



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KOZAKLI (NEVŞEHİR) JEOTERMAL ALANINDAKİ
ÇÖKÜNTÜ MEKANİZMASININ
HİDROJEOLOJİK AÇIDAN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Koray SELÇUK

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Mustafa AFŞİN**

AKSARAY, 2018



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KOZAKLI (NEVŞEHİR) JEOTERMAL ALANINDAKİ
ÇÖKÜNTÜ MEKANİZMASININ
HİDROJEOLOJİK AÇIDAN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Koray SELÇUK

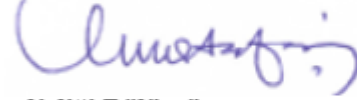
**DANIŞMAN
Prof. Dr. Mustafa AFŞİN**

AKSARAY, 2018

AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ONAY BELGESİ

Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün **152302403** numaralı Yüksek Lisans/~~Doktora~~ öğrencisi, **Koray SELÇUK**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **“KOZAKLI (NEVŞEHİR) JEOTERMAL ALANINDAKİ ÇÖKÜNTÜ MEKANİZMASININ HİDROJEOLJİK AÇIDAN İNCELENMESİ”** başlıklı tezini, aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mustafa AFŞİN



Aksaray Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü

Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Hatim ELHATİP



Aksaray Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü

Jüri Üyeleri: Doç. Dr. Mutluhan AKIN



Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Jeoloji Müh. Bölümü

Savunma Tarihi: 11.05.2018

DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu ve bu eserleri her kullanışında alıntı yaparak yararlandığımı belirtir; bunu şerefimle doğrularım.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

Koray SELÇUK
İmza

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince bana desteğini, emeğini ve bilgisini esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. Mustafa AFŞİN hocama en içten saygı ve şükranlarımı sunarım.

Çalışma alanına ait ölçüm, numune alımı ve analizlerde yardımlarını esirgemeyen Aksaray Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nden Dr. Öğr. Üy. Bahattin GÜLLÜ, Dr. Öğr. Üy. Erkan YILMAZER, Arş Gör. M. Haydar TERZİ, Arş. Gör. Hacer BİLGİLİOĞLU, Uman Murat KALKAN'a, ASÜ Fen Bilimleri Enstitüsü doktora öğrencisi Hidrojeoloji Yük. Müh. Esra ZENGİN'e; Harita Mühendisliği Bölümü'nden Arş. Gör. Sefa BİLGİLİOĞLU'na ve MTA Genel Müdürlüğü'nden Serkan KARACA, Ali Kemal BİRİNCİ, NEVJET A.Ş. Müdürü Hakan İŞERİ ile GEOMEK Mühendislik A.Ş. firmasına şükranlarımı sunarım.

Benden hiçbir zaman desteklerini, emeklerini ve sevgilerini esirgemeyen en değerli varlığım "AİLEME" sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

DOĞRULUK BEYANI.....	ii
TEŞEKKÜRLER.....	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	viv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
KISALTMALAR DİZİNİ	x
1.GİRİŞ	1
1.1 Önceki Çalışmalar	2
1.2 Literatür Bilgisi	4
2.MALZEME VE YÖNTEM	8
3.BULGULAR VE TARTIŞMA.....	10
3.1 Genel Jeoloji.....	10
3.2 Hidrojeoloji ve Çöküntü Oluşum Mekanizması	24
3.2.1 Hidrojeoloji	24
3.2.2 Çöküntü oluşum mekanizması	25
3.2.2.1 Çöküntü oluşumunda karstlaşmanın rolü	25
3.2.2.2 Havzaya düşen yağışın çöküntü oluşumuna etkisi	35
3.2.2.3 KJA ve çevresindeki suların hidrojeokimyasal ve izotopik özelliklerinin çöküntü oluşumuna etkisi	40
3.2.2.3.1 Suların hidrojeokimyasal özellikleri	40
3.2.2.3.2 Suların izotopik değerlendirmesi	47
3.3 Jeofizik Çalışmalar	53
3.3.1 Önceki jeofizik çalışmalar	53
3.3.2 Güncel jeofizik çalışmalar	54
3.4 Çöküntünün Bölgesel Tektonizması ve Depremsellikle Olan İlişkisi.....	60
4. ÇÖKÜNTÜ İYİLEŞTİRME ÇALIŞMALARI	62
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	68
KAYNAKLAR	71
EKLER.....	75
ÖZGEÇMİŞ	81

ÖZET

KOZAKLI (NEVŞEHİR) JEOTERMAL ALANINDAKİ ÇÖKÜNTÜ MEKANİZMASININ HİDROJEOLOJİK AÇIDAN İNCELENMESİ

Kozaklı Jeotermal Alanı (KJA) Orta Anadolu'da önemli bir jeotermal enerji potansiyeline sahiptir. Kozaklı jeotermal suları (KJS)'nin birincil akiferi Premesozoyik yaşlı mermerler, ikincil akiferi Tersiyer yaşlı kireçtaşlarıdır. KJA da jeotermal sulardan (KJS)'dan (45-96°C) 2900 adet konut ısıtmacılığı, seracılık ve termal turizm için yararlanılmaktadır.

KJA da, KB-GD ve KD-GB yönlü fayların keşisme noktasında 14 Ocak 2007 tarihinde aniden ~40 m çapında ~10 m derinliğinde çöküntü/obruk meydana gelmiştir. Bu çalışmanın amacı, KJA'daki bu çöküntünün oluşum mekanizmasını ve gelişimini incelemektir. Bunun için çöküntü alanında, jeofizik, jeoteknik, hidroloji, hidrojeoloji, hidrojeokimya, izotop ve insansız hava aracı gibi yöntemler uygulanmıştır.

Çöküntü alanındaki jeofizik ölçümler çöküntü alanının üst bölümünün kırıklı-çatlaklı travertenlerden oluştuğunu işaret etmiştir. Çalışma alanındaki paleokarstik boşluklu travertenlerin üzerindeki örtü birim (10-15 m), siltli çakıl ve düşük plastisiteli siltten oluşmuştur.

KJA ve çevresine ait hidrolojik veriler havzadaki buharlaşma-terlemenin bazen %90'ları geçtiğini göstermiştir. Bu durum, KJA daki karbonatlı kayalarda yüzeyden daha çok hipojenik karstlaşmanın etkinliğine işaret eder. Yani, Na-Ca-Cl-SO₄/HCO₃ su tipli, ¹⁴C izotoplarına göre görünür yaşı 35000 yılı aşmış KJS'nin beslenimi Holosen dönemine kadar uzanmaktadır. Derin ve yavaş dolaşımlı KJS'nin, derinlerden yüzeye doğru yükselimi sırasında soğuk sularla karışması suların çözücü (karışım korozyonu) özelliğini arttırmıştır. Bu aşındırıcı sular KJA'da karstlaşmanın ilerlemesine yol açmıştır.

Ayrıca, aşırı jeotermal su çekimi (23000 m³/gün), jeotermal atık sular için yeterli sayıda reenjeksiyon kuyusunun bulunmaması ve Kozaklı belediyesi kaplıca park alanında yapılan çevre düzenlemesinin de tetiklemesiyle çöküntü meydana gelmiştir.

Anahtar Kelimeler: Jeotermal su, çöküntü, karstlaşma, aşırı su çekimi, Kozaklı, Orta Anadolu.

ABSTRACT

HYDROGEOLOGICAL INVESTIGATION OF THE SUBSIDENCE MECHANISM IN KOZAKLI (NEVSEHIR) GEOTHERMAL FIELD,

Kozaklı geothermal field (KGF) has the most important geothermal energy potential in central Anatolia. The primary aquifer of the Kozaklı geothermal waters (KGW) is the Premesozoic aged marbles and the secondary aquifer is Tertiary aged limestones. In KJA, geothermal waters (KGW) (45-96°C) are utilized for the heating of a total of 2900 residential houses, greenhouse and thermal tourism. A subsidence of ~ 10 m deep at ~ 40 m diameter occurred suddenly at the intersection of NW-SE and NW-SW faults in KGF on January 14, 2007. The purpose of this study is to examine the mechanism and development of this subsidence in the KJA. For this reason, geophysical, geotechnical, hydrological, hydrogeological, hydrogeochemistrical and isotopical methods have been applied to subsidence field (SF).

Geophysical measurements in the subsidence field indicate that the upper part of the subsidence consists of fractured-cracked travertines and continues to the thermal hotels in the NW-SE direction. The cover unit (10-15 m) consists of silty gravel and low-plasticity silt overlying travertine with paleokarstic structure at the subsidence field.

The hydrological data of KGF and its vicinity denote as high as sometimes 90% of the evapotranspiration at the basin. This suggests that the activity of hypogenic karstification is higher than the surface karstification in the carbonate rocks in the KGF. That is, the recharge of KGW which has Na-Ca-Cl-SO₄/HCO₃ water-type and over 35,000 years apparent age by ¹⁴C isotopes, extends to Holocene period. The mixing of deep and slow circulating KGS with cold waters during the ascent from deep to the surface has increased their corrosive feature (mixing corrosion). These corrosive waters led the progress of karstification in the KGF.

In addition, the subsidence occurred due to over exploitation of the geothermal water (23,000 m³/day), lack of sufficient reinjection wells for the geothermal wastewater, and triggering of landscaping in the Kozaklı manucipal bath park area.

Key words: Geothermal water, subsidence, karstification, overexploitation of water, Kozaklı, Central Anatolia

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1: KJA’da İnceleme Alanının Yer Bulduru Haritası.	1
Şekil 1.2: A) Kilde Gerçekleşen Keskin Kenarlı Örtü Çöküntü B) Kumda Gerçekleşen Yayvan Biçimli Örtü Çöküntü.	7
Şekil 1.3: Batı Florida’da Obruğa Benzer Yapıların Kademelei Oluşum Mekanizması.	7
Şekil 1.4: Çöküntüden Görünüm.	7
Şekil 3.1: Kozaklı ve Çevresinin Jeolojik Haritası.	11
Şekil 3.2: Nevşehir ve Çevresinin Stratigrafik Dikme Kesiti.	12
Şekil 3.3: Kozaklı K-1 Kuyusu Logu.	12
Şekil 3.4: KJA’da Çöküntü Alanı Stratigrafisi.	13
Şekil 3.5: Elek Analizi Tane Boyu Dağılım Eğrisi.	14
Şekil 3.6: Rutubet Darbe Adedi Grafiği.	14
Şekil 3.7: KJA’da Çöküntüden Alınan Örnekler ve Lokasyonları.	15
Şekil 3.8: Çöküntünün Farklı Tarihlerdeki Google Earth Görüntüsü.	17
Şekil 3.9: KJA’da Çöküntünün İHA Ölçümlerine Göre Ebatları ve Yakın Çevredeki Yapılara Olan Uzaklıkları	18
Şekil 3.10: Çöküntünün 2007 Yılından Sonraki Görüntüsü.	19
Şekil 3.11: Çöküntüden 2017 Yılında Çekilen Fotoğraf.	19
Şekil 3.12: Çöküntü Çevresindeki Geniş Çaplı Yarık ve Çatlaklar.	21
Şekil 3.13: Çöküntünün Mevcut Çetlak ve Açıklıklar Doğrultusunda İlerlemesi Durumunda Muhtemel Senaryo.	22
Şekil 3.14: Çöküntü Alanında 2016 yılı sonlarında Meydana Gelen Kopma.	23
Şekil 3.15: KJA’da Çöküntü Çevresindeki Çatlak Açılma ve Oturmalar.	23
Şekil 3.16: Çöküntünün Doğusunda Taşıt Yolu Üzerindeki Deformasyon.	24
Şekil 3.17: Çöküntü Oluşum Senaryosu.	25
Şekil 3.18: Karbonatlı Kayaçların Çözünmesi.	26
Şekil 3.19: KJA'da Termal Oteller Yakınındaki Travertenler (A) Ve Travertenlerdeki Karstik Boşluklar (B).	28
Şekil 3.20: Çöküntü Susuz Olduğunda Açığa Çıkan Paleokarst Yapısı.	28
Şekil 3.21: Çöküntüde Reenjeksiyon Kuyusu ve Toplama Havuzu Sonrasında Tekrar Gözlenen Su Çıkışı.	29
Şekil 3.22: KJA’da Jeotermal Sondaj Kuyuları ve Çöküntü Alanı.	31
Şekil 3.23: Çöküntü Basınç İlişkisi.	34
Şekil 3.24: Kozaklı ve Nevşehir Yağış İstasyonlarının Uzun Yıllara Ait Yağış Ortalamalarına Göre Yıllık Yağış (A) ve Birikimli Sapma (B) Grafikleri.	36
Şekil 3.25: Nevşehir İlinin 2006 Yılı P ve Etpc Yıllık Değişim Grafiği.	38

Şekil 3.26: Nevşehir İlinin 2007 Yılı P ve Etpc Yıllık Değişim Grafiği.....	38
Şekil 3.27: Nevşehir İlinin 2006-2007 P ve Etpc Yıllık Değişim Grafiği.....	39
Şekil 3.28: Kozaklı'nın 2006 Yılı P ve Etpc Yıllık Değişim Grafiği.....	39
Şekil 3.29: KJA ve Çevresindeki Suların Piper Diyagramı.....	41
Şekil 3.30: KJA ve Çevresindeki Suların Bazı İyon Oranlarının Değişimi	42
Şekil 3.31: Kılıçlı Jeotermal Kuyu Logu.....	43
Şekil 3.32: Özce Jeotermal Kuyu Logu.....	44
Şekil 3.33: KJA ve Çevresindeki Suların Doygunluk İndisi Grafiği.	45
Şekil 3.34: Kozaklı Çöküntü (A), Sularının Genç Sularla Farklı Oranlarda Karışması Durumunda Doygunluk İndisi (SI) Değerlerinin Ve Yeni Beslenim Katkı (%) Değerlerinin Değişimi Kozaklı Artezyen (B) Ve Reenjeksiyon (C) Sularının Genç Sularla Farklı Oranlarda Karışması Durumunda Doygunluk İndisi (SI) Değerlerinin Ve Yeni Beslenim Katkı (%) Değerlerinin Değişimi.....	46
Şekil 3.35: Kozaklı ve Çevresindeki Suların $\delta^2\text{H}$ - $\delta^{18}\text{O}$ grafiği.....	49
Şekil 3.36: KJA ve Çev. Sularının Beslenim Sıcaklık ve Yükseklikleri	50
Şekil 3.37: KJA'da İncelenen Sularda $\delta^2\text{H}$ Ve ^3H İlişkisi.....	51
Şekil 3.38: KJS (KOSMS**)’De Doğal Karbon Bileşiklerinin Kökenlerine Bağlı $\Delta^{13}\text{C}$ Değerinin Clark Ve Fritz (1997)'E Göre Gösterimi	52
Şekil 3.39: KOSMS**’De $\delta^{34}\text{S}\%$ Değerlerinin Clark Ve Fritz (1997)'e Göre Gösterimi	52
Şekil 3.40: Çöküntü’de Gözlenen CO_2 Gaz Çıkışları(A) İle Kaynak Alanındaki Traverten (B) Ve Artezyen Kuyu (KOSMS) (C).	52
Şekil 3.41: KJA’da MASW ve DES Ölçümlerine Ait Lokasyon Görüntüsü.	54
Şekil 3.42: KJA’da ERT Ölçümlerine Ait Lokasyon Görüntüsü.....	54
Şekil 3.43: KJA’da MASW ve DES (A) ve ERT (B) Çalışmaları.....	55
Şekil 3.44: KJA’da Gerçekleştirilen ERT1 Ölçümü, Düşey Özdirenç Profili.	57
Şekil 3.45: KJA’da Gerçekleştirilen ERT2 Ölçümü, Düşey Özdirenç Profili.	58
Şekil 3.46: KJA’da Gerçekleştirilen ERT3 Ölçümü, Düşey Özdirenç Profili.	59
Şekil 3.47: KJA ve Çevresindeki Fayların Google Earth Üzerine Yerleştirilmiş Hali.	60
Şekil 4.1: KJA’da İyileştirme Çalışmaları.	62
Şekil 4.2: Çöküntü Çevresine Uygulanan Tel Örgüler.	63
Şekil 4.3: KJA’da Reenjeksiyon Kuyusundan Çöküntü Alanına Bakış.	64
Şekil 4.4: KJA’daki Kalsit İşletmesi.	65

