açıklayıcı düzeltmelerinden ve sağladığı yeni kaynaklardan dolayı ve aynı zamanda Yrd. Doç. Dr. Selman AYDOĞAN'a da tez süresince yaptığı yardımlardan dolayı teşekkürü borç bilirim. Son olarak da bu tezin yazılması aşamasında benim maddi manevi hep yanımda olan sevgili aileme çok teşekkür ederim.

Ayrıca Temrezli uranyum madeni projesinin ruhsat sahibi olan Adur Madencilik Limited Şirketine de maddi manevi katkılarından dolayı teşekkür ederim.

1. GİRİŞ

“Temrezli (Sorgun - Yozgat) Uranyum Yatağının Jeolojisi, Jeokimyası ve İşletilebilirliğinin incelenmesi” başlıklı bu çalışma 2014 – 2016 yılları arasında Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında (Maden Yatakları – Jeokimya) Doktora Tezi olarak hazırlanmıştır.

Günümüzde Türkiye'nin en büyük uranyum yatağı olarak bilinen Temrezli uranyum yatağının keşfi yaklaşık 35-40 yıl öncesine dayanmaktadır. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü (MTA) tarafından 1950 yıllarında Türkiye'nin çeşitli yerlerindeki havadan radyometrik etütler yaptırılmış ve bu çalışma sonucunda Temrezli (Yozgat-Sorgun) bölgesinde radyometrik anomaliler tespit edilmiştir. Daha sonra MTA tarafından 1980'li yılların başında bu bölgede çalışmalar detaylandırılarak uranyumun varlığı saptanmıştır.

1980 yılının Nisan ayında başlayan çalışmaları ilk safhada 200 km²'lik alanın jeoloji haritasının hazırlanması, yüzey araştırmaları, kayaç ve su örneklemeleleri, yarma açmaları, litolojik ve radyolojik etütler içermiş ve ardından sondaj programı başlatılmıştır. 1985 yılına kadar toplamda 507 lokasyonda yaklaşık 74,000 m sondaj yapılmış ve cevherin geometrisi ortaya çıkarılarak rezerv hesabı yapılmıştır. Bir yandan da liç testleri yapılarak cevherin üretimi için yöntemler saptanmaya çalışılmıştır (Sağlam ve Yüksel, 1987).

Adur Madencilik tarafından 2016 yılı itibariyle, MTA'nın sondaj çalışmasına ek olarak, toplam 123 lokasyonda yaklaşık 20,000 m daha sondaj çalışması yapıлып, MTA tarafından hesaplanan rezerv güncellenmiştir.

Uranyum stratejik bir element olup, çeşitli zenginleştirme ünitelerinden geçirildikten sonra, özellikle nükleer santrallerde yakıt olarak olarak kullanılmaktadır. Türkiye’de de kurulması muhtemel nükleer santrellerde Temrezli’den üretilen uranyumun kullanılması beklenmektedir.

Ülkemizde uranyum cevherine Oligo-Miyosen yaşlı Çankırı baseninde ve Batı Anadolu’da Neojen yaşlı sedimanter havzasında rastlanmıştır (MTA, 1987). Bu çalışmada Türkiye’nin bilinen en büyük uranyum yatağı olan Temrezli yatağı jeolojik açıdan detaylı olarak incelenmiş ve işletilebilirliği tartışılmıştır.

Uranyum yataklarının oluşumundaki en önemli unsur tektonik hareketlerdir. Uranyumlu damarlar bir bölgeyi etkileyen tektonizmanın son evresinde oluşur. İlk tektonik evrede meydana gelen uranyum içeren damarlar, tektonizmanın diğer evreleriyle taşınırlar (Nakoman, 1978).

Yerkabuğunda uranyum mineralinin hazne kayacı asit karakterli granitik, alkalin karmaşıklar ve felsik kayalardır. Uranyum yatakları dört ana grupta toplanır. Bunlar; postmagmatik, litolojik-fizyolojik, sedimanter ve tektonik mekanizmalara bağlı olarak gelişirler (Nakoman, 1978). Temrezli yatağı bu ana gruplardan sedimanter tip uranyum yatakları grubunda yer almaktadır. Bu tezin Temrezli uranyum yatağının jeolojik ve jeokimyasal özelliklerinin detaylı bir şekilde anlaşılmasına ve bir maden olarak işletilebilirliğinin araştırılmasına katkı sağlaması öngörülmüştür.

1.1 Coğrafi Durum

Çalışma Alanı, Yozgat ilinin Sorgun ilçesi sınırlarında yer almaktadır ve kuzeyinden Ankara –Sivas karayolu geçmektedir (Şekil 1.1).

Çalışma alanı tamamen tarım yapılan, çoğunlukla buğday ve nohut yetiştirilen düzlük tarlalardan oluşmaktadır. Kuzeye doğru Üç Tepeler mevkiinde yükselti 1200 m'yi geçmektedir. Ancak alanın genelinde yükselti 1100 m civarındadır.

Tipik karasal iklim koşullarının gözlendiği bölgede, kış aylarında hava soğuk ve yağışlı, yaz ayları ise sıcak ve yağışsız geçmektedir. Sonbaharda başlayan yağışlı hava ilkbahar ortalarına kadar devam etmektedir.



Şekil 1.1: Çalışma alanı yer bulduru haritası.

1.2 Çalışmanın Amacı

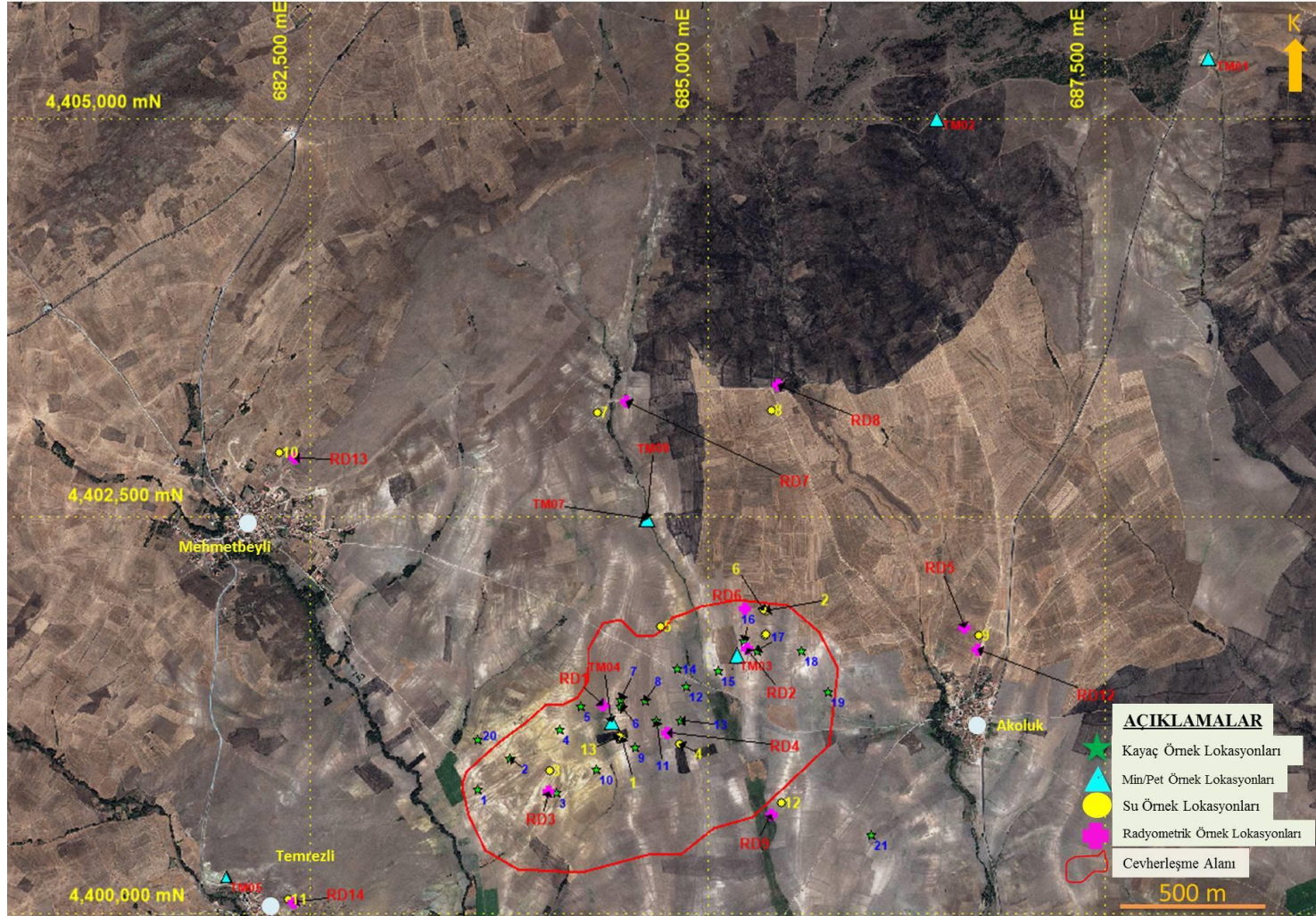
Çalışmanın esas amacı, Temrezli uranyum yatağının jeolojisi, jeokimyası, oluşum tipi, mineralojisi, petrografisi ve işletilebilirliğinin araştırılmasıdır.

Bu amaçla Temrezli uranyum yatağından ve çevresinden kayaç ve su örnekleme yapılmıştır.

1.3 Materyal ve Metot

Bu çalışma, literatür, arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları şeklinde gerçekleştirilmiştir. Literatür araştırması arazi çalışmalarından önce başlamış ve çalışmanın her aşamasında devam etmiştir. Arazi çalışmalarında su ve kayaç örnekleme yapılmıştır. Bu örneklere mineralojik, petrografik, kimyasal ve radyometrik analizler yaptırılmıştır.

Çalışma alanından tüm örneklere ait lokasyonları gösteren uydu görüntü haritası aşağıda verilmiştir (Şekil 1.2). Ayrıca yine çalışma alanından toplanan tüm örneklere (su ve kayaç) ait koordinatlar ve açıklamaların bulunduğu bilgiler de Çizelge 1.1' de sunulmuştur.



Şekil 1.2: Çalışma alanından alınan tüm örneklerin lokasyon haritası

Çizelge 1.1: Tüm örneklere ait lokasyon ve diğer bilgiler

Örnek No	Doğu (X)	Kuzey (Y)	Örnek Türü	Analiz	Örnek No	Doğu (X)	Kuzey (Y)	Örnek Türü	Analiz
RD1	684340	4401309	Su	Radyometrik	17	686367	4395410	Su	Kimyasal
RD2	685245	4401670	Su	Radyometrik	TM01	688147	4405387	Kayaç	Min-Pet
RD3	683997	4400767	Su	Radyometrik	TM02	686441	4405000	Kayaç	Min-Pet
RD4	684743	4401138	Su	Radyometrik	TM03	685182	4401626	Kayaç	Min-Pet
RD5	686609	4401799	Su	Radyometrik	TM04	684391	4401206	Kayaç	Min-Pet
RD6	685230	4401917	Su	Radyometrik	TM05	681971	4400229	Kayaç	Min-Pet
RD7	684486	4403222	Su	Radyometrik	TM06	681966	4400233	Kayaç	Min-Pet
RD8	685437	4403331	Su	Radyometrik	TM07	684613	4402486	Kayaç	Min-Pet
RD9	685400	4400622	Su	Radyometrik	TM08	684614	4402487	Kayaç	Min-Pet
RD10	686668	4396331	Su	Radyometrik	1	683548	4400785	Kayaç	Kimyasal
RD11	680739	4392521	Su	Radyometrik	2	683754	4400974	Kayaç	Kimyasal
RD12	686697	4401662	Su	Radyometrik	3	684045	4400763	Kayaç	Kimyasal
RD13	682400	4402865	Su	Radyometrik	4	684063	4401161	Kayaç	Kimyasal
RD14	682390	4400068	Su	Radyometrik	5	684201	4401308	Kayaç	Kimyasal
1	684458	4401110	Su	Kimyasal	6	684449	4401302	Kayaç	Kimyasal
2	685362	4401905	Su	Kimyasal	7	684451	4401347	Kayaç	Kimyasal
3	684002	4400900	Su	Kimyasal	8	684604	4401342	Kayaç	Kimyasal
4	684820	4401070	Su	Kimyasal	9	684542	4401048	Kayaç	Kimyasal
5	684700	4401810	Su	Kimyasal	10	684297	4400907	Kayaç	Kimyasal
6	685348	4401912	Su	Kimyasal	11	684674	4401217	Kayaç	Kimyasal
7	684300	4403150	Su	Kimyasal	12	684861	4401434	Kayaç	Kimyasal
8	685400	4403170	Su	Kimyasal	13	684826	4401213	Kayaç	Kimyasal
9	686700	4401750	Su	Kimyasal	14	684809	4401543	Kayaç	Kimyasal
10	682300	4402900	Su	Kimyasal	15	685065	4401525	Kayaç	Kimyasal
11	682360	4400090	Su	Kimyasal	16	685224	4401719	Kayaç	Kimyasal
12	685460	4400700	Su	Kimyasal	17	685311	4401656	Kayaç	Kimyasal
13	684440	4401115	Su	Kimyasal	18	685586	4401656	Kayaç	Kimyasal
14	685360	4401750	Su	Kimyasal	19	685753	4401398	Kayaç	Kimyasal
15	685363	4401760	Su	Kimyasal	20	683550	4401094	Kayaç	Kimyasal
16	683322	4396136	Su	Kimyasal	21	686029	4400497	Kayaç	Kimyasal

1.3.1 Kayaç Örneklerinin Toplanması ve Analize Hazırlanması

Bu çalışma kapsamında kayaçların mineralojik - petrografik ve kimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla sondaj kuyularından ve mostralardan bir takım örnekleme çalışması yapılmış (Şekil 1.3) ve örnekler ALS Chemex Laboratuvarları, Bozok Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Laboratuvarı, Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA) ve Hacettepe Üniversitesi'nde analiz edilmiştir.



Şekil 1.3: Sondaj çalışması ile karot alımından bir görünüm.

Mineralojik – petrografik analiz yöntemleri

Mineralojik ve petrografik analizler hem SEM (Scanned Electron Microscope) hem de QEMSCAN (Quantitative Evaluation of Materials by Scanning Electron Microscopy) yöntemleri ile yapılmıştır.

Hacettepe Üniversitesi'nde 8 adet örneğe SEM ile mineralojik ve petrografik analizler yapılmıştır. Örneklerden 30x25x10 mm çapında ince ve parlak kesitler hazırlanmış olup, bazı örnekler kırılğan yapıları nedeniyle epoxy reçinesi ile tutturulmuştur. Analizler Leica DM EP polarizan mikroskobunda yapılmıştır. Polarizan mikroskoptaki görüntüler Leica DFC 320 kamerası ile alınmıştır. SEM ve EDS (Energy Dispersive Spectrometry) analizleri ise, Carl Zeiss EVO 50 EP tarayıcı elektron mikroskobu kullanılarak yapılmıştır. Kimyasal bileşim haritalarının görüntüsü alınırken baz görüntü olarak Backscattered Electron Sinyali (BSE) kullanılmıştır. Herbir bileşen 10-12 dk taranarak görüntü elde edilmiştir.

Kayaç örneklerine, SEM analizi dışında aynı zamanda Avustralya'da ALS laboratuvarlarında QEMSCAN analizi de yapılmıştır. QEMSCAN, görüntüleri farklılaştırarak mineralojik değişkenleri mikron ölçeğinde analiz edebilen bir yöntemdir ve ölçüm esnasında her bir ölçüm noktasındaki hem geri saçınım elektron sinyal yoğunluğunu (BSE), hem de enerji dağılımını EDS spektrometresi aracılığı ile belirler.

Kimyasal Analiz Yöntemleri

Alınan yarılanmış kayaç örneklerinin (Şekil 1.4) ALS Chemex Kanada laboratuvarına gönderilerek ICP-MS (Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometer) yöntemi ile element içeriklerinin belirlenmesi için analizleri yapılmıştır.

ICP-MS dışında yine çalışma alanından alınan örneklerin jeokimyasal özelliklerinin ortaya konması amacıyla, kayaç gruplarını temsil eden mümkün olduğu kadar bozunmamış örnekler seçilerek kayaç major oksit analizleri yapılmıştır. Analizler Bozok Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Laboratuvarı'nda "Thermo Scientific - ARL PERFORM'X" model Dalga Boyu Dağılımlı X-Işını Floresans Spektrometresi (WD-XRF) cihazı kullanılarak yapılmıştır. XRF analizi için karot örnekleri bilyeli öğütme değirmeninde 150-200 mesh boyutlarında öğütülmüştür. Daha sonra öğütülen örnek tozlarından 4 gr numune alınarak 0.9 gr bağlayıcı malzeme ile homojen bir şekilde karıştırılmış ve

metal aparatlar içerisinde 15-20 N/m basınç altında tutularak 32 mm çaplı yuvarlak tabletler halinde ölçüme hazır hale getirilmiştir.



Şekil 1.4: Karot örneklerinin yarılanmasından bir görünüm.

Metallürjik Testler

Sondaj çalışmalarıyla elde edilen silindirik şekilli kayaç (karot) örnekleri yeraltından çıkar çıkmaz yarılanarak tartılmış, örnek poşetlerine vakumlanmak suretiyle konulmuştur. Örnekler hem Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü laboratuvarlarına hem de ABD’de bulunan R and D laboratuvarlarına gönderilerek aynı yöntemle metallürjik analizlerinin yapılması istenmiştir. İki yerde de bottle roll testleri yapılmıştır.

Litrede 2 gram sodyum bikarbonat ve litrede 0.5 gram hidrojen peroksit eklenerek hazırlanan çözelti 250 ml’dir. Bu 250 ml’lik çözeltiliye 25 gram cevher içeren örnek eklenmiştir ve elde edilen karışım 12 gün boyunca bekletilerek uranyum konsantrasyonları belirli saatlerde ölçülmüştür.

1.3.2 Su Örneklerinin Toplanması ve Analize Hazırlanması

İnceleme alanında bulunan pınarlardan ve kuyulardan 17 adet su örneği alınmıştır (Şekil 1.2). 200 ml'lik plastik polietilen kaplara konulan bu örnekler Kanada'da bulunan ALS Chemex laboratuvarına gönderilmiş ve analizleri yaptırılmıştır. Bu örneklerin alındığı lokasyonlar GPS cihazıyla belirlenmiştir.

Sularda Kimyasal Analiz Yöntemleri

Çalışma alanından toplanan su örnekleri içerilerine 1 ml HNO₃ eklenerek 200 ml'lik örnek kaplarına konularak analize gönderilmiştir. Örnekler Kanada'da bulunan ALS Chemex şirketine ait laboratuvara gönderilmiş olup analiz yöntemi olarak ICP-MS (Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometer) seçilmiştir. Bu yöntem ile suların metal içeriklerinin belirlenmesi için analizleri yapılmıştır.

Sularda Radyometrik Analiz Yöntemleri

Alınan örnekler ALS Chemex Prag laboratuvarına gönderilerek S-RAD-NAT yöntemi ile analiz edilmiştir. Bu yöntem yüksek çözünürlüklü gamma spektrometresi ile radyonüklitlerin belirlenmesini sağlamaktadır.

Yerinde Analiz Yöntemleri

Çalışma alanından toplanan su örneklerinin bir kısmı analize gönderilmeden önce alındıkları yerde pH, Eh (v), EC (Elektriksel iletkenlik(mS/cm)) ve TDS (Toplam çözünmüş madde (ppt)) değerleri Adwa marka yerinde ölçüm cihazı ile ölçülmüştür.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Türkiye’de uranyum üzerine yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Köprübaşı (Manisa) bölgesinde Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü (MTA) tarafından oldukça fazla sayıda çalışma yapılmıştır (Ayışkan, 1972a,b; Sadık, 1973; MTA, 1976; MTA, 1978; MTA, 1986). Bu çalışma kapsamında bölgede maden arama sondajları, jeokimyasal çalışmalar ve rezev çalışmaları yapılmıştır. Ayrıca, bölgede farklı tip yataklanma oluşumlarına sahip uranyum cevherinin işletme aşamasında nasıl üretilebileceğine yönelik deneysel çalışmalar da yapılmıştır. Çalışmaların sonucunda uranyumdan ‘sarı pasta’ (U_3O_8) elde edebilmek için bir pilot tesis kurulmuş ve bir miktar sarı pasta elde edilmiştir (MTA, 1986). Bahsedilen tesiste şu an herhangi bir çalışma bulunmamaktadır.

Yılmaz (1979, 1982) Köprübaşı (Manisa) Neojen yaşlı sedimanter kayaçlarında gözlenen uranyum yataklarının oksitli ve oksitsiz olmak üzere iki farklı tipe olduğunu belirlemiştir. Bu yatakların jeolojisi, mineralojisi ve kökenine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Araştırmacı, uranyum tenörünün 300 ppm ile 600 ppm arasında değiştiğini ve uranyumun kaynak kayaçlarının da çalışma sahası ve civarında bulunan metamorfikler ve tüfler olduğunu belirtmiştir.

Kaçmaz (2007), Ecinlitaş, Uğurlu, Kasar, Topallı, Kayran ve Çetinbaş köyleri civarındaki uranyum yataklarını incelemiştir. Araştırmacıya göre, oluşumlar konglomeralar ve kumtaşları içindedir. Uranyum mineralleri olarak meta- torbenit, torbenit gözlemiştir. Bu minerallerin yanında klorit ve jarotsit gibi ikincil mineraller de saptamıştır. Çalışma sahasında alınan örneklerin uranyum değerlerinin genelde 100 ppm ile 4,000 ppm arasında değiştiği ancak demirce zengin tortullardan alınan örneklerde bu değerin 10,000 ppm üzerine kadar çıktığı görülmüştür.

Şimşek (2008), Köprübaşı yöresindeki uranyumlu bölgelerdeki yeraltı suyu akiferlerindeki doğal radyoaktivite (^{226}Ra , ^{232}Th ve ^{40}K) değerlerini araştırmış ve dünyanın farklı bölgeleriyle karşılaştırma yapmıştır. Araştırmacı, çalışma alanından alınan tüm örneklerin ^{226}Ra ve ^{40}K değerleri dünyadaki ortalamasından yüksek olduğunu belirtmiştir.

Yılmaz (1982), Köprübaşı'nda (Manisa) uranyum, Neojen nehir çökelleri içerisinde yatakladığını belirtmiştir. Oksitli cevherleşmelerin oluşum tipini ikincil jarosit-vaylandit ve manyetit-ilmenit, oksitsiz cevherleşmelerin oluşum tipini ise piritik ve sideritik olarak belirtmiştir.

Kalender ve diğ. (2016), Batı Anadolu' daki uranyum cevherleşmesinin jeolojik ve jeokimyasal özelliklerini incelemişlerdir. Bu çalışmada uranyumun dağılımının uranyumca zengin solüsyonların fizikokimyasal özelliklerine bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Uranyum ve P_2O_5 arasında güçlü pozitif bir korelasyon görülmüş ve uranyumun fosforca zengin bölgelerde yataklanmış olabileceği belirtilmiştir. Organik karbon ve uranyum arasındaki negatif korelasyona bağlı olarak birincil cevherleşme inorganik bileşiklerdeki minerallerin çözünmesi ile oluşmuştur.

Yozgat bölgesinde ve civarında uranyumun kaynağı olarak gösterilen Yozgat Batoliti'nin jeolojisi detaylı olarak bir çok araştırmacı tarafından araştırılmıştır. Bu çalışmalar aşağıda özetlenmiştir:

Yozgat Batoliti'nde günümüze kadar yapılan tüm jeolojik çalışmalarda, batolitin yaşına ilişkin herhangi bir radyometrik yaş tayini çalışması olmadığından ve batoliti örten en yaşlı birimin Alt Eosen yaşlı Topçu Formasyonu (Ekici ve Boztuğ, 1997) olmasından dolayı, Ketin (1955) tarafından önerilen bilgiler de dikkate alınarak; Yozgat Batoliti'nin Üst Kratase - Paleosen yaşlı olduğu ileri sürülmüştür (Boztuğ, 1995; Ekici ve Boztuğ, 1997).

Yozgat Batoliti hakkında Boztuğ (1995), Ekici ve Boztuğ (1997), Tatar ve Boztuğ (1997) tarafından yapılan çalışmalar batolitin, Anatolit - Pontit çarpışma sisteminin pasif kenarında yer aldığını göstermektedir.

Akçe (2003), Akçe ve Kadioğlu (2003, 2004, 2005, 2006) ise yaptıkları çalışmalarda Yozgat Batoliti hakkında şu bilgilere ulaşmışlardır: Yozgat Batoliti, Orta Anadolu Kristalen Karmaşığı'nın kuzey bۆlümünde yer almakta olup çok farklı bileşimdeki granitoyid ve gabroyik kayaçlardan oluşmaktadır. İnceleme alanındaki gabrolar; genelde koyu yeşil renkli, iri, orta ve ince taneli kayaçlar olup, Yozgat ilinin gۆneybatısı, gۆneyi ve doğusunda kۆk yۆzlekler halinde bulunmaktadır.

Erdoğan ve diğ. (1996)'ne gۆre, ankırı havzasının gۆney kesimleri boyunca uzanan, Yozgat-Yerkۆy arasındaki Tersiyer yaşlı İncik ve Yoncalı Formasyonları daha yaşlı olan Yozgat Batoliti ve ökelik Volkanitleri üzerine uyumsuz olarak gelir. Bayat Formasyonu ile bu birimler arasında, yanal ve dۆřey yۆnde girik bir ilişki bulunur. Üstte ise Kızılırmak Formasyonu bu birimleri uyumsuz olarak örter.

Bۆlgeye en yakın yaygın volkanizmanın gۆzlendiđi alan çalışma alanının kuzeyinde kalan Bayat civarlarıdır. Bu bۆlgedeki ve yer yer çalışma alanına çok yakın yerlerde gۆzlenen Bayat volkaniklerindeki çalışmalar aşağıda ۆzetlenmiřtir:

Bayat Volkanitleri, bazaltik, andezitik lavlar, breş ve tۆflerden oluşur. Andezit, bazalt, agleomera, tۆf ardanmalı, genellikle boz renkli yer yer gri, kahverenkli, kirli sarımsı, kırmızımsı renklidir. Bu birim farklı yerlerde farklı ۆzellikler sunmasına karşın çalışma alanında çoğunlukla kendi arasında ardanmalı ya da denizel kırıntılarla ardışıklı olarak izlenir. Bۆlgede paragonit (bazaltik cam), breş ve tۆfler, epidot ile çevrelenmiş kۆřeli parçalar, tۆfler ve altere matrix ile oluşan piroklastik kayaçlar hakimdir; (Erdoğan ve diğ, 1996).

Bayat Volkanitleri, andezitik ve bazaltik lavlar, breş ve tۆflerden oluşur. Volkan bacaları deniz yۆzeyinin ۆzerinde oluşur (Erdoğan ve diğ, 1996).

Bۆlgedeki sularla ilgili olarak, İl evre Mۆdۆrlۆđü'nün çalışması gۆze çarpmaktadır:

Yozgat evre Durum Raporu' na (2008) gۆre, Sorgun bۆlgesindeki termal suların klorlu sۆlfatlı, NaCl - NaSO₄ grubuna girmektedir, debileri 41 litre/saniye ve ortalama sıcakları 50 – 61 ⁰C'dir.

Dünyada uranyum üzerine yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Hazen ve diğ. (2009), uranyum ve toryum minerallerinin evrimi üzerine çalışmışlardır. Dünya' daki uranyum oluşumlarını 4 faz altında incelemişlerdir. İlk faz 4,5 – 3,5 milyar yıl öncesinde oluşan uranyum ve toryum minerallerinin zirkonca zengin magmatik solüsyonlardan geldiğini ve uraninit, torit ve kofinit olduğunu belirlemişlerdir. Araştırmacılar, ikinci fazda (3,5 – 2,2 milyar yıl) Witwatersrand tipi kuvars taneli konglomeralar içerisinde toryumca zengin uraninit, üçüncü fazda 2,2 milyar yıldan daha genç oluşumlarda, bilinen bir çok uranyum minerallerinin çözülebilir formdaki bileşiği olan uranil ($U^{6+}O_2$)²⁺ iyonunun reaksiyonları biyolojik aktivite aracılığı ile oluşan uranyum minerallerinden bahsetmektedirler. Araştırmacılara göre, dördüncü ve son faz ise yakın geçmişte, bitkilerin gelişimi ve organik materyallerce zengin sedimanter kayaçların çökelişi ile ilişkilidir.

IAEA (Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı) raporuna göre (1985), kumtaşı tipi uranyum yataklarının çoğunluğu Karbonifer ile Tersiyer arasındaki zaman diliminde oluşmuşlardır.

Banning ve diğ. (2012), Kuzey Meksika' da volkano-sedimanter havzalardaki uranyum ve arsenik dinamikleri ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Yarı kurak bir iklime sahip olan San Luis Potosi şehrinin etrafındaki Villa de Reyes grabenindeki volkano-sedimanter kayaçlarındaki derin yeraltı sularındaki uranyum ve arsenik değerlerini Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından belirlenen içme suyu değerlerini baz alarak incelemişlerdir.

Breit ve Hall (2011), volkanojenik uranyum yataklarının modeli ile ilgili çalışmışlardır. Araştırmacılara göre, bu tip yatakların oluşma süreci, uranyumun felsic kayaçlardan çözünmesi, hidrotermal solüsyonlar tarafından taşınması ve kimyasal/fiziksel koşullarla çökmesinden ibarettir.

Ni ve diğ. (2014), bir fosfat yatağı yakınındaki Mianyuan nehrinin (Çin) sedimanlarındaki uranyum dağılımını ve sudaki uranyum çeşitliliğini incelemişlerdir. Araştırmacılar, uranyumun, selenyum ve arsenikle güçlü doğrusal bir korelasyonu olduğunu tespit etmişler ve bölgedeki fosfat yatağının ana kaynağının uranyum, arsenik ve selenyum olduğunu sonucuna ulaşmışlardır. Sudaki baskın U(VI) türlerinin suyun pH' 1 ve sudaki toplam fosfat konsantrasyonuna bağlı olarak $UO_2(HPO_4)_2^{2-}$, $Ca_2UO_2(CO_3)_3$ ve $UO_2(CO_3)_3^{4-}$ iyonları olduğunu belirlemişlerdir.

Rogers ve diğ. (1978), granitik magmatik kayalarda bulunan birincil uranyum yataklarını üç temel grupta incelemiştir: 1) Sinjenetik, ortomagmatik saçınımlar, 2) Yüksek sıcaklıklı, pegmatitik evrede gelişmiş geç-magmatik yataklar (Rossing Uranyum Yatağı, Namibya), 3) Yerinde ergimiş kayalardan türeyen lokal pegmatitik kayalar.

Dawood ve Abdel Naby (2001) tarafından, Mısır'ın Um Are bölgesinde yapılan çalışmalarda albitçe zengin alkali Feldispat granitlerdeki kırık zonlarındaki oksitli zonlarda ikincil uranyum mineralleri tespit edilmiştir. İkincil uranyum mineralleri, kırık düzlemlerinde sıvama şeklinde kristal halde gözlenmiştir. Mineralleri ve etrafındaki alterasyon çeşidini tayin etmek için X-Işın Difraksiyonu (XRD) ve Scanning Electron Microscope (SEM) kullanmışlardır. Araştırmacılar yaygın uranyum mineralinin uranofan olduğunu, Ca-montmorillonit ve illit alterasyonun da yaygın olduğunu belirtmişlerdir. İkincil uranyum minerallerinin ise oksitli sularla granitten çözünerek zenginleştiği belirlenmiştir.

Zhao ve diğ. (2011) göre, Laser ablation - Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometer zirkon ve U- Pb jeokronolojik yöntemlerle yapılan yaş tayininde Taoshan kompleksinde bulunan uranyumca zengin Daguzhai graniti ve uranyum açısından önemsiz Huangpi granitinin yaşları aynı olup 154 ± 2 milyon yıl sonucu çıkmıştır. Daguzhai granitinin, Huangai granitine göre, P_2O_5 yüzdesinin daha yüksek ancak, CaO yüzdesinin daha düşük olduğu tespit edilmiştir. İki granit de farklı Sr-Nd izotopik kompozisyonlara sahiptirler. Araştırmacılar tarafından Daguzhai granitinin S-tipi, Huangai granitinin ise I-tipi granit sınıfına girdiği tespit edilmiştir.

Hu (2013)'ya göre, Çin'in Guangxi bölgesinin kuzeyinde bulunan Miaoershan uranyum yatağı, güney Çin'deki granitlerle ilişkili en önemli yataklardan biridir ve Douzhashan uranyum içerikli graniti ile yakından ilişkilidir. Douzhashan graniti birincil uranyumca zengin aksesuar mineraller içermektedir (UO_2 : 0,98 – 1,75%). Elektron mikroskobu ile yapılan yaş tayinleri 231 ± 28 milyon yıl sonucunu vermiştir. Bu yaş analizi, Douzhashan granitinin Endonezya magmatik aktivitesi sırasında oluştuğunu göstermektedir.

Luo ve diğ. (2015)' e göre, Miaoershan (MES) uranyum bölgesi Çin'in en önemli uranyum yataklarından biridir. Diğer granitik kökenli yataklar gibi, Miaoershan da karbonatlı- silisik ve pelitik kayaç tipleriyle temsil edilir. Ziyuan bölgesinde bulunan Shazijiang uranyum (SZJ) yatağı ise, MES'in içerisinde granitik kökenli yataklanmanın en belirgin temsilcisidir. SZJ yatağındaki uranyum minerali kuvars ve kalsit damarlarıyla kesilmiş uranitittir. Hidrotermal alterasyon silisleşme, karbonatlaşma ve hematitleşmeye neden olmuştur. U-Pb jeokronolojisi ve petrografik özellikler mineralleşmenin farklı fazlarda olduğunu göstermektedir. Sonuçlara göre, ilk uranyum cevherleşmesinin yaşı 97.5 ± 4.0 milyon yıl iken, bir başka faz cevherleşme 70.2 ± 1.6 milyon yıl yaşındadır. Bu iki ayrı faz 100 ve ~70 milyon yıl önceki aralıklarla gerçekleşen kıtasal genişlemeyle son derece önemlidir. Araştırmacılar, SZJ uranyum yatağında iki ayrı fazın etkin olduğuna, cevherin mafik dayklarla kontrol edildiğini ve bu daykların uranyum konsantrasyonu/taşınımı esnasında tipojeokimyasal bir rol üstlendiğini işaret etmektedir.

Min ve diğ., (2005) göre, Kuzeybatı Çin'in Xinjiang bölgesindeki Wuyisan kumtaşı tipi roll-front uranyum yatağındaki birincil uranitit ve kofinit mineralleri biyojenetik olarak çökelmiş ve psedomorfolojik olarak mantar ve bakterilerin yerini almıştır. Uranyum için bu sistemdeki indirgen enzimlerdir. Buna göre mikroorganizmalar, roll-front tipi uranyum yataklarının oluşmasında çok önemli bir rol oynamaktadır.

Howari (2015), Orta Doğu ve Kuzey Afrika'daki uranyum yataklarının sınıflandırılması üzerine çalışmıştır. Araştırmacı bu çalışma ile bölgedeki yatakların mineralizasyon sisteminin iyi anlaşılabilmesini amaçlamıştır. Çalışma sonucuna göre, 8 farklı metalojenik tipte uranyum yataklanması belirlenmiştir. 1) Arkeen kayaçlar ve intrakratonik basenler, 2) Magmatik aktivite ile karakterize edilen Pan Afrikan granit ve riyolitleri, 3) Fanerozoik klastik kayaçlardaki sedimanter yataklanmalar, 4) Mesozoyik klastikleri, 5) Bölgesel sedimanter fosfat yatakları, 6) Senozoyik intraklastik felsik magmatizması, 7) Kalkritler, 8) NTE'ce zengin resistant mineraller.

OECD (2014), raporuna göre uranyum yataklanmaları 15 ana kategoride sıralanmıştır: 1) Kumtaşı yatakları, 2) Proterozoyik uyumsuzluk yatakları, 3) Polimetalik demir oksit breş kompleks yatakları, 4) Kuvar-konglomera tipi yataklar, 5) Granit ilişkili yataklar, 6) Metamorfit yataklar, 7) İntrüzyon ilişkili yataklar, 8) Volkaniklerle ilişkili yataklar, 9) Metasomatik yataklar, 10) Yüzeysel yataklar, 11) Karbonat ilişkili yataklar, 12) Fosfat ilişkili yataklar, 13) Linyit ve kömür ilişkili yataklar, 14) Yıkıntı breşi tipi yataklar, 15) Siyah şeyl ilişkili yataklar.

Romaniello ve diğ. (2013), karbonatlardaki paleoredox tanımlaması için kullanılan $^{238/235}\text{U}$ oranının geliştirilmesinde bazı yeni paradigmaları araştırmışlardır. Araştırma sonucunda gelgitlerle oluşan göletlerin merkezindeki sedimanlardaki $^{238/235}\text{U}$ ve $^{234/238}\text{U}$ değerlerinin çok düşük olduğunu (% 0,7-102) tespit etmişlerdir.