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

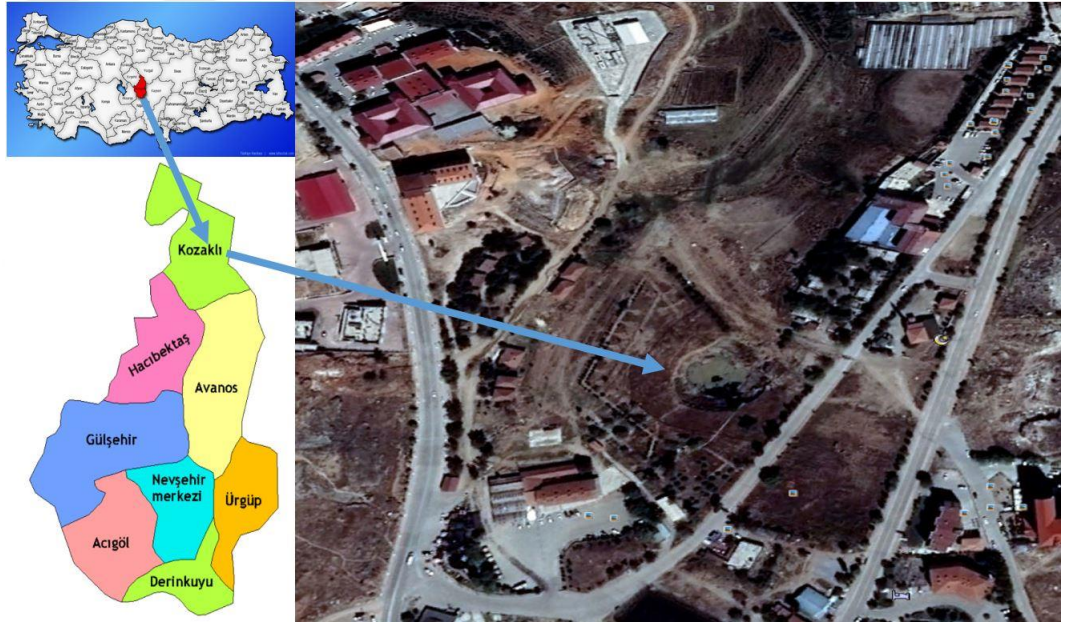
Çizelge 1.1: Oluşum Mekanizmalarına Göre Dolin Tipleri.	5
Çizelge 3.1: Kum-Silt Karışımı Numunenin Elek Analizi Sonuçları.	14
Çizelge 3.2: Kıvam Limit Değerleri.	14
Çizelge 3.3: Kaya ve Zemin Örneklerinin Laboratuvar Sonuçları.	16
Çizelge 3.4: Kayacın Dayanım Özelliklerinin Sınıflandırması.	16
Çizelge 3.5: Karstlaşma Gözlenen Karbonatlı Kayaçalarda Kimyasal Tepkimeler. ..	26
Çizelge 3.6: KJA’da Çöküntü Alanı ve Çevresindeki Kayaçların Kimyasal Analiz Sonuçları.	29
Çizelge 3.7: Çöküntü Tipleri, Oluşum Süreçleri, Kaya Tipi ve Oluşum Hızları.	30
Çizelge 3.8: KJA’da Açılan Jeotermal Sondaj Kuyularına Ait Bilgiler.	32
Çizelge 3.9: MTA-K4 Sondaj Kuyusunda Çamur Kaçak Zonları ve Miktarları.	33
Çizelge 3.10: KJA’da Yer Alan Bazı Sıcak Su Kaynakları.	33
Çizelge 3.11: Kozaklı ve Nevşehir’in Uzun Yıllara Ait Aylık Yağış, Ortalama Yıllık Yağıştan Sapma ve Birikimli Sapma Değerleri.	37
Çizelge 3.12: Nevşehir İlinin Deneştirmeli Nem Bilançosu (2006 yılı).	38
Çizelge 3.13: Nevşehir İlinin Deneştirmeli Nem Bilançosu (2007 yılı).	38
Çizelge 3.14: Nevşehir İlinin Deneştirmeli Nem Bilançosu (2006-2007 su yılı).	39
Çizelge 3.15: Kozaklı’nın Deneştirmeli Nem Bilançosu (2006 yılı).	39
Çizelge 3.16: KJA ve Çevresindeki Suların Fiziksel ve Kimyasal Analiz Sonuçları.	40
Çizelge 3.17: KJA ve Çevresindeki Suların Doygunluk İndis Değerleri ve Bazı İyon Oranları.	45
Çizelge 3.18: Kozaklı Çöküntü, Artezyen ve Reenjeksiyon Sularının Genç Sularla Farklı Oranlarda Karışımı Durumunda Doygunluk İndisi ve Yeni Beslenim Katkı Değerlerinin Değişimi.	46
Çizelge 3.19: KJA ve Çevresi İncelenen Suların İzotop Analiz Sonuçları.	48
Çizelge 3.20: KJA’da MASW Profil Koordinatları, Uzunlukları, Jeofon ve Ofset Aralıkları.	55
Çizelge 3.21: KJA’da DES Profil Koordinatları.	55
Çizelge 3.22: KJA’da Gerçekleştirilen MASW Çalışması Verileri.	56
Çizelge 3.23: KJA’da Gerçekleştirilen DES Çalışması Verileri.	56
Çizelge 3.24: KJA’da Gerçekleştirilen ERT Profil Koordinatları.	56

KISALTMALAR

DES	Düşey elektrik sondajı – Doğru akım rezistivite yöntemi
DSİ	Devlet Su İşleri
ERT	Elektrik öz direnç tomografi yöntemi
GM	Siltli çakıl
İHA	İnsansız Hava Aracı
MASW	Yüzey dalgalarının çok kanallı analiz yöntemi
ML	Düşük plastisiteli silt
MTA	Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü
SP	Doğal potansiyel
TPAO	Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı
YASS	Yeraltısuyu seviyesi

1. GİRİŞ

Kozaklı ilçesi, İç Anadolu Bölgesi'nde Nevşehir ilinin yaklaşık 85 km kuzeyinde yer almaktadır. Nevşehir Kozaklı Jeotermal Alanı (KJA) termal ve sağlık turizmi açısından Orta Anadolu'daki önemli alanlardandır. 2900 konutun ısıtıldığı KJA'da, özel ve kamuya ait olmak üzere 7.700 yatak kapasiteli 28 adet otel ve motel kaplıca mevcuttur. Orta Anadolu su kaynakları sıcaklık ve mineralizasyon yönünden çeşitlilik göstermekle birlikte, sodyum bikarbonat klorür ağırlığı nedeniyle romatizmal, mide sistemi, bağırsak sistemi, böbrek, idrar yolları ve deri hastalıklarında kullanılabilir özelliktedir (Erdoğan vd., 2008).



Şekil 1.1: KJA'da inceleme alanının yer bulduru haritası.

KJA'nın temelinde Pre-mesozoyik yaşlı mermer, dolomit, gnays ve kuvarsitlerden ibaret Orta Anadolu metamorfikleri bulunmaktadır. Bunların üzerine sırasıyla serpantinleşmiş ultramafik kayalar, izotropik gabro ve bazaltlardan oluşmuş Kretase yaşlı Orta Anadolu ofiyolitleri; granit, siyenit vb. kayalardan oluşmuş Üst Kretase – Üst Paleosen yaşlı Orta Anadolu granitoidleri, çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı, kıltaşı ve jipsten oluşmuş Üst Kretase yaşlı volkanosedimanter birimler ile Kuvaterner yaşlı alüvyon ve travertenden oluşmuş örtü birimler gelmiştir (Kuşcu, 1997). Farklı hidrojeolojik özelliklere sahip birimlerde jeotermal sular fay ve volkanizma ile açığa

çıkılmaktadır. Jeotermal suların ısı kaynakları jeotermal gradyan, genç volkanizma ve Üst Kretase – Paleosen yaşlı granit sokulumları olup, sıcaklıkları 86-94°C ve Na-Ca-Cl-SO₄ biçimindedir (Afşin vd., 2007 ve 2015). Karstik sahalarda çökmeler yeraltındaki karbonik asitçe zengin suların çözünebilir nitelikteki çatlaklı kayalarla reaksiyona girmesiyle oluşabilir. Boşluğun gittikçe büyüyerek yüzeye yaklaşması sonucu tavanın kimyasal erozyonla zayıflamasına da yol açar. İleri safhalarda iç ve dış etmenlerin de etkisiyle bütünlük bozularak tavan birimin çökmesiyle sonuçlanır (Kopar, 2007).

Buna örnek olarak KJA'da 14.01.2007 tarihinde Kozaklı İlçesi Kaplıcalar mevkiinde meydana gelen çökme olayı sonucu çapı yaklaşık 40 m, derinliği 10-12 m arasında olan dairesel bir çukur meydana gelmiş olup, içerisinde 7 m derinliğinde sıcak su seviyesi gözlenmiştir (Akyüz vd., 2007).

KJA'daki çöküntüye yol açan etmenlerin başta kontrolsüz ve aşırı su çekimi ile karstik yapı olduğu düşünülmektedir. Ayrıca park alanında çevre düzenleme çalışmaları esnasında belediye tarafından yapılan hafriyat dökümü ve sıkıştırmasının da etken olduğu kanısına varılmıştır. Olaydan önce meydana gelen ve merkez üssü Kozaklı olan Mw=3,0 (16.11.2006) ve Mw=3,2 (13.12.2006) büyüklüğündeki depremlerin de (URL-1) tetikleyici olabileceği düşünülmektedir.

1.1 Önceki Çalışmalar

İnceleme konusu çöküntü hakkında doğrudan az, Kozaklı bölgesiyle ilgili ise çok sayıda çalışma mevcuttur.

Serrüya (1963)'da, Kozaklı Hamamorta alanında 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası alımı çalışmaları gerçekleştirilerek jeolojik istif, yapısal çizgiler üzerinde ayrıntılı olarak durulmuştur.

Tezcan (1963)'da, Nevşehir Kozaklı Gravite Rezistivite ve Termik Etütleri raporunda sıcak akışkan içeren ana rezervuar kayanın Kozaklı İlçe merkezinin altına isabet eden yapı üzerinde ve ortalama 500 m derinlikte olabileceği öngörülmüştür.

Niehoff (1965)'da, jeolojik istifi belirlemiş, genç yapısal özellikler ve rezervuar kaya hakkında görüşler ortaya koyarak, potansiyel belirleme kapsamında ortalama 120 m derinlikli 12 adet sondaj kuyusu önerilmiştir.

Şamilgil (1965)'de, 3.000 m derinliğinde bir araştırma sondajı yapıldığı takdirde büyük olasılıkla buhar elde edilebileceği tahmin edilmiştir.

Özbek (1975)'de, Nevşehir Kozaklı Kaplıcası Hidrojeolojik Etüt raporunda 2.970 m derinlikli sondaj önererek buhar bulma olasılığı savunulmuştur.

Göçtü vd. (1992)'de, Nevşehir Sıcak Su Aramaları Jeofizik Etüt raporunu hazırlamıştır. Sıcak su üretiminde rezervuar olan Eosen kireçtaşlarının derinliğinin 100 m'ler civarında ve kalınlığının 50-100 m'ler arasında olduğu ifade edilmiştir.

MTA (1992)'da, 1992 yılında MTA tarafından Sosyal Sigortalar Kurumu (SSK) için yapılan SSK-1 sıcak su sondajı bitirme raporunda kuyuda ölçülen artezyen haldeki debinin 95 lt/s, sıcaklığının ise 93°C olduğu belirtilmiştir.

Koçak (1997)'da Kozaklı jeotermal akışkanı için yapılan kimyasal analiz sonuçları değerlendirilmiş ve Kozaklı jeotermal sisteminin kavramsal modeli hakkında yaklaşımda bulunulmuştur. Kozaklı civarındaki rezervuar sıcaklığının 105°C-125°C dolayında olabileceği belirlenmiş ve bu rezervuara ulaşmak için 1.400 m derinlikli sondaj kuyusu açılması önerilmiştir.

Özgür vd. (1997)'nde, Kozaklı Belediyesi adına şehir ve sera ısıtılmasına yönelik olarak sıcak su üretiminin sağlanması amacıyla 205 m derinlikli K-1 sıcak su üretim sondaj kuyusundan 90°C sıcaklıklı ve 4-11 lt/s debili sıcak akışkan üretiminin sağlandığı belirtilmiştir.

Kara (1997)'da, yaptığı çalışma ile Paleozoik yaşlı Kırşehir Masifi metamorfiklerini ve bunları uyumsuzlukla örten Alt Eosen - Kuvaterner yaşlı sedimanter ve volkanik birimleri haritalamış ve formasyon adlamaları yapılmıştır.

Erişen vd. (1999)'nde, Kozaklı alanında yapılan jeolojik, jeomorfolojik ve jeofizik etütlerin yanı sıra hidrojeokimyasal değerlendirmeler de yaparak yörenin jeotermal alan olanakları ortaya konulmuştur. Kozaklı jeotermal alanının rezervuar kaya, örtü kaya ve ısıtıcı varlığı ve yapısal özellikleri ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Pekkan vd. (2004)'da, obrukların yoğunlaşmasının nedenleri yüksek hidrolik iletkenlik zonu, paleo-karstik kanalların çözünmesi, karışım korozyonu ve manto kökenli CO₂ olarak belirtilmiştir. KJA'daki çöküntüde, volkanizma ile ilgili çözelti ve gaz getirimi çöküntü oluşum süreçlerinden biridir.

Akyüz vd. (2007)'nde, Afet İşleri Genel Müdürlüğü personeli tarafından hazırlanan çökme olayı ile ilgili Jeolojik Etüt Raporunda söz konusu alanda hiçbir şekilde yapılaşmaya gidilmemesi gerektiği belirtilerek gözlemsel etüt yapılmıştır.

Kopar (2007)'da, Kozaklı'da meydana gelen çökmenin yörede ilk kez karşılaşılan bir olay ve bunun bir örtü-çökme dolini olduğu ifade edilmiştir.

Afşin vd. (2007)'nde, Orta Anadolu'daki Niğde, Kayseri, Aksaray, Nevşehir ve Kırşehir'deki önemli jeotermal sular ve travertenler hidrojeokimyasal, izotopik, tıbbi ve biyoiklimsel açıdan ayrıntılı biçimde değerlendirilmiş ve öngörülen konularda özgün sonuçlar sunulmuştur.

Ok (2007)'da, Kozaklı akışkanının yağışlı dönemde aragonit, kalsit, dolomit, florit, kuvars ve talk minerallerine, kurak dönemde ise kalsit, kalsedon ve kuvars minerallerine doymuş özellikte olduğunu belirtmiştir.

Akgül vd. (2008)'nde, iki önemli fayın bulunduğu ve kesim noktasına yakın ve düşen blok üzerinde yaklaşık 800 ± 80 metrelik sondaj yapılması önerilmiştir.

Dağıstan vd. (2008)'de KJA'daki fayların genel uzanımları KB-GD, KD-GB ve KKB-GGD doğrultularında olup, jeofizik incelemelerle yaklaşık D-B yönlü yapılar da saptanmıştır.

Kara (2009)'da, Nevşehir Kozaklı MTA-K4 no'lu 1493 m derinlikli Jeotermal Araştırma Sondajı Kuyu Bitirme Raporunda asıl sıcak su akiferi olan Kırşehir masifine ait birimlerin daha derinlerde bulunduğu, örtü kalınlığının 4.000 m olabileceği öngörülmüştür.

Bayarı vd. (2009)'nde, yıllık gerçek buharlaşma-terlemenin %100 civarında olduğu Konya Kapalı Havzası (KKH)'nda obruk oluşumunda hipojenik karstlaşmanın etkili olduğunu belirtmişlerdir.

Pasvanoğlu vd. (2012)'nde kalker karstifikasyonu, aşırı su pompalaması, yeraltı suyu seviyesi (YASS) düşmesi, CO₂'ce zengin sıvı hareketinin karstik boşluklara neden olarak marn-kilden oluşan tavanın çökmesine sebep olduğu açıklanmıştır.

Özer (2015)'de, Kozaklı'nın önemli gelir kaynaklarından birisi olan jeotermal enerjinin ısınma, termal ve seracılık alanında artarak kullanıldığı belirtilmiştir.

1.2 Literatür Bilgisi

Çöküntü alanı ile ilgili olarak çok sayıda çalışma bulunmamasına rağmen çevresi ile ilgili olarak çok sayıda jeoloji, jeofizik ve hidrojeolojik çalışmalar bulunmaktadır. Maden Tetkik Arama (MTA) tarafından KJA'da yapılan jeotermal kaynak araması çalışmalarından faydalanılmıştır. Bölge ile ilgili yapılan çalışmalar sonucu oluşturulan tezler ve raporlardan gerekli bilgiler alınarak yorumlanmıştır. KJA'nın jeolojik, hidrojeolojik, jeofizik ve yapısal özellikleri incelenmiştir. Çöküntü oluşum mekanizmaları ve buna neden olabilecek iç-dış faktörler araştırılmıştır. İl Özel İdaresi tarafından yapılan iyileştirmeye yönelik çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir.

Jeotermal enerjinin sürdürülebilir kullanımına katkı sağlamak ve olası çöküntü afetlerini önlemek amacıyla alınabilecek tedbirlere vurgu yapılmıştır.

Karstik sahalara özgü olan örtü-çökme dolinleri, oluşumları gereği jeolojik, oluşturdıkları şekiller itibariyle de jeomorfolojik yapılardır. Genellikle dolin oluşumu, ya yer altındaki mağara, tünel, galeri gibi çözünmeyle oluşmuş bir boşluğun üstündeki örtü tabakasının birtakım nedenlere bağlı olarak çökmesi şeklinde, ya da süregelen değişik çözünme mekanizmalarıyla açıklanır. İncelemeye konu oluşturan çöküntü örtü-çökme dolinidir (Kopar, 2007). Oluşum mekanizmalarına göre dolin tipleri Çizelge 1.1’de verilmiştir.

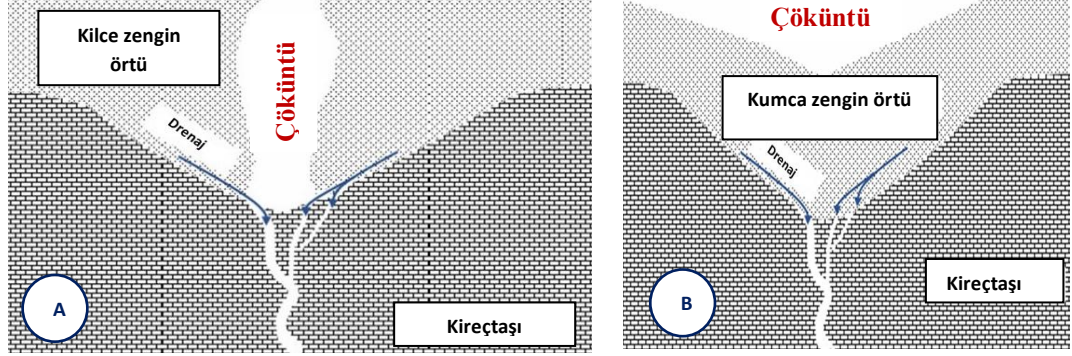
Çizelge 1.1: Oluşum mekanizmalarına göre dolin tipleri (Doğan, 2004; Gutierrez vd., 2007; Zhou ve Beck, 2007; Buchignani vd, 2007).

Örtü-Çökme Dolinleri	Üzeri değişen kalınlıkta malzeme ile örtülü kireçtaşı katmanlarının bulunduğu sahalara özgü bir oluşumdur. Kireçtaşı gibi çözünen kayaların içindeki boşluğun büyüyerek mağara boyutlarına ulaşması ve üzerindeki örtü tavanın ağırlığı taşıyamayarak yerçekimine yenilmesi ani çökmelere yol açar.
Örtü-Sübsidans Dolinleri	Anakayanın 15-30 m kalınlığında, geçirimli, kum ve oldukça ince killi tabaka ile örtülü olduğu alanlarda yavaş şekilde gelişme gösterirler. Bu koşullarda gevşek dokulu kum taneleri sıra halinde derine doğru hareket ederek kireçtaşı içindeki çukurları doldurur (Aydemir vd, 2005). Böyle dolinler topoğrafyada dalgalı görünüm oluştururları ve derinliklerinin 1-2 m kadar oluşuyla dikkat çeker.
Çözünme Dolinleri	Karstlaşmanın tipik olarak görüldüğü sahalardaki çukurlardır. Çözünmeye bağlı olarak yüzeyde ve yer altında gelişebilirler.
Alüvyon Dolinleri	Karstik çukurları dolduran alüvyonların kendi ağırlığı altında çökmesi ya da ana malzemeyi oluşturan kireçtaşıyla birlikte çökmesiyle oluşan çukurlardır. Genelde sığdır.
Çözülme Dolinleri	Yeraltı su seviyelerinin zaman zaman açılıp yükselmesine bağlı olarak tabakalardaki sediment kohezyonu azalmakta ve önemli bir taşıyıcı güçten yoksun kalan zemin çökmektedir. Karstik yörelerde oluşabileceği gibi henüz sertleşmemiş zeminlerde de görülebilmektedir.

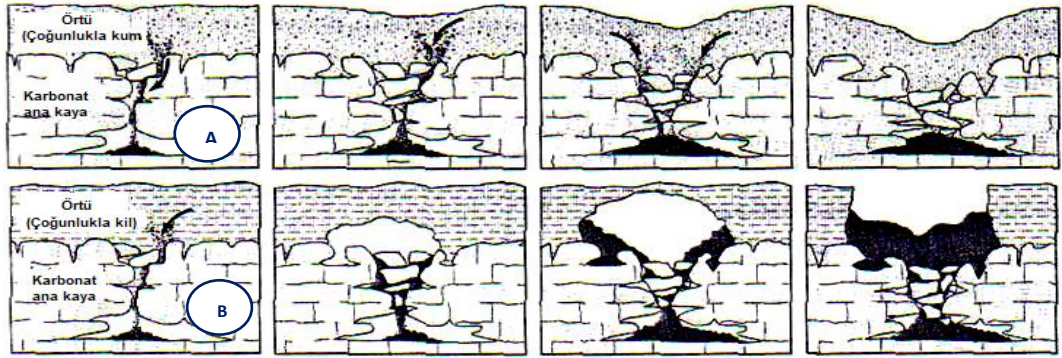
Karstik alanlara özgü olan çöküntü/obruklar ve buna bağlı jeolojik ve jeomorfolojik yapılar Türkiye’de önemli sayıda gözlenmektedir. Örneğin, Konya Kapalı Havzası (KKH)’nda Obruk Platosu’ndaki sayıları güncel olarak artmaya devam eden çok sayıda obruk mevcuttur.

Çöküntü oluşumuna ilişkin çok sayıda kavramsal modelin bazılarında söz edilecektir. Bilindiği gibi, çözünebilir ve çözünemeyen kayalar arasındaki dokanaklar karst gelişimi için uygun yerlerdir. Örneğin örtü kayalar mekanik olarak zayıf olup, çözünmeyle genişleyen karstik boşlukların üzerini uzun süre ile örtemezler. Bununla ilgili olarak, örtü (overburden) modelinde (Tihansky, 1999; Zhou ve Lei, 2017) çözünebilir ana kayanın üzerindeki birimin kil veya kum olmasına göre çöküntünün oluşum biçimi değişebilmektedir. Kilce zengin bir örtü bulunursa, sıkışmamış malzemelerin düşey yönde aniden düşmesi ile örtü çöküntüsü (cover collapse) açığa çıkar (Zhou ve Lei, 2017). Çöküntü, yüzeyaltı erozyon/iç karstlaşma (Çörekçioğlu ve Canik 1985) sonucu zemin/kaya dokanağında önceden bulunan bir karstik boşluğa (paleokarst) bağlı olarak sıkça gerçekleşir. Üstteki, geçirimsiz silindir veya dom benzeri bu kilce zengin kohezyonlu zemin, başlangıçta gerekli duraylı şartlar değişmezse, alttaki karstik boşluklu ana kayanın çatısı olarak dengede kalır. Ancak, boşluklar daha da genişlediğinde çöküntü aniden meydana gelir (Zhou ve Lei, 2017) (Şekil 1.2, A). Kumla örtülü ana kayadaki çöküntü (cover subsidence) oluşumu ise kolayca farkedilmez. Üstteki zeminin kohezyonu kile oranla daha düşüktür. Bu yüzden zeminin gücü zemin boşluğu oluşmasına izin vermez. Aksine, zemin tanelerini alttaki kanal şeklinde geniş erime boşluklu ana kayanın kanal (conduit) sistemlerine birer birer taşır (Zhou ve Lei, 2017) (Şekil 1.2, B). Tihansky (1999)’nin çöküntü oluşumuna ilişkin yaklaşımı (Şekil 1.3) da Zhou ve Lei (2017)’ye benzer. Buna göre, karstik boşluklu kireçtaşının üzerinde, geçirimli kum ya da geçirimsiz kilce yoğun örtü bulunabilir. YASS’ın yükselmesiyle aktif hidrojeolojik döngü ile akım kanalları yeniden su taşımaya başlar. Yeniden başlayan çözünme ile kireçtaşındaki boşluk büyür. Örneğin, örtü kum olursa, kum karstik boşluğun içine doğru zamanla akar ve yüzeyde yayvan tabanlı bir çöküntü/sübsidans oluşur. Örtü, gözenekliliği zaman zaman %50’yi geçebilen, moleküler çekim gücü yüksek ve hidroluk iletkenliği çok düşük kilden (Afşin ve Kayabalı, 2004) oluşabilir. Böyle bir durumda uzun dönemde alttaki kireçtaşındaki karstik boşluk hacminin artması ile örtü kendi ağırlığını çevresine taşıtamaz ve aniden keskin kenarlı çöküntü meydana gelir.

Her iki modele göre çöküntünün oluşabilmesi için, kireçtaşı, yukarıdan taşınan malzemeyi barındıracak ve ortamdan tahliye edecek büyüklükte bir karstik boşluğun yanı sıra yeraltısuyu akımı da bulunmalıdır (Tihansky,1999; Pasvanoğlu vd. 2012; Şekil 1.4).



Şekil 1.2 A) Kilde gerçekleşen keskin kenarlı örtü çöküntüsü (cover collapse), **B)** Kumda gerçekleşen yayvan biçimli örtü çöküntüsü (cover subsidence) (Zhou ve Lei, 2017).



Şekil 1.3: Batı Florida'da obruğa benzer yapıların kademeli oluşum mekanizması (A) Çoğunlukla kum örtü, (B) Çoğunlukla kil örtü (Tihansky, 1999).



Şekil 1.4: Çöküntüden görünüm (Pasvanoğlu vd. 2012).

2. MALZEME VE YÖNTEM

KJA’da 2007 yılında meydana gelen çöküntünün incelenmesi amacıyla çöküntü alanı ve çevresinden örselenmiş numuneler alınmıştır. Bu numuneler üzerinde elek analizi, su içeriği analizi, Atterberg limitleri ve doğal birim hacim ağırlık tayinleri yapılmıştır. Bu sayede travertenin üstünde yer alan zemin yapısı ile ilgili bilgiler elde edilmiştir.

Arazi çalışmaları esnasında alınan kaya numunelerinden ise TS EN ISO 17892-2 ve TS 699 standartları çerçevesinde nokta yükü dayanım indeksi deneyi yapılarak elde edilen sonuçlar Deere ve Miller (1966) sınıflandırması ve Şekercioğlu (2002) hesaplamaları kullanılarak kayacın dayanım değeri ve özellikleri belirlenmiştir.

Zemin numuneleri üzerinde direkt kesme deneyi yapılarak kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri bulunmuştur.

Jeofizik çalışmalar kapsamında, KJA’daki çöküntü civarında 31.03.2017 tarihinde farklı yöntemler uygulanmıştır. Bu yöntemlerde, yüzey dalgalarının çok kanallı analizi (MASW)’nde 2 profil, doğru akım rezistivite (DES)’de 2 profil ve elektrik öz direnç tomografi (ERT)’de 3 profil olmak üzere toplam 7 profil ölçümü yapılmıştır.

Sahada gerçekleştirilen, jeofizik çalışmalarda S dalgası hızları belirlemeye yönelik olarak MASW-aktif kaynak hat ölçümü yapılmıştır. Yüzey dalgalarının çok kanallı analizi (MASW) yöntemi sıkı zemin araştırmalarında kullanılmaktadır. Diğer yöntemlere göre en büyük avantajı kaynağın kontrollü olmasıdır. Araştırmada kaynak olarak 7 kg’lık balyoz, Ambrgeo marka sismograf ve 4,5 Hz’lik düşey jeofon kullanılarak alınan 2 adet offset uzaklığı 5 m, jeofon aralıkları 5 m, profil uzunluğu 60 m olan MASW ve MASW ile aynı hat üzerinde 2 adet offset uzaklığı 2,5 m, jeofon aralıkları 5 m, profil uzunluğu 57,5 m olan sismik kırılma incelemelerine ait dispersiyon eğrileri, hız zaman grafikleri, arazi kayıtları ve modelleme sonuçları tezin sonunda ekler biçiminde verilmiştir.