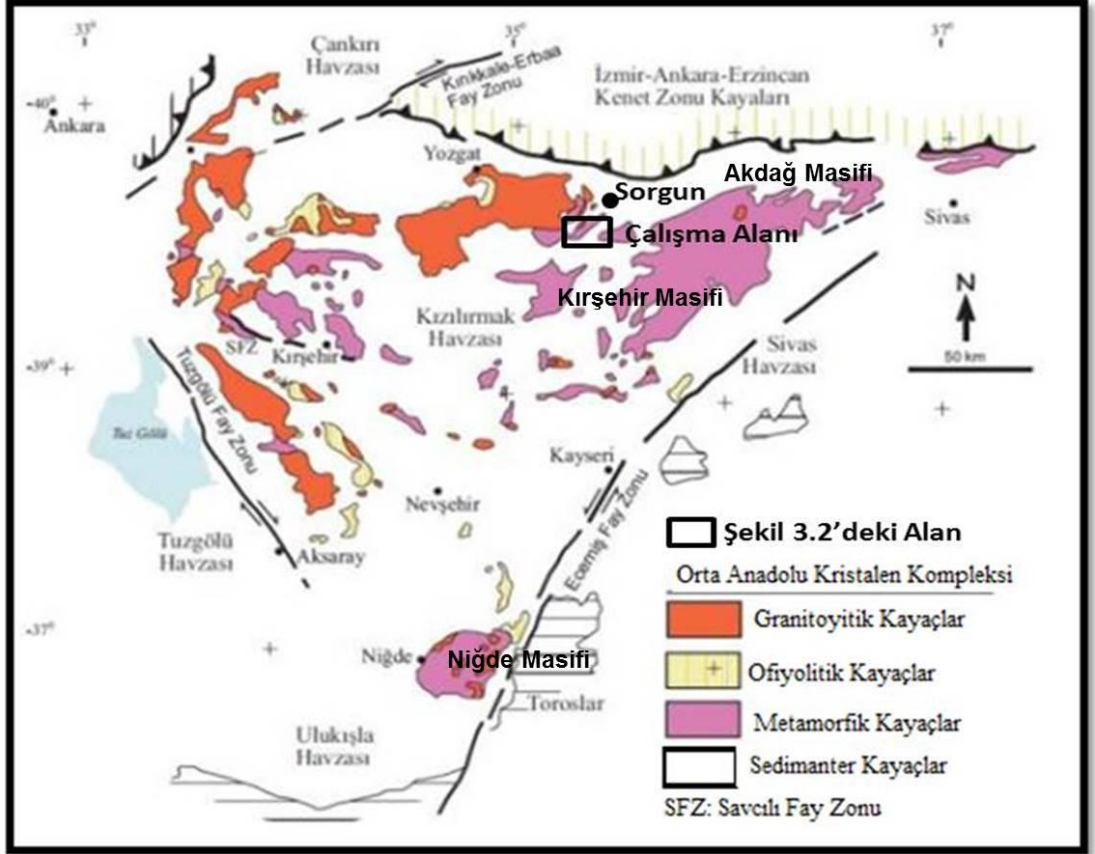
3. JEOLJİK ÖZELLİKLER

Cevherleşme sahası içinde çeşitli zamanlarda çalışmalar yapılmış ve bu çalışmalar sonucu sahanın jeolojisi ve cevherleşme boyutları saptanmıştır. MTA (1987) raporunda belirtildiği üzere, sahadaki ilk çalışmalar, 1958 yılında havadan radyometrik prospeksiyon ile başlamış ve bu çalışma sonucu Sorgun'un güneyinde bazı bölgeler hedef olarak seçilmiştir. 1960 yılında havadan radyometrik ve manyetometrik etütler yapılmış ve çalışma alanı hedef sahalardan biri olarak belirlenmiştir. MTA bu sahada 1972 yılında başlayarak bir arama programı belirlemiş ve sahada 507 lokasyonda 74,057 m sondaj yapmıştır. Bu sondajlarda uranyum cevherleşmesinin boyutları ve geometrisi belirlenmiştir. Adur şirketi ise, 2010 yılında başladığı sondaj çalışmalarıyla MTA sonuçlarını teyit etmiş ve cevher modelini geliştirmiştir. Adur şirketi de toplamda 123 adet sondaj (yaklaşık 19,000 metre) yapmıştır. Bu çalışmalar ışığında sahanın jeolojik özellikleri belirlenmiştir.

3.1 Bölgesel Jeoloji

Çalışma alanı, İç Anadolu Bölgesi' nde bulunan Yozgat iline bağlı Sorgun ilçesi sınırları içerisinde yer almaktadır. Çalışma alanı daha geniş bir ölçekte bölgesel jeoloji açısından ele alındığında, Türkiye tektonik birliklerinden (Şengör 1984) Kırşehir Bloğu içerisinde yer aldığı görülmektedir. Önceki çalışmalarda "Yozgat Batoliti" ve/veya "Yozgat İntüzif Kompleksi" şeklinde tanımlanmış olup Orta Anadolu Kristalen Karmaşığı'nın (Göncüoğlu ve diğ. 1991, 1992, 1993) kuzey kenarında yer almaktadır. Ülkemizde Alpin Orojenezi'nin doğal sonucu olarak oluşmuş olan Orta Anadolu Kristalen Karmaşığı (OAKK), kuzeyde İzmir-Ankara-Erzincan Sütur Zonu, batıda Tuz gölü fayı, doğuda ise Ecemiş fay zoneuyla sınırlanan, köşeleri Sulakyurt, Sivas ve Ulukışla'da olan kabaca üçgen biçimli bir alanda yayılım gösteren magmatik ve metamorfik kayalar topluluğudur (Görür ve diğ. 1984, Erler ve Bayhan 1995, Kadioğlu ve Güleç 1999, Kadioğlu 2001). Kırşehir

Masifi (Arni 1938, Seymen 1982), Çiçekdağ Masifi, Niğde Masifi, Akdağmadeni Masifi gibi yerel adlarla veya Kızılırmak Masifi ve Orta Anadolu Masifi gibi bölgesel adlarla anılan bu kayalar topluluğu, levha tektoniği terminolojisi açısından ise Kırşehir Masifi, Kırşehir Bloğu veya Kırşehir Mikro Levhası olarak adlandırılmaktadır (Erler ve diğ., 1991) (Şekil 3.1).

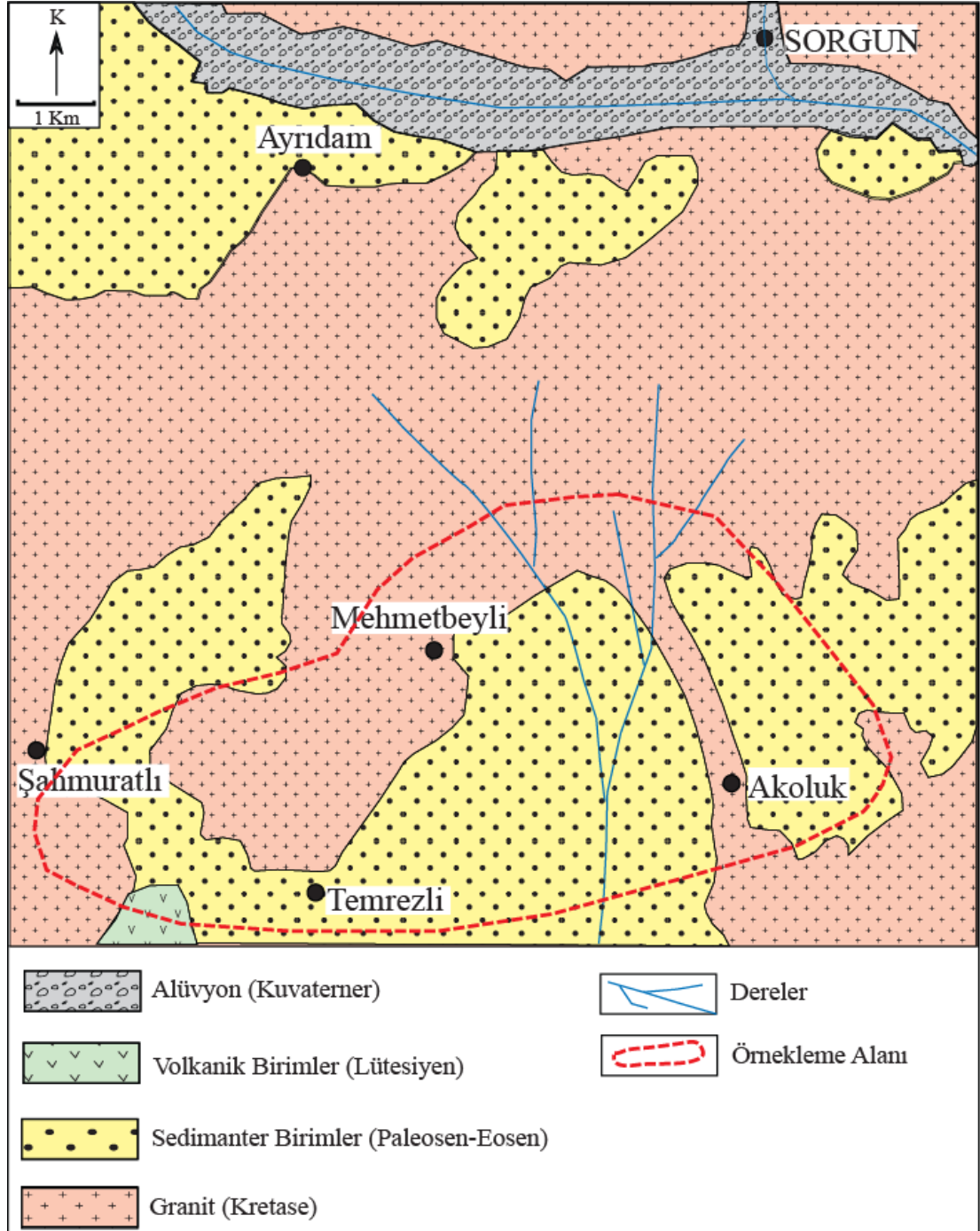


Şekil 3.1: Orta Anadolu Kristalen Kompleksi ve yakın çevresinin sadeleştirilmiş jeoloji haritası (Işık, 2009).

3.2 Çalışma Alanının Jeolojisi

Temrezli'deki uranyum cevherleşmesi yukarıda da bahsedilen Sivas Havzası içerisinde yer alan Tersiyer yaşlı sedimanter birimler içinde yataklanmıştır. Granit temel üzerine saha içerisinde ve etrafında formasyon ayırtlaması yapılmamış olan Paleosen yaşlı konglomeralar ve bu konglomeralar üzerine de Çeltek Formasyonu'nun geldiği düşünülmektedir (Atalay, 2001). Çeltek Formasyonu'nda Eosen yaşlı kaba ve ince taneli kumtaşları, siltaşları ve kilaşları birbirleriyle

ardalanmalı olarak gözlenmektedir. Eosen sonunda meydana gelen volkanizma ile oluşan andezitik ve bazaltik volkanikler bütün bu birimleri yer yer örtmektedir. Volkaniklerin de üzerine Pliyosen yaşlı kireçtaşları gelmektedir (Şekil 3.2 ve 3.3). Bu birimlerin üzerinde Kuvaterner yaşlı alüvyon örtü bulunmaktadır.



Şekil 3.2: İnceleme alanının genel jeoloji haritası (MTA, 1987'den değiştirilmiştir).

Çalışma alanında stratigrafik istif, Şekil 3.3'de sunulmuş ve yaşlı birimden genç birime doğru aşağıda detayları verilmiştir.

Bölgede temelde en yaşlı kayalar olarak Kırşehir Masifi'nin bir parçası olan granit ve granodiyorit gibi asidik magmatik kayalar (Kerkenez granodiyoriti) bulunur.

Granit ve granodiyoritler sahadaki uranyum kaynağını oluşturmakta olup yüksek konsantrasyonlarda uranyum içermektedirler. Bu çalışmada elde edilen verilere göre, granitik birimlerdeki uranyum konsantrasyon değerleri 9,5 ve 14,2 ppm'dir. Bu temel kayaları Kretase yaşlıdır (Akçe, 2010).

Kretase'nin üzerine Paleosen sedimanter kayaları gelmektedir. Paleosen yaşlı kayalar konglomera, kumtaşları ve çamurtaşlarının ardalanmasından oluşmuşlardır ve bu kayalarda ekonomik uranyum cevherleşmesine rastlanmamıştır.

Çalışma alanında Eosen, Çeltek Formasyonu ile temsil edilir. Eosen'deki çökellerin içersinde mercerler halinde uranyum cevheri bulunmaktadır ve tüm cevherli kütleler Eosen yaşlıdır. Eosen'deki litolojik birimler 4 ana başlıkta incelenir.

Eosen'in üzerine uyumsuz olarak Pliyosende oluşmuş genç kireçtaşı çökelleri gelmektedir. Çalışma alanında Pliyosen ile ilgili olarak herhangi bir formasyon ayırtlaması yapılmamıştır.

Kuvarterner'de oluşan ise alüvyon örtüsünün kalınlığı yer yer 5 metreyi bulmaktadır.

Jeolojik Zaman (M.Y)	Sistem	Seri	Kat	Formasyon	Ortam	Kalınlık	AÇIKLAMALAR
1.8	TERSİYER	NEOJEN			AKARSU	0-25	ALÜVYON: Yer yer 25 m'ye kadar uzanan derinlikte tarım toprakları
5					LAGÜN	5-60	KİREÇTAŞI: Lagüner ortamlı
37	PALEOJEN	EYOSEN	LÜTESİYEN SONU	ÇELTEK FORMASYONU	AKARSU	5	ÇAKILTAŞI: Kalsit çimentolu ve köşeli
45					VOLKANİZMA		VOLKANİKLER: Andezit-Bazalt
55	KRETASE	PALEOSEN	LÜTESİYEN	ÇELTEK FORMASYONU	KARBONATLI KIYI RESİFİLERİSİ	5-70	KİLTAŞI: Kalsitçe zengin ve matris çimento destekli
					SİĞ DENİZ	20-45	SİLT TAŞI: İnce tabakalı, nümümlütlü kalsit çimentolu, sarımsı kahve, uranyum ve linyit içerikli
						20-90	İNCE TANELİ KUMTAŞI: Orta-İnce tabakalı yer yer kalsit çimentolu, nümümlütlü, gri renkli, uranyum içerikli
						60-140	KABA TANELİ KUMTAŞI: Çapraz tabakalı, gri ve kahverengi renkli, kama, mercekle ve düzensiz şekilli uranyum içerikli, killi ve linyitli
					KIRINTILI KIYI BATAKLIK	0-140	KONGLOMERA: Çimentolu, bol fosilli, siyah-gri bitki fosilli, linyit bantlı
					KERKEZ GRANİTİ		TABAN KAYAÇLARI: Granit-Granodiyorit

Şekil 3.3: İnceleme alanının genelleştirilmiş stratigrafik sütun kesiti (Ölçeksiz; Sungur ve diğ. 1984'den değiştirilerek alınmıştır).

3.2.1 Kerkenez Granodiyoriti (Kretase – Temel Kayaçları)

Yozgat Magmatik Kompleksinin kuzeydoğu bölümünde Sorgun ilçesi güney-güneybatısı ve Kerkenez Harabeleri civarında gözlenen granitoidler özellikle alkali feldispat/plajiyoklas ve mafik mineral içeriği-oranı ile mineral tane boyutu değişmekte olup “granodiyorit” bileşimine sahiptirler. Tipik olarak Kerkenez Harabeleri civarında gözlenen birim “Kerkenez granodiyoriti” şeklinde adlandırılmıştır (Akçe, 2010) (Şekil 3.4 a ve b).

Kerkenez granodiyoriti, Şahmuratlı ve Küçükköhne’de taze yüzlekler vermekte olup ince kristalin bir dokuya sahiptir. Başlıca kuvars, ortoklaz, plajiyoklas ve amfibol bileşiminden oluşan birim biyotit bakımından fakirdir. Grimsi ve açık gri renkli olan birim, yer yer faneritik yer yer holokristalen doku özelliği sergilemekte ve boyutları yaklaşık 5-6 cm’ye varan genelde elipsoidal biçimli olan mafik magmatik anklavlar içermektedir (Akçe, 2010).

Kerkenez granodiyoriti, Sorgun’un güneyinde, Mehmetbeyli köyü’nün kuzeyi ve güneybatısında yaklaşık KD-GB istikametinde uzanan riyolit/ riyolitik granitporfirler tarafından kesilmektedir. Açık yeşil renkli olan riyolit/ riyolitik granitporfirler çok ince taneli bileşenlerden oluşmaları yanında iri feldispatlar içermeleriyle porfiroafanitik doku özelliği sergilemektedirler (Akçe, 2010).

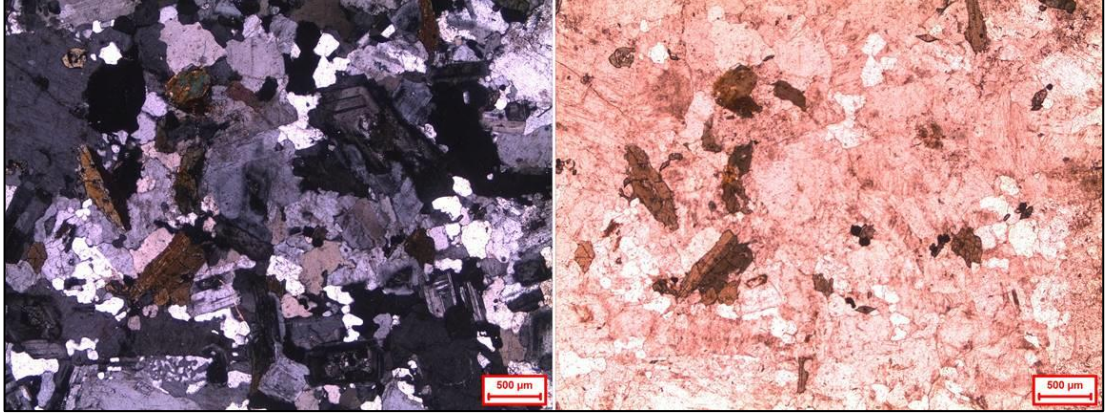
Kerkenez granodiyoriti, daha önceki çalışmalarda mikroskop altında incelendiğinde yaklaşık eş boyutlu ve yarı özşekilli plajiyoklas, alkali feldispat, kuvars, amfibol ile az oranda da biyotit bileşiminden oluştuğu ve holokristalin hipidiyomorf taneseli doku özelliğine sahip olduğu ve bazı amfibol ve plajiyoklasların öz şekilli olduğu görülmektedir. Felsik mineral olarak plajiyoklas, alkali feldispat ve kuvars içeren birim mafik mineral olarak da genelde amfibol ve az miktarda biyotit içermektedir. Alkali feldispatlar genelde ortoklas, plajiyoklaslar oligoklas ve andezin, amfiboller ise hornblend bileşimine sahiptir. Tali mineral olarak özşekilli allanit (ortit), titanit (sfen), zirkon ve opak mineraller gözlenmektedir (Akçe, 2010) (Şekil 3.5).



Şekil 3.4: a) Şahmuratlı civarında gözlenen Kerkenez granodiyoritinin arazi görüntüsü (Akçe, 2010) ve Kerkenez granodiyoritinden bir görünüm b) Kerkenez granodiyoritinin sondaj karotu görüntüsü.

Mikroskobik çalışmalarda özel doku olarak plajiyoklas ve allanitlerde zonlu dokuya, ortoklas ve kuvars arasında gelişmiş olan implikasyon dokularından grafik dokuya rastlanmıştır (Akçe, 2010).

Birim içerisinde yer yer taze mostralar gözlenmekle birlikte atmosferik etkilerle yüzeysel bozunmanın yaygın olduğu mostralar da bulunmaktadır. Bazı bölgelerde feldispatlarda killeşme ve serisitleşme gözlenirken ferromagnezyumca zengin bazı minerallerin opaklaştığı görülmüştür (Akçe, 2010).



Şekil 3.5: Kerkenez granodiyoritinin mikroskop görüntüsü (a: Çift Nikol, b: Tek Nikol).

Çalışma alanında geniş bir kesiminde mostra veren granit ve granodiyoritler bazı kısımlarda altere olmuşlardır. Bu alterasyon yer yer süperjen koşullarla yer yer ise düşük sıcaklıklı hidrotermal solüsyonların etkisiyle meydana gelmiş ve genişlikleri bazı kesimlerde 3-4 km'yi bulabilmektedir. Bu alterasyon zonları U, Th, Mo, Cu, Pb ve Zn gibi bazı elementlerin prospeksiyonu açısından önem taşımaktadır. Türkiye'de bilinen en önemli molibden yataklarından biri Yozgat ilinin güneyinde yer alan Başnayayla köyü civarında bulunur ve altere granitler içerisinde bulunan kuvars damarları ile ilişkilidir (Kuşçu ve Genç, 1999).

Granit ve granodioritlerde göreceli olarak yüksek konsantrasyonlarda uranyum bulunması nedeniyle, bu kayaların bölgedeki uranyum yataklarının oluşumunda kaynak kayaç oldukları tespit edilmiştir.

3.2.2 Paleosen Birimleri

Çalışma sahasında Paleosen, konglomera, kumtaşı, çamurtaşı ar dalanmasından oluşan bir birimle temsil edilmektedir (Şekil 3.6). Paleosen birimleri, siyah, gri ve yeşilimsi renkte olup bitki fosilli ve linyit bantlıdır. Bu birimler temeldeki birimlerin topoğrafik olarak çukur kısımlarını doldurmuştur. Paleosen, üstündeki Eosen birimlerine göre daha fazla tektonik etkilere maruz kalmış olup aralarında açısız uyumsuzluk vardır. Çalışma alanında temele kadar inen bazı

sondajlarda bu birime rastlanmıştır. Bu birim uranyum açısından önemli değildir (MTA, 1987).



Şekil 3.6: Paleosen yaşlı konglomeralardan bir görünüm

3.2.3 Çeltek Formasyonu (Eosen)

Uranyum oluşumu bu birim içinde olduğundan, dört alt fasiyese ayrılarak daha ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bunlar alttan üste doğru; kaba taneli kumtaşı, ince taneli kumtaşı, silttaşı ve kiltaşından oluşmaktadır.

Kaba Taneli Kumtaşı

Eosen' in tabanını teşkil eden bu birim gri, açık sarı ve kahverengi renkli, iri ve orta taneli, kalsit çimentolu ve feldispatça zengin matriksle tutturulmuş çapraz tabakalanmalı ve yer yer nümmülit fosillidir. Taban kısımları kiltası, linyit ve kireçtaşı bantlıdır. Çalışma alanında sınırlı yüzeyleme verir. Bu birimin kalınlığı 60-140 m arasında değişmektedir ve 3-12⁰ kuzeydoğuya eğimlidir. Yeraltı suyu bakımından zengin olup, uranyum yönünden oldukça önemlidir. En çok uranyum merceği bu birimde mevcuttur. Bu kumtaşları üst seviyelere doğru dereceli olarak ince taneli kumtaşlarına geçiş göstermektedir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7: Eosen yaşlı kaba taneli kumtaşından bir görünüm.

İnce Taneli Kumtaşı

Alt ve üstündeki fasiyeslere dereceli geçiş gösterir. Uranyum yönünden ikinci derece öneme sahiptir. Gri, açık sarı ve kahverengi renkli, kalsit çimentolu ve feldispatça zengin matriksle tutturulmuş linyit bantlı ve bol nümmülit fosillidir. Bu birimin kalınlığı 20-50 m arasında değişmektedir. Bazı kısımlarında kalsit içeriği çok yoğundur ve bu nedenle oldukça duraylıdır.

Silttaşı

İnce tabakalı, az kıvrımlı olup uranyum yönünden az önemli olan bu birim gri, açık sarı ve kahverengi renkli, kalsit çimentolu ve feldispatça zengin matriksle tutturulmuş, yer yer linyit içerikli ve bol nümmülit fosillidir. Bu birimin kalınlığı 20-45 m arasında değişmektedir. Kalsit açısından yoğun olduğu kısımlarda oldukça serttir. Üsteki fasiyeslere dereceli geçiş gösterir.

Kiltaşı

Çok ince tabakalı ve laminalı, gri, açık sarı ve kahverengi renkli, yer yer siltli ve yoğun kalsitli ve bol nümmülit fosillidir. Üstteki Pliyosen kireçtaşı ile aralarında uyumsuz dokanak vardır. Uranyum cevherleşmesi açısından önemsizdir. Bu birimin

kalınlığı 10-75 m arasında değişmektedir. Kiltaşları diğer Eosen birimleri ile beraber hafif kıvrımlı olup, aynı eğimi göstermektedir.

Cevherleşme alanının etrafında Eosen yaşlı sedimanter birimleri yer yer örten Geç Lütésiyeu yaşlı andezitik/bazaltik volkaniklere de rastlanılmaktadır.

3.2.4 Pliyosen

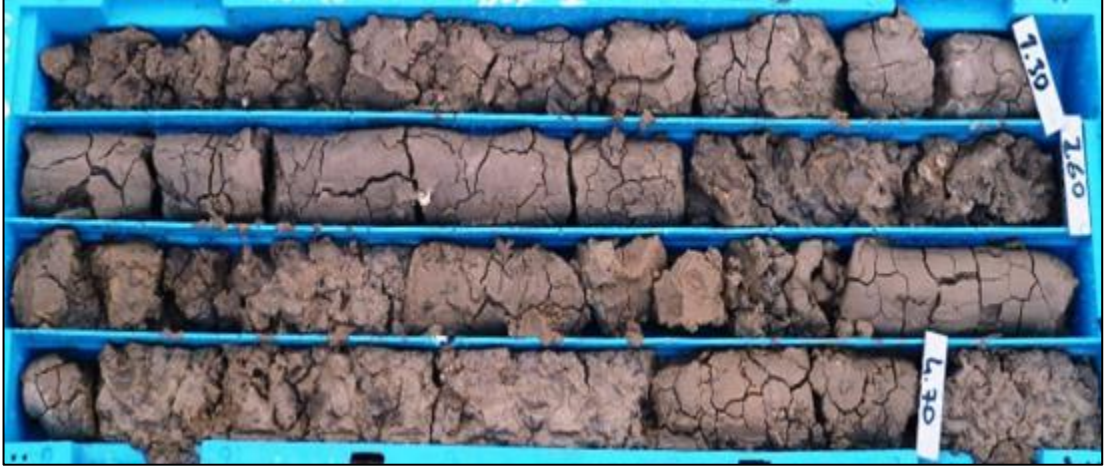
Pliyosen cevherleşme alanında, krem ve beyaz renklere bulunan kireçtaşı ile temsil edilmektedir. Bu birim kendinden yaşlı birimlerin çukur kısımlarını doldurmuştur. Tabanında çakıltaşları ve silttaşları yer alır. Çalışma sahasında belli bir bölümde örtü olarak bulunur. Temreuzli sahasında uranyum yönünden önemli olmayan bu birimin, yapılan sondajlarda kesilen kalınlığı 3-60 m arasında değişmektedir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8: Pliyosen yaşlı kireçtaşıuun bir görünümü.

3.2.5 Alüvyon

Kuvaterner birimler çalışma sahasında, toprak örtü ve vadilerde çakıl, kum, silt ve kil şeklinde görülmektedir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9: Kuvaterner yaşlı alüvyondan bir görünüm.

4. YAPISAL JEOLJİ VE DEPREMSELLİK

4.1 Yapısal Jeoloji

Çalışma alanında bulunan bazı granit ve granodiyorit yüzleklerinde kırık ve çatlak sistemleri meydana gelmiştir.

Paleosen yaşlı konglomera ve çamurtaşları 23-60 derece ile kuzey ve kuzeybatıya doğru eğimlidir.

Uranyum yataklanmasını içeren Eosen yaşlı sedimanter birimlerde birtakım gömülü normal fay ve kıvrımlar tespit edilmiş olup, fay düzlemleri ile kıvrım eksen düzlemleri güneybatı – kuzeydoğu yönünde eğim kazanmıştır. Normal fayların eğimi düşey ve düşeye çok yakındır. Atımları ise, 5 m ile 25 m arasında değişmektedir. Kıvrımlar, ondülasyonlar şeklinde gözlenmektedir.

Cevherin bulunduğu alanda gözlenen fay bloğu, GB-KD yönünde uzanmakta, yaklaşık 1 km uzunluğunda ve güneyi düşen bloktur. Yine aynı bölgenin KB'sında bulunan bir başka fay bloğu ise, 350-400 m uzunluğunda ve GGB-KKD yönünde uzanım göstermektedir. Bu iki fay sahada küçük bir horst sisteminin oluşmasına neden olmuştur.

Geç Eosen'de meydana gelen volkanik kayalar sedimanter kayalar ile birlikte aynı yapısal özellikleri göstermektedir.

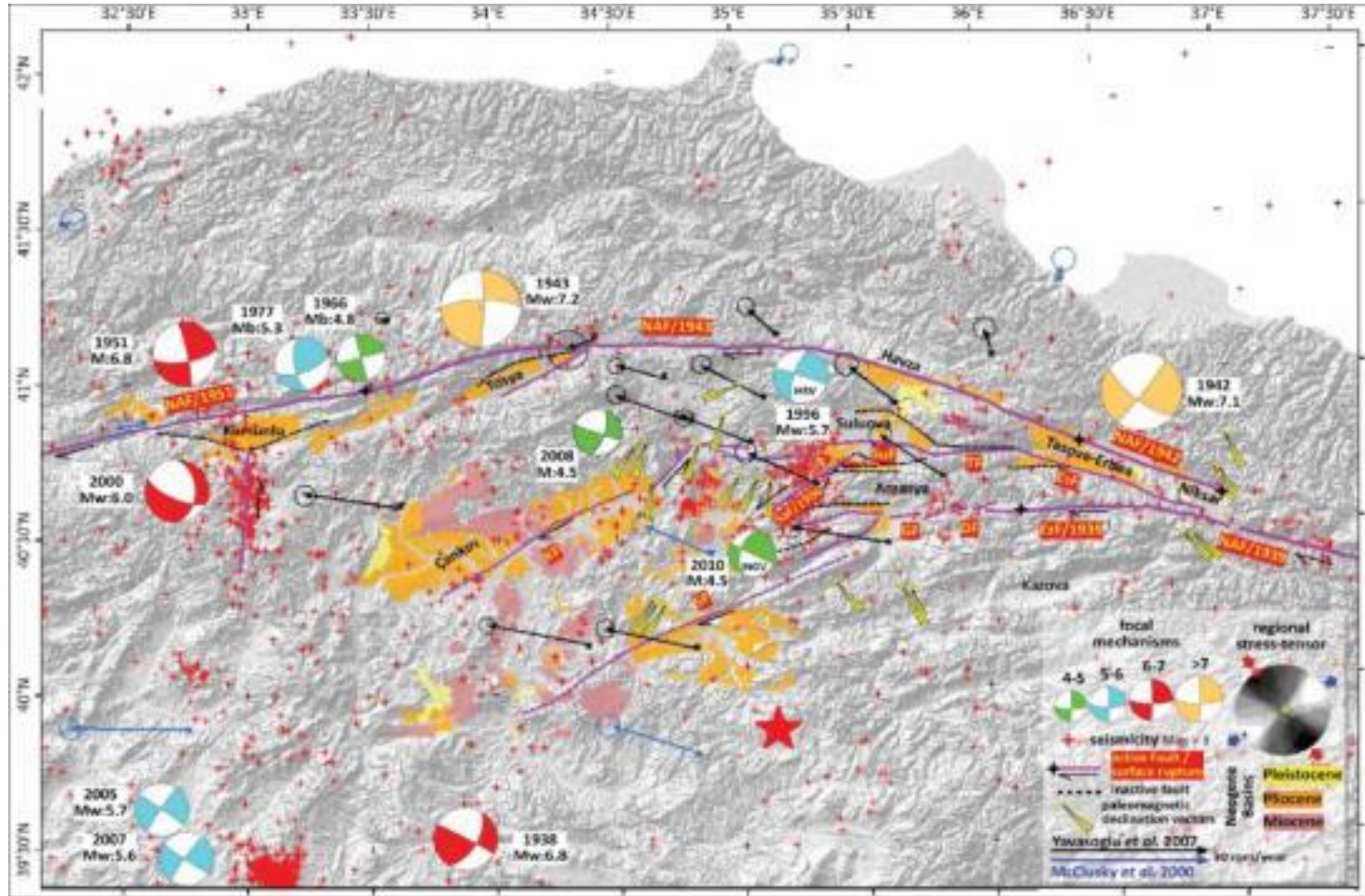
Çalışma alanındaki birimlerde görülen yapısal özelliklerin meydana gelmesinde ve Orta Anadolu Bölgesi'nin tektonik gelişmesinde, Laramiyen, Pireniyen, Helvesiyen orojenik hareketleri etken olmuştur.

4.2 Neotektonik Yapı

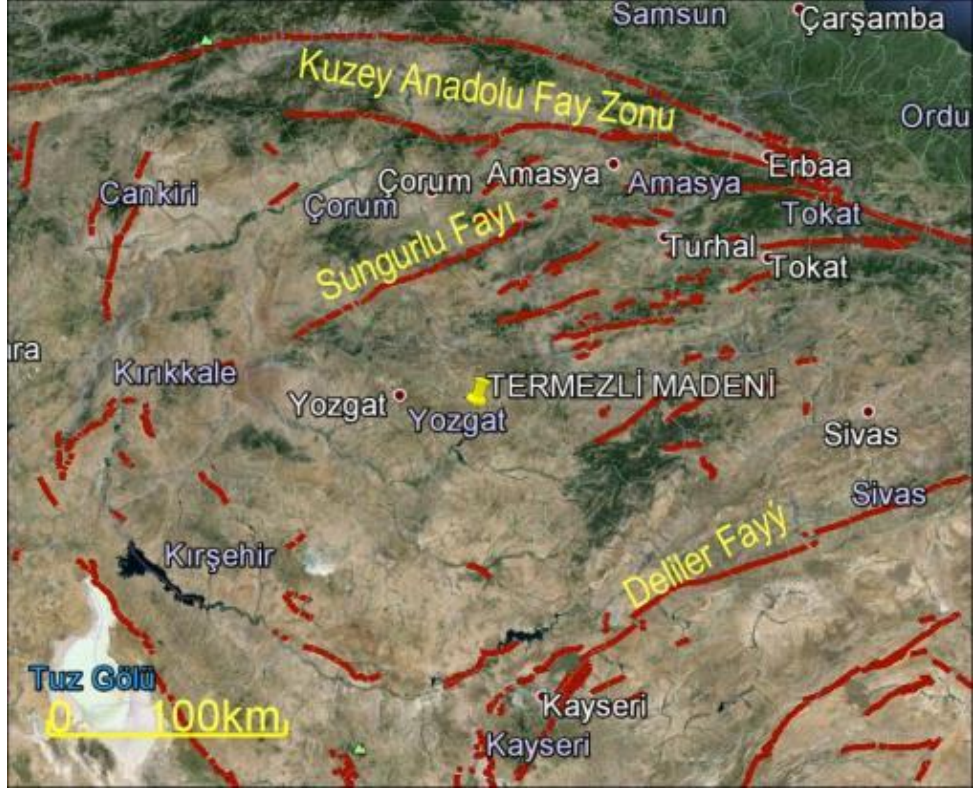
Bölgesel olarak civardaki en önemli fay zonu Sungurlu fayıdır (Şekil 4.1). Niksar yakınlarında (37°D) Kuzey Anadolu Fayı'ndan (KAFZ) ayrılarak Anadolu Blok'unun içlerine doğru, yaklaşık 200 km boyunca (34°D), belirgin olarak izlenen Sungurlu Fayı, çalışma alanının deprem tehlikesini kontrol eden önemli neo-tektonik birimlerdendir. Fay üzerinde bugüne kadar tespit edilen en önemli hareket 1939 Erzincan depreminde olmuştur ve bu hat Ezinepazar köyüne kadar kırılarak bölgede büyük hasara neden olmuştur. Ezinepazarı-Sungurlu fayı üzerinde yakın tarihlerde oluşmuş en önemli deprem 02.04.2010 günü $M_l= 4.8$ büyüklüğünde ve Çorum'da orta şiddette hissedilmiş depremdir. Sungurlu fayı, Kuzey Anadolu Fayı'nın bir yan kolu olarak aletsel ve tarihsel dönemde büyük depremler üretmiştir (Erturaç ve Tüysüz, 2010).

Çalışma sahası civarındaki aktif tektonik birimler Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Çekerek, Buğdaylı ve Akdağmadeni fayları yaklaşık 40-50 km uzunluğunda ve orta büyüklükte deprem üretebilecek kapasitede faylardır. Bu faylar çalışma alanına yaklaşık 40 km mesafede yer almaktadır.

Faylar üzerinde paleosismolojik çalışmalar henüz başlangıç aşamasındadır. (Erturaç ve Tüysüz, 2010). Temrezli Uranyum Yatağı, Ezinepazarı fayının batı segmenti olan Sungurlu fayına 62 km uzaklıktadır.