Çok kanallı öz direnç aletleri, yer altının düşey ve yanal elektriksel değişimlerine duyarlı olan tomografi ölçüsünün alınmasını sağladığı için günümüzde sıkça tercih edilmektedir. Ölçümlerde veri sayısı, araştırma derinliği ve dolayısıyla ölçüm duyarlılığına bağlı olarak farklı elektrot dizilimleri seçilebilmektedir. Çalışmada, araştırma amacına ve planına uygun olarak en az 5 metre elektrot aralığı ile toplam 240 m profil boyu olacak biçimde Schlumberger dizilimi kullanılmıştır.

Hidrojeolojik çalışmalar kapsamında KJA'da 4 farklı su noktasından alınan su örneklerinin Türk Akreditasyon Kurumu (TURKAK) tarafından TS EN ISO/IEC 17025 standartına göre akredite edilmiş. SM4500-H+B, SM 2510 B, SM 2320 B, SM 3120 B, SM 4500 NH3 B C, SM 4110 B analiz yöntemlerine uygun olarak; su kimyası analizleri MTA Genel Müdürlüğü Su Kimyası Laboratuvarı (Ankara)'nda; izotop analizleri Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol (TAKK) Daire Başkanlığı İzotop Laboratuvarı (Ankara)'nda; kayaç analizleri Aksaray Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Uygulama ve Araştırma Merkezi (ASÜBTAM) laboratuvarında yapılmıştır.

Çöküntü alanı ve çevresinde 07.10.2017 tarihinde insansız hava aracı (IHA=drone) ile ASÜ Harita Mühendisliği Bölümü'nden Araş. Gör. Sefa Bilgilioğlu ile Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nden Araş. Gör. M. Haydar Terzi tarafından görüntü alınarak çöküntünün yayılımı ve ilerleme yönü üç boyutlu olarak tespit edilmeye çalışılmıştır. Güncel ve önceki su kimyası ve izotop analiz sonuçları Schoeller ve Piper vb gibi farklı grafikler yardımıyla sular kökenler açısından yorumlanmıştır.

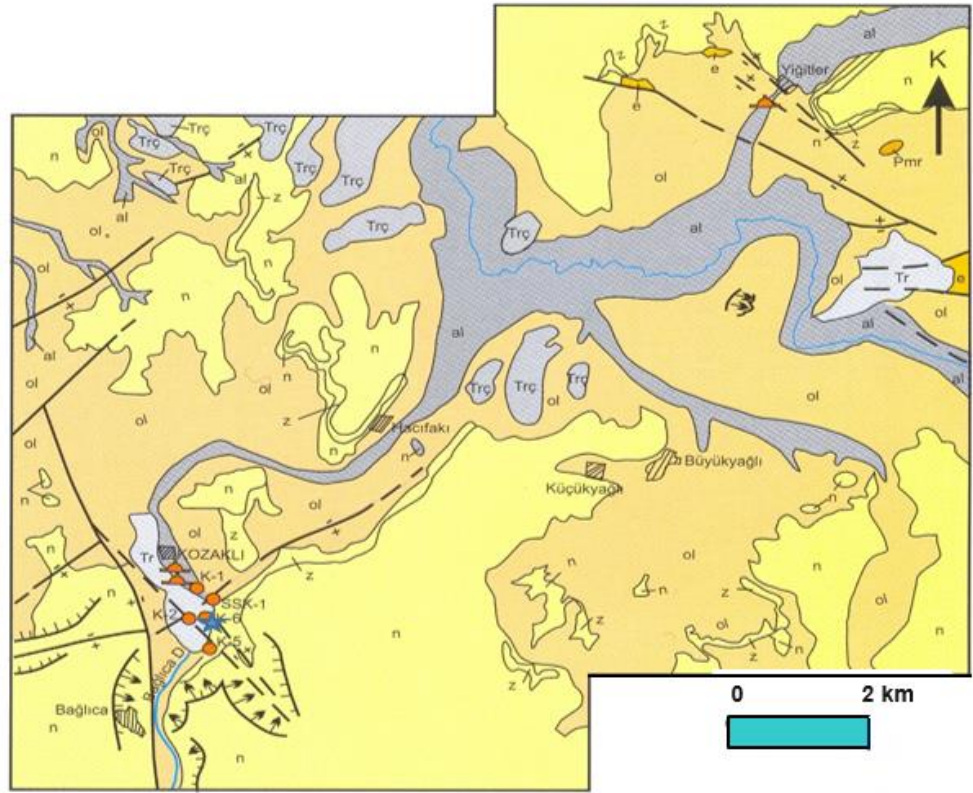
Çöküntünün meydana geldiği 2007 yılı ile 2016 yılı arasının yanısıra en güncel veriler kullanılarak 2016 yılına ait yağış ve buharlaşma değerleri birikimli sapma grafikleri çizilmiş ve havzanın denge tirmeli nem bilançoları hesaplanmıştır.

Kayaç örneklerinin kimyasal analiz sonuçları ve bu sonuçlar ışığında çözünme ve doygunluk değerleri de belirlenmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Genel Jeoloji

KJA ve çevresinin temelinde Kırşehir masifinin doğu uzantısı olan Paleozoyik yaşlı kristalin birimler alttan üste doğru gnays, şist; mermer bant ve mercekleri ile şist ardalanmalıdır (Koçak, 1997). Kıvrımlanma ve yapraklanmanın iyi geliştiği bu düzeyler daha üstteki mermerler ile yanal ve düşey geçişlidir. En üstteki mermerler beyaz-açık gri renkli, bol kırıklı, çatlaklı ve erime boşluklu olup, hazne kayayı oluşturmuştur (Canik, 1991). Kristalin temel üzerine çakıltaşlarıyla transgresif olarak başlayan Eosen (Lütesiyen) yaşlı birimlerin alt düzeylerini paralel katmanlı, iyi tutturulmuş kumtaşı-silttaşı, üst düzeylerini ise, orta-kalın katmanlı masif kireçtaşları oluşturmakta olup, sıg ve kıyı kesimlerinde kumtaşı ve kireçtaşı, daha derinlerde ise marn çökelimi yoğundur (Öngür ve Kartal, 1972; Koçak, 1997). Lütesiyen yaşlı birimlerin KJA'da görünür kalınlığı 100-300 m arasındadır. Birimin kireçtaşı ve kumtaşı düzeyleri jeotermal hazne kaya özellikli olup, Sosyal Sigortalar Kurumu (SSK) sondajında, 93 °C sıcaklık ve 95 lt/s debiye sahip jeotermal akışkan elde edilmiştir (Koçak, 1997). Kumtaşlarının üzerine orta Eosen yaşlı kireçtaşlarının geldiği (Öngür ve Kartal, 1972) belirlenmiştir (Afşin vd., 2007). Tabanında kesin bir uyumsuzluğun gözlenmediği Oligo-Miyosen yaşlı birim tuzlu, jipsli, kırmızı renkli, kumlu marn, killi-marnlı kireçtaşı ve çakıltaşlarından oluşmuş olup, KJA'nın kuzeyinde oldukça geniş bir alanda yüzeylemiş olup, birimin kalınlığı ise ~600-1000 m'dir (Koçak, 1997). Bu birimin üzerine yatay olarak gelen Neojen yaşlı birim tüf, mikroçakıltaşı; marn, marnlı kireçtaşı ve gölsel kireçtaşlarıyla temsil edilmektedir. Volkan camı ve pumis parçaları içeren tüfler, kireçtaşı ve marnlı kireçtaşı ile ardalanmalıdır. Bol gastropoda fosili içeren gölsel kireçtaşları genellikle kirli beyaz-bej renkli olup, kalınlığı ~130 m'dir (Canik, 1991; Koçak, 1997). Kozaklı ve çevresinin jeolojik haritası Şekil 3.1'de, Nevşehir ve çevresinin stratigrafik dikme kesiti Şekil 3.2'de ve Kozaklı K-1 kuyu logu Şekil 3.3'de verilmiştir.



AÇIKLAMALAR

SENOZOYİK	Kuvaterner	al	Alüvyon		Dokanak
		Trç	Akarsu taraçası		Muhtemel fay
		Tr	Traverten		Fay
	Ü Miyosen	n	n: Kireçtaşı, marnlı kireçtaşı		Yer kayması
	Pliyosen	z	z: Tüf		Sıcak su kaynağı
	Oligosen	ol	Marn, kil, çakıltası, kumtaşı, jips - anhidrit		Sıcak su sondajı
	Miyosen	e	Kireçtaşı, kumtaşı, çakıltası, marn		Çöküntü
Pre-mesozoyik	Eosen	Pmr	Kristalize kireçtaşı, mermer		

Şekil 3.1: Kozaklı ve çevresinin jeolojik haritası (Erişen ve Özgür, 1999).



Şekil 3.4: KJA'da çöküntü alanının stratigrafisi.

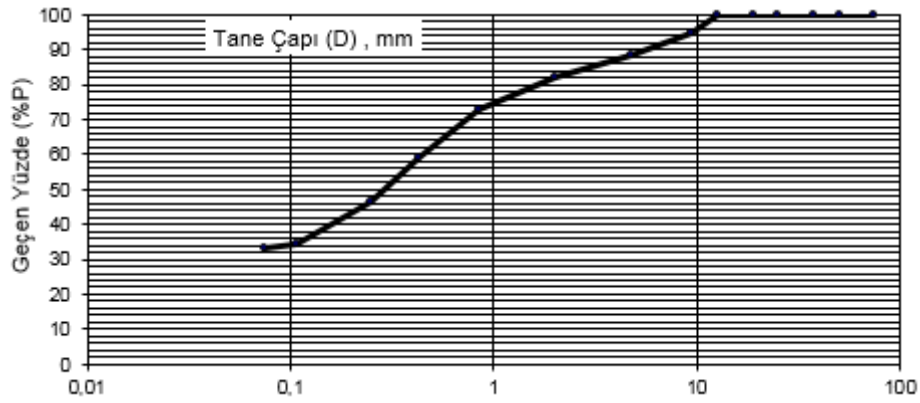
Güncel olarak çöküntüden alınan kaya örnekleri düşük dayanımlıdır. Jeofizik çalışmalardan elde edilen verilere göre çöküntü alanında zemin seviyelerinin altında ~ 35-40 m derinlik boyunca, üst kısımları kırıklı-çatlaklı traverten yer almaktadır.

Çöküntünün farklı seviyelerinden örselenmiş el örneği alınmıştır. Bunlardan zemin örneklerinin su içeriği, elek analizi ve Atterberg limit deneyleri, kaya örneğinin ise doğal birim hacim ağırlığı ve kayacın dayanımları laboratuvarında yapılan deneyler sonucu saptanmıştır. Buna göre, zemin örneğinin su içeriği %4,7'dir. Elek analizinde 200 no'lu elekten geçen %16,2 ve 10 no'lu elekte kalan %59,5 olan bu örnek siltli çakıl, çakıl-kum-silt karışımı (GM)'dir. Diğer zemin örneğinin su içeriği %5,0'dır. Elek analizinde 200 no'lu elekten geçen %89,1 olup, inorganik silt ve çok ince kum olarak ya da plastisitesi düşük /plastik olmayan silt (ML)'tir. Kayaç (traverten) örneğinin doğal birim hacim ağırlığı $2,01 \text{ g/cm}^3$, nokta yükleme değeri ise $44,4 \text{ kg/cm}^2$ 'dir.

Çöküntüden alınan 600 g kurutulmuş zemin örneğinin elek analizi yapılmış; 40 nolu elek altı malzeme ile hazırlanan kıvam limit değerleri belirlenmiştir (Çizelge 3.1 ve 3.2, Şekil 3.5 ve 3.6). Buna göre zeminin sınıfı MIT (Massachusetts Institute of Technology) ve USCS (Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi) yöntemlerine göre 'siltli kumlar, kötü derecelenmiş kum-silt karışımı (SM)'dir. Çöküntüden alınan örneklerin lokasyonları Şekil 3.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1: Kum-silt karışımı numunenin elek analizi sonuçları.

Elek No	Elek çapı (mm)	Elek üstünde kalan (gr.)	Toplam elekten geçen (gr.)	Toplam geçen (%)
3/4"	19.00	0	600	100
3/8"	9.50	31	569	94,83
4	4.75	40	529	88,17
10	2.00	37,5	491,5	81,92
20	0,850	55	436,5	72,75
40	0.425	83	353,5	58,92
60	0.250	73,5	280	46,67
140	0.106	74,5	205,5	34,25
200	0.075	7,5	198	33
	Tava	198	0,0	0,0

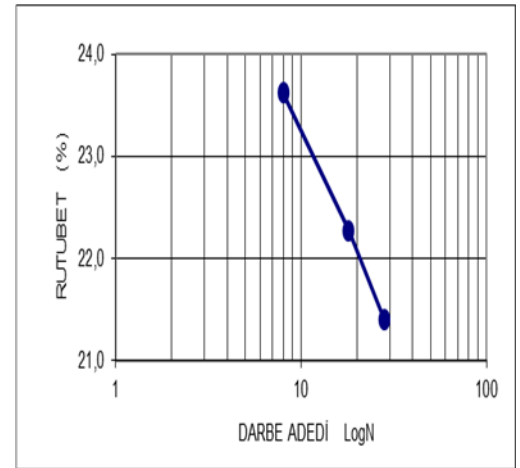


Şekil 3.5: Elek analizi tane boyu dağılım eğrisi

Çizelge 3.2: Kıvam Limit Değerleri

LİKİT LİMİT				
Kap no	Z-36	Z-26	Z-24	
Darbe adedi	8	18	28	
Yaş toprak +kap (g)	35,41	38,26	39,60	
Kuru toprak+kap (g)	32,71	35,66	36,92	
Su miktarı (g)	2,70	2,60	2,68	
Kap (g)	21,28	23,99	24,40	
Kuru toprak (g)	11,43	11,67	12,52	
Su muhtevası (%)	23,6	22,3	21,4	
PLASTİK LİMİT				
Kap no	Z-33	Z-4	Z-28	
Yaş toprak +kap (g)	31,79	34,47	33,32	
Kuru toprak+kap (g)	30,18	32,36	31,84	
Su miktarı (g)	1,61	2,11	1,48	
Kap (g)	21,56	20,94	23,91	
Kuru toprak (g)	8,62	11,42	7,93	
Su muhtevası (%)	18,7	18,5	18,7	

LL (%)	PL(%)	PI(%)
21,6	18,6	3,0



Şekil 3.6: Rutubet – Darbe Adedi grafiği



Şekil 3.7: KJA’da çöküntüden alınan örnekler ve lokasyonları.

Kum silt karışımı zemin örneklerine direkt kesme kutusu deneyleri gerçekleştirilerek kohezyon ve içsel sürtünme açıları hesaplanmıştır. Bu örnekler ASÜ Jeoloji Mühendisliği Uygulamalı Jeoloji Laboratuvarında sıkılama yöntemi ile toplam gözenekliliği (n) (%) 22 - 33; düşen seviyeli permeametre ile permeabilite katsayısı (K) ise $1,94 \times 10^{-6}$ m/s olarak belirlenmiştir.

Nokta yükleme deneyinden elde edilen veriler ile kayaç örneklerinin tek eksenli basınç dayanımları, tek eksenli basınç dayanımı değerleri ile kayaçların dayanım özellikleri ve zeminlerin ise direkt kesme deneyinden kohezyon ve içsel sürtünme açıları; hesaplanmıştır (Çizelge 3.3).

Çizelge 3.3: Kaya ve zemin örneklerinin laboratuvar sonuçları

Deney Standardı	TS EN ISO 17892-2	TS 699		TS 1900-2	
Deneyler	Doğal birim hacim ağırlık (g/cm^3)	Nokta yükleme I_s (kg/cm^2)	Kayada tek eksenli basınç q_u (kg/cm^2)	Direkt kesme c (kg/cm^2)	Direkt kesme Φ °
Traverten	2,01	44,4	532,8		
Zemin (SM)	1,71			0,061	23

Nokta yükü ile tek eksenli basınç dayanımı arasında $q_u = C \cdot I_s$ şeklinde bir bağıntı vardır. I_s nokta yük dayanımını, q_u tek eksenli basınç dayanımını ifade eder. C ise bir katsayı olup 12 ile 24 arasında değişir (Şekercioğlu, 2002). Traverten üzerinde yapılan nokta yükü dayanım indeksi deneyinden tek eksenli basınç dayanımı değeri hesaplanırken C katsayısı kayacın düşük dayanımı göz önüne alınarak düşük bir değer olan 12 alınmıştır (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4: Kayacın dayanım özelliklerinin Deere ve Miller (1966)'e göre sınıflandırması.

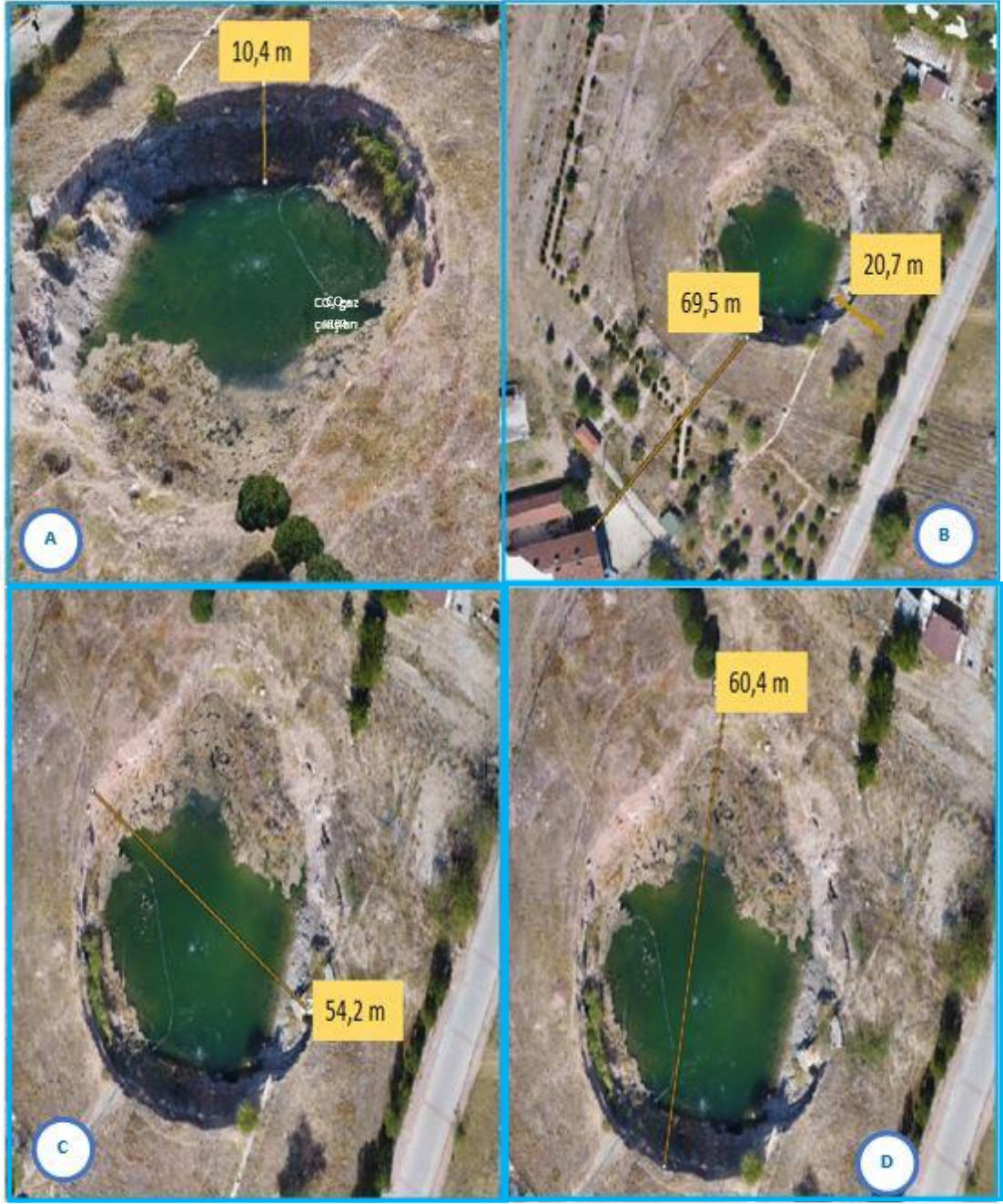
Sınıf	Dayanım	Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı (kg/cm^2)	Analiz Sonuçları (kg/cm^2)
A	Çok Yüksek	>2200	532,8
B	Yüksek	1100 – 2200	
C	Orta	550 – 1100	
D	Düşük	275 – 550	
E	Çok Düşük	<275	

Çöküntü alanından 31 Mayıs 2017’de alınan traverten örneğinin tek eksenli sıkışma dayanımı değeri $532,8 \text{ kg}/\text{cm}^2$ olarak hesaplanmıştır. Deere ve Miller (1966)’in sınıflamasına göre kayaçlar düşük dayanımlıdır (Ulusay, 2010).

Çöküntü meydana geldikten sonra alınmış Google Earth ve İHA görüntüleri Şekil 3.8 ve 3.9’de verilmiştir. Çöküntüden 2007 ve 2017 yıllarında çekilen fotoğraflar Şekil 3.10 ve Şekil 3.11’de gösterilmiştir.



Şekil 3.8: Çöküntünün farklı tarihlerdeki Google Earth görüntüleri.



Şekil 3.9: KJA'da çöküntünün İHA ölçümlerine göre ebatları ve yakın çevredeki yapılara olan uzaklıkları.



Şekil 3.10: Çöküntünün 2007 yılından sonraki bir görüntüsü.



Şekil 3.11: Çöküntüden 2017 yılında çekilen fotoğraf.

Zeminde yapılan hafriyat dökümü ve sıkıştırma işlemi sonucu örtü birimin ağırlığının yanısıra, çatlaklı kırıklı akifer üzerinde uygulanan basınç da artmıştır. Bu durum örtü birim içerisindeki bütünlüğün bozulmasına ve örtü-rezervuar birim arasındaki dengenin olumsuz etkilenmesine neden olmuştur.

Bu bağlamda dolgudan kaynaklanan tahminî yük karşılaştırmalı olarak hesaplanmıştır. Çöküntü şekli 40 m çaplı (2r) daire olarak alınır, daire alanı: $\pi r^2 = 1.256 \text{ m}^2$ (π : 3,14) olarak hesaplanır.

Çöküntü alanını etkileyen hacim (V)= Çöküntü Alanı x Dolgu kalınlığı

Dolgu kalınlığı: 0,5 m ise $V = 1.256 \text{ m}^2 \times 0,5 \text{ m} = 628 \text{ m}^3$ olur.

Dolgunun neden olduğu ağırlık= Dolgu hacmi x Dolgu yoğunluğu

Dolgu yoğunluğu (kum, çakıl, kırmataş): $d_{\text{dolgu}} = 1,8 \text{ ton/m}^3$ (inşaat mühendisleri odası verilerine göre) dolgu ağırlığı $= 628 \text{ m}^3 \times 1,8 \text{ ton/m}^3 = 1.130,4 \text{ ton}$ 'dur.

Dolgunun oluşturacağı 1.130,4 tonluk ağırlık, ortalama ağırlığı 1,5 ton olan bir binek aracının ağırlığı ile karşılaştırılırsa, bu durum çöküntü üzerinde aynı anda yaklaşık 750 aracın park etmesi anlamına gelir. Sonuçta dış basıncı arttıracak olan hafriyat dökümünün, çöküntünün ana nedeni olmasa da, üst ve altında geçirimsiz birimler bulunan basınçlı bir akiferin üzerindeki geçirimsiz birimlere baskı yapmış olduğu kesindir. Çöküntü oluşumunun üzerinden 11 yıl geçmesine karşın bölgede yeni bir çökme meydana gelmemiştir. Ancak, çöküntü sınırına ortalama 3 m mesafede şev stabilitesi sorunundan kaynaklı zeminde oturma ile gerilme çatlaklarının işaret ettiği kayma dairelerinde, küçük ölçekte çizgiselliği izleyen bir hareketlilik gözlenmiştir. Bu durum, gelecekte çöküntü çapının ve alanının artmasına neden olabilecektir (Şekil 3.12 ve 3.13). Böyle bir genişleme durumunda ne kadar malzemenin çöküntü içerisine kayabileceği yaklaşık olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.12: Çöküntü çevresindeki geniş çaplı yarık ve çatlaklar.

Burada, r_1 : 20 m (mevcut Çöküntü yarıçapı), r_2 : 23 m (genişleyebilecek olası Çöküntü yarıçapı), π : 3,14, h : 5 m (kayabilecek birim yüksekliği), d : 2 t/m³ (birim hacim ağırlığı) olarak alınmıştır.

Alan (A)hesabı:

$$A_1 = \text{Çöküntü alanı} = \pi r^2 = 3,14 \cdot (20\text{m})^2 = 1.256 \text{ m}^2,$$

$$A_2 = \text{Olası Çöküntü alanı} = \pi r^2 = 3,14 \cdot (23\text{m})^2 = 1.661,06 \text{ m}^2.$$

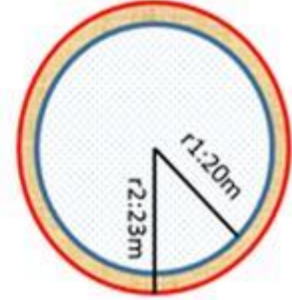
$$A = A_2 - A_1 = 1.661,06 - 1.256 = 405,06 \text{ m}^2$$

$$\text{Hacim (V)} = A \times h = 405,06 \times 5 = 2.025,03 \text{ m}^3$$

$$\text{Kütle (M)} = V \times d = 2.025,03 \text{ m}^3 \times 2 = 4.050,06 \text{ ton}$$



- r1: çöküntü yarıçapı
- r2: potansiyel çöküntü yarıçapı



Şekil 3.13: Çöküntünün mevcut çatlak ve açıklıklar doğrultusunda ilerlemesi durumunda muhtemel senaryo.

Çöküntü etrafında meydana gelen çatlak ve açılmalar çöküntünün genişleme potansiyeli olduğunu gösterir. Potansiyel çöküntü sınırları düşünüldüğünde yaklaşık 4.050,06 ton malzeme çöküntü içerisine dolarak çöküntüyü genişletebilir.

Çöküntünün doğusunda bulunan 244. Sokak üzerindeki yolda oturmalar ve çatlaklar tam olarak çöküntü hizasında gözlenmiştir (Şekil 3.16). Bu oturmalar reenjeksiyon kuyusundan gelip çöküntü tabanından çıkan suyun güzergâhında bulunmaktadır. Bu oturmalar jeofizik çalışmalardan ERT-3 profilinde de suya doymun birimler olarak gözlenmiştir. Çöküntünün özellikle kuzey ve doğusunda oturma ve çatlaklara daha çok rastlanılmıştır (Şekil 3.14, 3.15 ve 3.16).



Şekil 3.14: Çöküntü alanında 2016 yılı sonlarında meydana gelen kopma.



Şekil 3.15:KJA'da çöküntü çevresindeki çatlak, açılma ve oturmalar.



Şekil 3.16: KJA’da çöküntünün doğusunda taşıt yolu üzerindeki deformasyon.

3.2 Hidrojeoloji Ve Çöküntü Oluşum Mekanizması

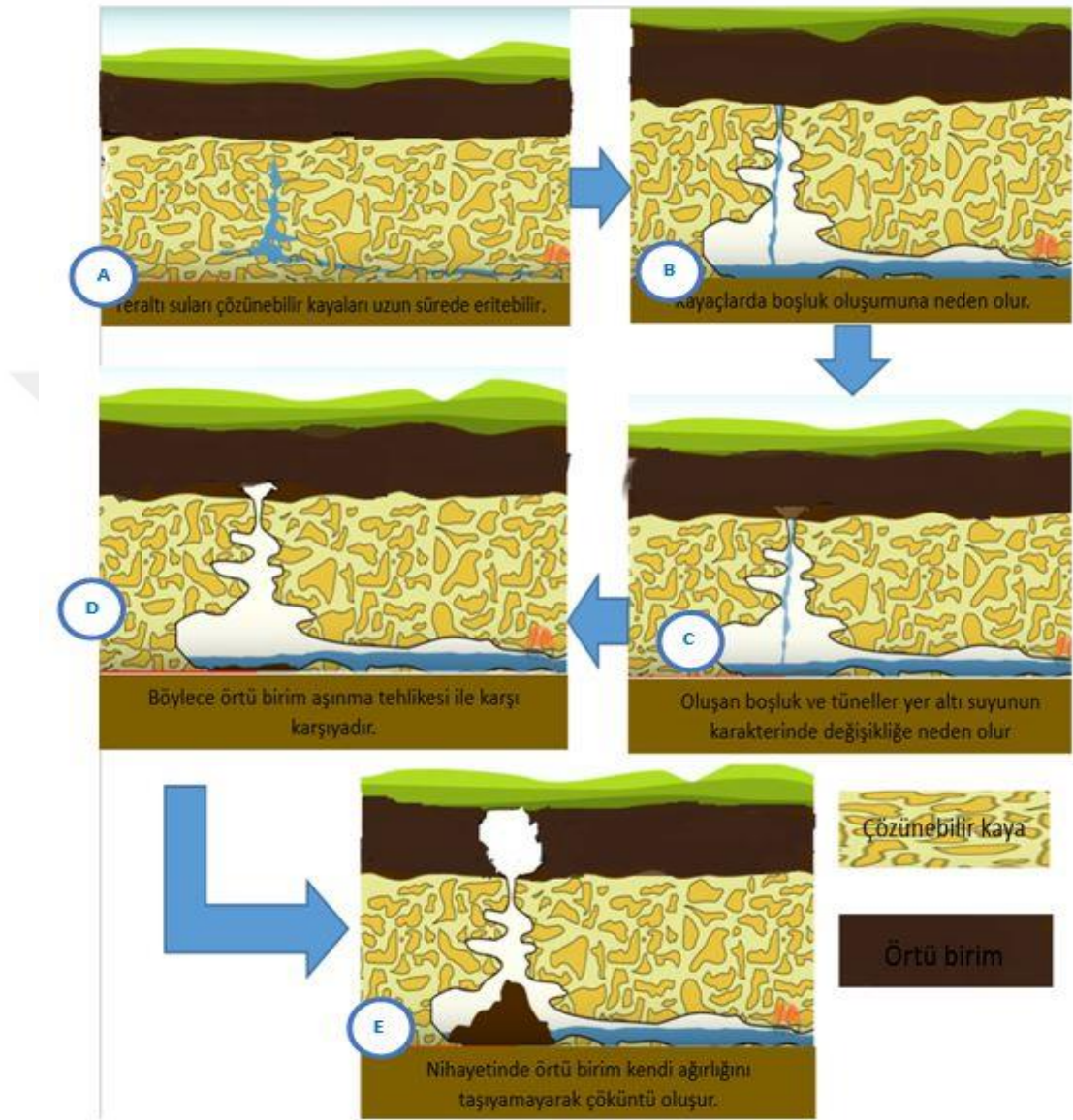
3.2.1 Hidrojeoloji

Bu bölümde, KJA ve çevresindeki birimlerin hidrojeoloji özelliklerinden ve çöküntü oluşumuna yol açtığı öngörülen nedenlerden söz edilmiştir.