Şekil 4.1: Bölgesel sismo-tektonik yapı (Erturaç ve Tüysüz, 2010). Kırmızı yıldız Temrezli Madenini göstermektedir. NAF– Kuzey Anadolu Fay Hattı, EzF– Ezinepazar Fayı, DF– Deliçay Fayı, GF– Geldingen Fayı, SF– Sungurlu Fayı.



Şekil 4.2: Çalışma alanı ve çevresindeki önemli faylar

Çekerek, Buğdaylı ve Akdağmadeni fayları yaklaşık 40-50 km uzunluğunda ve orta büyüklükte deprem üretebilecek kapasitede faylardır. Bu faylar çalışma alanına yaklaşık 40 km mesafede yer almaktadır.

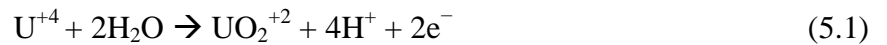
5. CEVHERLEŞME

Yerkabuğundaki uranyumun ilk hazne kayaçları, asidik özellikteki granitler, alkalin kompleksler ve felsik kayaçlardır. Bu kayaçlar, farklı süreçlerle, değişik tiplerde radyoaktif mineral yataklarının oluşumunu doğrudan veya dolaylı yollardan sağlarlar (Nakoman, 1978). Yerkabuğundaki uranyum ve toryumun çeşitli kayaçlardaki ortalama miktarları aşağıdaki çizelgede verilmiştir (Çizelge 5.1).

Yerkabuğundaki radyoaktif mineral yığılımlarının büyük bir kısmının oluşumunu, bu konsantrasyonların gerçekleşmesi için gerekli magmatik, sedimanter ve hidrolojik koşulları oluşturan orojenik faktörlere bağlıdır. Bu faktörlere göre, uranyum cevherleşmesi a) Postmagmatik, b) Litolojik, c) Sedimanter, d) Tektonik mekanizmalara bağlı olarak gelişir (Nakoman, 1978).

Volkanik kayaçlardaki uranyum konsantrasyonu kayacın felsikliği arttıkça artmaktadır. Okyanus ortası sırtlarındaki bazaltlar 0,2 ppm uranyum içerirken, Amerika'daki riyolitik kayaçlarda 5 ppm' e kadar ulaşmaktadır (Hall ve Breit, 2011).

Granit, metasedimanter ve şist gibi kayaçlarda bulunan birincil uranyum, yüzey sularının taşıdıkları oksijen ile oksitlenerek çözünür. Oksijen öncelikle sülfat iyonlarını sülfat iyonlarına, ardından da U^{+4} iyonunu $(UO_2)^{+2}$ iyonuna oksitler. Ortamda hidrokarbonların varlığı ve sudaki yüksek karbondioksit miktarı uranyum minerallerinin çözünürlüğünü artırarak ana kayaçtan ayrılmasına yardımcı olur. Bu süperjen koşullarda, sulu çözeltilerdeki dört değerlikli uranyum iyonlarının oksitlenmeye hazır olduğu anlamına gelir ve aşağıdaki reaksiyon gerçekleşir (5.1) (Seredkin ve diğ., 2014).



Süperjen koşullar altında +6 değerlikli uranyum bileşikleri (florit, karbonat ve sülfat kompleksleri) çözünebilir ve mobil halde bulunurlar. Uranyum taşınımı için jeokimyasal koşulların uygun olduğu akiferlerde, kayalardaki uranyum konsantrasyonu sudaki konsantrasyonu da kontrol eder (Jovan ve diğ., 2009).

Sedimenter uranyum yatakları, ilgili sedimenter birimin indirgenen zonlarıyla ilişkili olarak, organik materyallerin yüzeye yakın olduğu alanlarda, düşük sıcaklıkta, uranilce zengin solüsyonların çökelişi ile oluşur (Hazen ve diğ., 2009).

Çalışma alanında görülen granit ve granodioritler, Üst Kretase sonunda Laramiyen orojenezi ile meydana gelmişlerdir. Paleosen'de konglomera, kumtaşı ve çamurtaşı birimleri bir transgresyonla çökeliş diyajenez geçirmesinden sonra kısa bir aşınma devresi geçirmiştir (MTA, 1987).

Eosen bir transgresyonla başlamıştır. Deniz, arazinin morfolojisine uygun olarak çukur kısımları doldurmuştur. Deniz, Eosen sonuna doğru çekilmeye başlamış ve bazı yerlerde lagünler oluşmuştur. Buralarda jipsli, killi, marnlı birimlerle beraber kömür yatakları meydana gelmiştir. Eosen'de sedimantasyon devam ederken bir taraftan da aralıklarla volkanik faaliyetler sürmüştür. Eosen sonunda bölge yükselerek aşınmaya maruz kalmıştır. Neojen sırasında bölgede genel bir yükselme olmuş ve volkanik faaliyetler devam etmiştir. Eosen sonunda denizin çekilmesiyle oluşan göllerde Pliyosen kireçtaşları çökelmiştir (MTA, 1987).

Çalışma sahasında uranyum cevherleşmesi, Eosen yaşlı kaba ve ince taneli kumtaşları içinde bulunan ve kökeni hem sinjenetik hem de epijenetik olan bir cevherleşmedir. Uranyumun kaynağı bölgede bulunan asit karakterli derinlik kayalarından granit ve granodioritlerdir. Bu kayalarda bulunan +6 değerlikli uranyumlu bileşikler yeraltısuları tarafından çözünerek taşınmıştır. Uranyum bakımından zengin oksitleyici yeraltısularının Eosen yaşlı sedimenter çökeller içerisinde sirkülasyonu sırasında indirgeyici ortamlarla karşılaşmasıyla uranyum +4 değerine indirgenir (MTA, 1987). Bu değerdeki uranyum hızlı bir şekilde çökelişir ve uranyum yatağını oluşturur. Temrezli uranyum yatağındaki indirgeyici ortamın varlığı bölgede bulunan kömür ve demir-sülfür (pirit) oluşumları ile kendini göstermektedir.

Çizelge 5.1: Uranyum ve toryumun değişik kaya tiplerindeki global ortalama değerleri (Lassetter (2010)'den değiştirilerek alınmıştır).

Kayaç Adı/Tipi	Uranyum içeriği (ppm)	Toryum içeriği (ppm)
Ultramafik Kayaçlar	0,01	0,05
Bazalt	0,4	1,6
Gabro	0,8	3,8
Granit	4,8	21,5
Nefelin Siyenit	14	48
Granulüt	1,6	7,2
Granitik Gnays	3,5	12,9
Kumtaşı	1,4	5,5
Şeyl	3,2	11,7
Kireçtaşı	2,2	1,2
Karbonat Şeyl	8	1,7
Üst Manto ortalaması	2,5	10
Kabuk ortalaması	3,5	10,4

Cevher içeren kayaçlar genellikle sığ denizel ortamı temsil etmekte olup, gri renkli, iri taneli kumtaşlarıdır. Cevherin çözüldüğü kayaçlar ise çalışma alanında bir çok yerde yüzlek veren ve yüksek uranyum içeriği olan granitik magmatiklerdir. Cevher oksijence zengin sular aracılığı ile granitlerin içerisinden çözülmüş ve taşınarak sedimanter bir uranyum yataklanması oluşturmuştur (Şekil 3.3).

Eosen birimleri oluşumu sürecinde yüksek miktarda karbon ve pirit oluşumları indirgen ortamda gerçekleşir. İndirgenen birimler üstten havanın etkisiyle oksitlenmeye başlamıştır (Şekil 5.1). Geçirgen birimlerin mostra verdiği kısımlarda

hava tarafından gerçekleşen oksitleme daha derine inerken yüzeyde kil ve kireçtaşıyla kaplı alanlarda bu durum daha sığ derinliklerle sınırlıdır (40 m'den daha az).

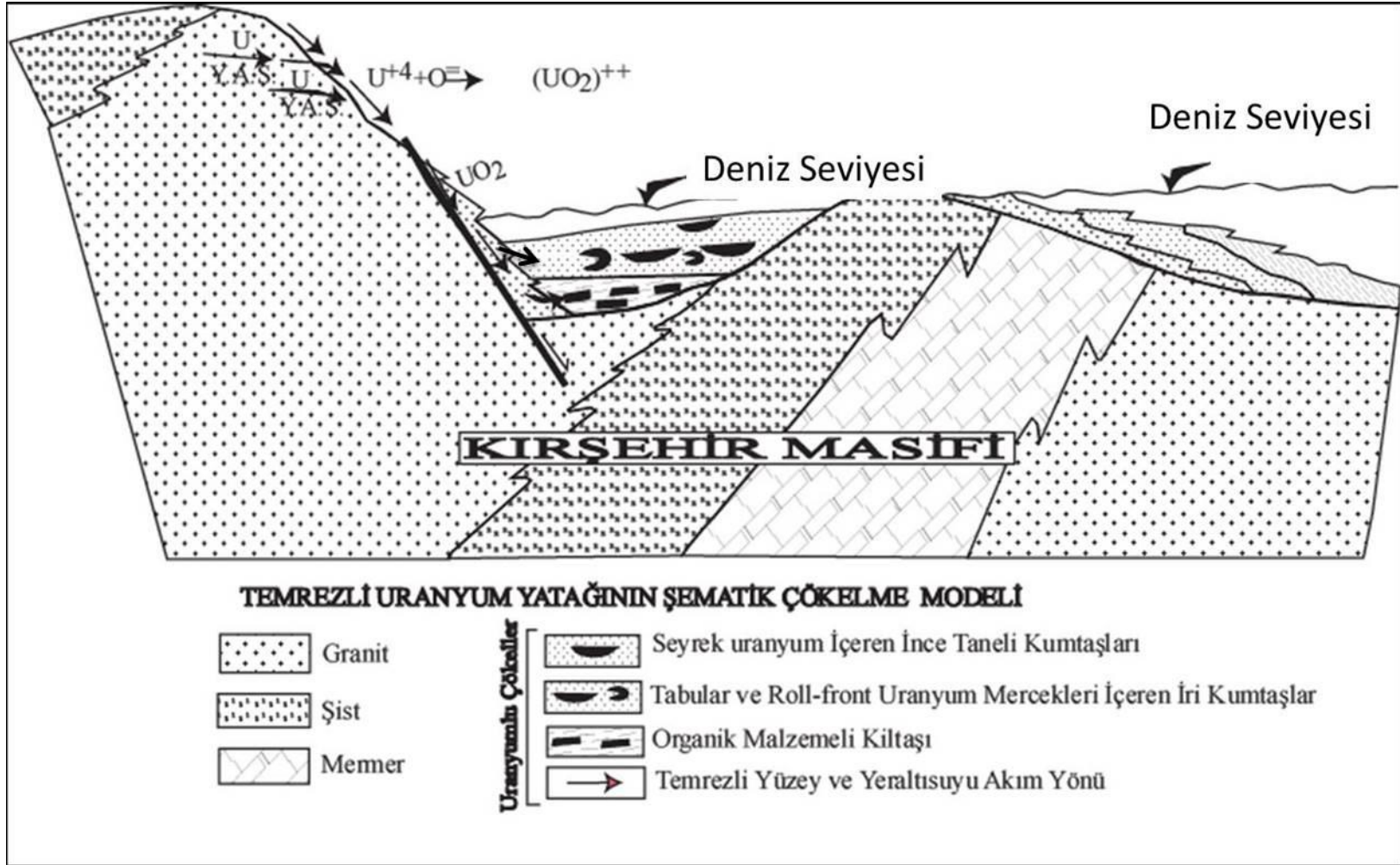
İndirgenen Eosen birimleri ayrıca içinde sirkülasyon yapan oksitleyici yeraltıları tarafından da oksitlenir. Bu sular aynı zamanda uranyumca zengin çözeltiyi de taşımışlardır. Yeraltılarının geçtiği yerlerde oksitlenmiş zonlar tabakalar şeklinde kalmıştır. Yeraltılarıyla gelen uranyum da yüksek konsantrasyonlarda olmasa da 40-60 ppm aralığında bu oksitli tabakalarda çökelmiştir. Böylece, bu sahada Eosen birimlerinin oluşumundan daha sonra zenginleşen bir uranyum yataklanması oluşmuştur.

Sonuçta oksitlenmiş ve indirgenmiş birçok tabakanın ardalanması ile oluşan bir sedimanter yapı ve oksidasyon-redüksiyon geçiş zonlarında indirgenen zon içinde 'zenginleşmiş' uranyum mercikleri oluşmuştur. Oksitli zonlarda da uranyum cevherleşmesi çok düşük tenörlerde söz konusudur ancak belirli bir uranyum zenginleşmesi söz konusu değildir. Bu mekanizmayı özetleyecek şekilde iki adet enine jeolojik kesit hazırlanmıştır. Kesitlerden ilki Adobe Illustrator programı kullanılarak çizilmiştir ve genel olarak sahadaki mekanizmayı özetlemektedir (Şekil 5.2). İkinci kesit ise jeoloji haritası üzerinde belirlenen A – B doğrultusunda atılmıştır. Bu kesitte hem jeolojik birimlerle cevherleşme ilişkisi gösterilmiş hem de oksitli ve indirgen zonlarla cevher ilişkisi gösterilmiştir. Kesit Map Info 12.0 programı kullanılarak hazırlanmıştır (Şekil 5.3).

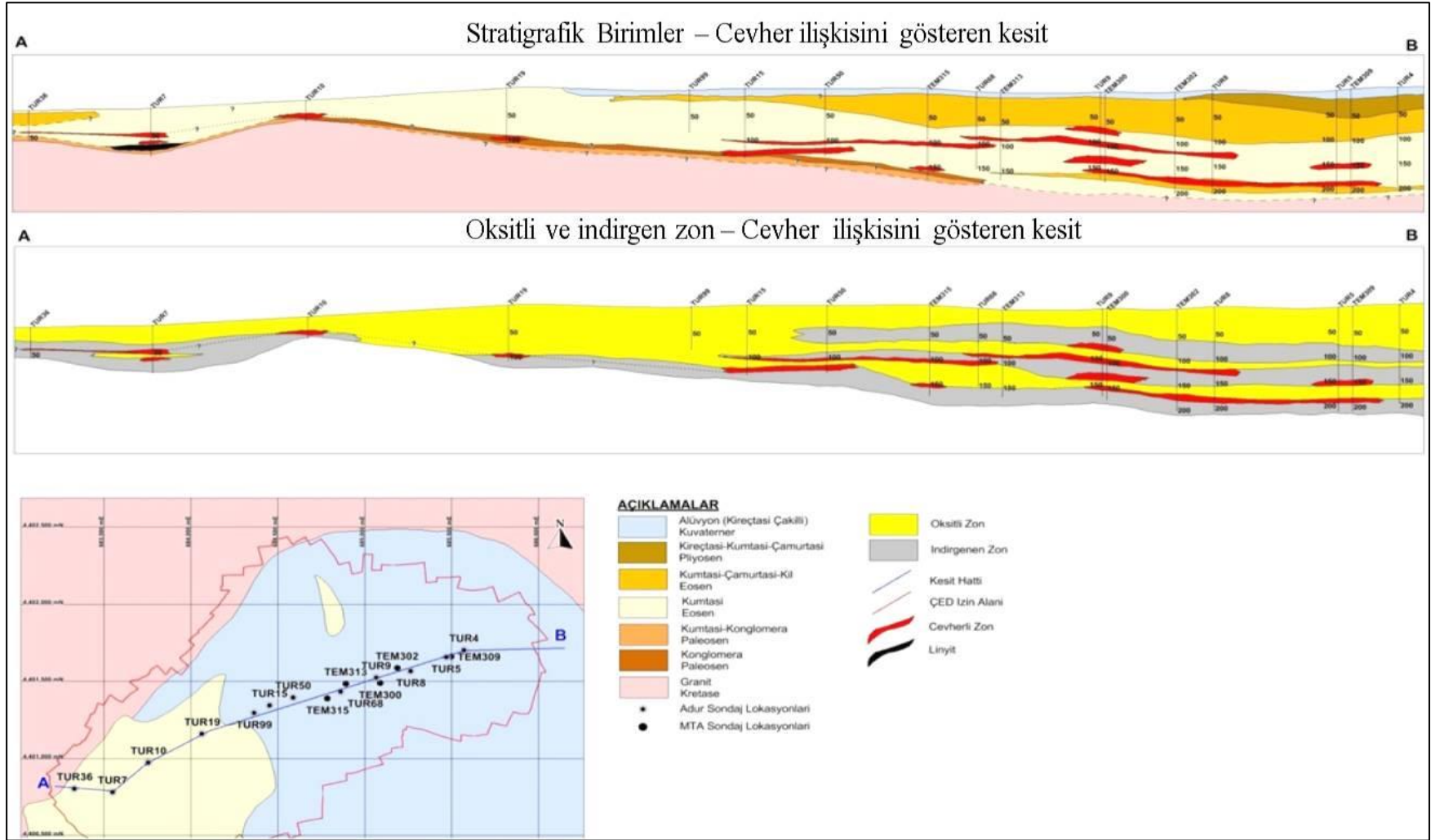


Şekil 5.1: Oksidasyon-Redüksiyon geçiş zonları ve uranyum cevherleşmesi

Şekil 5.3'ten anlaşılacağı üzere cevherli zonlar her zaman oksitli zonlar ile indirgenen zonların kontak bölgelerinde mercekleşerek kalınlaşmışlardır. Şekil 5.3'te üstteki kesit jeoloji – cevherleşme ilişkisini, alttaki kesit ise oksitli-indirgenen zonlar ile cevherleşme ilişkisini göstermektedir.



Şekil 5.2: Temrezli uranyum yatağının şematik modeli.



Şekil 5.3: Temrezli uranyum yatağı A-B' ye ait jeolojik kesitler ve jeolojik harita.

6. MİNERALOGİ-PETROGRAFI

Farklı kayaç kimyaları ile dokularını tanımlamak amacıyla Temrezli uranyum yatağında yapılan sondaj çalışmalarından elde edilen karot örneklerinden ve sahanın çevresinde yüzeyleyen mostralardan örnekler alınmıştır. Alınan örnekler farklı zamanlarda farklı laboratuvarlarda mineralojik – petrografik analize tabi tutturulmuştur. Bu çalışma kapsamında yapılan örneklemeleere ait bilgiler aşağıda verilmiştir:

1. İlk örnekleme 1980’li yıllarda MTA tarafından yapılmış olan sondajlardan 18 metre derinlikten alınmış kayaçtan (karot) yapılmıştır. Bu analiz sonucunda bütün uranyum minerallerinin ikincil olduğu tespit edilmiş olup, tane boylarının çok küçük olması sebebiyle mineral türleri belirlenememiştir.

2. İkinci örnekleme yine sondaj aracılığı ile 70 metre derinlikten alınan kayaçtan (karot) yapılmıştır.

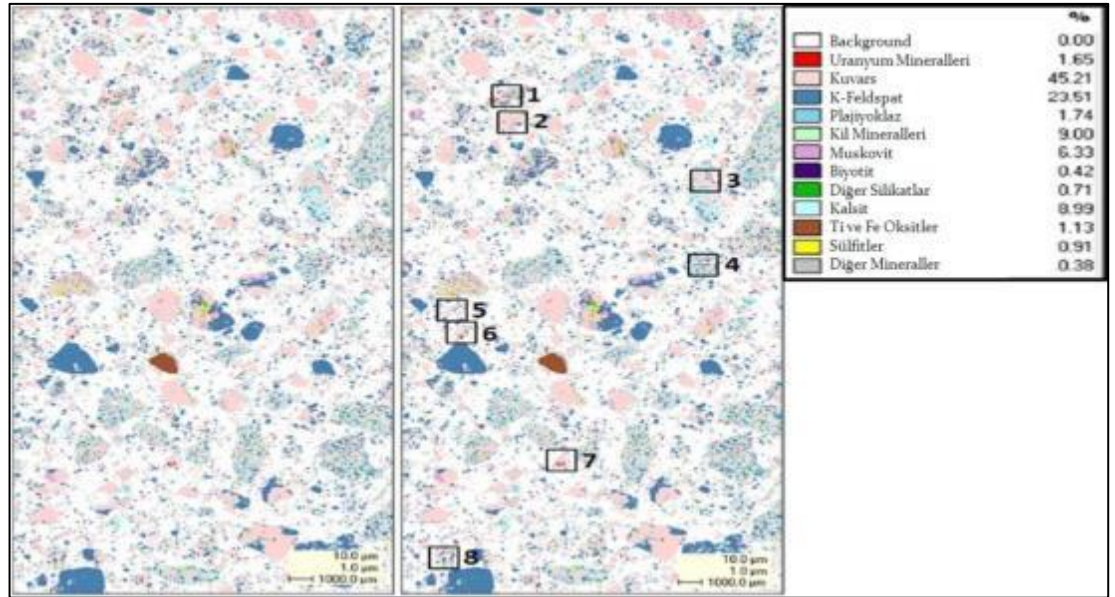
3. Üçüncü ve son örnekleme de hem mostra veren kayaçlardan hem de sondajlar aracılığı ile farklı derinliklerden alınmış olan kayaç (karot) örneklerinden yapılmıştır.

Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı’nın yaptığı analiz detaylandırılmamış olup analiz sonuçlarına göre bütün uranyum mineralleri ikincil minerallerdir ve bu mineraller pirit ve jips ile birlikte bulunmaktadır. Uranyum minerallerinin tane boylarının çok küçük olması nedeniyle mineral türleri tayin edilememiştir.

6.1 QEMSCAN Yöntemi İle Yapılan Mineralojik – Petrografik Analizler

Cevherleşme zonundaki minerallerin % 45,2'si kuvars, %23,5'i K-Feldispat, geri kalan kısımları ise kil (kaolin), pirit ve birkaç minör mineral içermektedir. Numunedeki uranyum miktarı %1.5 olarak saptanmıştır. Uranyumun çok küçük taneli karmaşık fazlar şeklinde ve varolan mineral parçalarını kaplayan formda olduğu bulunmuştur. Uranyumun büyük bir kısmının Ca içeren mineral formunda olduğu (uranofan- $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{SiO}_3)_2(\text{OH})_{2.5}\text{H}_2\text{O}$) bir kısmının ise uranit (UO_2) ve kofinit ($\text{U}(\text{SiO}_4)_{1-4x}(\text{OH})_{4x}$) minerali formunda olduğu belirlenmiştir.

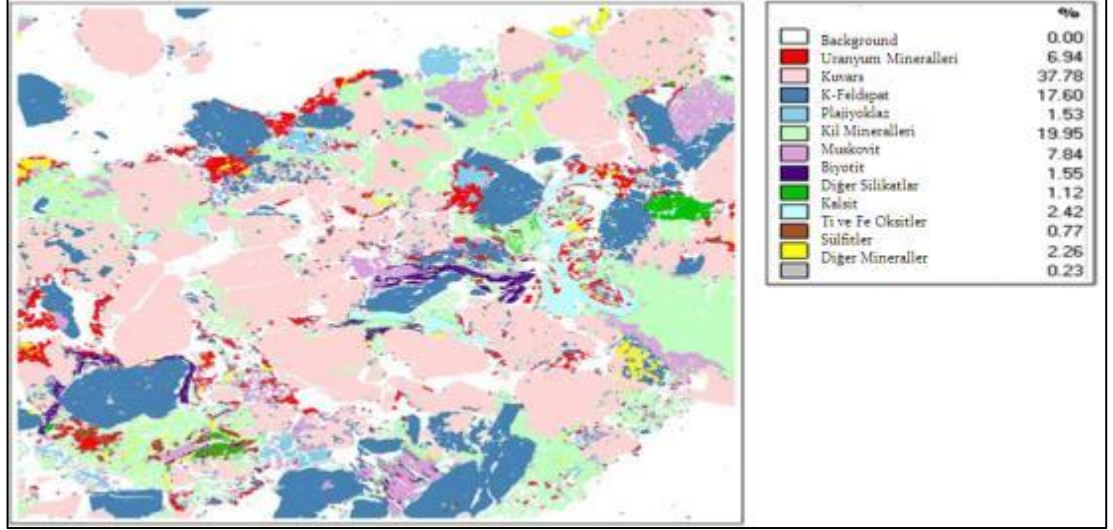
QEMSCAN mikroskobik yöntem ile elde edilen görüntüler ve uranyum minerallerinin matris içerisindeki dağılımlarını gösteren tüm kayaç görüntüsü Şekil 6.1'de ve tüm kayaç görüntüsü içerisinde uranyum içeren zonların büyütülmüş görüntüleri Şekil 6.2-6.9 arasında verilmiştir.



Şekil 6.1: QEMSCAN yöntemi ile elde edilen tüm kayaç görüntüsü.

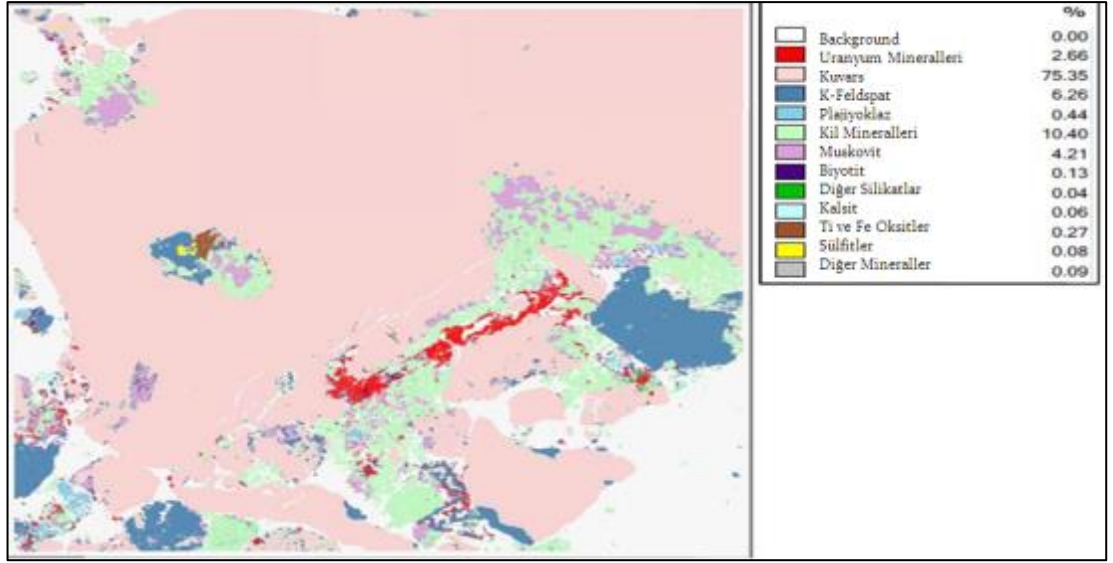
Şekil 6.1'deki ölçekten de anlaşılacağı üzere elde edilen görüntüdeki uranyum mineralleri oldukça ince tanelidir. Matris içerisinde 8 farklı yerde gözlenen uranyum minerallerinin toplam matrikse oranı % 1,65' tir. Matrisin büyük

çoğunluğunu kuvars ve potasyum feldpatlar oluşturmaktadır ve bu minerallerin oranları sırasıyla % 45,21 ve % 23,51'dir. Bu minerallerin dışında kil mineralleri % 9, kalsit % 8,99, muskovit % 6,33, plajiyoklas % 1,74 ve Ti - Fe oksitler ise % 1,13'lük kısmı oluşturmaktadır. Diğer minerallerin tamamı % 1' in altında tespit edilmişlerdir.



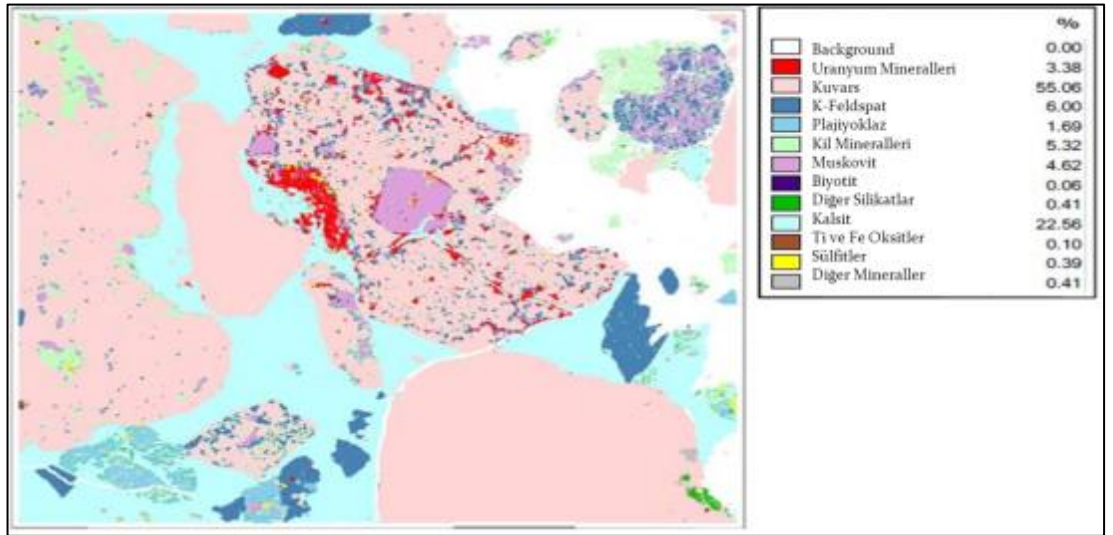
Şekil 6.2: Şekil 6.1'deki 1 numaralı alanın mikroskopik görüntüsü.

1 numaralı alanda uranyum mineralleri % 6,94'lük bir alanı teşkil etmekte olup büyük çoğunluğu kuvars ve potasyum feldspatların çeperlerindedir. Uranyumun herhangi bir mineralin içerisinde kapanım halinde göze çarpmaması dikkat çekicidir.



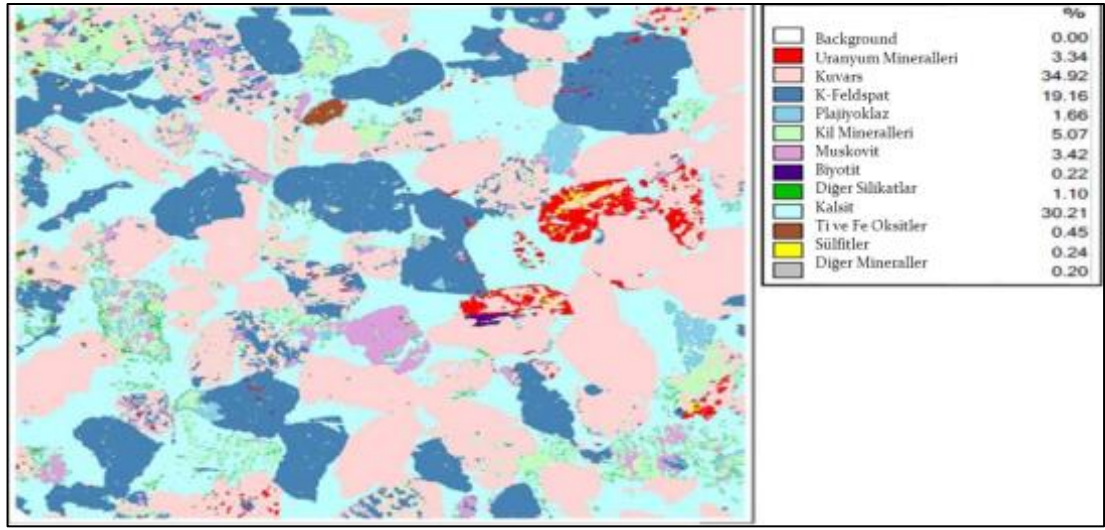
Şekil 6.3: Şekil 6.1'deki 2 numaralı alanın mikroskobik görüntüsü.

2 numaralı alanda uranyum mineralleri % 2,66'lık bir alanı teşkil etmektedir. Bu alanda uranyum mineralleri kuvars ve kil minerallerinin çeperlerinde gözlenmektedir.



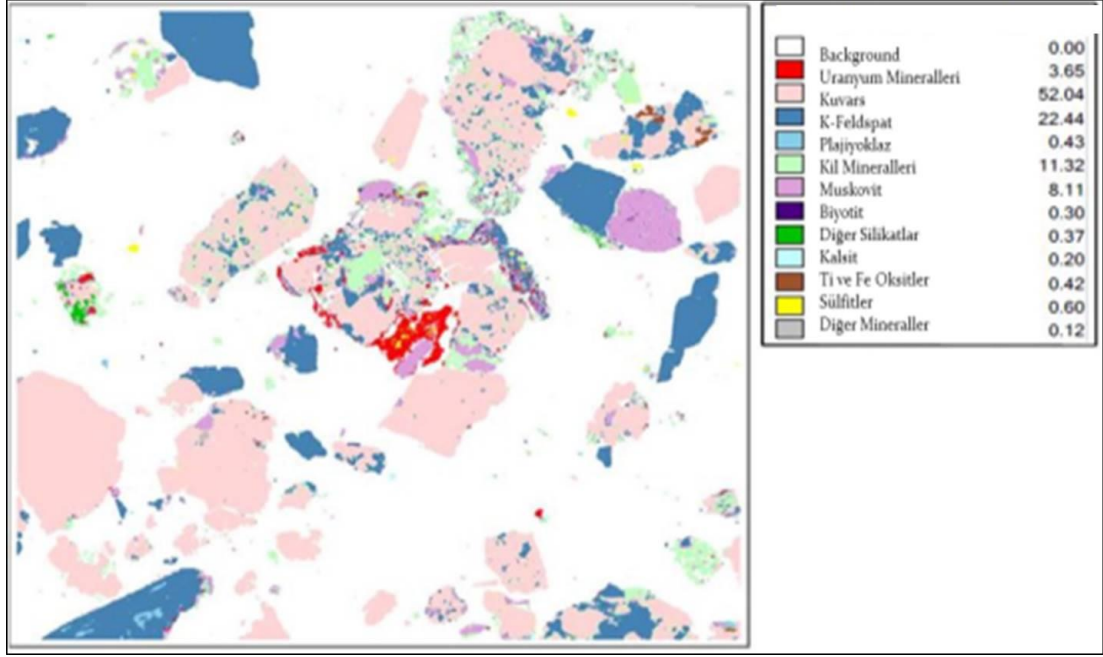
Şekil 6.4: Şekil 6.1'deki 3 numaralı alanın mikroskobik görüntüsü.

3 numaralı alanda uranyum mineralleri matrisin % 3,38' ini oluşturmaktadır. İri bir kuvars kristali içerisinde özşekilli muskovit kapanımı dikkat çekmektedir. Burada uranyum minerallerinin nerdeyse tamamı kuvarsın içerisinde ve çeperlerinde gözlenmektedir. Bu görüntüdeki dikkat çekici nokta sülfidlerin yoğun olarak gözleendiği noktada uranyum minerallerinin de gözükmesidir. Pirit gibi sülfidlerin ortamı indirgen hale getirmesiyle uranyum çökelimi gerçekleşmiştir.



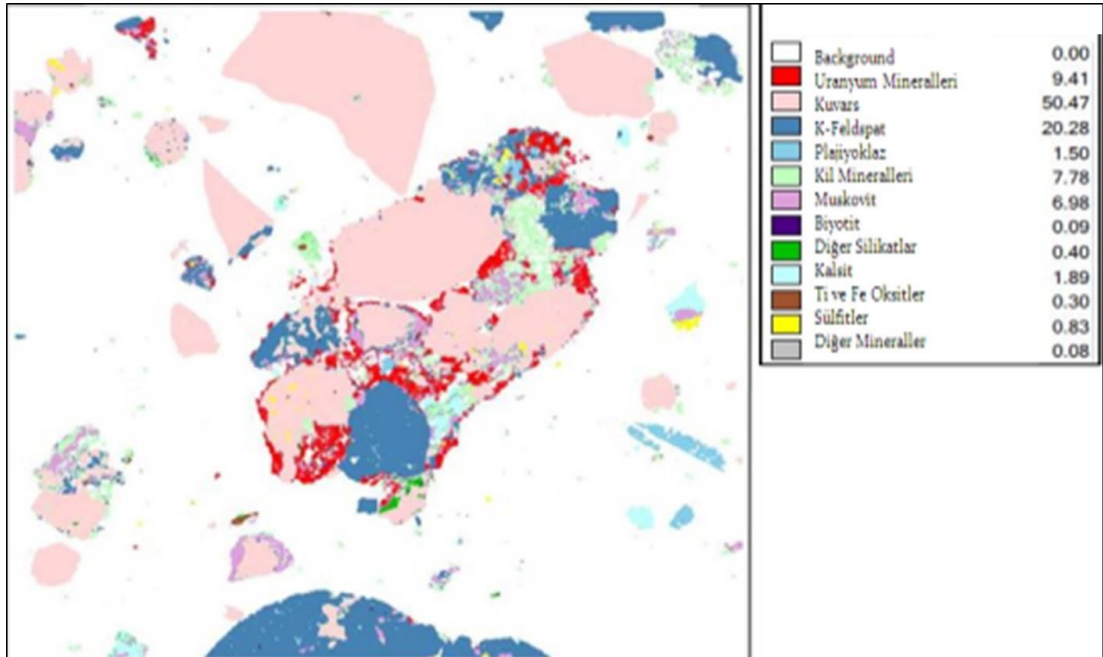
Şekil 6.5: Şekil 6.1'deki 4 numaralı alanın mikroskopik görüntüsü.