KJA’da serbest ve basınçlı akiferleri içeren birleşik bir hidrolik sistem bulunmaktadır. KJA’daki jeotermal sistemin ısıtıcı kayası granitik sokulumlar, örtü kayası alandaki geçirimsiz birimlerdir. KJA’da temeli oluşturan kırıklı ve çatlaklı yapıda mermerlerden oluşan karstik Bozçaldağ metamorfitleri yer yer serbest, örtü birimlerin altında kaldığı yerlerde ise basınçlı akifer özelliği gösterir. Kozaklı jeotermal sularının birincil sıcak su akiferi hidrolik yüksek iletkenliğe ve büyük boşluk gözenekliliğine sahip mermerler; Tersiyer yaşlı kireçtaşları ise ikincil akiferidir (Afşin vd, 2007). Kumtaşı, kumlu kireçtaşı, marn ve çakıltaşlarından oluşmuş Eosen yaşlı birimde, marn ile kumlu kireçtaşı-çakıltaşı dokanaklarında sızıntılar mevcuttur. Bölgede Neojen yaşlı olarak ele alınan tuf, mikroçakıltaşı, marn ve marnlı kireçtaşlarından oluşmuş birimde ise, tuf-marn ile marnlı kireçtaşı-marn dokanaklarında düşük debili soğuk su kaynakları görülür. Görünür kalınlıkları 15-60 m dolayında olan Kuvaterner yaşlı traverten ile çakıl, kum, silt, kil ve milden oluşmuş, vadi tabanlarını örten 1-5 m kalınlıklı alüvyon genelde akifer özelliklidir (Koçak, 1997).

3.2.2. Çöküntünün oluşum mekanizması

Bu bölümde KJA'daki çöküntü oluşumunda etken olduğu öngörülen unsurlar hidrojeoloji ile ilişkilendirilerek irdelenmiştir. İnceleme konusu çöküntünün oluşum senaryosu Şekil 3.17'de verilmiştir.



Şekil 3.17: Çöküntü oluşum senaryosu (URL-2).

3.2.2.1 Çöküntü oluşumunda karstlaşmanın rolü

Karst, doğal suların etkisiyle yüksek oranlarda çözünabilen ve iyi gelişmiş ikincil gözenekliliğe sahip, çoğunlukla karbonatlı kayaların bulunduğu alanların tanımlanması için kullanılan bir terimdir.

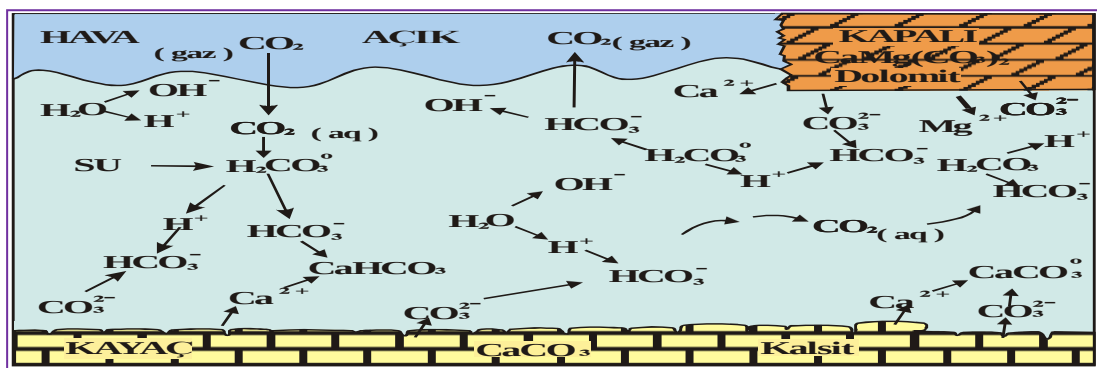
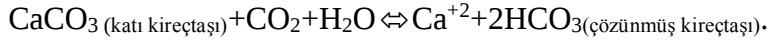
Karstlaşma, kireçtaşı, mermer, dolomit karbonatlı kayaların dışında jips, anhidrit ve halit ve kuvarsit gibi kayalarda da gerçekleşebilmektedir (Ford ve Williams, 2007).

Asıl süreçler suyun hafif asidik olduğu ana kaya yüzeyinde kimyasal tepkimelerin biri veya daha fazlası tarafından yönlendirilir (Çizelge 3.5) (Zhou ve Lei, 2017; Ford ve Williams, 2007). Suyun hızlı ve çalkantılı aktığı ortamlarda kayaç daha çok çözünür.

Çizelge 3.5: Karstlaşma gözlenebilen karbonatlı kayaçlardaki kimyasal tepkimeler

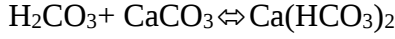
<i>Kireçtaşı</i>	<i>Dolomit</i>	<i>Jips</i>	<i>Halit</i>
$\text{CaCO}_3 + \text{H}^+ \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{Ca}^{+2}$ $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightleftharpoons 2\text{HCO}_3^- + \text{Ca}^{+2}$	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 + 4\text{H}^+ \rightleftharpoons 4\text{H}^+ + 2\text{CO}_3^{2-} + \text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{SO}_4^{2-} + \text{Ca}^{+2} + 2\text{H}_2\text{O}$	$\text{NaCl} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$

Karstlaşmanın oluşum ve gelişiminde çözünebilir kayaçların bulunduğu ortamdaki CO_2 , H_2S ve diğer gazların önemli etkisi vardır. Örneğin, yağış, atmosfer ve diğer kaynaklardan gelen CO_2 , karbonik asit oluşturarak suyun çözücülüğünü artırır (Sweeting, 1973; Bögli, 1980; Ford ve Williams, 1989 ve 2007; Şekil 3.18). $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3$. Güçlü asit olan H_2CO_3 ilk yükseltgenme ile (Bögli, 1980): $\text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{H}^+$, ikinci yükseltgenme ile HCO_3^- , $\text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{CO}_3^{2-} + \text{H}^+$ biçiminde ayrışır. Bu su ile karbonatlı kayaç temas ettiğinde, iyonlar kristal ağından kurtulur ve $\text{CaCO}_3 \rightleftharpoons \text{Ca}^{+2} + \text{CO}_3^{2-}$ fiziksel süreci gerçekleşir. Bu durumda yeniden $\text{CO}_3^{2-} + \text{H}^+ \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-$ açığa çıkar. Kayaç su ara yüzeyi boyunca çözeltinin CO_3^{2-} 'ü azalır ve denge bozulur. Bu süreç CO_2 , H_2O ve CaCO_3 arasında yeni denge sağlanıncaya kadar devam eder (Sweeting, 1973; Roques, 1961).

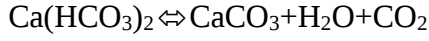


Şekil 3.18: Karbonatlı kayaçların çözünmesi (Roques diyagramı) (Duru, 2006'dan; kaynak: Ford ve Williams, 1989; Ford ve Williams, 2007).

Karstik alanlarda bu tür sular karbonatlı kayaçla temasa geçtiğinde bol miktarda CaCO_3 'ü çözerek bünyesine alır ve kalsiyum bikarbonatça zengin duruma geçer:



Bu sular zayıf zonlar boyunca ilerleyip yüzeye çıktığı zaman basıncın ve sıcaklığın değişmesiyle CO_2 'yi atmosfere bırakır ve KJA'da olduğu gibi ikincil CaCO_3 çökelişi (traverten) meydana gelir:



Böylece yeraltısuyu (YAS) çözünebilen kayaçlardaki boşlukların artmasına neden olur. Yeraltısuyu seviyesi (YASS)'nin azalması su basıncının düşüp etkili basıncın artmasında önemli rol oynar. CO_2 'ce zengin sıvı hareketi karstik boşluk oluşumuna neden olur. YASS'ın azalması iç basıncı azaltarak göreceli biçimde örtü tabakanın uyguladığı basıncın artmasına ve sıkılaşmamış örtünün (overburden) çökmesine yol açar.

KJA çöküntü alanı çöküntü oluşumu için olabilecek en ideal şartları taşımaktadır. Örneğin, KJA ve çevresinde temelde sıcak suyun birincil akiferi olan karstik mermerler, karstik boşluklu traverten (Şekil 3.19); jips, anhidrit ve halit gibi evaporitler ile bunların üzerinde kilce zengin alüvyon bir örtü bulunmaktadır. Ayrıca, CO_2 'ce zengin su traverten üzerindeki sıkılaşmamış birimde 40-50 cm kalınlığındaki organik tabaka yüzünden yağmur suyu karbonik asitle zenginleşmiş ve yer altına sızan organik asitler karbonatlı kayaçların çözünmesini ve karstlaşmayı hızlandırmış (Pasvanoğlu vd. 2012) olabilir. Bu bağlamda, çöküntü alanı ve çevresinde çözünmeyi etkileyen faktörlerin belirlenebilmesi için söz konusu traverten ve turba örneklerinin kayaç kimyası analizleri yapılmıştır. Buna göre, iki adet traverten örneğinde CaO değeri sırasıyla 58,52 ve 49,08 olarak saptanmıştır (Çizelge 3.6). Bu sonuçlar söz konusu kayaçlarda CaO değerinin %50 civarında ve üzerinde olmasının çözünürlüğü ve buna bağlı olarak karstlaşmayı arttırmış (Ford ve Willimas, 2007) olabileceğine işaret eder. Aslında, Tihansky (1999)'nin çöküntü oluşumu için ileri sürdüğü yukarıda sözü edilen şartlar ile Waltham vd. (2005) tarafından yapılmış Kuniansky vd. (2016)'nce değiştirilmiş çöküntü/obruk tipleri, oluşum süreçleri, kaya tipleri ve oluşum hızlarına ilişkin değerlendirmeleri KJA'daki çöküntü alanının düşen çöküntü örtüsü tipine çok uygundur (Çizelge 3.7).



Şekil 3.19: KJA'da termal oteller yakınındaki travertenler (A) ve travertenlerdeki karstik boşluklar (B)



Şekil 3.20: Çöküntü susuz olduğunda açığa çıkan paleokarst yapısı ve karbonat sıvımları.

KJA'daki çöküntü resmî raporlara göre 14.01.2007 tarihinde meydana gelmiş; çapı ~ 40 m çapa ve 10-12 m derinliğe sahip dairesel çöküntüde 7 m derinliğinde sıcak su gözlenmiştir (Akyüz vd. 2007; Pasvanoğlu vd, 2012). Bu sıcak su daha sonra yüzeyden kaybolmuştur (Şekil 3.20). Ancak, çöküntü alanında reenejeksiyon kuyusunun açılmasından ve toplama havuzunun yapımından sonra çöküntüdeki su tekrar açığa çıkmıştır (Şekil 3.21).



Şekil 3.21: Çöküntüde reenejeksiyon kuyusu ve toplama havuzu sonrasında tekrar gözlenen su çıkışları.

Çizelge 3.6: KJA'daki çöküntü alanı ve çevresindeki kayaçların kimyasal analiz sonuçları.

Örnek Adı	Traverten-1	Traverten-2
CaO (%)	58,522	49,08
Na ₂ O (%)	0,258	-
MgO (%)	0,163	0,81
Al ₂ O ₃ (%)	0,277	0,51
SiO ₂ (%)	0,823	1,67
P ₂ O ₅ (%)	0,012	0,03
SO ₃ (%)	-	0,65
K ₂ O (%)	0,038	0,06
MnO (%)	0,031	0,02
Fe ₂ O ₃ (%)	0,286	0,22
Cr ₂ O ₃ (%)	-	-
TiO ₂ (%)	0,003	0,05
Cl (ppm)	66,1	91,2
Ateşte Kayıp	40,5	44,98
Toplam	100,92	98,09

Çizelge 3.7: Waltham vd. (2005) tarafından yapılmış Kuniansky vd. (2016)'nce değiştirilmiş çöküntü/obruk tipleri, oluşum süreçleri, kaya tipleri ve oluşum hızları.

Çöküntü tipi	Oluşum süreci	Ana kaya	Oluşum hızı	Enfazla boyutu	Mühendislik açısından tehlikesi	Kullanılan diğer çöküntü isimleri
Düşen örtü çöküntüsü	Ana kayadaki boşluğa zemin çöküntüsü	Kireçtaşı, dolomit ve jipsin üzerinde kohezyonlu zemin	Aylarca veya yıllarca gelişmiş boşluğa dakikalar içinde	50 m'ye varan çap ve 10 m derinlik	Zeminle kaplı karstik boşluğa aniden düşme	Sübsidans, örtü çöküntüsü, alüvyon

Çökme ve yakın çevresi ile hidrojeolojik ilişki son derece önemlidir. Çökme yeraltı su seviyesi alçalmalarına bağlı olarak ani gelişir ve tehlikeli sonuçlar doğurabilir. KJA'daki çöküntüde volkanizma ile ilgili çözelti ve gaz getirimi çöküntü oluşum süreçlerinden biridir (Canik ve Çörekçioğlu, 1985; Çelik ve Afşin, 1998; Pekkan, 2004).