4 numaralı alanda uranyum mineralleri matrisin % 3,34' ünü oluşturmaktadır. Bu alanda da görüldüğü gibi uranyum mineralleri yine kuvars ve kil mineralleri ile ilişkili olarak görülmektedir. Uranyum, sülfidlerin en yoğun olduğu alanda olduğu görülmektedir.



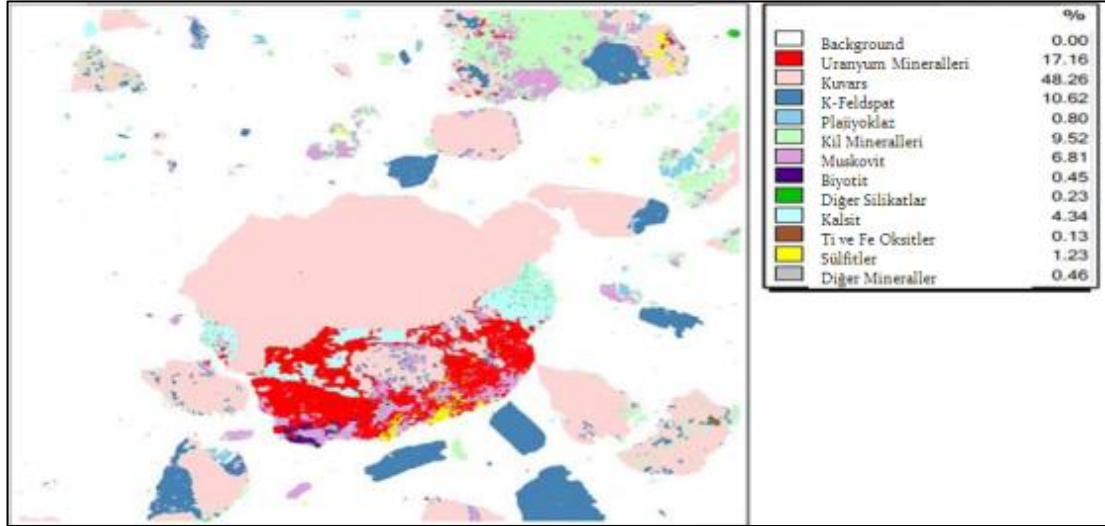
Şekil 6.6: Şekil 6.1’deki 5 numaralı alanın mikroskopik görüntüsü.

5 numaralı alanda uranyum mineralleri matrisin % 3,65’ ini oluşturmaktadır. En fazla uranyum konsantrasyonu bir muskovit kristalinin çevresinde görülmektedir ve sülfidlerle ilişkili olarak çökelmiştir.



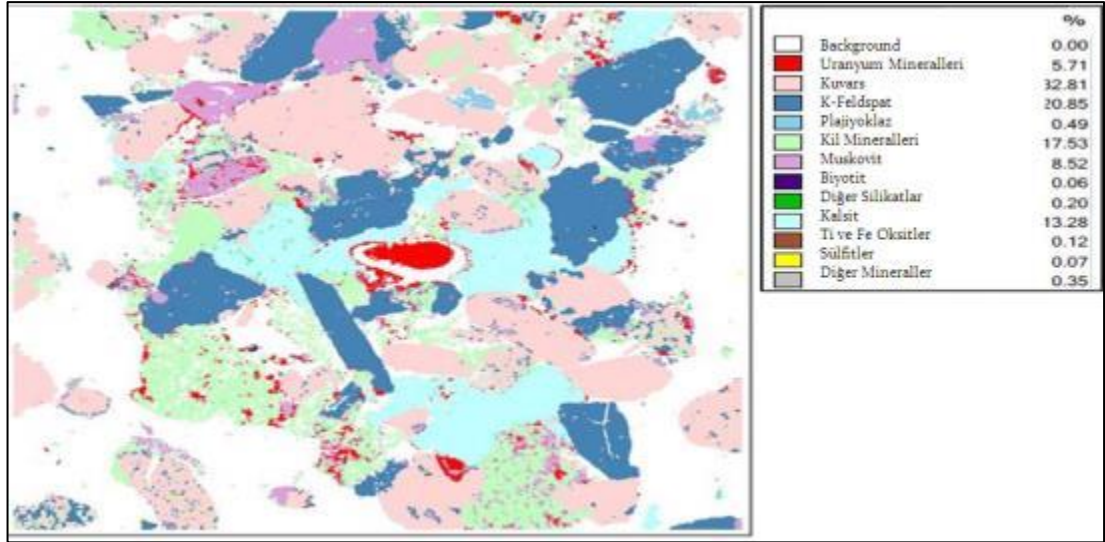
Şekil 6.7: Şekil 6.1’deki 6 numaralı alanın mikroskopik görüntüsü.

6 numaralı alanda uranyum mineralleri matriksin % 9,41' ini oluşturmaktadır. Uranyum kuvars kristalleri ve kil minerallerinin etrafında gözlenmektedir. Aynı zamanda az da olsa potasyum feldspatın da etrafında gözlenen uranyum mineralleri sülfidlerin olduğu yerde çökelmiştir.



Şekil 6.8: Şekil 6.1'deki 7 numaralı alanın mikroskopik görüntüsü.

7 numaralı alanda uranyum mineralleri oldukça yoğun olarak gözükmektedir. Matriksin % 17,16' sını oluşturmaktadır. Sülfidlerin bulunduğu alanda, kuvars, muskovit ve kil minerallerinin çeperlerinde çökelmiş olduğu gözükmektedir.



Şekil 6.9: Şekil 6.1'deki 8 numaralı alanın mikroskopik görüntüsü.

8 numaralı alanda uranyum mineralleri matriksin % 5,71' ini oluşturmaktadır. Çoğunlukla kil mineralleri ve kuvars ile birlikte gözlenmektedir. Görüntüde sülfür minerallerinin (seçilemese de) matrikse oranı % 0,07 olarak hesaplanmıştır.

6.2 Elektron Mikroskobu (SEM) İle Yapılan Mineralojik – Petrografik Analizler

Çalışma alanı ve çevresindeki mostralardan ve aynı zamanda farklı derinliklerden sondajlar aracılığı ile alınan kayaç (karot) örneklerinden de alınan 8 farklı örneğin analizi Hacettepe Üniversitesi'nde elektron mikroskobu ile yapılmıştır. Bu örneklere ait lokasyon bilgileri ve kayaç adlandırmaları aşağıda verilmiştir (Çizelge 6.1). Bu örneklere ait mikroskop görüntülerindeki mineral ismi kısaltmalarının hangi mineraller olduklarına dair bilgiler de Çizelge 6.2' de verilmiştir.

Çizelge 6.1: Mineralojik-Petrografik analiz sonuçlarına göre kayaç adlandırmaları.

Örnek No	Doğu (X)	Kuzey (Y)	Açıklama
TM-01	688147	4405387	Granit
TM-02	686441	4405000	Granit
TM-03	685182	4401626	Kumtaşı
TM-04	684391	4401206	Kumtaşı
TM-05	681971	4400229	Altere olmuş kayaç
TM-06	681966	4400233	Andezit
TM-07	684613	4402486	Granit
TM-08	684613	4402486	Granit

Çizelge 6.2: Şekil 6.10-6.25 arasındaki mineral ismi kısaltmalarının karşılıkları.

Kısaltma	Mineral İsmi	Kısaltma	Mineral İsmi
Afs	Alkali Feldspat	Gn	Galen
Aln	Allanit	Ilt	İllit
Amp	Amfibol (Grup)	Kln	Kaolen
Ant	Anataz	Pl	Plajioklas
Ap	Apatit	Pt	Platin
Cal	Kalsit	Py	Pirit
Cb	Karbonat (Grup)	Qz	Kuvars
Chl	Klorit (Grup)	Sa	Sanidin
Ep	Epidot	Ser	Serizit
FeO	Demiroksit	Spn	Sfen
Fsp	Feldspat	Ves	Vezikiil
Gls	Silisyum	Zrn	Zirkon

Örneklerden iki tanesi (TM03 ve TM04) cevher içeren kaba taneli kumtaşlarından alınmış ve analizleri yapılarak değerlendirilmiştir (Şekil 6.14–6.17). Analiz sonuçlarına göre örneklerde kuvars ve alkali feldispatça (ortoklaz) zengin karbonat çimentolu, killerle sıvanmış matriks ve piritlerin içerisinde ve aynı zamanda Feldispatların çeperlerinde çok ince taneli sıvama şeklinde kofinit mineralleri bulunmaktadır.

Diğer örnekler (TM01, TM02, TM05-TM08) ise, volkanik ve derinlik kayaçlarından alınmış (Şekil 6.10-6.13 ve Şekil 6.18-6.25) ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Derinlik kayaç örnekleri (granit) ile ilgili bulgular şunlardır:

Kayaç dokusu: Holokristalen porfiritik.

Kayaç adı: Alkali Feldispat granit.

Ana mineralleri: Alkali Feldispat (ortoklaz), plajioklas (oligoklaz ve andezin), amfibol (hornblend) ve kuvars.

Tali mineralleri: Apatit, zirkon, epidot, allanit (bir epidot alt grup minerali), sfen ve monazit.

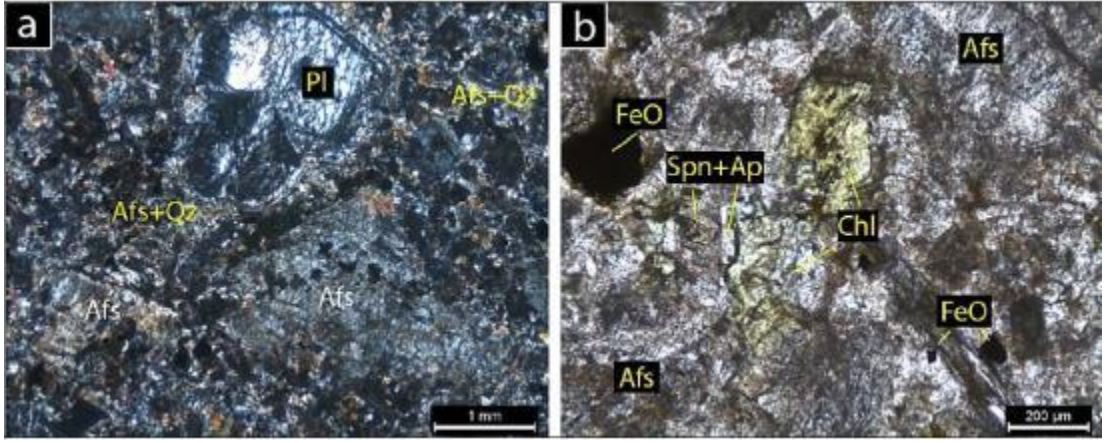
Volkanik kayaç örnekleri (andezit) ile ilgili bulgular şunlardır:

Kayaç dokusu: Hipokristalen porfiritik.

Kayaç adı: Andezit.

Ana mineralleri: Feldispat, biyotit, amfibol ve sanidin.

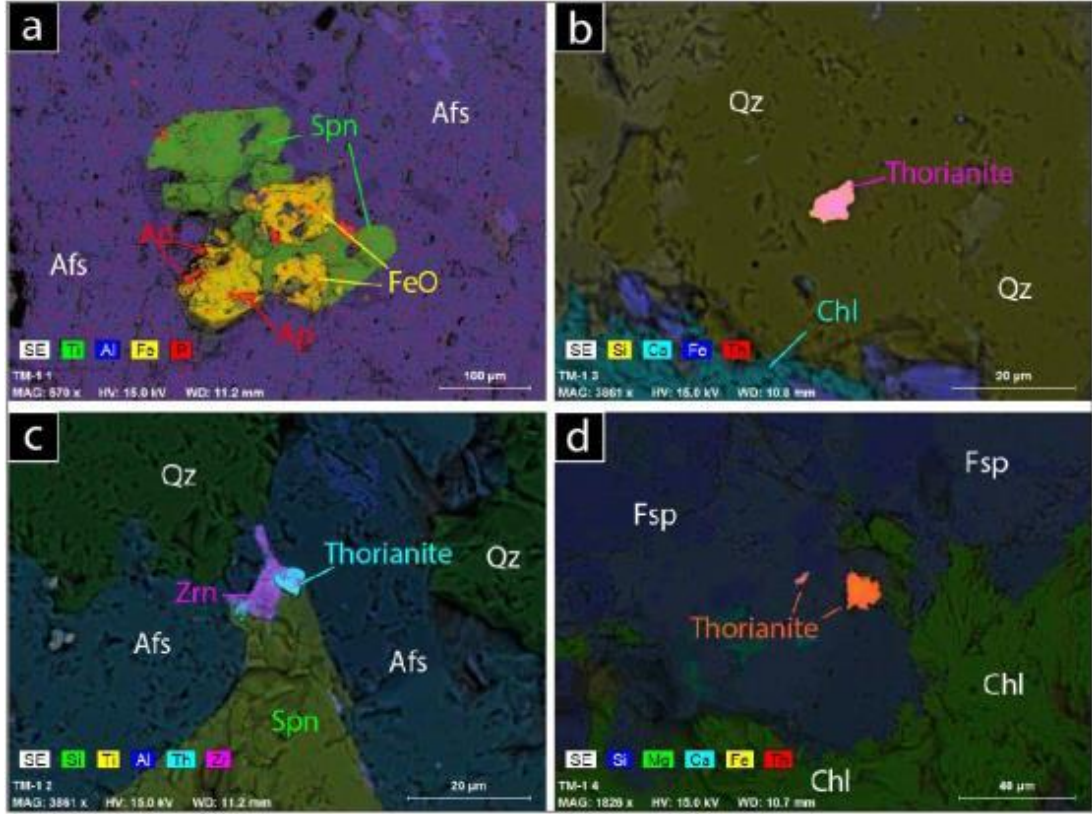
SEM ile yapılan görüntülemelerde ‘image proccesing’ uygulanmıştır.



Şekil 6.10: TM1 numaralı örneğin polarizan mikroskop görüntüleri

TM1 örneğine ait polarize ışık mikroskobu analizleri iri taneli alkali feldspat fenokristlerinin yarı özşekilli ve kenar çizgileri boyunca zayıf-orta derecede kaolene altere olduğunu göstermektedir (Şekil 6.10 a).

Plajoklaslar tipik polisentetik ikizlenmeler göstermektedir. Amfibol gibi ferromagnezyen fazdaki mineraller tamamen klorit ve demirce zengin opak agregalara altere olmuşlardır. İkincil klorit genellikle dilinimlidir ve prizmatik kritallere sahiptir. Kuvars özşekilli/yarı özşekillidir ve demir – titanyum oksitleri matriksin her yerinde gözlenmektedir. Sfen ve apatit genelde birlikte gözlemlenmiş olup demir – titanyum oksitlerle ilişkilidir (Şekil 6.10 b).

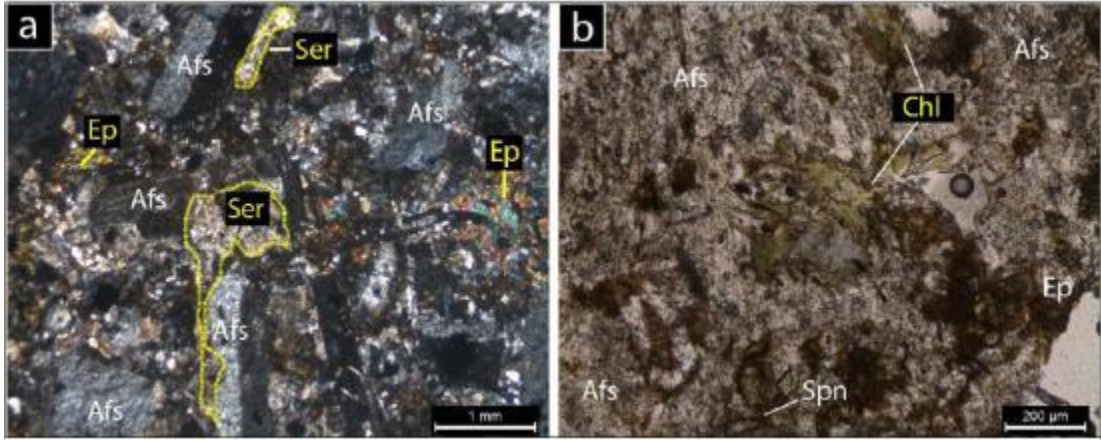


Şekil 6.11: TM1 numaralı örneğin SEM-EDS kullanılarak oluşturulmuş görüntüleri

TM1 örneğine yapılan SEM ve EDS analizlerine göre apatit, sfen ve demir – tityumun yaklaşık 300 mikron boyutlarına ulaşan özşekilli olarak iç içe bulunan kristaller halinde oldukları ve yer yer içlerinde toryumca zengin fazların inklüzyonları olduğu gözlenmiştir (Şekil 6.11 a).

Torianit minerali toryum içeren fazın en belirgin mineralidir ve kuvars/feldspatlar içerisinde özşekilsiz inklüzyonlar halindedir (Şekil 6.11 b). Bunun dışında torianit minerali zirkon ve apatit ile birlikte sfen ve klorit kristalleri boyunca gözlenmektedir (Şekil 6.11 c, d).

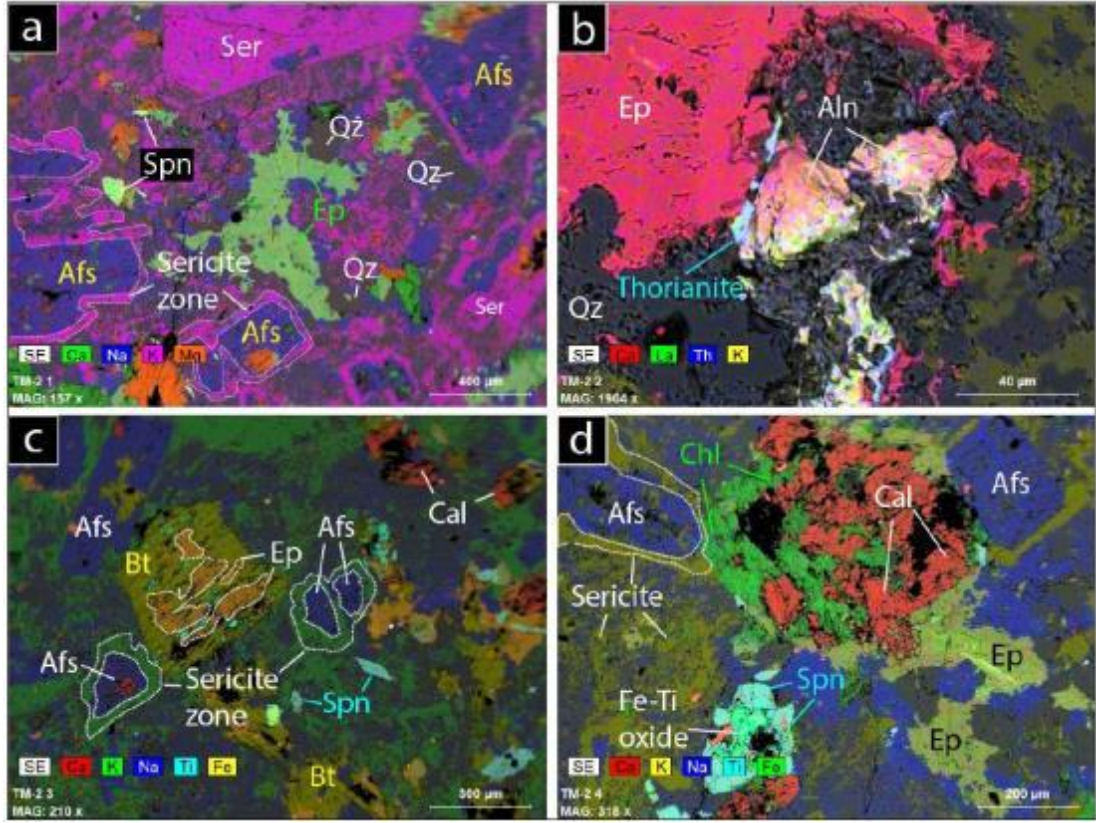
TM1, yapılan bu analiz sonucunda çıplak gözle görülebilen alkali feldspat fenokristleri içeren, holokristalen porfiritik dokulu granit olarak isimlendirilmiştir. Ana bileşenleri alkali feldspat, plajyoklas, amfibol, kuvars ve demir-tityum oksit fazlarıdır. Tali bileşenleri ise apatit, sfen ve toryum oksit fazlarıdır.



Şekil 6.12: TM2 numaralı örneğin polarize ışık mikroskop görüntüleri

TM2 numaralı örneğe yapılan polarizan mikroskobu analizlerine göre alkali feldspatların Karlsbad ikizlenmesi gösterdiği ve fenokristlerin yarı özşekilli olduğu görülmüştür. Alkali feldspatlar kenarları boyunca orta ve yüksek derecede seritizleşmişlerdir (Şekil 6.12 a).

Nadir olarak görülen plajyoklas tipik polisentetik ikizlenme göstermekte olup zonlu yapılıdır. Amfibol ve biyotit gibi ferromagnezyen mineraller tamamen klorit ve demirce zengin opak agregalara altere olmuşlardır. Kuvars yarı özşekilli/özşekilli formda, demir – titanyum oksitler ise matriksin her yerinde gözlenmektedir. İkincil klorit dilinim göstermektedir. Epidot ve allanit özşekilsiz kristaller ile temsil edilmektedir ve bu minerallere apatit ve sfenin birlikte bulunduğu alanlarda rastlanmaktadır (Şekil 6.12 b).



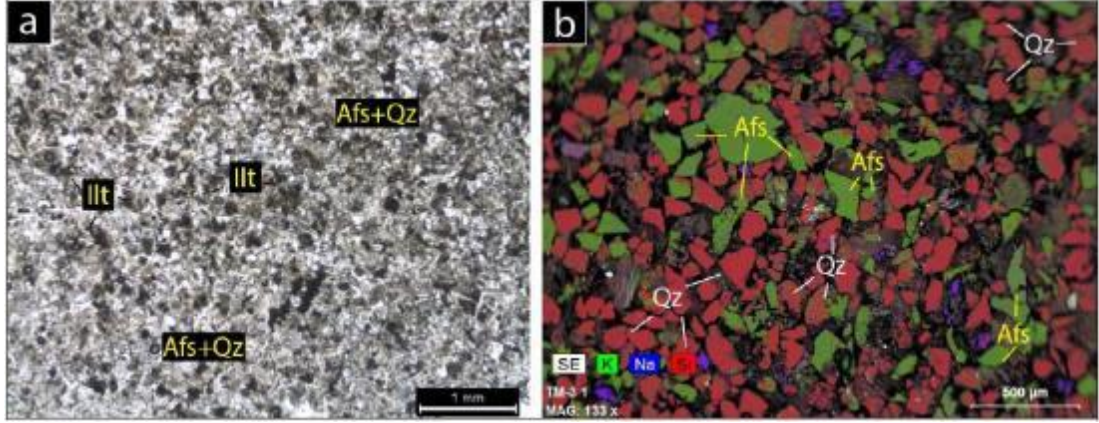
Şekil 6.13: TM2 numaralı örneğin SEM-EDS kullanılarak oluşturulmuş görüntüleri

TM2 örneğine yapılan SEM ve EDS analizlerine göre bazı yerlerde alkali feldspatların kenarları tamamen serizitleşmiş ve yer yer mikron yüksekliğinde haleler oluşturmuştur. Kuvars intergranüler ve yarı özşekilli/özşekillidir (Şekil 6.13 a).

Biyotit ve/veya amfibol tamamen kloritleşmiş ve genellikle klivaj düzlemlerinde ya da minerallerin kenarlarında gözlenmektedir (Şekil 6.13 a, c, d). Epidot özşekilsizdir ve genellikle eskiden var olan kristallerin boşluklarını doldurmuştur (Şekil 6.13 a, d). Allanit nadir toprak elementlerince eski solüsyon kalıntılarından kenarlarında gözlenmektedir ve yer yer epidot kristalizasyonu ile ilişkilidir (Şekil 6.13 b). Torianit, çoğunlukla epidot, allanit ve sfen ile ilişkili olarak görülmüştür (Şekil 6.13 b, d).

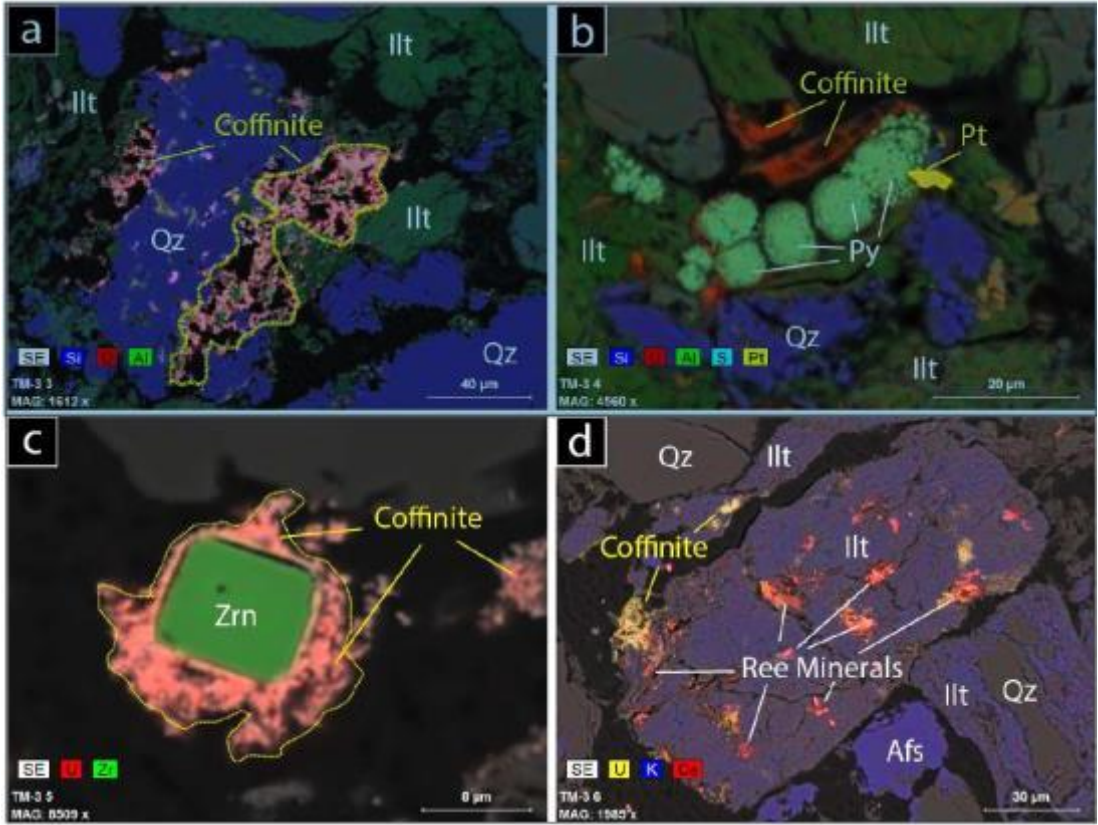
Kalsit, ya kalsiyum içeren fazların alterasyonu ya da kayacın kırıkları ve damarlarındaki karbonatça zengin solüsyonların kristalizasyonu ile oluşmuştur (Şekil 6.13 d).

TM2 yapılan bu analiz sonucunda çıplak gözle görülebilen alkali feldspat fenokristleri içeren, holokristalen porfiritik dokulu (alkali felsdpat) granit olarak isimlendirilmiştir. Ana bileşenleri alkali feldspat, plajiolklas, amfibol (\pm biyotit), kuvars ve demir-titanyum oksit fazlarıdır. Tali bileşenleri ise apatit, epidot, allanit, sfen, zirkon ve toryum oksit fazlarıdır.



Şekil 6.14: TM3 numaralı örneğin polarize ışık mikroskop görüntüleri

TM3 numaralı örnek yapılan analizler sonucunda gri – yeşil renkli kumtaşı olarak adlandırılmıştır. Zayıf – orta yuvarlaklaşmış köşeli kuvars taneleri, alkali feldspat (ortoklas) ve kilce zengin bir matris içinde çimentolanmış litik kırıntıları içerir (Şekil 6.14 a, b).

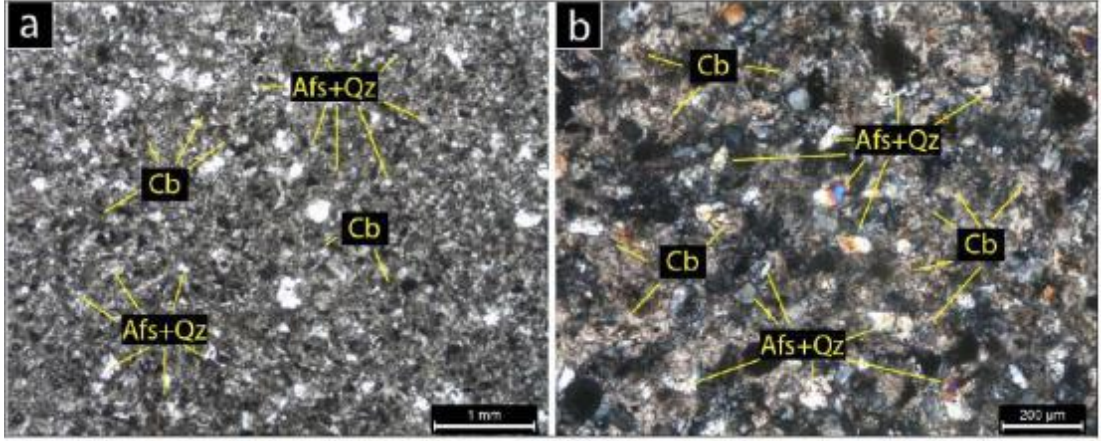


Şekil 6.15: TM3 numaralı örneğin SEM-EDS kullanılarak oluşturulmuş görüntüleri

Örnek, silikatlar, oksitler ve sülfürlerin yanında nabit metaller ve metal olmayan minerallerin kırıntılı birliklerinden oluşmaktadır. Ana bileşeni köşeli silikatlardır (kuvars ve alkali feldspat). Çimento kilce zengindir ve SEM analizlerinden de çıkarıldığı üzere ana kil fazı illittir (Şekil 6.15 a).

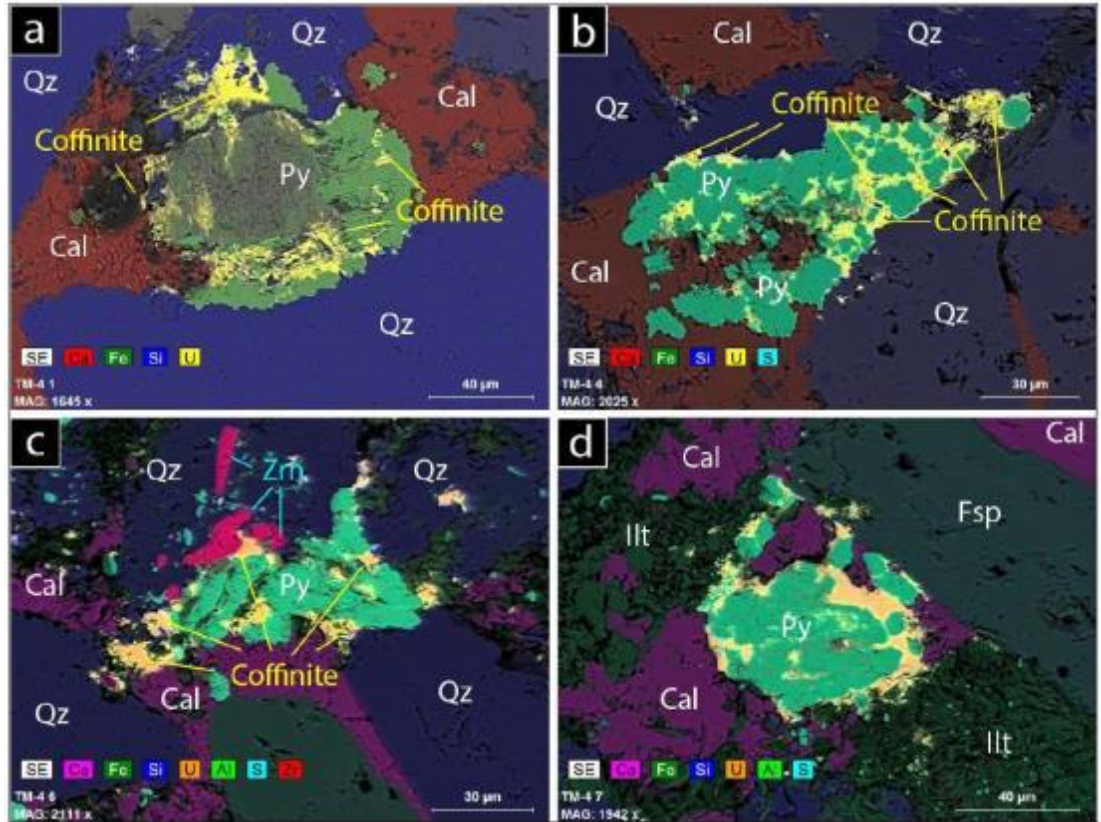
Tali faz da silikatlar, oksitler, sülfürler, fosfatlar ve nabit metallerle temsil edilir. Ana mineralojik topluluğundan ayrı olarak tali silikatlar çoğunlukla zirkon, kofinit ($U(SiO_4)_{1-x}(OH)_{4x}$), allanit ve tek tük nadir toprak elementleridir. Kofinit mikrondan da küçük taneler halinde dağınık olarak (Şekil 6.15 a, d), bağımsız iri taneler (Şekil 6.15 b) ya da diğer silikatları çevrelemiş şekilde (Şekil 6.15 c) görülmektedir.

Ana sülfür minerali olarak pirit gözlenmiştir ve küre şekilli framboyidal kristal formundadır (Şekil 6.15 b). Ana fosfat minerali ise apatittir. Oksit mineralleri çoğunlukla titanyumca zengin fazdadır ve rutil/anataz (TiO_2) ile temsil edilmektedir. Ayrıca nabit platinyum ve selenyum kırıntıları da gözlenmiştir (Şekil 6.15 b).



Şekil 6.16: TM4 numaralı örneğin polarize ışık mikroskop görüntüleri

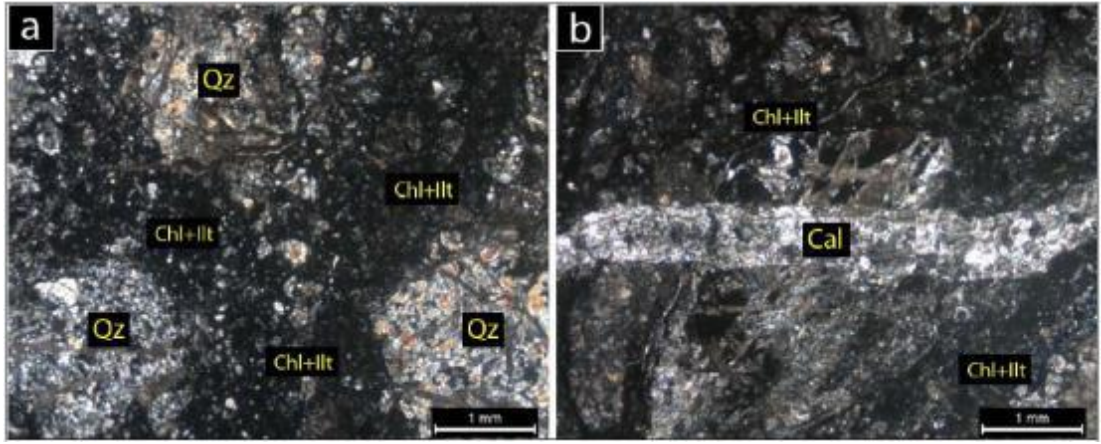
TM4 numaralı örneğin yapılan analiz sonucunda çok soluk bir renge sahip olduğu görülmüş ve gri – kahverengi, yeşil renkli kumtaşı olarak adlandırılmıştır. Orta – iyi yuvarlaklaşmış, yer yer köşeli kuvars taneleri, alkali feldspat (ortoklas), karbonatlaşmış litik kırıntılar içermektedir ve kilce zengin bir matrikse sahiptir (Şekil 6.16 a, b).



Şekil 6.17: TM4 numaralı örneğin SEM-EDS kullanılarak oluşturulmuş görüntüleri

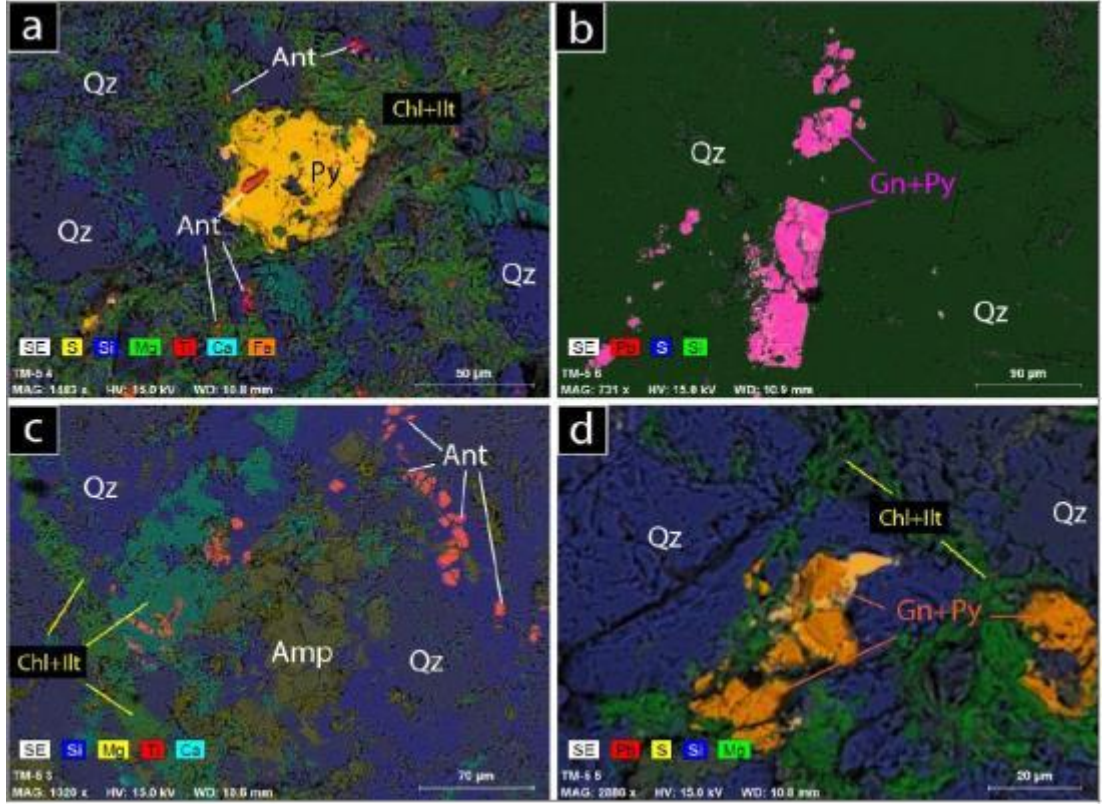
Örnek, silikatlar, karbonatlar, oksitler ve sülfürlerin kırıntılarında oluşur. Ana içeriği köşeli silikatlar (kuvars ve alkali feldspat) oluşturur. Karbonat çimentolu ve kilce zengindir. SEM analizlerine göre ana karbonat minerali kalsit iken killer illit ve yer yer smektit ile temsil edilir (Şekil 6.17 a, b, c, d).

Tali faz silikatlar, oksitler, karbonatlar ve fosfatlarla temsil edilir. Tali silikatlar zirkon, kofinit ve çok az allanittir (Şekil 6.16 c). Kofinit çoğunlukla pirit ile beraber gözlenmektedir (Şekil 6.17 a, b, c, d). Ana sülfür minerali öz şekilsiz pirittir ve kristaller halinde gözlenmektedir. Ana fosfor minerali ise apatit ile temsil edilmektedir. Oksit mineralleri titanyumca zengin minerallerdir ve rutil/anataz ile temsil edilir.



Şekil 6.18: TM5 numaralı örneğin polarize ışık mikroskop görüntüleri

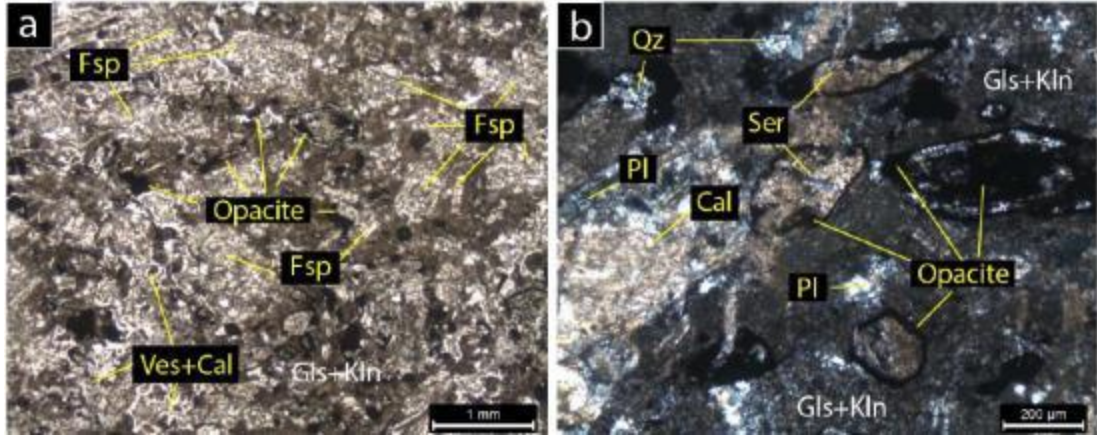
TM5 numaralı örneğin analiz sonucunda herhangi bir isim verilememiştir. Bunun nedeni örneğin oldukça yüksek seviyede altere olmuş olmasıdır. Ancak yapılan gözlemler örneğin kırıntılı sedimanter bir kayaç olabileceğini ortaya koymuştur (Şekil 6.18 a, b).



Şekil 6.19: TM5 numaralı örneğin SEM-EDS kullanılarak oluşturulmuş görüntüleri

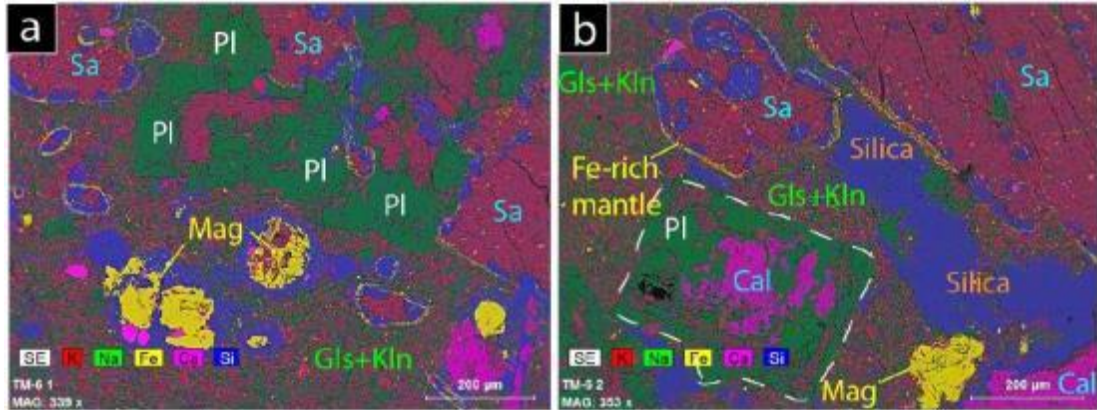
TM5 numaralı örneğe polarizan ışık mikroskobu ile bakıldığında örneğin iri taneli ve yer yer yuvarlaklaşmış, karbonat damarları ile kesilen polikristalen kuvars tanelerine sahip olduğu görülmüştür (Şekil 6.19 a, b). Bu polikristalen taneler klorit ve illit çimentosu ile sarılmış durumdadır (Şekil 6.19 a, b).

Örneğe yapılan SEM ve EDS analizleri ana mineralojik bileşimin silikatlar, sülfidler ve oksitler olduğunu göstermektedir. Silikatlar, kuvars, amfibol ve biyotit ile temsil edilmektedir. İllit ve klorit matriksi oluşturmakta ve kuvarşa zengin taneleri çevrelemektedir. Sülfidler pirit ve daha önceki örneklerde görülmeyen galen ile temsil edilmektedir. Pirit genellikle özşekilsiz iken galen yarı özşekillidir. Oksit fazındaki mineraller manyetit ve anatazdır. Anataz genellikle iğnemsî formda olup bazen kırık düzlemlerinde ya da piritlerin içerisinde inklüzyonlar şeklinde konsantre olmuştur. Sülfid ve oksitler de kırıklar ve damarlarda gözleendiğinden hidrotermal bir orijinden bahsedilebilir (Şekil 6.19 a, d).



Şekil 6.20: TM6 numaralı örneğin polarize ışık mikroskop görüntüleri

TM6 numaralı örneğe yapılan analiz sonucunda örneğin kristalce zengin bir volkanik kayaç olduğu belirlenmiştir. Birincil mineral bileşimini feldspat, biyotit, amfibol ve demir – titanyum oksitleri oluşturmaktadır ve matriks tamamen altere olmuştur (Şekil 6.20 a, b). Ana mineral bileşimi dikkate alınarak kayaç andezit olarak isimlendirilmiştir.

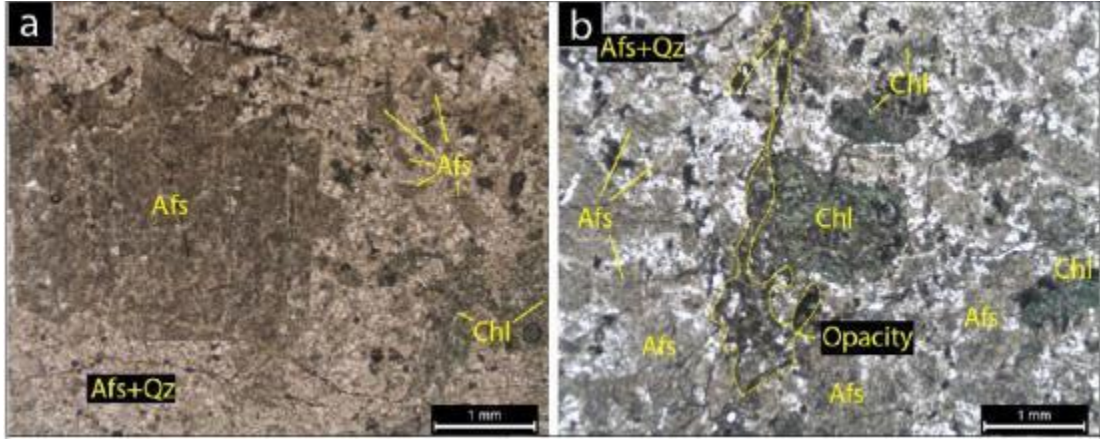


Şekil 6.21: TM6 numaralı örneğin SEM-EDS kullanılarak oluşturulmuş görüntüleri

Polarize ışık mikroskobu altında bakıldığında, TM6 numaralı örnek, hipokristalen porfiritik bir dokuya sahiptir. Ana bileşenleri Ca/Na plajioklas, sanidin, amfibol, biyotit ve az miktarda demir – titanyum oksitleridir. Sanidin yer yer serizitleşmiştir. Amfibol ve biyotit ise güçlü bir şekilde opaklaşmıştır. Volkanik matriks, çok ince taneli kaolinite altere olmuştur (Şekil 6.21 a, b).

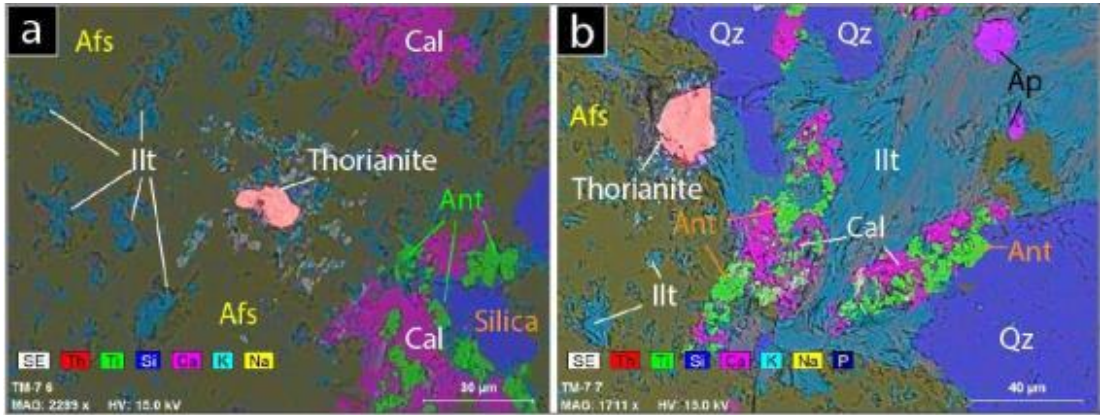
SEM ve EDS analizlerine göre hidrotermal alterasyon volkanik matriksin silis içeriğinin artmasına neden olmuştur (Şekil 6.21 a). Bununla beraber demirce zengin

zonların amfibol, biyotit ve sanidinleri çevrelediği görülmüştür (Şekil 6.21 a, b). Demirce zengin birikintiler örneğin hemen hemen her yerinde gözükmemektedir (Şekil 6.21 a, b). Demir – titanyum oksitleri, kafes tipi titanyumca zengin solüsyon izleri boyunca okside olmuş titano-manyetit ile temsil edilmektedir (Şekil 6.21 b).



Şekil 6.22: TM7 numaralı örneğin polarize ışık mikroskop görüntüleri

TM7 numaralı örnek yapılan analizler sonucunda holokristalen porfiritik dokulu granit olarak isimlendirilmiştir. Ana mineralojik bileşimi alkali feldspat, plajyoklas, amfibol (\pm biyotit), kuvars ve demir – titanyum oksitleridir. Tali bileşenler ise apatit, epidot, sfen, zirkon ve torianittir (Şekil 6.22 a, b).



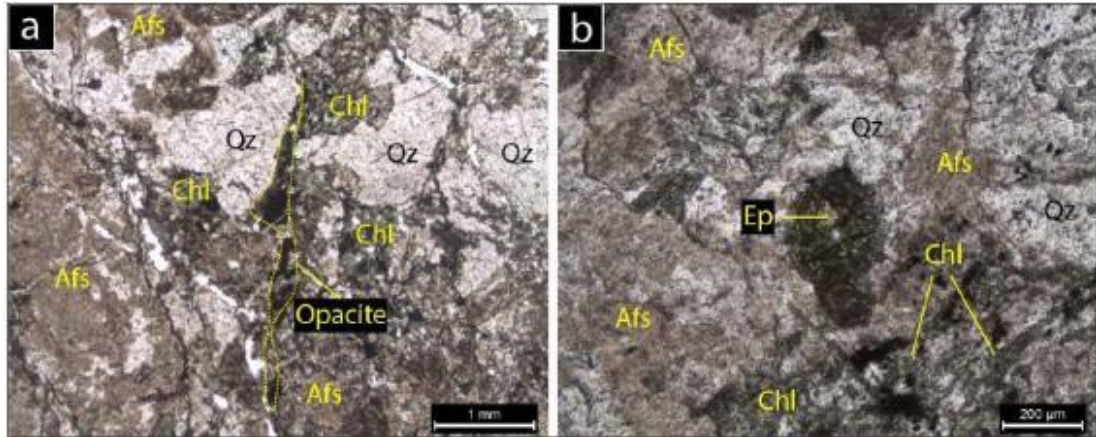
Şekil 6.23: TM7 numaralı örneğin SEM-EDS kullanılarak oluşturulmuş görüntüleri

Polarize ışık mikroskobunda bakıldığında örnekteki feldspatlar yarı özşekilli, orta-kuvvetli şiddette serizit ve illite altere olmuş şekildedir (Şekil 6.23 a, b).

Amfibol ve biyotit gibi ferromagnezyen fazdaki mineraller klorit ve demirce zengin opak agregalara altere olmuşlardır. Kuvars yarı özşekilli/özşekilsiz olup demir – titanyum oksitler hemen hemen her yerde gözükmektedir. Örnek, birkaç tane ikincil kalsit damarlarıyla kesilmiştir (Şekil 6.23 a, b).

SEM ve EDS analizlerinde görüldüğü kadarıyla alkali feldspatlar, kristal boşluklarını doldurmuş şekilde gözlenen illite (\pm kaolinit) altere olmuştur (Şekil 6.23 a, b). İkincil kalsit damarlar ve kırık zonlar boyunca gelmektedir ve genellikle anataz ile birlikte bulunmaktadır. Amfibol klorite altere olmuştur ancak kristal şeklinden amfibol olduğu anlaşılabilir. Özşekilsiz kuvars taneler halindedir.

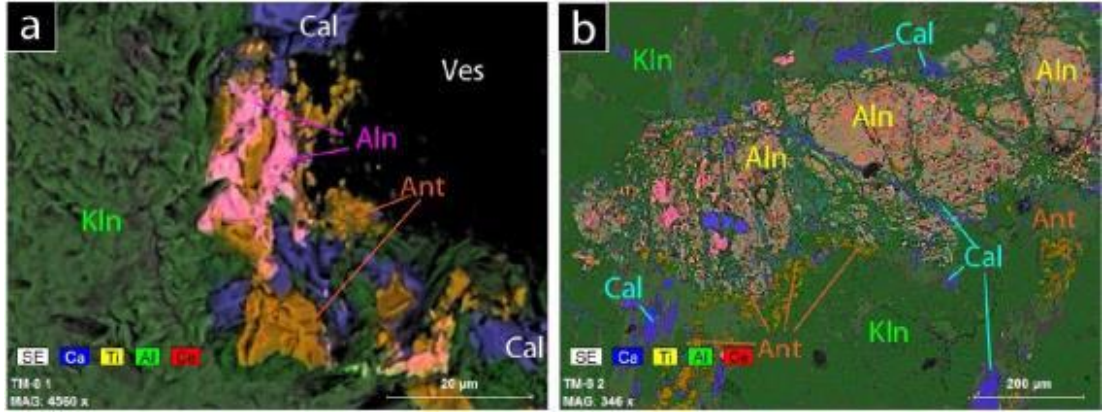
Çok az rastlanan torianit genellikle illit (\pm kaolinit), kalsit ve anatazın bulunduğu, alterasyona uğramış bölgelerde görülmektedir. Apatit ve zirkon (\pm sfen) yarı özşekilli/özşekillidir. Epidot ise kalsiyum içeren alterasyonla ilişkili olarak gözükmektedir.



Şekil 6.24: TM8 numaralı örneğin polarize ışık mikroskop görüntüleri

TM8 numaralı örnek yapılan analizler sonucunda holokristalen porfiritik alkali feldspat granit olarak isimlendirilmiştir. Ana mineralojik bileşimi alkali feldspat, plajiyoklas, amfibol (\pm biyotit), kuvars ve demir – titanyum oksitleridir. Tali

bileşenler ise apatit, zirkon, epidot, allanit, sfen ve nadir olarak monazittir (Şekil 6.24 a, b).



Şekil 6.25: TM8 numaralı örneğin SEM-EDS kullanılarak oluşturulmuş görüntüleri

TM8 numaralı örneğe polarize ışık mikroskobu altında bakıldığında alkali feldspatın yarı özşekilli olduğu ve orta-kuvvetli illit/kaolinit alterasyonuna uğradığı gözlemlenmektedir (Şekil 6.25 a, b). Amfibol ve/veya biyotit gibi ferromagneyzen mineraller tamamen klorit ve demirce zengin agregata altere olmuşlardır. Kuvars yarı özşekilli/özşekilsiz olup demir – titanyum oksitler her yerde yayılmıştır. Epidot ve allanit yarı özşekilli/özşekilsiz olup sfen, kalsit, apatit ve Fe-Ti oksitleriyle beraber bulunmaktadır ve Fe-Ti oksitleriyle ilişkililerdir (Şekil 6.25 b).

SEM ve EDS analizlerine göre alkali feldspatlar bir çok yerde kaolinite altere olmuşlardır. Biyotit ve/veya amfibol klivaj düzlemleri boyunca kloritlemiştir. Kuvars yarı özşekilli/özşekilsiz ve taneli yapıdadır. Kalsit ikincil bir mineral olup muhtemelen kalsiyum içeren fazlardan ya da karbonatça zengin solüsyonların kristalizasyonundan oluşmuştur (Şekil 6.25 a, b).

7. KAYAÇ ÖRNEKLERİNİN KİMYASAL ANALİZLERİ

Çalışma alanından, çevresinden ve yapılmış olan sondajlardan toplam 21 adet kayaç örneği alınmıştır. Alınan kayaç örnekleri kimyasal analiz yaptırılmak üzere laboratuvara gönderilmiştir. Örneklerin tamamı hem XRF cihazı ile hem de ICP – MS cihazı ile analiz edilerek analiz sonuçları değerlendirilmiştir. XRF ile kayaçlardaki ana oksitlerin dağılımı ve ICP-MS ile de elementlerin dağılımı belirlenmiştir.

Örneklerin büyük bir kısmı cevher içeren kumtaşlarından toplanmış ve bir kısmı da altere olmamış granitlerden alınmıştır. Analiz sonuçlarına göre kumtaşlarında sonradan zenginleşmiş olan uranyumun konsantrasyonu, esas hazne kayacı olan granitteki konsantrasyonlarına göre çok yüksektir.

7.1 Kayaçlardaki Ana Oksitlerin Dağılımı

Kayaç örneklerinin XRF yöntemi ile elde edilen ana oksit analiz sonuçları (Çizelge 7.1), SPSS 15.0 programı kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu sonuçlara göre alınan örnekler içerisinde U_3O_8 'in en yüksek konsantrasyon miktarı % 0.95'tir.

19, 20 ve 21 numaralı örneklerdeki (granit) uranyum konsantrasyonu düşük olduğu için XRF cihazı sonuç alamamıştır.

Çizelge 7.1: Temrezli ve çevresinde alınan karot örneklerinin ana oksit içerikleri (%).

ö.N.	Al ₂ O ₃	U ₃ O ₈	BaO	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	MnO	Na ₂ O	SiO ₂	SrO	TiO ₂	WO ₃
1	16.56	0.13	0.17	1.44	1.46	4.89	1.03	0.01	0.85	71.38	0.03	0.38	0.02
2	17.44	0.15	0.13	13.7	4.34	3.38	2.54	0.1	0.21	55.05	0.08	0.31	0.02
3	19.16	0.13	0.17	1.38	3.1	4.55	1.25	0.02	1.06	66.67	0.03	0.53	0.02
4	15.63	0.62	0.19	1.44	1.13	4.91	0.99	0.01	0.56	72.95	0.03	0.22	0.04
5	13.76	0.95	0.17	0.4	1.41	4.02	1.05	0.01	0.49	76.8	0.03	0.19	0.06
6	18.49	0.87	0.43	0.55	9.17	3.86	1.83	0.04	1.08	57.66	0.04	0.39	0.03
7	16.37	0.18	0.18	0.46	7.65	4.26	1.31	0.01	1.18	66.03	0.04	0.29	0.04
8	18.16	0.26	0.18	0.39	2.65	4.68	1.6	0.02	1.98	68.46	0.04	0.39	0.06
9	21.59	0.24	0.16	0.84	2.92	4.3	1.73	0.02	0.43	62.95	0.03	0.69	0.03
10	17.76	0.66	0.17	0.54	1.63	5.19	0.95	0.01	0.24	70.84	0.03	0.39	0.06
11	17.52	0.65	0.17	0.94	1.88	4.82	0.94	0.01	0.22	69.74	0.03	0.34	0.06
12	18.08	0.76	0.16	0.75	2.15	4.57	1.1	0.02	0.16	69	0.02	0.59	0.07
13	12.97	0.29	0.15	17.58	2.17	3.72	0.82	0.14	0.16	60.61	0.04	0.58	0.13
14	16.06	0.42	0.15	0.36	1.64	4.4	0.99	0.02	1.12	72.57	0.03	0.45	0.08
15	18.5	0.51	0.17	0.35	1.9	4.51	1.28	0.02	1.08	68.73	0.03	0.45	0.05
16	17.44	0.25	0.16	0.34	1.73	4.54	1.16	0.02	1.12	71.76	0.03	0.41	0.06
17	18.16	0.16	0.16	0.42	2.29	4.68	1.29	0.01	0.44	70.61	0.03	0.49	0.07
18	18.1	0.32	0.17	0.36	2.46	4.63	1.19	0.02	0.44	68.47	0.03	0.56	0.09
19	19.03	-	0.19	3.24	2.9	4.58	1.85	0.04	2.25	64.67	0.08	0.64	0.09
20	25	-	0.19	6.88	2.58	3.91	1.04	0.06	0.52	58.68	0.07	0.77	0.05
21	1.72	-	0.04	18.28	23.12	0.01	1.67	5.25	0.19	44.51	0.01	0.07	0.08

Ö.N. Örnek No

Çizelge 7.2’de uranyumun aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla 0.42 ve 0.27’dir. Kayaç örneklerinin XRF (ana oksitler) yöntemiyle elde edilen analiz değerleri ICP-MS (elementler) yöntemiyle elde edilen analiz değerlerinden yüksektir.

Çizelge 7.2: Temrezli ve çevresinde alınan kayaç örneklerine ait element (XRF) değerleriyle ilgili bazı istatistik veriler (%).

Major Oksit	Örnek Sayısı	Minimum	Maksimum	Ortalama	Ortanca	Standart Sapma
Al ₂ O ₃	21	1.72	25.00	17.02	17.76	4.29
U ₃ O ₈	18	0.13	0.95	0.42	0.31	0.27
BaO	21	0.04	0.43	0.17	0.17	0.07
CaO	21	0.34	18.28	3.36	0.75	5.75
Fe ₂ O ₃	21	1.13	23.12	3.82	2.29	4.85
K ₂ O	21	0.01	5.19	4.21	4.54	1.06
MgO	21	0.82	2.54	1.31	1.19	0.42
MnO	21	0.01	5.25	0.28	0.02	1.14
Na ₂ O	21	0.16	2.25	0.75	0.52	0.58
SiO ₂	21	44.51	76.80	66.10	68.47	7.43
SrO	21	0.01	0.08	0.04	0.03	0.02
TiO ₂	21	0.07	0.77	0.43	0.41	0.17
WO ₃	21	0.02	0.13	0.06	0.06	0.03

7.2 Kayaçlardaki Elementlerin Dağılımı

Kayaç örneklerinin ICP-MS yöntemi ile analiz sonuçlarına göre alınan örnekler içerisinde uranyumun en yüksek konstrasyonu 4842 ppm (5 numaralı örnek)'dir. En düşük uranyum konstrasyonu (9.5 ppm), taban granitlerinden alınmış 21 numaralı örnekte gözlenmiştir. İlk 19 örnek kumtaşlarından, 20 ve 21 numaralı örnek ise granitlerden alınmıştır (Çizelge 7.3). Uranyumun aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri sırasıyla U: 2404.9-1372.3'dür. Toryumun aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri ise sırası ile Th: 6.8 -3.9'dur (Çizelge 7.4).

SPSS 15.0 programı kullanılarak analiz sonuçları istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. ICP yönteminde uranyum elementi için dedeksiyon limiti 0.1 ppm'dir. Tüm örneklerin element içeriği dedeksiyon limitinin üzerindedir (Çizelge 7.4).

Sperman korelasyon katsayısıyla (r) elementler arasındaki ilişkiler incelenmiştir ($p \leq 0.01$ ve $p \leq 0.05$) (Çizelge 7.5). Uranyum elementi Sperman korelasyon analizine göre en yüksek pozitif korelasyonu potasyum (K) elementi ile göstermektedir (r: 0.31). Uranyum aynı zamanda rubidyum (r: 0.17) ve selenyum (r:

0.13) ile de pozitif korelasyon göstermektedir. Değerlerden de anlaşılacağı üzere uranyum hiç bir elementle yüksek/çok yüksek pozitif korelasyon göstermemiştir.

Uranyum elementinin negatif korelasyon gösterdiği elementler ise Bi (r:-0.55), As (r:-0.51), Sr (r:-0.46) ve Na (r:-0.40) (Çizelge 7.5).

Toryum elementinin en yüksek pozitif korelasyon gösterdiği elementler; Sc (r:0,86), Ce (r:0,78), Tb (r:0,78), Lu (r:0,68), La (r:0,66) ve Hf (r:0,66). Sperman korelasyon analizlerinde görüldüğü gibi toryumun bir takım nadir toprak elementleri ile pozitif korelasyon göstermesi oldukça anlamlıdır (Çizelge 7.5). Bilindiği gibi toryum elementinin nadir toprak elementleri ile arasında iyi bir ilişki vardır (Özgenç, 1993). Nitekim Türkiye'nin en büyük toryum yataklarının bulunduğu Sivrihisar bölgesi nadir toprak elementleri açısından Türkiye'nin en büyük rezervine sahiptir ve nadir toprak elementleri Sivrihisar bölgesinde ve diğer jeolojik ortamlarda toryum elementi ile birlikte bulunmaktadır.

Çizelge 7.4: Temrezli ve çevresinde alınan kayaç örneklerine ait element (ICP-MS) değerleriyle ilgili bazı istatistik veriler (ppm). Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, P, S, Ti değerleri %, diğer elementler ppm olarak verilmiştir.

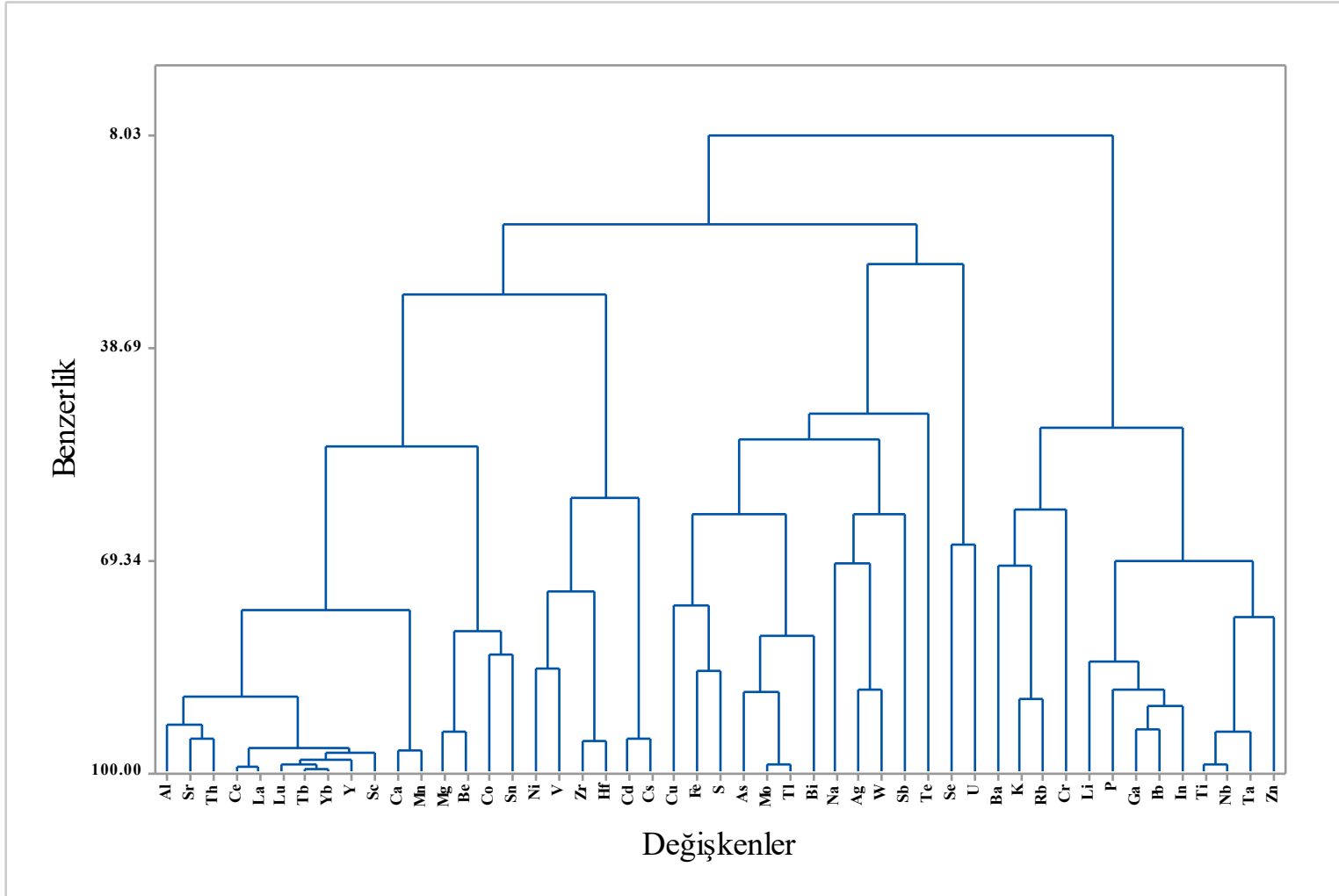
Elm.	Minimum	Maksimum	Ortalama	Ortanca	Standart Sapma
Al	0.9	5.55	1.82	1.35	1.29
Ba	234	796	615	668	159.8
Ca	0.07	13.2	1.45	0.145	3.62
Cr	20	42	30.0	30	5.14
Cu	13.8	26.9	20.2	19.4	3.84
Fe	0.76	4.6	1.87	1.35	1.19
K	1.98	3.5	2.97	3.08	0.39
Li	19	41	31.56	31.5	5.90
Mg	0.19	0.67	0.27	0.245	0.11
Mn	38	728	172.8	113	179.3
Na	0.12	1.12	0.52	0.46	0.31
Ni	5.1	15.2	8.35	7.55	3.13
P	0.02	0.03	0.03	0.03	0.00
S	0.01	3.5	0.54	0.01	1.08
Sr	73.3	295	119.5	101.7	54.2
Ti	0.06	0.22	0.14	0.14	0.05
V	1	66	30.44	28	14.0
Zn	10	87	31.6	25	19.6
Zr	17.3	44.6	30.3	30.1	7.6
Ag	0.02	0.56	0.15	0.15	0.12
As	0.2	556	53.9	18.15	127.7
Be	1.2	3.5	1.72	1.65	0.56
Bi	0.1	0.43	0.23	0.195	0.10
Cd	0.02	0.23	0.04	0.02	0.05
Ce	11.1	68	23.6	19.85	13.4
Co	1.8	6.9	3.8	3.1	1.60
Cs	4.65	58.7	11.3	8.82	11.9
Ga	8.6	14.3	11.7	11.8	1.4
Hf	0.67	1.58	1.09	1.07	0.25
In	0.02	0.04	0.02	0.02	0.01
La	5.7	38.9	12.8	9.95	7.9
Lu	0.03	0.21	0.07	0.065	0.05
Mo	0.7	31.7	5.63	1.905	9.43
Nb	4.1	13.3	9.12	8.75	2.63
Pb	19	31	24.7	25.5	3.12
Rb	115	171	145.5	150	16.6
Sb	1.21	2.57	1.8	1.715	0.35
Sc	0.8	5.5	1.8	1.45	1.30
Se	2	94	11.8	2	23.8
Sn	0.3	0.3	0.3	0.3	-
Ta	0.29	0.76	0.59	0.585	0.15
Tb	0.08	0.55	0.17	0.14	0.11
Te	0.05	0.41	0.08	0.05	0.09
Th	3.4	17.7	6.84	5.6	3.93
Tl	0.91	6.31	1.92	1.265	1.68
U	9.5	4842	2404.9	2291.5	1372.3
W	3	14.8	5.36	4.45	2.73
Y	1.5	17.3	4.54	3.6	3.77
Yb	0.2	1.5	0.44	0.4	0.30

Çizelge 7.5: (devam)

	Ce	Co	Cs	Ga	Hf	In	La	Lu	Mo	Nb	Pb	Rb	Sb	Sc	Se	Ta	Tb	Te	Th	Tl	U	W	Y	Yb	
Ce	1																								
Co	0.72	1																							
Cs	0.01	0.13	1																						
Ga	0.27	0.38	0.57	1																					
Hf	0.48	0.33	0.42	0.43	1																				
In	0.20	0.51	0.53	0.48	0.35	1																			
La	0.93	0.62	-0.06	0.09	0.30	0.14	1																		
Lu	0.80	0.71	-0.13	0.15	0.27	0.18	0.70	1																	
Mo	-0.22	-0.08	0.19	0.12	0.08	-0.06	-0.34	-0.13	1																
Nb	0.20	0.20	0.51	0.38	0.75	0.33	0.09	-0.08	-0.18	1															
Pb	0.47	0.51	0.37	0.52	-0.10	0.45	0.48	0.46	-0.10	-0.04	1														
Rb	0.07	0.14	0.16	0.37	-0.10	0.02	0.14	-0.21	-0.22	0.23	0.40	1													
Sb	-0.53	-0.26	0.09	0.09	-0.07	-0.12	-0.64	-0.42	0.60	-0.01	-0.36	-0.26	1												
Sc	0.74	0.72	0.04	0.33	0.61	0.30	0.61	0.77	0.00	0.23	0.25	-0.09	-0.41	1											
Se	-0.16	-0.06	-0.06	-0.10	-0.32	0.09	-0.12	-0.16	0.22	-0.55	-0.08	-0.22	0.28	-0.25	1										
Ta	0.38	0.20	0.56	0.27	0.88	0.36	0.32	0.03	-0.02	0.83	-0.07	0.00	-0.10	0.37	-0.30	1									
Tb	0.87	0.79	-0.07	0.27	0.38	0.17	0.72	0.95	0.02	-0.01	0.41	-0.15	-0.29	0.82	-0.08	0.14	1								
Te	-0.19	-0.27	-0.19	0.02	-0.19	0.15	-0.02	-0.04	-0.04	-0.36	0.04	-0.20	0.03	-0.05	0.19	-0.21	-0.16	1							
Th	0.78	0.60	-0.04	0.37	0.66	0.21	0.66	0.68	0.15	0.21	0.18	-0.11	-0.24	0.86	-0.21	0.43	0.78	0.11	1						
Tl	0.01	0.02	0.10	0.27	-0.09	0.17	-0.01	0.14	0.27	-0.37	0.21	-0.23	-0.02	0.08	0.44	-0.22	0.16	0.26	0.09	1					
U	-0.03	0.00	-0.23	-0.11	-0.13	-0.01	-0.01	-0.29	-0.25	0.03	-0.24	0.17	-0.20	-0.18	0.13	-0.10	-0.24	-0.19	-0.11	-0.01	1				
W	-0.23	0.06	0.32	0.38	-0.05	0.00	-0.38	-0.33	0.31	-0.01	-0.12	0.06	0.47	-0.22	0.36	-0.06	-0.11	-0.40	-0.21	0.25	0.19	1			
Y	0.77	0.74	-0.08	0.17	0.21	0.15	0.63	0.95	-0.03	-0.15	0.43	-0.22	-0.33	0.74	0.00	-0.03	0.96	-0.19	0.60	0.24	-0.26	-0.09	1		
Yb	0.86	0.70	-0.07	0.23	0.33	0.17	0.72	0.97	-0.12	-0.03	0.44	-0.17	-0.41	0.76	-0.17	0.09	0.96	-0.12	0.70	0.17	-0.18	-0.22	0.94	1	

Minitab 17.0 programı kullanılarak kontur diyagramı oluşturulmuştur. Kontur diyagramları, aralarında benzer davranış bulunan elementleri gösterir (Kirat ve Aydın, 2016). Bu diyagramda benzer davranış gösteren elementler dört ayrı gruba ayrılmıştır. Birinci grup; Sr-Th-Al, Ce-La, Tb-Yb-Lu-Y-Sc ve Ca-Mn, ikinci grup; Mg-Be, Co-Sn, Ni-V, Zr-Hf ve Cd-Cs, üçüncü grup; Fe-S-Cu, Mo-Tl-As-Bi ve Ag-W-Na-Sb-Te ve dördüncü grup; U-Se, Rb-K-Ba-Cr, Ga-Pb-In-P-Li ve Ti-Nb-Ta-Zn (Şekil 7.1). Kontur diyagramından elde edilen verilere göre uranyumun, selenyum ile birlikte hareket ettiği görülmektedir. Uranyum dünya genelindeki yataklarda, arsenik ve selenyum ile güçlü doğrusal bir korelasyon gösterir (Ni ve diğ., 2014).