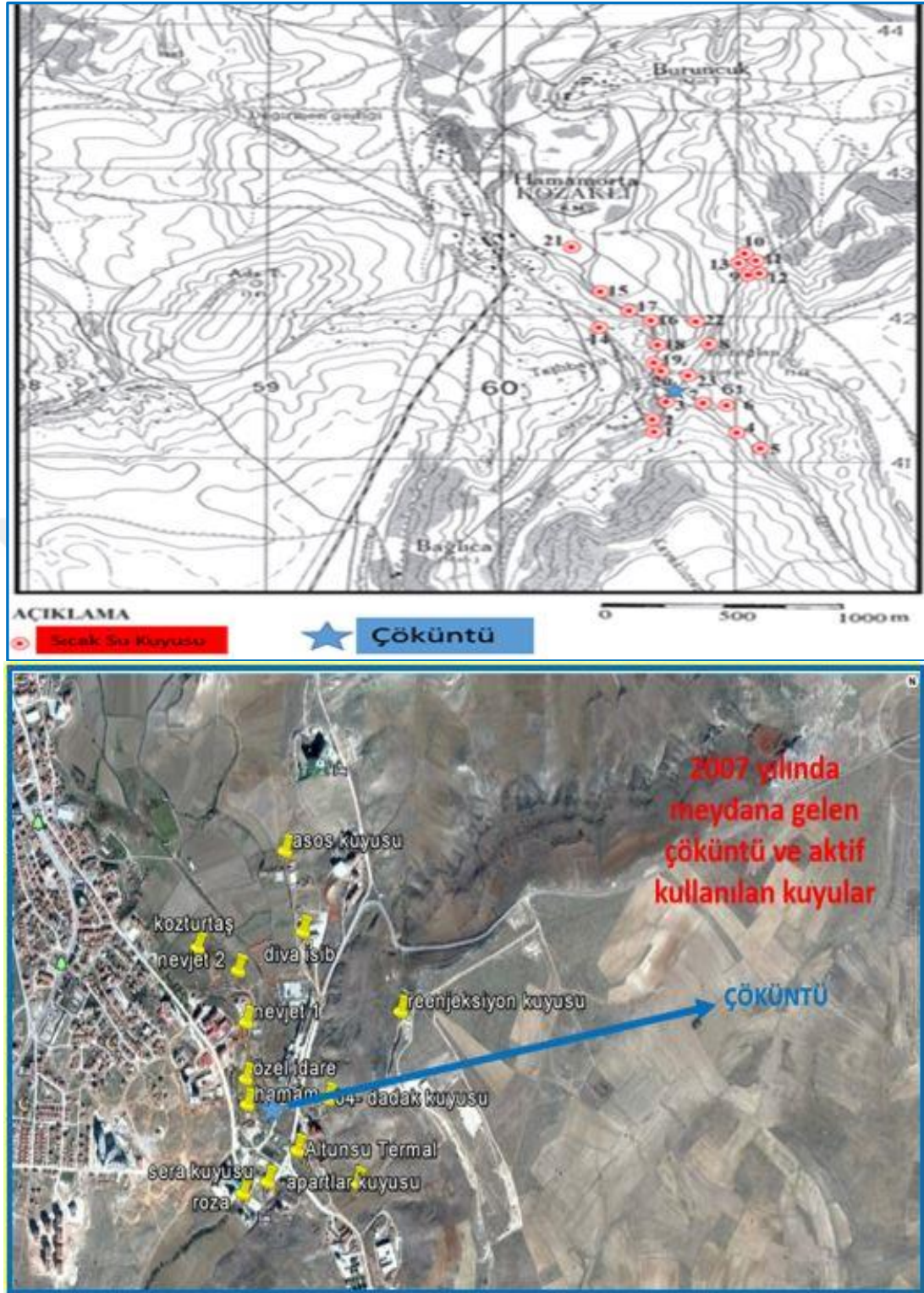
KJA'daki çöküntünün oluşumunda bu alandaki dış ve iç basınçlar da dikkate alınmalıdır. Bu basınçların hesabı için aşağıdaki eşitlik (Bell, 1993, Çelik ve Afşin, 1998, Todd, 1980; Terzaghi, 1943; Afşin ve Kayabalı, 2004) kullanılabilir.

$$P_t = P_e + P_h \quad (2)$$

Burada P_t : Toplam dış basınç, P_e : Etkili basınç, P_h : Hidrostatik basınç/akışkan basıncı olup, basınç birimi: kN/m^2 'dir

Çöküntüdeki toplam dış basıncı atmosfer basıncı, yerçekimi (Afşin ve Kayabalı, 2004), ve kalınlığı 10 m'yi geçen karstik birimin üzerindeki kısmen su içerebilen doymamış kuşağın/örtü yükü oluşturur. Bu toplam dış basıncın bir kısmı alttaki zeminin taneseli basınç (etkili basınç) ve bir kısmı da akışkanın basıncıyla karşılaşır.

KJA'daki çöküntü alanı ve çevresinde daha önce yapılmış soğuk ve sıcak su sağlama amaçlı sondaj kuyularından beslenme-boşalım ilişkisi göz önüne alınmadan su çekilmiştir (Şekil 3.22 ve Çizelge 3.8). KJA'da toplama havuzu yapılmadan önce çekilen su miktarı 275 lt/s ($=23760 \text{ m}^3/\text{gün}=8672400 \text{ m}^3/\text{yıl}$)'dir (Dağıstan vd., 2008). Bu, buharlaşma-terlemenin zaman zaman %90'ları aştığı alanda çok anormal bir değerdir.



Şekil 3.22: KJA’da jeotermal su kuyuları ve çöküntü alanı.

Çizelge 3.8: KJA’da açılan jeotermal sondaj kuyularına ait bilgiler (Kara, 2009).

Kuyu Adı	Tarih	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Debi (lt/s)	Üretim Şekli	Kuyu Kotları, (m)
Vural Termal (1)		83	84,4	5,4	P	1052
Rosa Resort (2)	2002	120	85	11	P	1059
Güneş Termal (3)		70	89			1039
Gündüz Termal (4)	2003	132	94		P	1049
Hacıveli Termal (5)		160	93-96		P	1051
Çiftçiler Termal (6)		127	88		P	1045
Altınsu Termal (7)	1999	110	96	3,5	P	1047
Yapısal Termal (8)	1991	117	93	40	A	1038
Konak Termal (9)		193	93	5	P	1059
Termalya 1 (10)	1998	60	65	2-3	P	1063
Termalya 2 (11)	1998	70	70	3	P	1064
Termalya 3 (12)	2001	80	45	1,5	P	1056
Termalya 4 (13)	2001	195	93	3,5	P	1053
Kozaklı Termal (14)	2005	150	96		P	1055
Terzioğlu Termal (15)	2005	100	94		P	1040
SSK 1 (16)	1992	154	93	95	A	1031
K-1 (17)	1997	205	90	11	K	1027
K-3 (18)	1998	200	93	82	A	1031
Özel İdare 1 (19)	2004	120	93	5	P	1033
Özel İdare 2 (20)	2004	110	92	15	P	1051
Şehir Hamamı 1 (21)		18	65	5	P	1043
Hasan Güneş (22)(Sera)		132	93-95	5	A	1042
Özel İdare 3 (23)	2002	215	96	8-10	P	1042
G-2	1965	101	83	20	A	
G-5	1965	70	85	21	A	
G-6	1965	94	91	18	A	
MTA K4	2008	1493	80	30	K	1090
Üretim Şekli A:Artezyen, K:Kompresör, P:Pompa						

KJA’da çöküntü alanına en yakın ve en güncel bilgilerin elde edilebileceği düşünülen kuyu MTA tarafından 2007 yılında yapımına başlanan ve 2008 yılında tamamlanan toplam 1.493 m’lik MTA-K4 sondajıdır. MTA-K4 kuyusunda ilerleme esnasında çamur sıcaklıkları ölçülmüş olup çamur çıkış sıcaklıklarındaki yerel düşümler yeni yapılan çamurlar ve çamura su/bentonit ilavelerinden kaynaklanmıştır. Kuyuda ilk ölçülen çamur sıcaklığı 6 m’de 24°C, ölçülen en yüksek değer ise 1456m’de 71,6°C’dir (Dağıstan vd. 2008; Kara, 2009).

Kozaklı MTA-K4 sondajda sıcaklık değerleri 210 m’ye kadar normal jeotermal gradyanın üzerinde bir artış, 210 m’den 650 m’ye kadar jeotermal gradyanın altında ısı düşüş ve 650 m’den sonra da normal jeotermal gradyanın üzerinde bir artış izlenmiştir. Ortalama jeotermal gradyan yaklaşık 0,6 °C/10m olarak bulunmuştur (Kara, 2009). Bu kuyuda kompresör ile 32 saat süreyle yapılan üretim deneyinde 270 m’den 30 lt/s debide 80 °C sıcaklıkta akışkan elde edilmiştir. Asıl sıcak su akiferi olan Kırşehir masifine ait birimlerin daha derinlerde bulunduğu, örtü kalınlığının 4.000 m olabileceği (Dağıstan vd. 2008; Kara, 2009) öngörülmüştür.

MTA-K4 kuyusunda muhtemel su bulundurabilecek yüksek hidrolik iletkenliğe sahip kırıklı ve çatlaklı seviyeler (m) (725, 850-854, 871-873, 890-920, 930-940, 971-979, 990-995, 1.25-1.035, 1.057 ve 1.095-1.115) belirlenmiştir. Kuyuda ilerleme esnasında 173,50-181 m'ler arası tam kaçak; 870 m'den itibaren ise kısmî kaçak başlamış; kuyu tabanına kadar belirli seviyelerde kısmî kaçaklı ilerlenmiştir (Çizelge 3.9, Kara, 2009).

Çizelge 3.9: MTA-K4 sondaj kuyusunda çamur kaçak zonları ve kaçak miktarları (TK: Tam kaçak, KK: Kısmî kaçak) (Kara, 2009).

Derinlik (m)	Kaçak Miktarı (m ³)	Derinlik (m)	Kaçak Miktarı (m ³)
173,50	TK	1.298 - 1.300	0,7 (KK)
173,50 - 174,50	18,5 (TK kapatıldı)	1.327 - 1.332	1,5 (KK)
174,50 - 178	27 (TK-kapatıldı)	1.332- 1.338	1 (KK)
178,00 - 181	5 (TK-kapatıldı)	1.340 - 1.350	2,3 (KK)
181	(TK-kapatıldı)	1.353 - 1.358	0,7 (KK)
181,00 - 214	(TK-kapatıldı)	1.378 - 1.382	1,5 (KK)
214- 240	~40 (KK-kapatıldı)	1.400 - 1.410	1,7 (KK)
870 - 872	1,1 (KK)	1.410 - 1.418	3,5 (KK)
992 - 998	1 (KK)	1.424- 1.426	0,45 (KK)
1.004- 1.006	1 (KK)	1.432 - 1.436	5,5 (KK)
1.020 - 1.022	0,7 (KK)	1.438- 1.454	5,6 (KK)
1.038 - 1.042	0,47 (KK)	1.472 - 1.480	2,1 (KK)
1.116 - 1.120	0,5 (KK)	1.493	Kuyu tabanı
1.192 - 1.198	1 (KK)		

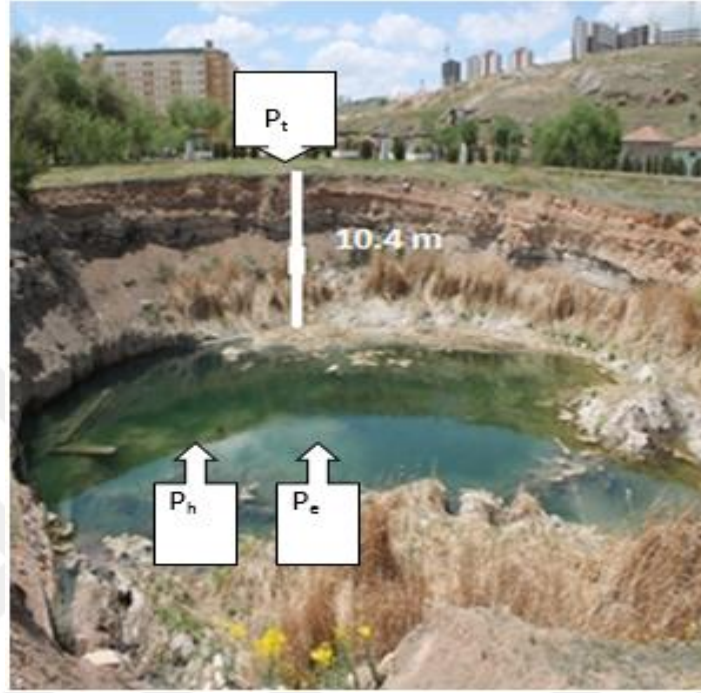
KJA'da 1974 yılında yapılan incelemelerde pek çok sıcak su kaynağının varlığı bilinmekte iken 1992 yılında gerçekleştirilen sondajlardan sonra Kozaklı Belediye Hamamı dışındaki kaynakların tamamen kuruduğu tespit edilmiştir (Pasvanoğlu vd. 2012) (Çizelge 3.10).

Çöküntünün kuzeyinde yer alan Yapısal Termal kuyusunda 1991 yılında 117 m derinlikte 93°C sıcaklık ölçülmüştür. Çöküntü alanı ile Toplama ve Dağıtım Merkezi arasında kalan 140 m derinlikteki Şelale kuyusunda ise 2017 yılının Mart ayında ölçülen sıcaklık 92°C'dir.

Çizelge 3.10: KJA'da yer alan bazı sıcak su kaynakları (Kara, 2009).

Kaynak Adı	Sıcaklık (°C)	Ölçüm Tarihi
1 no'lu kaynak	51	1974
Camız pişiren kaynağı	89	1974
Uyuz hamamı kaynağı	35	1974
Özel idare hamamı kaynağı	45	1974
Kozaklı SSK kaynağı	84	1991
Kozaklı sıcak su kaynağı	93	1992

Çöküntü alanında aşırı su çekimi ile YASS'daki düşüm akışkanın basıncını azaltacak ve toplam yük etkili basınca baskı yapacaktır (Şekil 3.23). Sonuçta toplam basıncın baskın duruma geçmesi ile yüzey altındaki zeminin üzerine daha fazla basınç eklenecek ve yüzey çökecektir.



Şekil 3.23: Çöküntü-basınç ilişkisi

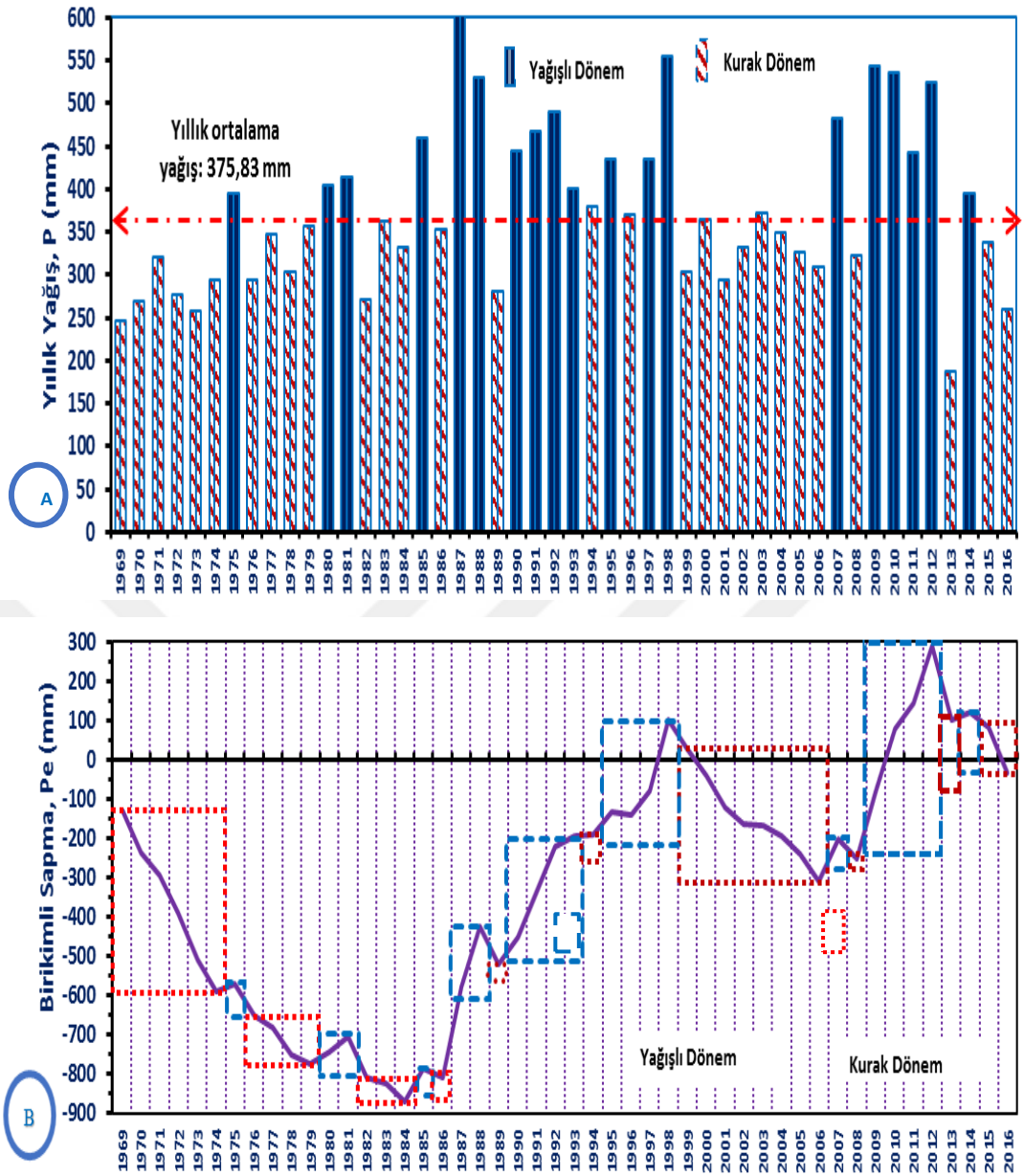
Bu bağlamda, akiferin sıkışabilme katsayısı (α) yaklaşık olarak belirlenebilir. $S_s = \rho_w g (\alpha + n\beta)$, $S_s = S/b$ (Afşin ve Kayabalı, 2004). Burada S_s özgül depolama katsayısı, ρ_w = Akışkanın yoğunluğu (1000 kg/m^3), g = Yerçekimi ivmesi (9.81 m/s^2), β = Suyun sıkışabilme katsayısı ($4.6 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{N}$), n = %22. $S_s = 0.22/10.4 \text{ m} = 0.021 \text{ m}^{-1}$. Bu durumda $\alpha = 2.14 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{N}$ olur. Yaklaşım ile elde edilen bu sonuçta $\alpha > \beta$ olduğu için çöküntüdeki akiferde su akiferin sıkışması sonucu akiferden alınmakta ve/veya akiferi terketmektedir. Bu öngörü, örtü basıncının artması, suyun aşırı çekimi ve karstlaşmaya bağlı olarak çöküntü için düşünülen oluşum modeline uymaktadır.