Eigen değerleri (eigen value) Kaiser normalizasyonu ile varimax döndürme metodu uygulanarak yapılmış (0,96 faktör analizi mükemmel, 0,7-0,8 iyi; 0,5- 0,7 orta; 0,5'den az ise daha fazla veri toplanmalıdır); veri sayısının uygunluğu belirlenmiştir (Kalender ve diğ., 2009). Bu yöntem aralarında yüksek korelasyon olan elementlerin bir arada gösterilmesini sağlayarak faktör grupları oluşturur. Kimyasal analiz sonuçlarına uygulanan faktör analizinde, uranyum (U) ve selenyum (Se) değerleri belirlenen 4 faktörde de negatif çıkmıştır. Bu sonuç, aynı kimyasal analiz sonuçlarına uygulana Sperman korelasyon analizi ve kontur diyagramlarındaki bulugları destekler niteliktedir. Kayaç örnekleri için yapılan Eigen değerleri 1'den büyük olduğundan faktör sayısı dört olarak belirlenmiştir. Faktör 1; Mn, Th ve Nadir Toprak Element (NTE) zenginleşmelerini, Faktör 2; Cu, Fe, S, Ag, As, Mo, Tl ve W epitermal sistemdeki zenginleşmelerini, Faktör 3; Li, Ni, Ti, V (evaporitik ortamda), Zr, Ga, Hf, Nb ve Ta zenginleşmelerini ve Faktör 4; Mg, Sr, Be, Bi ve Pb zenginleşmelerini ifade eder. U ve Se değerleri ise dört faktörde de negatiftir (Çizelge 7.6).



Şekil 7.1: Çalışma alanı ve çevresinde alınan kayaç örneklerindeki elementlerin kontur diyagramı.

Çizelge 7.6: Temrezli ve çevresinde alınan kayaç örneklerindeki elementlerin (ICP-MS) faktör analizi.

	Faktör 1	Faktör 2	Faktör 3	Faktör 4
Al	0,871	0,203	0,121	0,338
Ba	-0,231	-0,839	-0,145	0,013
Ca	0,973	0,097	0,103	0,089
Cr	-0,324	-0,337	0,117	0,473
Cu	0,286	0,721	0,531	0,194
Fe	-0,05	0,77	-0,144	0,195
K	-0,621	-0,341	0,185	-0,362
Li	0,063	-0,011	0,875	0,298
Mg	0,468	0,333	0,132	0,77
Mn	0,916	0,246	0,213	0,124
Na	-0,489	0,396	-0,306	0,07
Ni	0,42	-0,096	0,503	0,462
S	0,149	0,852	-0,1	0,085
Sr	0,671	0,262	-0,195	0,564
Ti	-0,047	-0,144	0,946	-0,251
V	0,282	0,16	0,681	0,485
Zn	0,242	-0,093	0,473	0,156
Zr	0,393	-0,104	0,876	-0,065
Ag	0,085	0,856	0,267	-0,208
As	-0,091	0,887	-0,1	0,032
Be	0,178	0,219	0,01	0,908
Bi	-0,1	0,584	-0,201	0,512
Ce	0,957	-0,111	0,177	0,046
Co	0,315	-0,236	0,304	0,274
Cs	0,388	0,17	0,132	0,798
Ga	-0,355	0,084	0,649	0,466
Hf	0,473	0,009	0,857	-0,006
La	0,953	-0,13	0,133	0,025
Lu	0,929	-0,113	0,12	0,145
Mo	0,181	0,791	-0,052	0,497
Nb	-0,069	-0,109	0,951	-0,197
Pb	-0,121	-0,438	0,095	0,843
Rb	-0,601	-0,51	0,18	-0,008
Sb	-0,351	0,67	-0,1	0,007
Sc	0,934	0,054	0,256	0,209
Se	-0,021	-0,013	-0,696	-0,073
Ta	0,23	0,038	0,883	0,027
Tb	0,95	-0,034	0,166	0,008
Th	0,84	0,114	0,267	0,36
Tl	0,185	0,759	-0,052	0,5
U	-0,177	-0,183	-0,067	-0,394
W	-0,242	0,848	-0,062	-0,106
Y	0,961	-0,04	0,08	0,018
Yb	0,957	-0,091	0,132	-0,023

ICP – MS analiz sonuçlarına bakıldığında uranyumun birlikte bulunabileceği elementler arasında olan toryum konsantrasyonlarının, uranyumca zengin kumtaşlarında çok düşük olduğu gözlenmiştir. Ancak uranyum konsantrasyonlarının düşük olduğu (doğal değerler) granitlerde toryumun daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Buradan toryumun, yeraltı ve yüzey sularıyla taşınmadığı anlaşılmaktadır. Nitekim uranyumu sadece doğal olarak içeren 21 numaralı granit örneğinde uranyum konsantrasyonu 9,5 ppm iken, aynı örnekte toryum konsantrasyonu 29,8 ppm'dir. Ancak yaklaşık % 0,48 uranyum içeren 5 numaralı örneğe bakıldığında toryum değeri yalnızca 3.4 ppm' dir. Bunun nedeni toryumun okside olabildiği tek bir değerliğe (4^+) sahip olması ve bu değerlikteki toryumun sulu florit (F) komplekslerinin yokluğunda çözünürlüğünün çok düşük olmasına bağlıdır. U^{4+} iyonu klorit ve karbonat kompleksleriyle ortamdan düşük sıcaklıklarda taşınabilir. Ancak toryumun taşınabilmesi için yüksek sıcaklıklar gerekmektedir. Bunun dışında toryumun uranyum kadar zenginleşmemesinin bir diğer nedeni de toryumun su tablasının üzerinden, daha derinlere yani su tablasının altına doğru çökelmiş olması ve suyun uranyumu çözdüğü yerlerde toryum konsantrasyonu çok düşük olması ya da hiç olmaması da olabilir (Kalender ve diğ., 2016). Yüksek sıcaklıklarda toryumun jeokimyasal konsantrasyonu uranyumun konsantrasyonu ile benzerlik gösterir (Hazen ve diğ., 2009).

8. SU ÖRNEKLERİNİN ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

8.1 Su Örneklerinin Kimyasal Analizleri

Yeryüzündeki sular güneş sayesinde sürekli bir çevrim halindedir. Canlılar da bu ihtiyaçlarını bu çevrimden alır ve tekrar iade ederler. Bu süreç içerisinde suya karışan maddeler suların özelliklerini değiştirerek su kirliliğini ortaya çıkarırlar. Bu döngü sonucu suların içeriğinde çözülmüş olarak çeşitli katı maddelerin yanısıra, geçtikleri veya buldukları ortama bağlı olarak radyoaktif maddeler de bulunabilir. Yeraltı suları farklı formasyonlarla etkileşim halindedir. Formasyonların içeriğinde bulunan kimyasal bileşikler yeraltı sularına belli oranlarda karışır. Çözülmüş madde miktarı, formasyonlarla yeraltı suyunun temas süresine, suyun debisine ve sıcaklığına, formasyonun cinsine ve ortamdaki basınca bağlı olarak değişir. Jeolojik birimlerin içinde değişen miktarlarda radyoaktif elementler de bulunmaktadır. Yer kabuğu içindeki doğal radyoaktif elementlerin bulunduğu ortamlardan geçen ve/veya bulunan sular da radyoaktivite içerir. Yeraltı sularında rastlanan radyoaktif elementler potasyum (^{40}K), toryum (^{235}Th) ve uranyum (^{238}U)'dur. Ayrıca, Uranyum-238'in bozunmasıyla ortaya çıkan radon (^{222}Rn) ve radyum (^{226}Ra) da yeraltı sularında bulunabilir (Dilaver ve diğ., 2002) .

Kirlilik parametreleri fiziksel, kimyasal ve biyolojik kirlilik olmak üzere üç gruba ayrılır. Bu parametreler içerisinde en yaygın ve önemli kirlenme kimyasal kirlenmedir. Kimyasal kirlenme sonucu suyun rengi, kokusu, tadı, canlılar için kullanılabilirliği, pH, alkaliliği, sertliği, çözülmüş oksijen, biyolojik ve kimyasal oksijen ihtiyacına göre değişir. Çoğu zaman kimyasal kirliliğin devamında fiziksel kirlilik meydana gelir. Kil, kum, kül gibi suda çözünmeyen maddelerin neden olduğu fiziksel kirlilik sonucu, suyun rengi, kokusu, tadı, bulanıklığı ve sıcaklığı değişir. Termal kirlenme, fiziksel kirlenme kapsamındadır (Kırat, 2004).

Biyolojik kirlenmenin başlıca kaynağı, kanalizasyon sularıdır. Suda çok sayıda patojen mikroorganizma oluşmasına neden olur (Uslu ve Türkmen, 1987; Hammer, 1977).

İşletilen madenlerin atıklarındaki immobil (hareketsiz) fazdaki metallerin asit yağmurları veya benzeri asidik atıklarla temas etmesi sonucunda taşınabilir hale geçmesi bu metallerin analizine olan ilgiyi daha da arttırmaktadır. Bu metallere; Cr, Fe, Ni, Co, Cd, Cu, As, Zn gibi kanserojen etkisi olan ve Pb, Hg gibi aşırı toksik, U, Th, Sr, Cs, Be, Rb, Rn, Ra and Pd gibi radyoaktif özelliklere sahip elementlerin (ppb düzeyinde bile) tayini çok önemlidir. Sonuç olarak, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve buna benzer kurumlar içme suyu, sulama suyu ve diğer yüzey sularında müsaade edilen toksik element konsantrasyonlarını zamanla daha da küçük değerlere indirmektedirler (Şen, 2008).

Çalışma alanındaki sular, yeraltındaki akiferleri beslemekte, çiftçilik yapılan tarım arazilerinin sulanmasında ve bazen su kuyuları yoluyla içme suyu amaçlı kullanılmaktadır. Dolayısıyla yöre insanları bu sudan doğrudan ya da dolaylı olarak etkilenmektedir.

Bütün bu verilerin ışığında çalışma alanından 17 ayrı noktadan su örneği alınarak analize gönderilmiştir. Aynı zamanda bu 17 örnekten 12'sinin alındıkları noktada pH, Eh (v), EC (Elektriksel İletkenlik (mS/cm)) ve TDS (Toplam Çözünmüş Madde (ppt)) değerleri Adwa markalı yerinde ölçüm cihazıyla ölçülmüştür. Sulardaki pH değerleri 7.41 – 8.4 aralığında ve Eh değerleri -0.131v ile +0.188 volt aralığındadır. Ölçümlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 8.1' de verilmiştir.

Çizelge 8.1: Temrezli ve çevresinden alınan su örneklerinin parametrik değerleri.

Örnek No	Sıcaklık (°C)	pH	Eh(V)	EC (mS/cm)	TDS (ppt)
1	18,9	7,61	0,106	0,48	0,24
2	13,3	7,7	0,131	0,52	0,26
3	13,8	7,53	0,152	0,7	0,35
4	13,4	7,89	0,175	0,7	0,35
5	14,4	7,69	-0,007	1,2	0,6
6	14,6	7,41	0,228	0,9	0,45
7	14,3	7,76	-0,061	0,49	0,24
8	14,8	8,4	-0,131	0,35	0,17
9	14,6	7,89	0,188	0,5	0,25
10	7,79	7,69	0,156	18,2	0,35
11	16,4	8,03	0,129	0,73	0,36
12	17,3	7,96	0,178	0,59	0,3

Temrezli uranyum yatağına uzak olan alanlardan Küçükköhne (7 ve 8 numaralı lokasyonlarda sırasıyla 3.44 ve 0.92 ppb), Peyniryemez (16 numaralı lokasyonda 9.59 ppb) ve Yazılıtaş (17 numaralı lokasyonda 13.2 ppb) köylerindeki pınarlardan alınan sularda da uranyuma rastlanmıştır (Çizelge 8.2).

16 ve 17 numaralı örnekler ise çalışma alanının yaklaşık 7 km güneyinden alınmıştır. Uranyum cevherleşmesinin bulunduğu lokasyonlar Mehmetbeyli ve Akoluk köyleri arasında bulunmaktadır.

Kullanım amacına ve incelenen suyun içerdiği maddelere bağlı olarak su kalitesinin belirlenmesinde şu parametreler kullanılır: pH, sıcaklık, sertlik, çözülmüş oksijen, iletkenlik, alkalilik, kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ), toplam katı madde ve ağır metal kirliliği. Çalışma alanından alınan sularda yukarıda bahsedilen bir çok parametre analiz edilmiş ve Çizelge 8.3' de sunulmuştur. Çalışma alanı bir maden bölgesi olduğundan, alan içerisinde alınan suların içme suyu standartlarına göre sınıflandırılması yapılmamıştır. Çünkü bu suların içilmesi tavsiye edilmemektedir.

Dünya Sağlık Örgütü (WHO)'ne göre, içme sularında uranyum için hedeflenen değer litrede 15 ppb (WHO, 2008), Kanada'ya göre litrede 20 ppb, US

EPA (ABD Çevre Koruma Ajansı, 2009)'ya göre ise maksimum kirlilik seviyesinin litrede 30 ppb olması gerektiğini öne sürülmüştür (ATSDR, 2013). Bu kurumlar, diğer taraftan da hangi seviyedeki radyoaktivitenin insan sağlığını yakın veya uzak dönemde ne kadar etkilediği ile ilgili henüz ortaya konmuş bir veri olmadığını, bu yüzden içme sularındaki uranyum düzeylerinin sıfır olmasının gerektiğini belirtmektedirler (Schnug ve diğ., 2005).

Uranyum insan vücudunda en fazla kemik, karaciğer ve böbreklerde bulunur. Vücutta uranyumun %66'sı kemiklerde bulunur ve uzun süre kemiklerde kalabilir. Kemiklerdeki uranyum yarılanma ömrü 70-200 gündür. Kemiklerin dışındaki organlarda bulunan uranyumun çoğu 1-2 hafta içinde vücudu terk eder (ATSDR, 2013).

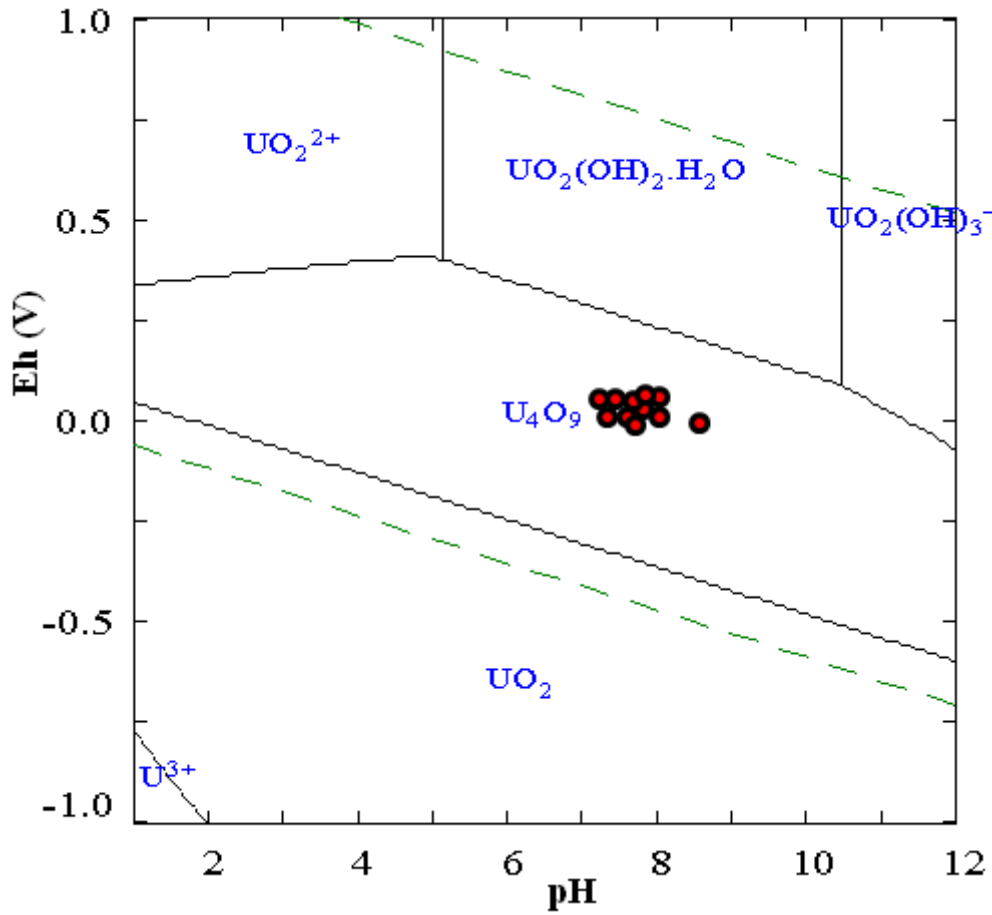
Alınan su örneklerinin analiz sonuçları çeşitli istatistik yöntemlerle değerlendirilmiştir. Buna göre analiz edilen elementlerin minimum, maksimum, ortalama, ortanca ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 8.4).

Su örneklerinin uranyum konsantrasyonu ortalaması 5,76 ppb'dir. Bu bölgelerden alınan kuyu ve kaynaklara ait sulara maksimum 15,2 ppb (13 numaralı lokasyon) uranyum gözlenmiştir.

Sperman korelasyon katsayılarıyla (r) elementlerin birbirleriyle olan ilişkileri SPSS 15.0 programında incelenmiştir ($p \leq 0.01$ ve $p \leq 0.05$). Sperman korelasyonuna göre, uranyum elementinin pozitif korelasyon gösterdiği elementler B (r:0.64), Si (r:0.38), Mn (r:0.30) ve Mo (r:0.28). Uranyum elementinin negatif korelasyon gösterdiği elementler ise Cu (r:-0.34), Sb (r:-0.34) ve Ca (r:-0.31) (Çizelge 8.5). Bu durum uranyumun bölgedeki sulara özellikle bor (B) elementi ile birlikte hareket ettiğini göstermektedir.

Sudaki uranyum konsantrasyonları ortamın Eh ve pH değerlerine göre farklılıklar gösterir. U^{4+} iyonunun, oksitli olmayan sulara pH 3-4 aralığında çözünürlüğü yüksektir. UO_2^+ iyonunun çözünürlüğü, +0.2 ile -0.1V Eh ve 1 ile 7 pH aralığında yüksektir. Oksitli sulara uranil florit kompleksleri (U_2^{2+}) ve uranil iyonları ise pH < 5 ortamlarında yüksektir. pH 4 ile 7.5 aralığı $UO_2(HPO_4)_2^{2-}$

kompleksi için uygun ortamlardır. pH yükseldikçe UO_2CO_3 kompleksi ve di-tri karbonat kompleksleri de baskın hale gelir. 25°C sıcaklıkta, uranit (UO_2 - $\text{UO}_{2.25}$), alfa- U_3O_8 and skopit mineralleri stabil uranyum oksitlerdir. Düşük Eh ve 4 – 6 aralığındaki pH koşullarında uranit ve kofinit minerallerinin çözünürlükleri genelde 10^{-4} ppb'nin altındadır. Ancak, orta Eh ve alkalın pH koşullarında bu minerallerin çözünürlükleri yüksektir. Karnotit, tyuyamunit, autunit, potasyum autinit ve uranofan minerallerinin çözünürlükleri pH'ın 5 – 8.5 aralığında olduğu ortamlarda oldukça düşüktür (Langmuir, 1978). Buna göre bölgedeki sulardan alınan örneklerin Eh ve pH değerleri dikkate alındığında, sulardaki uranyumun U_4O_9 formunda olduğu tespit edilmiştir (Şekil 8.1).



Şekil 8.1: Bazı uranyum minerallerinin duraylılık alanlarını gösteren Eh-pH diyagramı (Kırmızı noktalar: Çalışma alanından alınan su örnekleri)

Çalışma sahasından yüzey ve yüzeye yakın alanlardan alınan örneklerin analiz sonucuna bakıldığında uranyum içerikleri oldukça düşüktür. Özellikle ince taneli killi ve siltli birimlerin içerisinde geçen sularda doğal olarak uranyumun temel değerlerinin yüksek olması beklenir. Çünkü uranyum mineralleri, Fe-oksitler ve Fe-hidroksitler ile birlikte kil mineralleri tarafından adsorbe edilmiş olabilir (Kalender ve diğ., 2009; Kırat ve diğ., 2009). Ancak uranyumun yüzeysel yıkanmasından dolayı var olan uranyum yüzey ve yeraltı suları aracılığıyla bölgeden uzaklaşmıştır. Bu yıkama işlemleri jeolojik süreç içerisinde devam etmektedir.

Çizelge 8.2: Su örneklerinin element içerikleri (Ba, B, Ca, Fe, K, Si, Na, Sr ve S: ppm, diğer elementler: ppb olarak verilmiştir).

Element	Örnek No																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Al	90	120	86.4	19.7	3540	269	7.9	4.6	282	30.5	14.4	1	29	290	160	10.2	12.3
Sb	0.44	0.31	0.1	0.1	0.38	0.4	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.61	0.1	0.1
As	0.99	1.15	3.34	10.9	5.42	0.77	1.84	1.7	2.7	7.3	10.5	9.92	6.95	1.1	14.2	10.1	0.55
Ba	0.66	0.07	0.13	0.05	0.19	0.05	0.09	0.22	0.09	0.22	0.23	0.24	0.15	0.11	0.07	0.24	0.056
Be	0.1	0.1	0.1	0.1	0.7	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Bi	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
B	0.035	0.015	0.066	0.043	0.054	0.022	0.027	0.01	0.014	0.03	0.02	0.066	0.065	0.052	0.211	0.102	0.047
Cd	0.05	0.05	0.05	0.05	0.083	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Ca	264	7.6	45.9	25.9	109	1.12	119	75.6	96.4	89.4	85.7	94.7	39.8	77.3	34.8	98.3	44.5
Cr	56.7	1.64	0.99	0.5	9.22	18	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.37	3.22	0.5	0.5	3.32
Co	1.49	0.1	0.1	0.1	3.49	0.17	0.1	0.1	0.15	0.1	0.1	0.1	0.1	0.46	0.39	0.1	0.1
Cu	1.27	0.94	0.1	0.1	6.63	0.69	0.1	0.18	0.49	0.62	0.32	0.18	0.1	0.96	0.87	0.47	0.22
Fe	0.041	0.19	0.089	0.045	6.62	0.048	0.009	0.013	0.27	0.032	0.03	0.008	0.03	0.44	0.19	0.014	0.02
Pb	3.27	10.2	0.44	0.87	64.9	6.24	0.28	0.1	0.47	0.26	0.1	0.1	0.1	0.66	0.11	0.2	0.22
Li	380	62.7	33.1	33	44.8	238	12.4	8.8	9.9	11.1	9.6	15.5	24.1	19.4	30.6	17.6	28.2
Mn	0.78	4.28	7.89	2.86	85.4	1.34	0.73	0.91	10.8	0.86	1.87	2.42	1.28	15.7	191	0.92	2.62
Hg	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
Mo	10.9	5.03	4.45	4.42	14.9	3.77	0.94	0.1	0.1	0.39	0.42	1.29	3.97	1.5	1.84	2.22	3.89
Ni	0.87	0.65	0.5	0.5	11	0.5	0.5	0.5	1.13	0.5	0.5	0.5	0.5	3.69	4.16	0.5	0.5
K	154	14.5	2.57	5.77	10.5	126	2.95	0.189	0.147	0.17	0.107	0.88	2.22	4.1	5.37	0.784	9.15
Se	2.1	5.7	1	1	1	4.2	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	1.6
Si	1.28	7.23	11	13.1	20.7	3.86	9.5	8.51	10.7	15.1	12.2	14.3	12.5	13.6	5.04	15.7	11.4
Ag	0.01	0.01	0.01	0.019	0.064	0.01	0.013	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Na	109	26.6	27	20.8	58.5	86.9	13.2	8.82	11.9	10	8.01	15.3	27.2	18.6	43.2	21.7	21.6
Sr	10.7	0.58	1.05	0.85	2.3	0.8	0.52	0.4	0.54	0.7	0.6	0.97	0.84	0.67	0.58	1.55	0.71
S	4.92	5.52	11	2.96	57.6	6.49	10.4	7.41	7.24	5.95	5.08	7.4	5.46	3.64	23.7	10.3	6.39
Tl	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Sn	5.04	3.72	0.5	3.9	1.6	3.92	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	6.3	0.5	0.5	0.5	2.23
Ti	1	1.1	1	1	5.4	1	1	1	2.9	1	1	1	1	2.8	4.8	1	1
U	0.1	3.4	12.1	6.96	2.94	2.12	3.44	0.92	1.74	2.69	2.18	3.01	15.2	14.3	4.06	9.59	13.2
V	1	2.3	1	1.5	13.7	1.8	5.3	5.7	13.4	24.6	24.4	25.1	1.5	3.1	10.3	27.2	1
Zn	11.4	301	69.8	11.3	1390	10	1	1	2	2.9	4	1	31.9	143	5.4	5.1	445
Toplam metal içeriği	1112.75	587.29	322.37	169	5467.7	787.97	194.08	129.64	457.94	207.28	184.2	197.84	216.5	620.8	544.3	236.75	610.7

Çizelge 8.3: Su örneklerinin bazı fiziksel ve kimyasal parametreleri.

Özellikler	Örnek No																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Ca Sertlik	6,79	0,317	1,26	0,687	2,79	0,0342	3	1,92	2,42	2,26	2,2	2,38	1	2,04	0,93	2,47	1,18
Sertlik	6,79	0,404	1,79	1,07	4,19	0,0377	3,44	2,22	2,86	2,8	2,66	3,09	1,44	2,56	2,14	3,35	1,67
Sertlik CaCO ₃	679	40,4	179	107	419	3,77	344	222	286	280	266	309	144	256	214	335	167
Mg Sertlik	0,0026	0,0873	0,535	0,383	1,4	0,00346	0,438	0,308	0,44	0,539	0,453	0,711	0,442	0,527	1,2	0,883	0,488
Alkalinite CaCO ₃ pH4.5	862	75,4	170	135	63,3	422	322	169	254	224	212	266	168	287	191	298	190
Amonyak ve amonyum iyonları	0,57	0,176	0,05	0,05	0,05	0,106	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,5	0,05	0,05
Amonyak (N)	0,443	0,137	0,04	0,04	0,04	0,082	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,388	0,04	0,04
Bikarbonat Alkalinite (CaCO ₃)	2	2	170	130	63,3	2	322	169	254	224	212	266	162	287	191	298	189
Bromit	0,5	0,05	0,05	0,05	0,145	0,25	0,055	0,05	0,05	0,05	0,05	0,063	0,05	0,067	0,124	0,095	0,058
Karbonat Alkalinite (CaCO ₃)	66,4	73,6	2	5,1	2	414	2	2	2	2	2	2	6,4	2	2	2	2
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİCr)	28	37	5	12	369	41	5	9	7	5	8	5	5	5	39	5	6
Cl 105 ° C'de kurutulmuş Çözünmüş Katı Maddeler	75,8 1090	6,45 146	3,77 234	6,49 140	101 1060	14,8 550	2,28 386	2,12 321	2,39 349	3,54 353	2,13 284	3,81 345	3,71 218	7,75 310	34 328	7,87 430	4,61 244
F	1,42	0,696	1,15	1,15	1,02	0,701	0,596	0,567	1,1	1,11	0,824	1,74	1,38	0,75	0,767	2,63	1,37
Hidroksit Alkalinite (CaCO ₃)	796	2	2	2	2	8,4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Nitrat (N)	0,221	0,012	0,144	0,137	0,01	0,033	3,66	13,4	9,39	15,1	13,5	12	3,06	2,81	0,122	9,6	2,49
Nitrat	0,978	0,052	0,64	0,607	0,04	0,146	16,2	59,5	41,6	66,8	59,8	53,3	13,6	12,4	0,542	42,5	11
Nitrit (N)	1,14	0,01	0,01	0,444	0,01	0,479	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,039	0,01	0,533	0,01	0,074
Nitrit	3,75	0,04	0,04	1,46	0,08	1,58	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,128	0,04	1,75	0,04	0,242
Sülfat (SO ₄) ²⁻ 105 ° C'de kurutulmuş askıda katı maddeler	12,8 8,5	15,4 35,3	33,7 39,2	8,71 14	158 280	17,5 5	30,2 5	21,5 5	21 13,2	17,4 5	14,8 5	22 5	15,8 11	10,3 73,4	73,4 48,9	31,3 5	18,8 5
Toplam Kjeldahl Azot (N)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1,21	0,5	0,5
Toplam fosfor (P)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,104	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,019	0,171	0,01	0,01
Elektriksel iletkenlik (25°C'de)	131	21,6	38	30,5	79	88,5	56,3	45,5	50,5	52,5	49,1	56,8	65	45,6	58,6	64	41,8

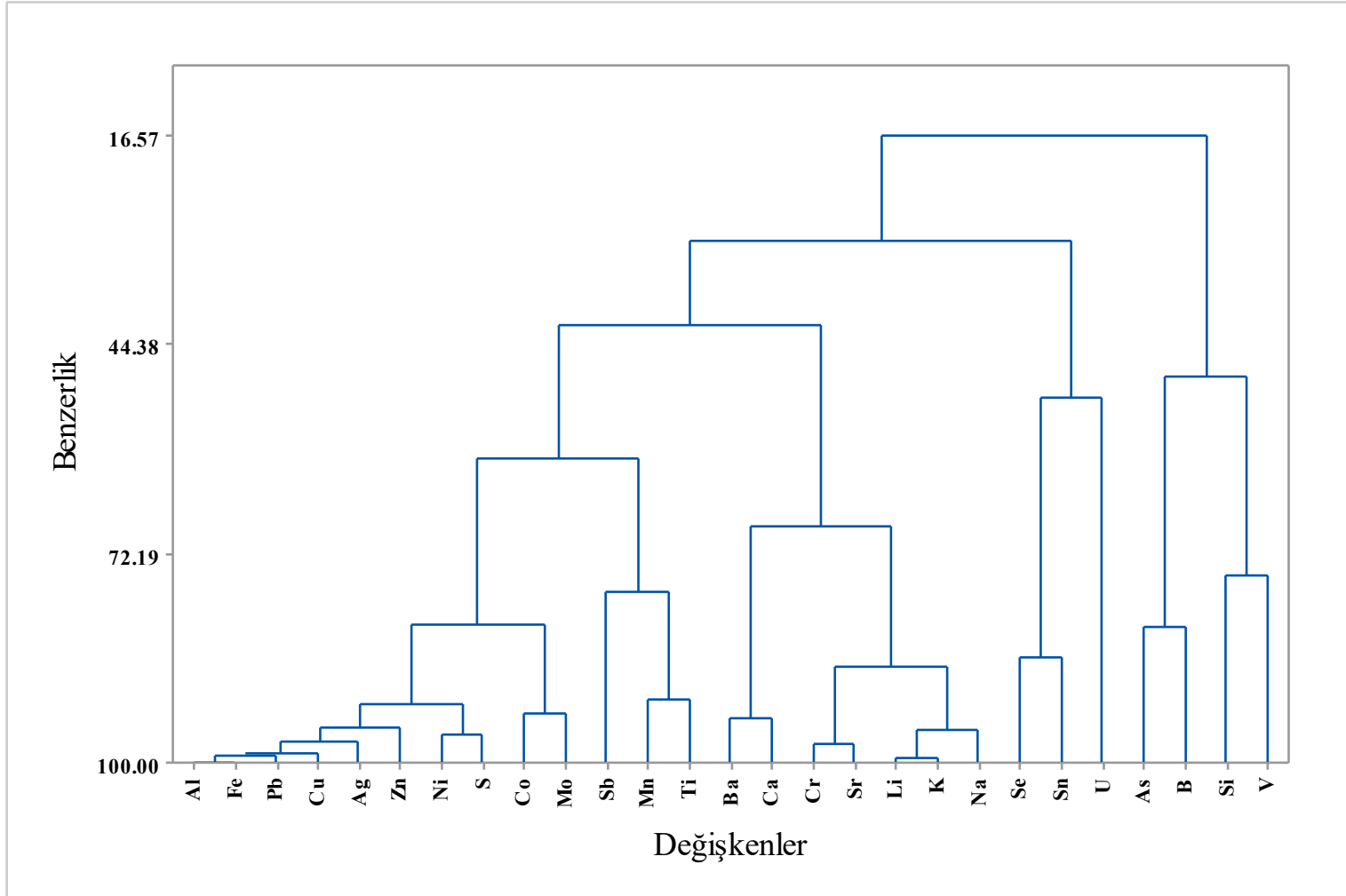
Su örnekleri içerisindeki element dağılımlarını belirlemek için, Minitab 17 programı kullanılarak kontur diyagramı oluşturulmuştur. Bu diyagramda benzer davranış gösteren elementler üç ayrı gruba ayrılmıştır. Birinci grup; Al-Fe-Pb-Cu-Ag-Zn, Ni-S, Co-Mo ve Ti-Mn-Sb, ikinci grup; Ba-Ca, Cr-Sr ve Li-K-Na, üçüncü grup; Se-Sn-U, As-B ve Si-V (Şekil 8.2). Kontur diyagramları, aralarında benzer davranış sergileyen element çiftlerini karakterize eder (Kırat ve Aydın, 2016). Kontur diyagramlarına göre uranyumun, selenyum (Se) ve kalay (Sn) elementleri ile birlikte bulunduğu sonucuna varılmıştır. Aynı zamanda Sperman korelasyonunu destekler nitelikte olarak bor (B) ve silisyum (Si) da uranyum ile aynı grupta yer almıştır.

Çizelge 8.4: Temrezli ve çevresinde alınan su örneklerine ait element değerleriyle ilgili bazı istatistik veriler (ppm). Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, P, S, Ti değerleri %, diğer elementler ppm olarak verilmiştir.

	Minimum	Maksimum	Ortalama	Ortanca	Standart Sapma
Al	1	3540	292,1765	30,5	843,1569
Sb	0,1	0,61	0,1965	0,1	0,16393
As	0,55	14,2	5,2606	3,34	4,47744
Ba	0,05	0,67	0,1685	0,126	0,14673
Be	0,1	0,7	0,1353	0,1	0,14552
B	0,01	0,21	0,0517	0,043	0,04766
Cd	0,05	0,08	0,0519	0,05	0,008
Ca	1,12	264	77,0012	77,3	59,95067
Cr	0,5	56,7	5,8212	0,5	13,86773
Co	0,1	3,49	0,4265	0,1	0,85999
Cu	0,1	6,63	0,8376	0,47	1,53665
Fe	0,01	6,62	0,4754	0,0406	1,58778
Pb	0,1	64,9	5,2071	0,28	15,62579
Li	8,8	380	57,5765	24,1	98,93004
Mn	0,73	191	19,5094	2,42	48,59189
Mo	0,1	14,9	3,5371	2,22	3,96345
Ni	0,5	11	1,5882	0,5	2,67214
K	0,11	154	19,9651	2,95	45,63482
Se	1	5,7	1,7412	1	1,4483
Si	1,28	20,7	10,9247	11,4	4,7601
Ag	0,01	0,06	0,0139	0,01	0,01311
Na	8,01	109	31,0782	21,6	28,4889
Sr	0,4	10,7	1,432	0,705	2,43169
S	2,96	57,6	10,6741	6,49	12,96756
Sn	0,5	6,3	1,8653	0,5	1,94279
Ti	1	5,4	1,7059	1	1,41839
U	0,1	15,2	5,7618	3,4	5,06318
V	1	27,2	9,5824	5,3	9,90254
Zn	1	1390	143,2824	10	344,4653

Çizelge 8.5: Temrezli ve çevresinde alınan su örneklerinin Sperman korelasyon katsayıları.

	Al	Sb	As	Ba	B	Ca	Cr	Co	Cu	Fe	Pb	Li	Mn	Mo	Ni	K	Se	Si	Na	Sr	S	Sn	Ti	U	V	Zn
Al	1																									
Sb	0.56	1																								
As	-0.21	-0.16	1																							
Ba	-0.30	-0.13	0.20	1																						
B	-0.01	0.07	0.42	0.15	1																					
Ca	-0.13	-0.14	0.02	0.68	0.04	1																				
Cr	0.53	0.52	-0.71	-0.14	0.02	-0.11	1																			
Co	0.79	0.69	-0.24	0.00	0.10	0.21	0.54	1																		
Cu	0.71	0.69	-0.26	0.11	-0.06	0.16	0.51	0.78	1																	
Fe	0.96	0.47	-0.08	-0.36	0.04	-0.21	0.41	0.69	0.61	1																
Pb	0.69	0.50	-0.43	-0.40	-0.20	-0.03	0.61	0.54	0.55	0.67	1															
Li	0.50	0.71	-0.30	-0.32	0.28	-0.30	0.76	0.44	0.39	0.47	0.70	1														
Mn	0.61	0.22	0.16	-0.39	0.30	-0.33	0.12	0.40	0.31	0.75	0.28	0.25	1													
Mo	0.34	0.50	-0.16	-0.16	0.37	-0.17	0.70	0.27	0.24	0.37	0.58	0.90	0.24	1												
Ni	0.78	0.59	-0.08	-0.05	0.09	0.18	0.32	0.83	0.78	0.78	0.48	0.32	0.63	0.24	1											
K	0.40	0.71	-0.48	-0.43	0.12	-0.26	0.77	0.48	0.42	0.36	0.70	0.91	0.16	0.78	0.34	1										
Se	0.18	0.43	-0.57	-0.27	-0.21	-0.43	0.68	0.05	0.20	0.05	0.31	0.60	-0.18	0.50	-0.04	0.60	1									
Si	-0.13	-0.52	0.44	0.30	0.41	0.29	-0.24	-0.19	-0.10	-0.07	-0.16	-0.30	0.13	-0.04	-0.11	-0.39	-0.49	1								
Na	0.49	0.75	-0.21	-0.16	0.45	-0.19	0.72	0.54	0.38	0.42	0.50	0.91	0.21	0.82	0.36	0.79	0.55	-0.28	1							
Sr	0.09	0.18	0.08	0.34	0.57	0.21	0.45	0.20	0.13	0.06	0.27	0.57	0.00	0.69	-0.02	0.36	0.14	0.38	0.59	1						
S	-0.03	0.17	0.15	0.08	0.31	0.23	-0.19	0.08	-0.03	-0.01	-0.10	-0.06	0.18	-0.06	0.12	-0.09	-0.36	0.03	0.14	-0.05	1					
Sn	0.22	0.41	-0.34	-0.29	-0.07	-0.35	0.68	0.17	0.11	0.14	0.42	0.70	-0.12	0.70	0.00	0.69	0.81	-0.26	0.65	0.41	-0.44	1				
Ti	0.75	0.43	0.04	-0.23	0.07	0.01	0.13	0.65	0.64	0.79	0.40	0.16	0.78	0.11	0.92	0.18	-0.14	0.02	0.20	-0.20	0.26	-0.14	1			
U	-0.06	-0.34	0.14	-0.32	0.64	-0.31	0.03	-0.27	-0.34	0.03	-0.16	0.12	0.30	0.28	-0.12	0.07	0.00	0.38	0.15	0.15	-0.04	0.04	0.00	1		
V	-0.17	-0.16	0.54	0.46	0.05	0.41	-0.60	-0.06	0.16	-0.18	-0.34	-0.59	-0.02	-0.55	0.05	-0.61	-0.57	0.52	-0.47	-0.15	0.33	-0.63	0.20	-0.26	1	
Zn	0.55	0.33	-0.32	-0.32	0.27	-0.30	0.76	0.33	0.38	0.58	0.54	0.71	0.49	0.81	0.38	0.65	0.45	0.08	0.62	0.44	-0.17	0.55	0.33	0.45	-0.55	1



Şekil 8.2: Çalışma alanı ve çevresinde alınan su örneklerindeki elementlerin kontur diyagramı.

8.2 Su Örneklerinin Radyometrik Analizleri

Çalışma alanında, yeraltı ve yüzey sularında radyometrik analizler yapılmıştır. Toplam 10 adet yeraltı suyu (RD1-RD10) ve 4 adet yüzey suyu (RD11-RD14) örneği alınmıştır. Yeraltı sularındaki ortalama gros alfa değeri ve gros beta değerleri sırasıyla; 0,38 Bq/L ve 0,85 Bq/L' dir. Yüzey sularındaki gros alfa ve gros beta değerleri de sırasıyla; 0,08 Bq/L ve 0,11 Bq/L' dir (Çizelge 8.6).

Analiz sonuçlarına göre, çalışma alanındaki yüzey ve yeraltı sularının çoğunluğundaki gros alfa ve gros beta değerleri Dünya Sağlık Örgütü (WHO)' nün kabul edilebilir değerleri arasındadır (Çizelge 8.-8.9). Ancak RD2, RD3 ve RD5 numaralı yeraltı suyu örneklerindeki gros alfa değeri, Dünya Sağlık Örgütü' nün gros alfa için belirlediğin üst sınırın üzerindedir. Ayrıca RD1 ve RD6 numaralı yeraltı suyu örneklerindeki gros beta değeri de Dünya Sağlık Örgütü' nün gros beta için belirlediği üst sınırın üzerindedir. Dünya Sağlık Örgütü gros alfa üst sınırını 0,50 Bq/L olarak ve gros beta üst sınırını 1 Bq/L olarak belirlemiştir.

Yeraltı ve yüzey sularının radyometrik analizleri istatistiksel olarak değerlendirilmiş olup, ortalama, minimum, maksimum, standart sapma ve medyan değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 8.7 ve 8.8).

Çizelge 8.6: Yüzey (YS) ve yeraltı sularının (YAS) radyometrik analiz sonuçları (SD: Su Deposu).

Örnek No	Örnekleme Türü	Gros alfa (Bq/L)	Gros beta (Bq/L)	U-238 (Bq/L)	Th-230 (Bq/L)	Ra-226 (Bq/L)	Pb-210 (Bq/L)	Ra-228 (Bq/L)
YAS Örnekleme Türü								
RD1	YAS	0.1	2.84	0.0004	<10	<0.20	<0.20	<3
RD2	YAS	1.12	0.79	0.0932	<10	0.96	<0.20	<3
RD3	YAS	0.64	0.2	0.2751	<10	0.22	<0.20	<3
RD4	YAS	0.32	0.26	0.1307	<10	<0.20	<0.20	<3
RD5	YAS	0.83	0.81	0.0527	<10	<0.20	0.2	<3
RD6	YAS	0.12	3.6	0.0505	<10	<0.20	<0.20	<3
RD7	YAS	0.08	0.11	0.0751	<10	<0.20	<0.20	<3
RD8	YAS	0.08	0.09	0.0274	<10	<0.20	<0.20	<3
RD9	YAS	0.12	0.27	0.105	<10	<0.20	<0.20	<3
RD10	YAS	0.42	0.1	0.2759	<10	0.22	<0.20	<3
YS/SD Örnekleme Türü								
RD11	YS	0.08	0.13	0.0936	<10	<0.20	<0.20	<3
RD12	SD	0.12	0.06	0.0626	<10	<0.20	<0.20	<3
RD13	SD	0.06	0.13	0.0647	<10	<0.20	<0.20	<3
RD14	SD	0.06	<0.06	0.0515	<10	<0.20	<0.20	<3

Çizelge 8.7: Yeraltı sularının radyometrik analiz sonuçlarına ait özet istatistiksel değerler

Analiz	Yeraltısuyuörnekleri	Ortalama (Bq/L)	Minimum (Bq/L)	Maksimum (Bq/L)	StandartSapma (Bq/L)	Medyan (Bq/L)
Gros alfa	11	0.38	0.08	1.12	0.35	0.32
Gros beta	11	0.85	0.09	3.6	1.21	0.27
U-238	11	0.1124	0.0004	0.2759	0.0916	0.0932
Th-230	11	-	-	0	-	-
Ra-226	11	0.47	0.22	0.96	0.43	0.22
Ra-228	11	0.20	0.20	0.2	-	0.2
Pb-210	11	-	-	0	-	-

Çizelge 8.8: Yüzey sularının radyometrik analiz sonuçlarına ait özet istatistiksel değerler

Analiz	Yüzeyve/veyaıçmesuyuörnekleri	Ortalama (Bq/L)	Minimum (Bq/L)	Maksimum (Bq/L)	StandartSapma (Bq/L)	Medyan (Bq/L)
Gros alfa	4	0.08	0.06	0.12	0.03	0.07
Gros beta	4	0.11	0.06	0.13	0.04	0.13
U-238	4	0.07	0.0515	0.0936	0.02	0.06365

9. REZERV ve İŞLETİLEBİLİRLİK

9.1. Rezerv

Temrezli uranyum yatağı ile ilgili çalışmalar MTA tarafından yapılan 507 adet ve Adur madencilik tarafından yapılan 124 adet sondaj çalışması ile detaylandırılarak uluslararası standartlarda rezerv hesaplamaları yapılmıştır (Seredkin, 2014). Çalışmalar sonucunda hesaplanan rezerv Çizelge 9.1’de verilmiştir. Rezerv hesaplamaları Micromine programında blok modellemeler ile yapılarak rezerv, görünür, muhtemel ve mümkün olarak üç ana grupta temsil edilmektedir (Şekil 9.1). Rezerv hesaplamalarında kategoriler, sondaj aralıkları 50 m’den az ise kategori görünür, 50-100 m arasında ise muhtemel, 100 m’den fazla ise mümkün olarak belirlenmiştir.

Temrezli Uranyum Yatağında uranyum “Yerinde Kazanım Yöntemi” ile üretilecek olup tüm madencilik planları bu sistem üzerine kurulmuştur. Bu doğrultuda cevherleşme alanı 4 farklı maden ünitesine bölünmüştür. Bu ünitelerin her biri farklı rezerv değerlerine sahiptir ve bu miktarlar Çizelge 9.2’te verilmiştir. Maden ünitelerinde belirlenen toplam rezerv miktarının yataktaki rezerv miktarından farklı olmasının nedeni üretim esnasındaki kayıpların yaklaşık % 5 civarında olabileceğinin hesaplanmasından dolayıdır.

Çizelge 9.1: Temrezli uranyum yatağı rezerv miktarları.

Rezerv Kategorisi	Ton (‘000)	Tenör (ppm U ₃ O ₈)	U ₃ O ₈ (M Libre)	U ₃ O ₈ (Ton)
Görünür	2,008	1,378	6.1	2767
Muhtemel	2,178	1,080	5.2	2359
Görünür+Muhtemel	4,186	1,225	11.3	5126
Mümkün	1,020	888	2	907
TOPLAM REZERV	5,206	1,157	13.3	6033

Temrezli uranyum yatağının rezerv hesaplama ve modelleme çalışmaları CSA Global şirketi tarafından Micromine 14.0.4 programı kullanılarak yapılmıştır. Rezerv hesaplamalarında hem kimyasal analizlerin sonuçları hem de gama loglarının sonuçları değerlendirilerek her 10 cm'lik kalınlık için hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalara dahil edilen en düşük tenör (cut off grade değeri) 200 ppm olarak kabul edilmiştir. Rezerv hesaplamaları Avustralya standartları olan 'Joint Ore Reserves Committee 2012' (JORC)'a göre yapılmıştır (Seredkin ve diğ., 2014).

Kimyasal analizlerden ve gama loglarından elde edilen tüm analitik veriler Micromine formatına çevrilmiştir. Verilere klasik istatistiksel yöntemler uygulanmıştır. Öncelikle yataktaki uranyum tenörlerinin dağılımları belirlenmiştir. Hazırlanan histogramda uranyum zenginleşmelerinin pozitif log normal dağılımı gösterdiği belirlenmiştir.

Uranyum cevherleşmesi, tüm cevher içeren merceklerde ayrı ayrı belirlendikten sonra istatistiksel yöntemler yeniden uygulanmıştır ve aşağıdaki veriler analiz edilmiştir (Seredkin ve diğ., 2014).

- Uranyum tenör topluluklarının karışım etkisi
- Tenör topluluklarının ayrımı
- Yüksek tenörlerin belirlenmesi ve ayrımı

Rezerv hesaplamalarından hem blok modelleme yöntemi hem de grid tabaka (gridded seam) yöntemi kullanılmış ancak yatağın geometrisine grid tabaka yönteminin daha uygun olduğu belirlenmiştir. Cevherli katmanların taban ve tavan bloklarından gridlere ayrılmış yüzeyler oluşturulmuştur. Gridlenmiş yüzeyler, her bir cevherli merceğin sınırında kesilmiştir. Cevherleşmiş zonların morfolojisine göre gridlerin boyutları 10 m x 10 m olarak belirlenmiştir (Seredkin ve diğ., 2014).

Her bir cevherli mercek için, gridlenmiş yüzeyler, grid tabaka modelini belirlemek için birleştirilmiştir. Birbirinden bağımsız 17 adet grid tabaka belirlenmiştir.

Kaynakların sınıflandırılmasında kuyular arasındaki mesafeler dikkate alınmıştır. Sınıflandırma için Kriging varyans analizleri kullanılmıştır.

Hazırlanan blok model aşamalarının ara değerlemelerine göre veriler, Micromine Vizex programında görüntülenmiştir. Görsel tespitlere dayanarak cevher rezervinin sınıflandırılmasının arama sondajlarının birbirine mesafesine bağlı yapılması uygun görüşmüştür. Ayrıca, bu durum her bir blok hücre için modellenmiş semi varyogram aralığı ve Kriging varyansı ile de desteklenmiştir.

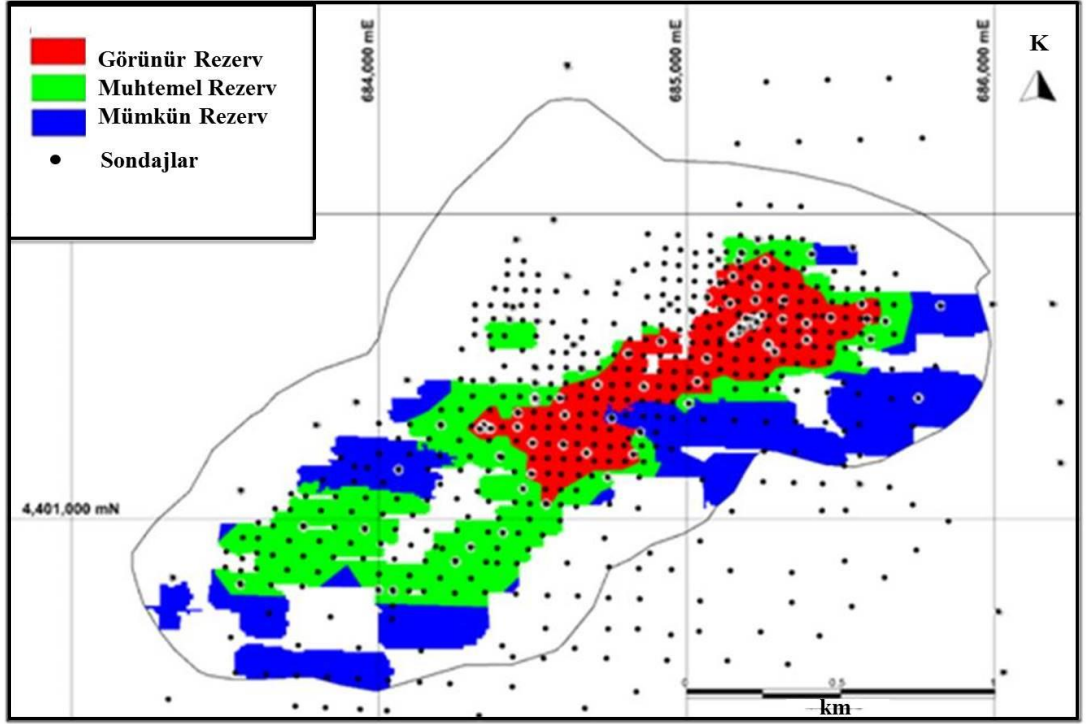
Birbirine mesafesi 50 m'ye kadar olan sondajların bulunduğu alan görünür, 50 - 100 m aralığında olan sondajların bulunduğu alan mümkün ve 100 m'den daha fazla aralığa sahip olan sondajların bulunduğu alan ise muhtemel rezerv kategorisinde hesaplanmıştır (Seredkin ve diğ., 2014).

Eğer sondaj görünür rezerv sınırları içerisinde olup, cevherli zondaki çimentolanma %50'den fazla ise o sondaja ait veri de görünür rezerv kategorisinden muhtemel rezerv kategorisine alınmıştır (Seredkin ve diğ., 2014).

Çalışma alanındaki kayaç numunelerinden alınan bir çok örnek için özgül ağırlık hesaplamaları yapılmıştır. Cevherli kayaçların özgül ağırlıkları 1.925 t/m^3 ile 2.27 t/m^3 aralığındadır. Özgül ağırlık ortalamasının 2.09 t/m^3 olduğu belirlenmiş olup rezerv hesaplamalarında bu değer kullanılmıştır.

Çizelge 9.2: Maden ünitelerindeki rezerv miktarları.

200 mg/kg ve üzeri tenörlü U_3O_8	Ton (U_3O_8)
Maden Ünitesi 1 (Görünür + Muhtemel)	~2589
Maden Ünitesi 2 (Görünür + Muhtemel)	~1026
Maden Ünitesi 3 (Görünür + Muhtemel)	~804
Maden Ünitesi 4 (Görünür + Muhtemel)	~447
Toplam	~4866



Şekil 9.1: Temrezli uranyum yatağı rezerv kategorileri (Seredkin, 2014).

9.2. İşletilebilirlik

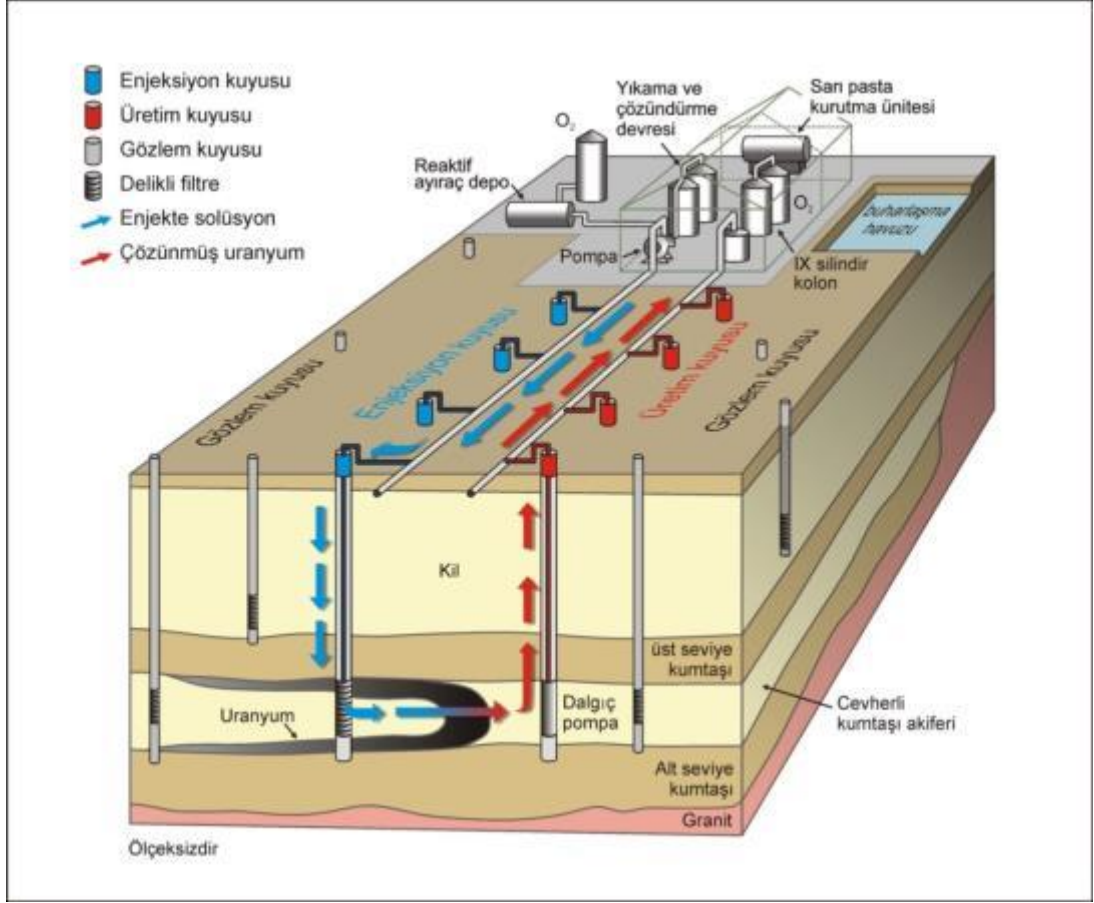
Temrezli Uranyum yatağı, Türkiye'nin stratejik olarak önemli maden yataklarından bir tanesidir. Uranyum rezervi açısından şu ana kadar Türkiye sınırları içerisinde bilinen en büyük yataktır. Yatağın işletmeye geçirilmesi için tüm çalışmalar devam etmektedir.

Yaklaşık 4 bin 536 ton U_3O_8 (sarı pasta) üretimi ve yatağın 10 yıl boyunca işletilmesi planlanmaktadır. Maden kapatma ve çevre düzeni iyileştirme çalışmaları için 4 yıl süre belirlenmiştir. Yıllık üretim yaklaşık 450 ton olarak hedeflenmektedir.

İşletme yöntemi olarak ISR (In-situ Recovery) seçilmiştir. Türkçe karşılığı 'Yerinde Kazanım' veya 'Solüsyon Madenciliği' olarak adlandırılabilir. Bu yöntem dünyanın en çevreci madencilik yöntemlerinden biridir. Yerinde kazanım yönteminin bir blok model üzerinde gösterilmiş hali Şekil 9.2'de verilmiştir.

ISR yönteminde üretim, kuyular inşa edilerek ve su kullanılarak yapılmaktadır. Öncelikle temiz suya ihtiyaç vardır. Ancak cevherli zondaki uranyumun çözülebilmesi için suya oksijen ve sodyum bikarbonat eklenir. Ardından solüsyon elde edilir. Bu solüsyon 'liksiviyant' olarak da adlandırılır. Enjeksiyon kuyularından aşağıya gönderilen liksiviyant uranyumu çözen maddedir. Bir taraftan enjeksiyon kuyusundan solüsyon aşağı pompalar aracılığı ile basılırken, diğer taraftan da 4 adet enjeksiyon kuyusunun arasında bulunan üretim kuyusundan da güçlü bir pompa ile yukarıya uranyum içeren solüsyon çekilir. Yukarı çekilen 'cevherli solüsyon' yüzey pompaları aracılığı ile üretim tesislerine pompalanır. Burada solüsyon reçine tanklarına aktarılır. Burada uranyum reçinelere hapsolürken uranyumsuz solüsyona (uranyumu reçineye bırakan) oksijen ve sodyum bikarbonat eklenerek solüsyon tekrar yeraltına pompalanır.

Diğer taraftan reçine tarafından tutulan uranyum reçineyle beraber sıyırma ünitesine iletilir. Bu üniteye uranyum reçineden sıyrılarak ayrılır. Ardından 'thickener' yani kıvamlaştırıcı üniteye geçer ve çöktürülerek filtre edilir. Filtreden çıkan katı malzeme en sonunda kurutma ünitesinde 'uranyum oksit' diğer adıyla 'sarı pasta' olarak nihai halini alarak özel korumalı varillere doldurulur.



Şekil 9.2: Yerinde Kazanım Yönteminin blok model üzerinde gösterilmesi.

Yerinde Kazanım yöntemi bir üretim yöntemi olmasının yanında üretim maliyetleri açısından da açık ocak ya da kapalı ocak işletmeciliklerine göre çok daha üstündür. Yerinde kazanım yönteminin çevreci olmasının nedenleri; Dekapaj yapılmayacağı için işletme içerisinde ve çevresinde toz oluşumu olmayacaktır. Kamyon, kepçe, ekskavatör ve greyder gibi araçlar çalışmayacağından karbon monoksit salınımı minimum düzeyde olacaktır. Açık ocak ve yeraltı işletmelerinde toprak kayması, çökmeler vb... riskler olmayacağından iş sağlığı ve güvenliği açısından daha güvenilirdir.

Bir uranyum yatağının ISR yöntemi ile işletilebilmesi için yatakta bulunması gereken belirli fiziksel ve kimyasal özellikler vardır. Bu özellikler;

- Yatağın hangi jeolojik birim içerisinde olursa olsun bu birimlerin içerisinde yüksek/çok yüksek geçirimli akiferler olması ve kömür oluşumları, piritin varlığı gibi uranyumun zenginleşebileceği bir ortamın olması gerekir.
- Cevherin bulunduğu kayada yoğun karbonat çimentosu olmamalıdır.
- Cevherin önerilen çözeltiyle liç edilebilmesi açısından metalürjik bir probleminin olmaması gerekir (Urgents ve diğ., 2014).

Bu özelliklerin yerine getirilip getirilmediği endüstride kabul görmüş metalürjik, hidrojeolojik ve analitik yöntemler kullanılmasıyla saptanır. Genel olarak yukarıdaki maddeler incelendiğinde, Temrezli uranyum yatağının ISR yöntemi ile işletilebilmesi için gerekli tüm kriterleri taşıdığı görülmektedir. Temrezli uranyum yatağının kökeni hem epijenetik hem de sinjenetik olarak görülmektedir. Cevher kaba taneli geçirimli kumtaşlarının içerisinde yer almaktadır. Cevherli kumtaşlarında yer yer karbonat çimentosu olmasına rağmen, yatağın geneli göz önüne alındığında bu oran düşük bir miktara tekabül etmektedir. Karbonat çimentolanması, kayacın gözenekliliğini azaltacağından yerinde kazanım yöntemi ile üretim yapılan sahalarda istenilen bir durum değildir.

9.2.1 Metalürjik Testler

Temrezli uranyum yatağındaki cevherin metalürjik durumunu incelemek amacıyla sahada belli başlı cevherli zonlardan örnekler alınıp ABD’de bulunan RDE (R and D Enterprises Inc) laboratuvarına ve yine aynı örnekler Türkiye’de Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü (MTA)’ne gönderilmiştir. Örneklerle bottle roll testi uygulanmıştır.

Metalürjik analizler liç testlerini kapsar (bottle roll testi). Uranyum içeren örnekler 12 gün boyunca hazırlanan liksiviyant solüsyonunda uranyumun hangi

miktarda çözüneceğini saptamak için bekletilmiş olup belirli gün ve saatlerde solüsyon içerisinde uranyum konsantrasyonu hesaplanmıştır.

Analizler neticesinde cevher kurtarım yüzdesinin çoğunlukla %75'in üzerinde olduğu görülmüştür. Sadece birkaç örnekte kurtarım oranı oldukça düşüktür ve bunun nedeni olarak bu örneklerin alındığı zonlardaki yoğun pirit varlığı gösterilebilir. ABD ve MTA'daki analizlerin özetlendiği tablo aşağıda verilmiştir (Çizelge 9.3).

Çizelge 9.3: Temrezli Uranyum yatağından belirli cevherli bölgelerden alınan karot örneklerinin metalurjik analiz sonuçları

Kuyu No	Örnek No	U (ppm)		Toplam liç U (ppm)		Artıklarda U (ppm)		Liç ve artıklar (ppm)		En yüksek değer (ppm)		% Kurtarım (en yüksek değerden)		Analiz değerinden %kurtarım	
		ABD	MTA	ABD	MTA	ABD	MTA	ABD	MTA	ABD	MTA	ABD	MTA	ABD	MTA
TUR69	986		90		43.7		4.9		48.6		97.2		89.8		97
TUR69	987	482	500		248.1		20.2		268.4		536.7		92.5		99.2
TUR69	988	414	329		145.8		26.2		171.9		343.8		84.8		88.6
TUR76	989	18	12		4.8		1		5.7		11.5		82.9		79.5
TUR76	990	153	189	34.6	43.6	76.5	54.9	111.1	98.5	222.3	197	31.2	44.3	28.3	46.2
TUR76	991	574	415		184.8		25.2		210		419.9		88		89.1
TUR78	992		73		22.3		4.9		27.2		54.5		81.9		61.1
TUR78	993	600	884	315.3	419.5	97	56.9	412.3	476.4	824.7	952.7	76.5	88.1	52.6	94.9
TUR80	995		964		443.1		52.7		495.8		991.7		89.4		91.9
TUR81	996	1240	930		452.8		25.7		478.6		957.2		94.6		97.4
TUR83	997	545	349		192.2		41.5		233.7		389.5		82.2		91.8
TUR83	998	113	86		34.5		23.7		58.2		97		59.3		66.8
TUR83	999	361	366	140.9	200.3	39.8	35.6	180.7	235.9	361.4	393.1	78	84.9	74.7	91.2
TUR83	1000	662	456		220.1		92.8		312.9		500.6		70.3		77.2

9.2.2 Yöntem

Uranyum madenciliği dünya genelinde açık ocak, yeraltı ve yerinde kazanım yöntemleri ile üretilmektedir. Ancak üretimin çoğunluğu yerinde kazanım yöntemi ile yapılmaktadır. Bunun nedenleri olarak uranyum içeren mercceklerin kalınlıklarının çok fazla olmaması, derinde olması ve tenörlerinin düşük olması olarak sıralanabilir.

Çünkü derinlerde olan tenörü düşük ve kalınlığı 5 metreden az olan cevherli mercekler için örtü oranı (stripping ratio), dekapaj maliyetlerini çok artıracığından çıkarılan cevher ekonomik olmayabilir.

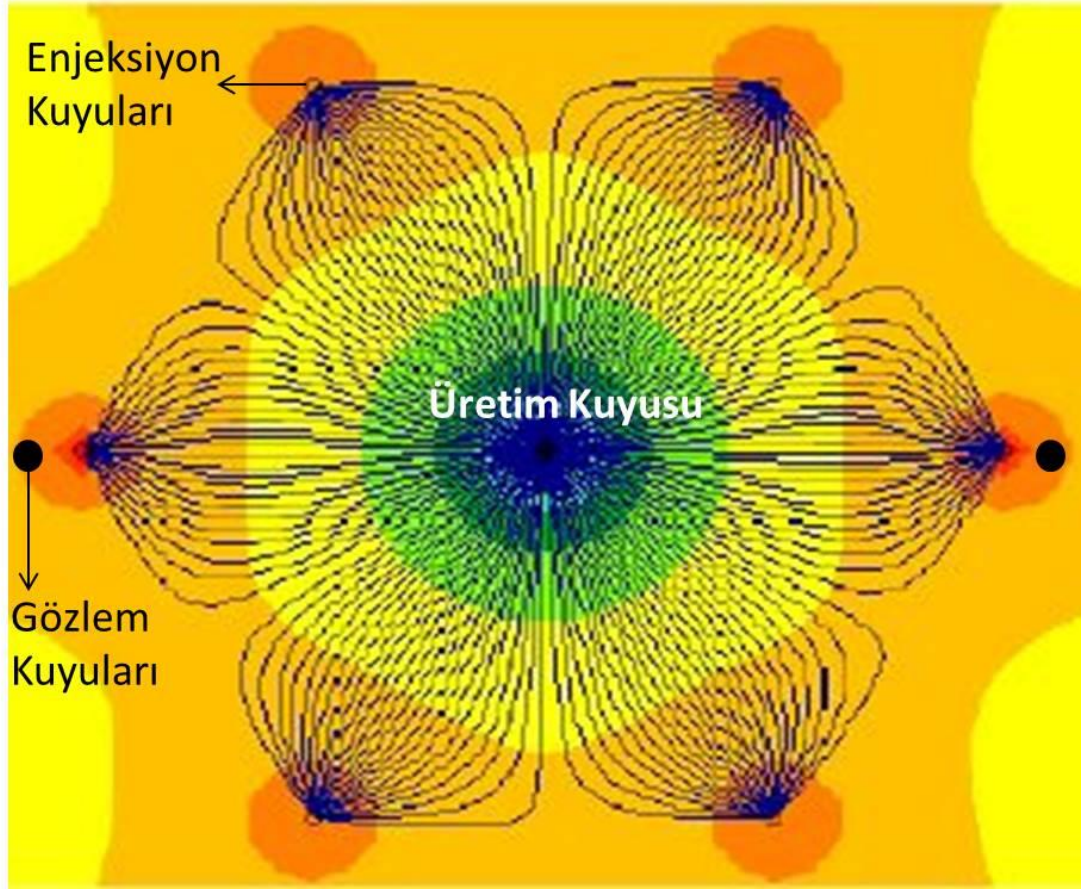
Adur Madencilik tarafından planlanmakta olan Temrezli Uranyum Madeni projesinde yerinde kazanım yoluyla üretim yapılması planlanmaktadır. Bu yöntemin seçimindeki en büyük etken ekonomidir. Uranyumlu mercekler açık ocak yöntemi ile işletilmek için çok derinde ve tenörü çok düşüktür. Bir diğer etken de yerinde kazanım yönteminin diğer konvansiyonel madencilik yöntemlerine göre daha çevre dostu bir yöntem olmasıdır.

Temrezli projesinde uranyum cevheri, iyon değişimi metoduyla ile işlenerek konsantre halde sarı pasta (U_3O_8) üretimi gerçekleştirilecektir. Elde edilen uranyum oksitin (sarı pasta) kurutma işleminden sonra varillenmesi planlanmaktadır.

Yerinde kazanım yönteminde, üretim sondaj kuyuları ile yapılmaktadır. Sondaj kuyuları belirli bir geometride planlanır ve çeşitli desenler oluşturulur. En yaygın desen '7 – spot pattern' ya da 'hexagonal cell' diye adlandırılan 5 noktalı desendir. Bu desende birbirine belirli mesafede bir dörtgen oluşturacak ve merkezinde de bir kuyu olacak şekilde sondajlar yapılır (Şekil 9.3).

Bu sondajlar;

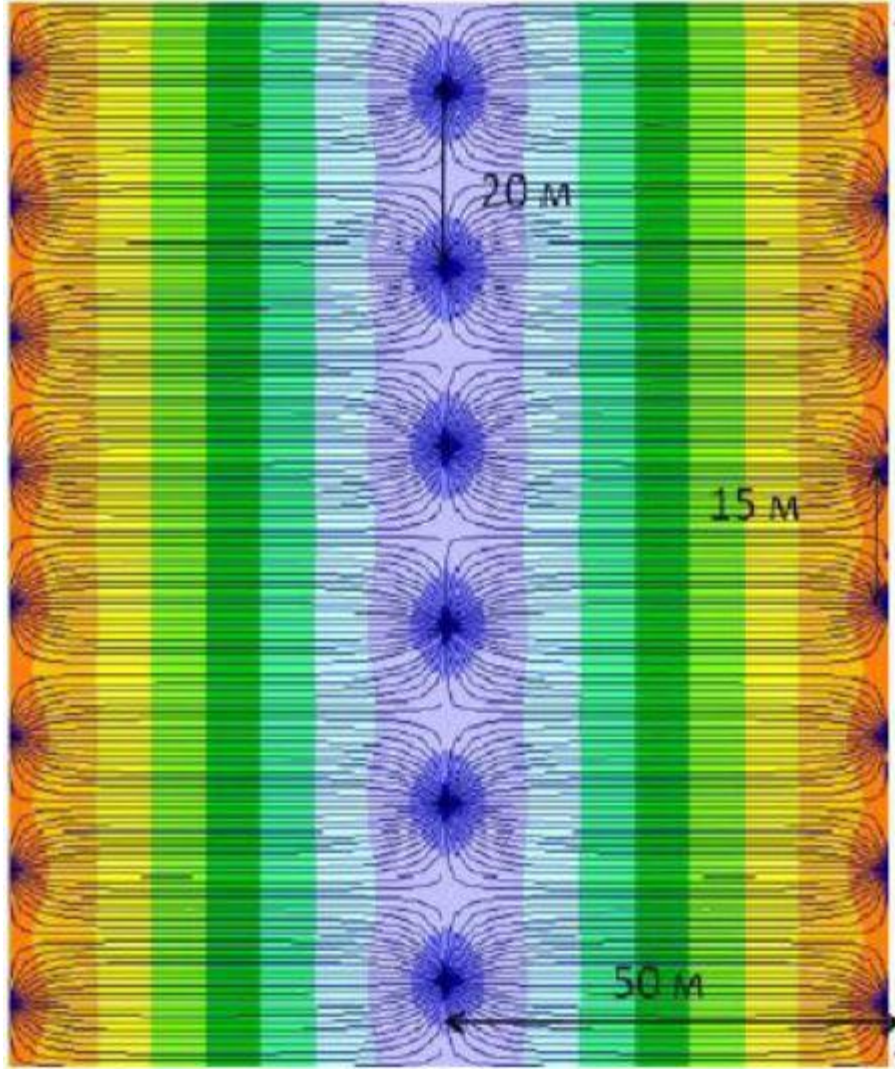
- 6 tane enjeksiyon kuyusu (kenarlarda)
- 1 tane üretim kuyusu (ortada)
- 2 tane gözlem kuyusundan ibarettir (kenarlarda).



Şekil 9.3: 7 Noktalı Üretim Deseni (Urgents ve diğ., 2014).

7 noktalı üretim deseni hidrolik iletkenliğin günde yaklaşık 2 m olduğu ve üretim kuyusundan da saatte yaklaşık 5m^3 solüsyon elde edilebilen akifer koşullarında seçilebilir. Enjeksiyon ve üretim kuyuları arasındaki mesafe genellikle 25-35 m arasında belirlenmektedir (Urgents ve diğ., 2014).

Bir diğer desen de 'Row Block' desenidir. Row block deseni genellikle eski kanal dolgularında çökelen cevherleşme alanlarında kullanılır ve kanal boyunca uygulanır. Bu desende üretim ve enjeksiyon kuyuları arasındaki mesafe yaklaşık 50 m, enjeksiyon kuyularının birbirine mesafesi yaklaşık 15 m ve üretim kuyularının birbirlerine mesafesi ise 20 m olarak belirlenir (Urgents ve diğ., 2014) (Şekil 9.4).



Şekil 9.4: Row Block' Üretim Deseni (Urgents ve diğ., 2014).

Temrezli projesinde 7 noktalı üretim deseni kullanılacaktır. Çünkü cevher herhangi bir kanalı takip etmemekle birlikte yaygın olan geometrisi bu desene uygundur. Ayrıca, Temrezli bölgesinde günlük hidrolik iletkenlik yapılan hidrojeolojik testler sonucunda yaklaşık 2 metre olarak ölçülmüştür.

Temrezli uranyum madeni projesinde geliştirme ve fizibilite aşamalarında bir takım analizler yapılmıştır. ‘Stream line’ analizleri ve etkin çözünmüş madde transferi (PHREEQC) en önemli analizlerdir. Bu analizlerin yardımıyla solüsyondaki uranyum konsantrasyonu hesaplanmaktadır. Hesaplamalarla birlikte;

- Solüsyondaki uranyum konsantrasyonunun zamana bağlı değişimi
- Uranyum üretiminin zamana bağlı değişimi
- Uranyum üretim yüzdesinin zamana bağlı değişimi gibi veriler elde edilmektedir.

Stream Line Analizleri

Temrezli uranyum yatağındaki metalurjik anlamda uranyum kazanım (recovery) hedefi %80 olarak belirlenmiştir. Bu hedef projenin fizibilite raporu kapsamında ekonomik kazanç / zaman ilişkisi esas alınarak belirlenmiştir. Bu kurtarım hedefi, üretkenliğin bir fonksiyonu olarak polinomial regresyon analizlerinde kullanılarak (Şekil 9.5) aşağıdaki denklemler elde edilmektedir (Urgents ve diğ., 2014):

$$T_{80\%} = a + b \times P + c \times P^2$$

Bu formülde;

$T_{80\%}$ = %80 uranyum kurtarımı için geçen süre (yıl),

P = Cevher kütlesinin üretkenliği (kg/m²).

Yıllık uranyum üretimi her bir rezerv bloğu için ayrı hesaplamalar yapılarak belirlenmiştir. Yıllık uranyum üretimi (Urgents ve diğ., 2014);

$U_{yıllık} = (P \times A \times 0.8) / T_{80\%}$ formülü ile hesaplanmaktadır. Bu formülde;

$T_{80\%}$ = %80 uranyum kurtarımı için geçen süre (yıl),

P = Cevher kütlesinin üretkenliği (kg/m²),

A = İlgili bloğun alanıdır (m²).

Herbir rezerv bloğu için solüsyondaki ortalama uranyum konstantrasyonu aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır (Urgents ve diğ., 2014):

$$C_{\text{ortalama}} = (U_{\text{yıllık}} \times 1000) / (Q \times 24 \times 365)$$

Bu formülde;

C_{ortalama} = %80 uranyum kurtarımında ortalama uranyum konsantrasyonu (mg/L),

$U_{\text{yıllık}}$ = Herbir rezerv bloğundan elde edilecek yıllık uranyum üretim miktarı (kg/yıl),

Q = Rezerv Bloğundan toplam solüsyon pompalama oranı (m³/saat).

Şekil 9.5: Temrezli uranyum yatağındaki uranyum kurtarım hedefi ile üretkenliğin karşılaştırılması (Urgents ve diğ., 2014).

Kinetik Oran Modellemesi

Tüm kinetik fazlarda genel akış kuramı aşağıdaki gibidir (Urgents ve diğ., 2014):

$$R_k = r_k (A_0/v)(m_k m_{0k})^{n_0}$$

Yukarıdaki formülde;

R_k = Reaksiyon Oranı

r_k = 'k' mineralinin reaksiyon oran katsayısı

A_0/v = Oksitlenme için yüzey alanının solüsyon hacmine oranı

$m_k m_{0k}$ = Anlık olarak mineral miktarıdır (mol).

Temrezli uranyum yatağında bulunan minerallerin oksitlenmeleri ve ayrışmalarının kimyasal reaksiyonları formülize edilmiş olarak verilmiştir (Urgents ve diğ., 2014):

- Uraninitin oksitlenmesi = $UO_2 + 2Fe^{+3} \rightarrow UO_2^{+2} + 2Fe^{+2}$
 $r_{uraninit} = k_{u1} [Fe^{+3}]^{0.11}$
- Piritin oksitlenmesi = $FeS_2 + 14Fe^{+3} + 8H_2O \rightarrow 15Fe^{+2} + 2SO_4^{-2} + 16H^+$
 $r_{pirit} = k_{p1} (Fe^{+3})^{0.30} (Fe^{+2})^{-0.47} (H^+)^{-0.32}$
- Uraninitin çözünmesi = $UO_2 + 2SO_4^{-2} + 4H^+ \rightarrow U(SO_4)_2(aq.) + 2H_2O$
 $r_{uraninit} = k_{u2} [SO_4^{-2}][H^+]$
- Limonitin çözünmesi = $FeO(OH) + 3H^+ \rightleftharpoons Fe^{+3} + 2H_2O$
 $r_{limonit} = k_{L1} * li$ (li = limonitin doygunluk indeksi)

9.2.3 Dünyadan Örnekler Ve Türkiye

Dünya’da, ISR yöntemi ile üretim gerçekleştirilen birçok uranyum madeni mevcuttur. Bunlardan en fazlası Kazakistan’da yer alır. Ardından Avustralya ve ABD gelmektedir. Toplam 20 ülkede uranyum üretimi gerçekleştirilmektedir ve yıllık üretimi 100 tondan fazla olan ülkeler sırasıyla; Kazakistan (%28), Kanada (%20), Avustralya (%16), Namibya (%8), Rusya (%7), Nijer (%6), Özbekistan (%5), ABD (%3), Ukrayna (%2), Çin (%2), Hindistan (%1), Brezilya (%1) ve Malavi (<%1)’dir (https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_uranium_projects).

ABD’de Wyoming ve Texas eyaletlerinde işletilen ve işletilmeye hazır olan birçok ISR madeni mevcuttur. Bu madenlerden biri de Wyoming eyaletinde bulunan Lost Creek uranyum madenidir. Bu madendeki cevherleşme sedimanter tipte olup cevher yapısı ve jeolojisi bakımından Temrezli uranyum yatağına benzerlikler göstermektedir (Şekil 9.6). Ayrıca yine Wyoming eyaletinde bulunan Smith Range ISR uranyum madeni de bu yöntemle üretimde olan en büyük madenlerden biridir (https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_uranium_projects).

Avustralya’daki Beverley uranyum madeni ülkedeki ilk ve en büyük ISR uranyum madenidir. Madenin farklı zonlarında 100 milyon librenin üzerinde uranyum rezervi mevcuttur (Şekil 9.7) (Fotoğraf Jim Graham tarafından çekilmiştir). Olympic Dam uranyum madeni ise diğer metal içerikleri ile de dünyanın en büyük madenlerinden biridir. Ancak bu madendeki uranyum açık ocak işletmeciliği ile üretilmektedir (https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_uranium_projects).



Şekil 9.6: Lost Creek ISR uranyum madeninin proses ünitesinden bir görünüm



Şekil 9.7: Beverly uranyum madeninin üretim sahasından bir görünüm

Türkiye’de ise 2016 itibariyle işletilen herhangi bir uranyum madeni bulunmamaktadır. Temrezli uranyum madeni işletmeye alındığı zaman Türkiye’nin ilk uranyum madeni olacaktır.

10. SONUÇLAR

Bu çalışma sonucunda elde edilen bulgular aşağıda sıralanmıştır.

Uranyum cevherleşmesi Eosen yaşlı kaba-ince taneli kumtaşları içinde bulunan sedimanter tip bir cevherleşmedir. Yataklanma hem roll front hem de tabular sedimanter yatak özelliklerini taşımaktadır. Uranyumun kaynağı bölgede bulunan asit karakterli derinlik kayaçlarından granit ve granodioritlerdir. Granitlerden yüzey ve yeraltı sularıyla çözünen uranyum mineralleri, taşınarak Eosen yaşlı sedimanter birimlerdeki indirgen ortamlarda çökelerek uranyumlu mercikleri oluşturmuşlardır.

Uranyumun zenginleşmesinin en önemli nedeni uranyumun yüzey ve yeraltı sularıyla taşınmaları esnasında karşılaştıkları indirgen ortamlardır. İndirgen ortamı sağlayan başlıca etmenler geçirimli kumtaşları ve killi zonlarda gözlenen ince taneli pirit oluşumları ve karbonca zengin bölgelerdir. Bölgede yüksek kalorili ve yüksek kükürt seviyesine sahip Eosen kömür işletmeleri bulunmaktadır.

Uranyum yatağının bulunduğu alanda gözlemlenen iki fay zonunun oluşturduğu kırık ve çatlak zonları uranyumun granitik kayaçlardan çözünüp taşınmasında akış yatağı oluşturması nedeniyle önemli rol oynamışlardır.

Uranyum cevherleşmesi farklı merciklerde 25 m ile 140 m arasında değişen derinliklerde çoğunlukla kaba taneli kumtaşlarında gözlenmektedir.

Uranyum yatakları, yataklanma tiplerine bağlı olarak 15 ana grup altında sınıflandırılmıştır (OECD, 2014). Temrezli uranyum yatağı kumtaşı tipi yataklanmalara dahil olup hem roll-front tipi hem de tabular (düzlemsel) tipte uranyum yatağı özelliklerini taşımaktadır. Bu yataktaki sistem ABD'nin Wyoming eyaletinde bulunan ve bir çok uranyum yataklanmasının bulunduğu Powder River havzasıyla benzerlikler göstermektedir (Seredkin ve diğ., 2014).

Tabular (düzlemsel) uranyum yatakları indirgen ortamlarda bulunan düzensiz uranyum içeren mercceklerden oluşur. Cevherleşmiş zonlar sedimanter tabakalara paraleldir. Dünyadaki tabular uranyum yataklarının toplam rezervleri 150 bin tonun üzerindedir ve uranyum tenörleri 500 ppm ile 5000 ppm arasındadır (IAEA, 2014). Temrezli dışında bu yataklara dünya genelinde örnek olarak; Harm-Straz (Çek Cumhuriyeti), Akouta, Arlit ve Imouraren (Nijer) ve Colorado platosundaki diğer yataklar verilebilir (IAEA, 2014).

Roll front tipi uranyum yataklarındaki cevherleşme geometrik olarak dışbükey olarak tariff edilebilir ve hidrolik gradiyenti takip eder. Uranyum, indirgen ortama sahip kumtaşlarının üst seviyesinde zenginleşir. Cevherli zonlar tabakalara paralel ve yeraltı su akışına diktir. Bu tip yatakların uranyum rezervleri bir kaç yüz tondan bir kaç bin tona kadar ulaşabilir. Temrezli dışında bu tip yataklara örnek olarak; Budenovskoye, Tortkuduk, Moynkum, Inkai ve Mynkuduk (Kazakistan), Crow Butte ve Smith Ranch (ABD) ve Bukinay, Sugraly and Uchkuduk (Özbekistan) verilebilir (IAEA, 2014).

Bölgedeki uranyum yatağı, Türkiye'nin bilinen en büyük uranyum yatağı olma özelliğine sahiptir. MTA ve Adur madencilik tarafından yapılan sondaj çalışmalarıyla 1,157 ppm tenörlü 6033 ton U_3O_8 'in varlığı tespit edilmiştir.

Çalışma alanında yüzlek veren kayalardan ve sondaj çalışmalarıyla elde edilen karotlardan alından örneklerden farklı laboratuvarlarda mineralojik-petrografik analizler yaptırılmıştır.

- Granitik kökenli kayalarda doku holokristalen porfiritiktir ve kayalar alkali Feldispat granit olarak adlandırılmıştır. Ana bileşenleri; alkali Feldispat, plajjoklas, amfibol, kuvars ve Fe – Ti oksitler, tali bileşenleri ise; apatit, zirkon, epidot, allanit, sfen ve çok nadir monazit olarak belirlenmiştir.
- Volkanik kökenli kayalarda doku hipokristalen porfiritiktir ve kayalar andezit olarak adlandırılmıştır. Volkanik kayaların yer yer hidrotermal alterasyonun etkisinde kaldığı gözlenmiştir. Bu alterasyon sonucunda ana sülfid mineralleri olarak pirit ve bir örnekte galen tespit edilmiştir.

- Pirit bir çok örnekte framboidal yapıda görüşmüştür ve bu durum sedimanter ortamları temsil etmektedir.
- Sedimanter kökenli kayalarda kötü-orta derecede yuvarlaklaşmış özşekilsiz kuvars, alkali Feldispat (ortoklaz), kil (çoğunlukla illit) ve uranyum mineralleri tespit edilmiş olup kayaç kumtaşı olarak adlandırılmıştır.

Kayaç örneklerinin ana oksit analizlerinin sonuçları aşağıda özetlenmiştir:

Alınan örnekler içerisinde uranyum konsantrasyon miktarı en yüksek % 0.95'tir. Uranyumun standart sapma ve aritmetik ortalama değerleri sırasıyla, 0.27 ve 0.42'dir. Uranyum konsantrasyonu bu kadar yüksek iken toryum konsantrasyonlarının düşük olmasının birkaç nedeni olabilir. Birinci olarak, uranyumu hazne kayacından çözüp taşıyan suların toryumu çözememiş olabilmesi, ikinci olarak da toryumun su tablasının üzerinden daha derinlere, su tablasının altına doğru çökelmiş olması söylenebilir.

Kayaç örneklerinin element analizlerinin sonuçlarına göre;

Alınan örnekler içerisinde U konsantrasyonu en yüksek 4842 ppm ve en düşük 9.5 ppm'dir. Uranyumun standart sapma ve aritmetik ortalama değerleri sırasıyla; 2404 ve 1372' dir. Toryumun ise, sırasıyla 6,84 ve 3,93'dür.

17 adet noktadan alınan su örneklerinin uranyum ortalaması 5,76 ppb'dir. En yüksek uranyum konsantrasyonu ise 15,2 ppb'dir. Su örneklerine aynı zamanda radyometrik analizler de yaptırılmıştır. Yeraltı sularındaki ortalama gros alfa değeri ve gros beta değerleri sırasıyla; 0,38 Bq/L ve 0,85 Bq/L' dir. Yüzey sularındaki gros alfa ve gros beta sırasıyla; 0,08 Bq/L ve 0,11 Bq/L' dir. Dünya Sağlık Örgütü' nün sularındaki gros alfa üst sınır değeri 0,5 Bq/L ve gros beta üst sınır değeri 1 Bq/L' dir. Bu değerler göz önünde bulundurulduğunda Temrezli' deki suların gros alfa ve gros beta değerlerinin ortalaması kabul edilebilir sınırlar içerisinde dir.

Su örnekleri çalışma alanı içinden alınan örneklerde dahi çok düşük konsantrasyonlarda olmasının nedeninin yeraltı su yatağının değiştiğinin göstergesi olabilir.

Su örneklerindeki uranyum miktarı kayaç örneklerindeki uranyum miktarı ile karşılaştırıldığında uranyumca zenginleşmiş kayaç örneklerinde uranyumun ortalama konsantrasyonu sulardakinden yaklaşık 2500 misli fazladır. Bu nedenle güncel yeraltı ve yüzey sularının uranyum taşınması ile ilgisi yoktur denilebilir.

Analiz sonuçları bazı bilgisayar programları kullanılarak dendogramlarla, faktör katsayılarıyla ve grafiklerle istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmede uranyumun birlikte hareket ettiği elementlerin tespiti amaçlanmıştır. Sonuç olarak uranyum su örneklerinde minitab analizlerinde selenyum, kalay, arsenik, bizmut, silisyum ve vanadyum ile benzer davranışlar göstermiştir. Su örneklerine bakıldığında sperman analizlerinde bor, silisyum, mangan ve molibden ile pozitif korelasyon gösterdiği tespit edilmiştir. Kayaç örneklerinin sperman analizlerinde, uranyumun güçlü pozitif korelasyon gösterdiği tek element potasyumdur.

Temrezli uranyum yatağının işletmeye geçirilmesi için tüm çalışmalar devam etmektedir ve 2020 yılının son çeyreğinde üretime geçilmesi planlanmaktadır. Görünür ve mümkün rezervi teşkil eden 4 bin 866 ton U_3O_8 (sarı pasta) üretimi planlanmaktadır ve yatağın 10 yıl süresince işletilmesi ve ardından maden kapatma ve çevre düzeni iyileştirme çalışmaları için 4 yıl süre ön görülmektedir.

Madencilik 'Yerinde Kazanım' yöntemi ile yapılacak olup, bu yöntem dünyanın en çevreci yöntemlerinden biri olarak bilinmektedir.

Uranyum oksitin, bir kompleks cevher olarak, üretiminde teknolojik olarak bir problem olup olmadığını tespit etmek amacıyla metalurjik testler yapılmıştır. Analizler neticesinde cevher kazanım yüzdesinin çoğunlukla %75'in üzerinde olduğu görülmüştür.

11. KAYNAKLAR

Akçe, M.A. (2003). Yozgat Batolitinin Kuzey Bölümünün Jeoloji ve Petrolojisi. Yüksek Lisans Tezi (yayınlanmamış), Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara. 118 s.

Akçe, M.A. (2010). Yozgat İntüzif Kompleksinin Jeolojisi, Petrolojisi Ve Orta Anadolu Kristalen Karmaşığındaki Zamansal ve Mekansal Konumu. Doktora Tezi (yayınlanmamış). Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 240s.

Akçe, M.A. ve Kadioğlu, Y.K. (2003). Yozgat Batolitindeki kabuk kökenli lökograditlerin jeoloji ve petrolojisi. *S. Demirel Üni., Müh.-Mim.Fak. 20. Yıl Jeol. Semp., Bildiri Özleri*, Isparta, 140.

Akçe, M.A. and Kadioğlu, Y.K. (2004). Petrology of S-Type granites and gabbros of Yozgat Batholith: Central Anatolian Crystalline Complex. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 68(11) Suppl. A659, 1 s.

Akçe, M.A. ve Kadioğlu, Y.K. (2005). Yozgat Batoliti Kuzey Bölümündeki Lökograditlerin Petrolojisi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 48/2, 1-20.

Akçe, M.A. ve Kadioğlu, Y.K. (2006). Sarıhacılı Lökograditinin Mineral Kimyası: Yozgat Batoliti Kuzeyi. *59. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri*, 273, 20- 24 Mart 2006, Ankara.

Arni, P. (1938). Kırşehir-Keskin ve Yerköy zelzelesi hakkında. *M.T.A. Enstitüsü Yayınları*, Seri B, no. 1, Ankara.

Atalay, Z., (2001). Amasya Yöresi'ndeki Linyitli Çeltek Formasyonunun Stratigrafisi, Fasiyes ve Çökeltme Ortamı Özellikleri. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 44-2.

ATSDR, (2013). Department Of Health And Human Services, Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry

Ayışkan, Ö. (1972a). Türkiye Uranyum Cevherleri Değerlendirme Çalışmaları Ara Rapor III, Taşharman Yatağı Tüflü Seviye Cevherinin Zenginleştirme Etüdüleri. MTA Teknoloji Şubesi, Derleme Raporu: 4901, Ankara, 47s.

Ayışkan, Ö.(1972b). Türkiye Uranyum Cevherleri Değerlendirme Çalışmaları Ara Rapor IV, Taşharman Yatağı Konglomera tipi Cevherinin Zenginleştirme Etüdüleri. MTA Teknoloji Şubesi, Derleme Raporu: 4902, Ankara, 36 s.

Banning, A., Cardona, A. ve Rüde, R. (2012). Uranium and arsenic dynamics in volcano-sedimentary basins – An exemplary study in North-Central Mexico. *Applied Geochemistry*, 27, 2160-2172.

Boztuğ, D. (1995). Kırşehir blogundaki Yozgat batoliti dogu kesiminin (Sorgun güneyi) petrografisi, ana element jeokimyası ve petrojenezi. İstanbul Üniversitesi, *Yerbilimleri*, 9, 1-2, 1-20.

Breit, N., ve Hall, M. (2011). Deposit Model for Volcanogenic Uranium Deposits. Open-File Report, 2011-1255.

Dawood, Y. H. and Abd-El Naby H. H. (2001). Mineralogy and genesis of secondary uranium mineralization, Um Ara area, South Eastern Desert, Egypt. *Journal of African Earth Sciences (England)*, 32/2, 317-323.

Dilaver, A. T., Çifter, C., Altay, T. (2002). Türkiye'deki İçme Ve Kullanma Sularının Radyoaktivite Yönünden Kalitesinin Belirlenmesi, Hidrolojide İzotop Tekniklerinin Kullanılması Sempozyumu, T.C Enerji Ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı, 21-25 Ekim Adana, 301- 318.

Ekici, T., 1997. Yozgat Batoliti Yozgat Güneyi Kesiminin Petrolojisi. C.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 75p, (basılmamış).

Ekici, T. ve Boztuğ, D. (1997).Anatolid-Pontid Çarpışma Sisteminin Pasif Kenarında Yer Alan Yozgat Batolitinde Syn-COLG ve Post-COLG Granitoyid Birlikteliği. *Yerbilimleri*, 30, 519-538.

Erlor, A., Akıman, O., Unan, C., Dalkılıç, B., Geven, A. ve Önen, P. (1991). Kaman (Kırşehir) ve Yozgat yörelerinde Kırşehir Masifi magmatik kayaların petrolojisi ve jeokimyası. *Doga-Tr J. of Engineering and Environmental Sciences*, 15, 76-100.

Erlor, A. ve Bayhan, H. (1995).Orta Anadolu Granitoidlerinin genel değerlendirilmesi ve sorunları. *Yerbilimleri*, 17, 49-67.

Erturaç, M. K. ve Tüysüz, O. (2010). Amasya ve çevresinin depremselliği ve deterministik deprem tehlike analizi. ITU Journal Series D: *Engineering.*, 9,3, 121-132.

Erdoğan, B., Akay, E. ve Uğur, M.S. (1996). Geology of the Yozgat Region and Evolution of the Collisional Cankiri Basin. *International Geology Review*, 38, 788-806.

Göncüoğlu, M.C., Toprak, V., Kusçu İ., Erlor, A. and Olgun, E. (1991). Geology of hewestern part of the Central Anatolian Massif, Part 1: Southern Section: Unpubl.Report No. 2909, Turkish Petroleum Company (in Turkish).

Göncüoğlu, M.C., Erlor, A., Toprak, V., Yalınız, K., Olgun, E. and Rojaj, B. (1992). Geology of the western part of the Central Anatolian Massif, Part 2: Central Section: Unpubl. Report No. 3155, Turkish Petroleum Company (in Turkish).

Göncüoğlu, M.C., Erlor, A., Toprak, V., Olgun, E., Yalınız, K., Kuscu, İ., Köksal, S.and Dirik, K. (1993). Geology of the cenral part of the Central Anatolian

Massif, Part 3: Geological evolution of the Central Kızılırmak Tertiary Basin: Unpubl.Report No. 3313, Turkish Petroleum Company (in Turkish).

Görür, N., Oktay, F.Y., Seymen, İ. ve Şengör, A.M.C. (1984). Paleotectonic evolution of Tuzgözü basin complex, Central Turkey. In: The geological evolution of the Eastern Mediterranean, J.E. Dixon and A.H.F. Robertson (Eds), *Special Publication of the Geological Society*, 17, 81-96.

Hammer, I. M. (1977). Water and Wastewater Technology, John Wiley and Sons., Inc. New York. Chapter 3.

Hazen, R., Ewing, R., ve Sverjensky, D. (2009). Evolution of Uranium and Thorium Minerals. *American Mineralogist*, 94, 1293-1311.

http://www.mta.gov.tr/v2.0/default.php?id=yeni_diri_fay_haritalari

https://en.wikipedia.org/wiki/Pourbaix_diagram.(14 Nisan 2016).

<http://www.world-nuclear.org/info/nuclear-fuel-cycle/mining-of-uranium/in-situ-leach-mining-of-uranium/>. (14 Nisan 2016).

https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_uranium_projects.(15 Nisan 2016).

http://www.mta.gov.tr/v2.0/default.php?id=yeni_diri_fay_haritalari.(15 Nisan 2016).

https://en.wikipedia.org/wiki/Pourbaix_diagram.(15 Nisan 2016).

Howari, F., Goodell, P. And Salman, A. (2015).Metallogenic Evolution of Uranium Deposits in the Middle East and North Africa Deposits.*Journal of African Earth Sciences*.11; 114. DOI: 10.1016/j.jafrearsci.2015.11.009.

Hu, H., Wang, R. C., Chen, W. F., CHEN, P. R., LING, H. F. and LIU, G.N. (2013). Timing of hydrothermal activity associated with the Douzhashan uranium-

bearing granite and its significance for uranium mineralization in northeastern Guangxi, China. *Chin Sci Bull*, 58: 4319–4328, doi: 10.1007/s11434-013-5986-9.

IAEA Report (1985). Uranium Deposits. Report No: TECDOC-328.

Işık, V. (2009). Ductile shear zone in granitoid of Central Anatolian Crystalline Complex, Turkey: Implications for Late Cretaceous extensional deformation. *Journal of Asian Earth Sciences* 34, 507–521.

Jovan, K., Zoran, N., Petar, P .(2009). Genetic model of uranium mineralization in Perme-Triassic sedimentary rocks of the strata Planina Eastern Serbia *Sedimentary Geology*, 219, 252-261.

Kaçmaz, H. (2007). Manisa Salihli-Köprübaşı Uranyum zuhurunun incelenmesi. DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi. 98 s. İzmir.

Kadıoğlu, Y.K. and Güleç, N. (1999). Types and genesis of the enclaves in central Anatolian granitoids. *Geological Journal. Geol. J.*, 34, 243-256.

Kadıoğlu, Y.K. (2001). Yozgat-Kırşehir-Kırıkkale Çevresinin Jeoloji (Yeryapısı) ve Kırıklarının Genel Özellikleri. Yukarı Orta Anadolu Depremleri (Yozgat-Kırşehir-Kırıkkale) Jeofizik Toplantısı, Yozgat.

Kalender, L., Kırat, G., Bölücek, C ve Sağıroğlu, A. (2009). Görgü (Malatya-Türkiye) Pb-Zn Yatağının Eski İmalat Pasalarının Jeokimyası. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 52-2.

Kalender, L., Alçıçek, Ö.N. ve Gürgeç, E. (2016). Geological and Geochemical Features of Uranium Mineralization in Western Turkey. *International Journal of Geosciences*, 7, 409-424.

Ketin, İ. (1955). Yozgat bölgesinin jeolojisi ve Orta Anadolu Masifi'nin tektonik durumu. *T.J.K. Bülteni*, 6, 1-28.

Kırat, G. ve Aydın, N .(2016). Geochemical properties of soils surrounding the Deliklitas, Au deposit, Turkey. *Journal of African Earth Sciences* 120, 173-180

Kırat, G. (2004). Maden (Elazığ) Çevresinde Drenaj Jeokimyası. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilimdalı. 83 s. Elazığ.

Kırat, G., Bölücek, C. ve Kalender, L. (2009). Maden (Elazığ) Çevresinde Dere Kumlarında Cu, Pb, Zn, As, Cd ve Fe Dağılımı. *Yerbilimleri/Geosound*, 53, 203-217.

Kuşçu, E. ve Genç, Y. 1999. Başnayayla (Yozgat) Molibden-Bakır Cevherleşmesi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*. 42, 2, 115-134.

Langmuir, D. (1978). Uranium solution-mineral equilibria at low temperatures with applications to sedimentary ore deposits. *Cosmochim Acta*, 42(6), 547–569. ISSN: 0016-7037

Lassetter, W. L. (2010). Geology of Uranium in Virginia Virginia Department of Mines, Minerals and Energy Division of Geology and Mineral Resources Charlottesville, V.A.

Luo, J., Hu, R., Shi, S. (2015). Timing of uranium mineralization and geological implications of Shazijiang Granite-Hosted uranium deposit in Guangxi, South China: New constraint from chemical U-Pb age. *Journal of Earth Science* (Impact Factor: 0.76). 12/2015; 26(6):911-919. DOI: 10.1007/s12583-015-0542-y

Min, M., Xu, H., Chen, J., Fayek M. (2005). Evidence of uranium biomineralization in sandstone-hosted roll-front uranium deposits, northwestern China. *Ore Geology Reviews*. 26 (3–4), 198–206.

MTA Enstitüsü, (1987). Dünya’da ve Türkiye’de metal ve mineral kaynaklarının potansiyeli, ticareti, beklenen gelişmeleri XII. Yayın no: 197

MTA (1976). Köprübaşı Uranyum Pilot Tesis Çalışmaları Hakkında Ön Rapor. MTA Enstitüsü Teknoloji Şubesi Radyoaktif ve Nadir Metaller Teknoloji Servisi, 11s., Derleme Raporu: 5545, Ankara.

MTA (1978). Manisa Köprübaşı Uranyum Cevherleri Üzerine Pilot Çapta Teknolojik Çalışma. MTA Teknoloji Dairesi Radyoaktif ve Nadir Metaller Teknoloji Servisi, Derleme Raporu: 6511, 92, Ankara.

MTA (1986). Kasar- Topallı- Çetinbaş (Manisa- Salihli- Köprübaşı) Uranyum Sahalarına Ait Ön Değerlendirme Raporu. MTA Fizibilite Etüdüleri Dairesi Enerji Hammaddeleri Servisi, 16s., Derleme Raporu: 8270, Ankara.

Nakoman, E. (1978). Investigation of coal deposits Tınas, Bağyaka, Bayır, Eskihisar, Sekköy and Hüsamlar in SW Turkey. TÜBİTAK project, İzmir, 140.

Ni, S., Wang, X. ve Shi, Z. (2014). Uranium distribution in the sediment of Mianyuan River Near a Phosphate Mining Region in China and Related Uranium Speciation in Water. *Chemie der Erde*, 74, 661-669.

OECD Report (2014). Uranium 2014: Resources, Production and Demand. Report No: NEA No.7209

Özgenç, İ. (1993). Kızılcaören (Sivrihisar-Eskişehir) Karbotermal Bastneazit-Fluorit-Barit Yatağının Jeolojisi ve Nadir Toprak Element Jeokimyası. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 36,1-11.

Rogers, J. J. W., Raglan'd, P. C., Nishimori, R. K., Greenberg, J. I., ve Hauck, S. A. (1978). Varieties of Granitic Uranium Deposits and Favorable Exploration Areas in the Eastern United States. *Economic Geology*, 73, 1539-1555.

Romaniello, S., Herrmann, A. ve Anbar, A. (2013). Uranium Concentrations and ²³⁸U/²³⁵U Isotope Ratios in Modern Carbonates from the Bahamas: Assessing a Novel Paleoredox Proxy. *Chemical Geology*, 362, 305-316.

Sadık, U.(1973). Köprübaşı Bölgesine Ait Uranyum Cevherlerinin Liçing Denemeleri Rapor III. MTA Enstitüsü Teknoloji Şubesi Metalurji Servisi, 12s., Derleme Raporu: 4963, Ankara.

Sağlam, R., Yüksel, A.(1987). Yozgat- Sorgun ÖİR: 396 nolu ruhsat sahası raporu. M. T. A.

Schnug, E., Steckel, H. and Haneklaus, S. (2005). Contribution of uranium in drinking waters to the daily uranium intake of humans - a case study from Northern Germany. *Landbauforschung Voelkenrode* 55: 227-236.

Seredkin, M., Annett, R., Pertel, D., Ovsov, V. (2014). CSA Global, Mineral Resource Estimate and QA/QC Analysis Report, Report No: R175.

Seymen, İ. (1982). Kaman dolayında Kırsehir Masifi'nin Jeolojisi. Hab. Thesis, İstanbul Teknik Üniversitesi, 164, İstanbul.

Sungur, C., Yüksel, A., Sağlam, R. (1984). Yozgat-Sorgun (Temrezli-Akoluk) sahası uranyum rezerv sondajları ara raporu. MTA, no: 9460.

Şen, Ö. (2008) Köprübaşı (Manisa) Uranyum Yatağı Çevresinde Toprak, Su Ve Bitki Örneklerinde, Uranyum Düzeyleri ve Olası Çevresel Etkilerinin Belirlenmesi.Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fenbilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı. 82.

Şengör, A.M.C. (1984).Türkiye'nin tektonik tarihinin yapısal sınıflaması. Preceedings of Ketin Syposium. Türkiye Jeol. Kur., Ankara, 37-61.

Şimsek, C. (2008).Köprübaşında, uranyum cevherini oluşturan akiferin doğal radyoaktivite Değerlendirilmesi.*Environmental Geology*55/8, 1637-1646.

Tatar, S. ve Boztuğ, D. (1997).Yozgat Batoliti GB Kesimindeki (Şefaatli-Yerköy Arası) Monzonitik Birlikte Fraksiyonel Kristalleşme ve Magma Karışması (Magma Mingling/Mixing) Süreçleri. *Yerbilimleri*, 30, 539-562.

Tüysüz, N. ve Yaylalı, G.(2005). Jeostatistik: Kavramlar ve Bilgisayarlı Uygulamalar, Karadeniz Teknik Üniversitesi Matbaası, Genel Yayın No.220, Fakülte No.61, 382 s.

Urgents, V., Hartmann, M., Peterson, K. (2014). Assessment of Uranium Recovery by ISR modeling for Temrezli Uranium Deposit, SRK Consulting (ABD)Technical Report.

United States Environmental Protection Agency (USEPA) (2009).

Uslu, O., Türkmen, A. (1987). “Su Kirliliği ve Kontrolü”, T.C. Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü Yayınları Eğitim Dizisi, 1., İzmir.

World Health Organization (WHO) (2008).

Yılmaz, H. (1979). Genesis of uranium deposits in Neogene Sedimentary rocks. Menderes Metamorphic Massif, Turkey. PhD Thesis. University of Western Ontario, Canada.

Yılmaz, H. (1982). Neojen çökelleri (Köprübaşı–Görces) içindeki uranyum yataklarının oluşumu.*Jeoloji Mühendisleri Odası Yayını*5, 3–19.

Yozgat Çevre Durum Raporu, (2008). T.C. Yozgat Valiliği, Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü. 122 s.

Zhao, K. D., Jiang, S. Y., Dong, C. Y., Chen, W. F., Chen, P. R., Ling, H. F., Zhang, J., Wang, K. X. (2011). Uranium-bearing and barren granites from the Taoshan Complex, Jiangxi Province, South China: Geochemical and petrogenetic discrimination and exploration significance. *Journal of Geochemical Exploration*, 110 (2), 126–135.