Koruma -kullanım dengesine uyulmadığını gösteren aşırı yeraltı suyu çekimi taneseli yapıya dereceli olarak basınç aktarımına yol açar. Bu artan yükün taşınması ile tane yapısı yeni basınç şartları altında deforme olabilir. Özellikle, sıkılaşmamış birimlerin gözenekliliğinin azalması yüzeyde sübsidans olarak görünür. Sübsidans yeraltı suyu çekiminden uzun zaman sonra gerçekleşir. Ancak, kum ve/veya çakıllardan oluşmuş akiferlerde konsolidasyon, etkili basınçtaki ani artışlardan etkilenir (Bell, 1993).

3.2.2.2 Havzaya düşen yağışın çöküntü oluşumuna etkisi

KJA'nın yıllık yağış ve birikimli sapma grafikleri hazırlanarak değerlendirmeler yapılmıştır. KJA ve çevresindeki Kozaklı (1969-1989, 2013-2016) ve Nevşehir (1990-2012) yağış istasyonlarına ait uzun yıllar aylık yağış ortalamalarına göre yıllık yağış ve birikimli sapma grafikleri çizilmiş, yıllık ortalama yağış ile kurak ve yağışlı dönemler ayrılmıştır (Şekil 3.24). Buna göre ortalama yıllık yağış 375,833 mm'dir. Birikimli sapma grafiğinde 10 kurak ve 9 yağışlı dönem belirlenmiştir. Kozaklı'daki çöküntünün olduğu 2007 yılı yağışlıyken öncesindeki 2006 ve sonrasındaki 2008 yılı kurak döneme karşılık gelmiştir. Bu veriler, KJA ve çevresinin kurak dönemlerde yıllık yağışların, 2007 yılını da kapsayan yağışlı dönemlerde ise birikimli yağışların etkisinde olduğunu gösterebilir. Deneştirmeli nem bilançolarına göre aylık yağış değeri 2006 yılı Aralık ayında 0 mm, 2007 yılı Ocak ayında ise 25,1 mm'dir. 2006 yılında yıllık toplam yağışın %27,91'i yeraltısuyuna akışa, %98'i gerçek buharlaşma-terleme (Etr)'ye, %133'ü su noksanı; 2007 yılında ise yıllık toplam yağışın %31,22'si yeraltısuyuna akışa, %69'u gerçek buharlaşma-terleme (Etr)'ye, %77'si, su noksanına karşılık gelmiştir. Bu durum 2006 yılında KJA havzasına düşen yağışın neredeyse tümünün buharlaşma-terleme ile atmosfere geri döndüğüne işaret etmektedir. Bu durumda, KJA daki çöküntünün oluşumunda etkili olan karstlaşmanın derin kökenli (deep-sealed) jeotermal akışkanlara bağlı hidrotermal akışkanlarla (hipojenik) gerçekleşmiş olduğu düşünülebilir. Bu bağlamda, Bayarı vd. (2009), yıllık gerçek buharlaşma-terlemenin %100 civarında olduğu KKH'da obruk oluşumunda hipojenik karstlaşmanın etkili olduğunu belirtmişlerdir.

Yeraltısuyunun düşmesinde aşırı pompalama ve kontrolsüz kullanımın ana etken olduğu bilinmekle birlikte, özellikle çöküntünün meydana geldiği 2007 yılı öncesinde KJA yıllık yağış miktarlarının da ortalamanın altında olduğu gerçeği unutulmamalıdır. 2007 yılından önceki 8 yılda da yıllık yağış miktarları ortalamanın altında kalmıştır. Nevşehir ve Kozaklı ile ilgili yağış verileri Çizelge 3.11, 3.12, 3.13, 3.14 ve 3.15 ve Şekil 3.25, 3.26, 3.27 ve 3.28'te verilmektedir.



Şekil 3.24: Kozaklı (1969-1989, 2013-2016) ve Nevşehir (1990-2012) yağış istasyonlarının uzun yıllara ait aylık yağış ortalamalarına göre yıllık yağış (A) ve birikimli sapma (B) grafikleri (www. mgm.gov.tr, 2017).

Çizelge 3.11: Kozaklı ve Nevşehir'in uzun yıllara ait aylık yağış, ortalama yıllık yağıştan sapma ve birikimli sapma değerleri (K: Kozaklı; N: Nevşehir) (mgm.gov.tr, 2017).

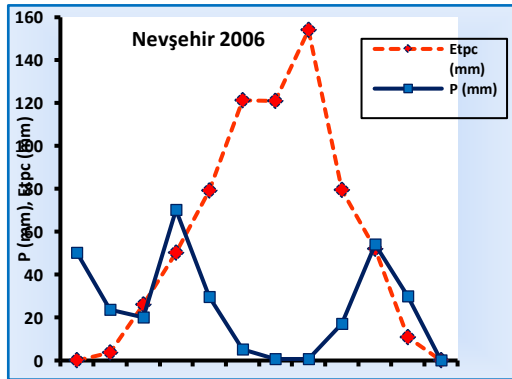
Yağış (mm) Yıl/Ay	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	Toplam	Ort Yıllık P'den sapma (Ps (mm)	Birikimli sapma, Pe (mm)
1969-K	51,8	50,7	21,2	52	17,4	8	3		11,3	20,5	10		245,9	-129,93	-129,93
1970-K	27,7	39,5	22,5	8,5	13,5	9,3	0		9,8	44,6	26,3	66,9	268,6	-107,23	-237,16
1971-K	15,50	20,10	25,70	79,90	28,10	35,00	2,50	12,00	17,00	12,20	23,80	49,20	321,00	-54,83	-291,99
1972-K	22,7	60,9	3,6	54	36,2	28,4	12	11,5	2	24,9	12	8,2	276,4	-99,43	-391,42
1973-K	11,7	10,5	34	54,2	55,5	16	14,7	2,5	5	2,5	21,6	30,4	258,6	-117,23	-508,65
1974-K	35,5	18,5	33	45,5	32,5	6	11	7,2	12	17	8,7	67,5	294,4	-81,43	-590,08
1975-K	17,5	25,7	27,5	102,8	55,8	71,5		8,5	28	5	12,5	41	395,8	19,97	-570,11
1976-K	50	29	21,2	33	32	10,7	0	10,5	9,5	42,3	23,3	33	294,5	-81,33	-651,44
1977-K	26,1	19,3	48,6	86	46,9	9,2	2		6,1	52,4	16,2	34,1	346,9	-28,93	-680,37
1978-K	82,6	24,7	34,3	59,9	12,5	3,2	2	0	15,5	30	1,5	37,5	303,7	-72,13	-752,5
1979-K	51,5	29,6	40,2	36,1	16,8	67,6	10	0	14,8	25,5	46	18	356,1	-19,73	-772,23
1980-K	57,9	33,8	56,8	34,9	90,8	8,8		3,5	10,2	22,6	49,9	35	404,2	28,37	-743,86
1981-K	40,7	16,5	40,5	40,6	60,7	51	13,9		11	20	32,8	86	413,7	37,87	-705,99
1982-K	35,7	14,5	17,2	41,9	24	50,3	15,5	7,8	1,2	12,9	6,9	43,4	271,3	-104,53	-810,52
1983-K	16	42,2	26,9	25,6	39,5	16,3	8	3	5,5	68,5	72,1	38,5	362,1	-13,73	-824,25
1984-K	53,1	12	32,3	78,3	41,7	24,1	4,7	4,5		0	18,6	62	331,3	-44,53	-868,78
1985-K	31,9	48,6	43,2	59,1	64,7	2,7	26,2	6,5		84,9	63,5	29	460,3	84,47	-784,31
1986-K	57,4	23,3	13,6	23,2	89,7	53,5			10,9	2	47,3	32,4	353,3	-22,53	-806,84
1987-K	69,4	31,1	54,4	40,2	49,9	48,9	37,7	1		89,7	80,4	100,4	603,1	227,27	-579,57
1988-K	17,4	72,7	66,2	16,5	85,7	85	22,6		6,6	58,9	70,9	28,3	530,8	154,97	-424,6
1989-K	19,3	2,2	26,9	31,8	49,3	0				21,9	98	31,3	280,7	-95,13	-519,73
1990-N	39,4	33,4	25,4	38,2	141,9	29,5	8,4		24,2	11	29,6	63,4	444,4	68,57	-451,16
1991-N	34	61,2	23,8	63,2	64,3	11,1	8,6		9,1	89,7	49,5	52,4	466,9	91,07	-335,79
1992-N	32,1	76,7	21,4	36,2	51,3	51,2	15	5,2	12,8	20,8	75,6	92,9	491,2	115,37	-220,42
1993-N	34,6	19,5	46,1	47,3	103,8	48,9	0,7	7,6		5,2	48,8	38,4	400,9	25,07	-195,35
1994-N	36,6	49	72,7	40,4	28,3	1,1	0,5		0,4	28,8	54,1	67,6	379,5	3,67	-191,68
1995-N	23,6	6,6	67,7	79,6	62,1	60,4	16,7	10,9	8,6	33,8	53,3	11,1	434,4	58,57	-133,11
1996-N	22,2	45,9	82,9	47,9	29,1	6	0,4	3,4	25,9	29,9	3,3	73,5	370,4	-5,43	-138,54
1997-N	49,7	40,9	35,4	47,6	32,1	30,4	0,6	23,3	38	35,1	8,6	93,1	434,8	58,97	-79,57
1998-N	42,3	59,7	56,1	50,8	148,8	45,1	3,2		1,3	44,9	19,5	83,8	555,5	179,67	100,1
1999-N	11,9	43,8	63,5	46,7	14,1	39,2	17,8	15,4	1,5	28,1	11,1	10,7	303,8	-72,03	28,07
2000-N	78,6	59	41,7	40,9	111	45,8		0,5	1,9	20,8	0,5	42,2	364,3	-11,53	-39,6
2001-N	1,8	36,4	21,2	22,2	103,4	0,6	6,1	0,7	8,7	9,6	29,3	53,8	293,8	-82,03	-121,63
2002-N	41,9	15,6	16,8	84	27,1	7,3	21,5	18,9	23,8	13,6	20,6	41,7	332,8	-43,03	-164,66
2003-N	14,9	63	50,5	41,7	63,8	6,7			22	44,7	35,8	29,8	372,9	-2,93	-167,59
2004-N	37,9	32,4	26,5	57,9	28,1	27,4	15	1,9		7,5	81,5	34,2	350,3	-25,53	-193,12
2005-N	43,1	39,1	51,1	41	29,5	7	0,5	7	30,8	29,9	29,8	18,4	327,2	-48,63	-241,75
2006-N	50,4	23,6	20,2	70,2	29,6	5,2	0,7	0,8	17,1	54,2	29,9	8,3	310,2	-65,63	-307,38
2007-N	25,1	47,9	52,4	73,5	89,4	46,2	0,4	14,2	3,1	18,3	60,2	52,4	483,1	107,27	-200,11
2008-N	35,3	30,5	27	22	46,1	15,2		1,1	31,2	41,7	25,9	47,5	323,5	-52,33	-252,44
2009-N	49,8	76,5	83,8	51,6	63,3	25,7	52,7		12,3	3,7	79	45,9	544,3	168,47	-83,97
2010-N	86,5	43,8	41,1	76,1	11,1	75,4	4,1	0,1	3,6	122,3	5,2	67,6	536,9	161,07	77,1
2011-N	67,1	55,6	26,5	56,8	85,1	58,3	6,2		4,1	15,1	16,5	50,5	441,8	65,97	143,07
2012-N	47,3	56,6	59,1	14,7	117,4	47,2	2,8	16,5	6,1	21,6	56	78,6	523,9	148,07	291,14
2013-K	23,5	0,3	0	52,2	12,3	6,5	0,6	0,1	19	33,9	28,4	10,5	187,3	-188,53	102,61
2014-K	26,4	3,7	52,3	14,9	34,2	60,1	24,6	20	52,6	26,8	50,8	28,3	394,7	18,87	121,48
2015-K	22,8	21,4	90,2	25,2	51,6	39,8	10,6	41,2	3,7	17,5	7,5	6,3	337,8	-38,03	83,45
2016-K	53,8	15	34,8	14,8	64,5	22,5	0	0	3,9	0,1	10,8	40,5	260,7	-115,13	-31,68
													Toplam: 18040	P ort	375,83

Çizelge 3.12: Nevşehir ilinin denestirmeli nem bilançosu (2006 yılı) (Yeraltısuyuna akış= %27,91 P, Etr=%98 P) (mgm.gov.tr, 2017) Aylık ortalama sıcaklık (AOS), Sıcaklık İndisi (i) Potansiyel Buharlaşma- Terleme (Etp), Enlem Düz. Katsayısı (EDK), Düzeltilmiş potansiyel buharlaşma-terleme (Etpc) , Yağış (P), Faydalı Su Yedeği (FSY), Gerçek buharlaşma-Terleme Etr (mm), Su Fazlası (SF), *Su Noksanı* (SN, Yeraltısuyuna Akış (YASA), Yağış (P)-Yeraltısuyuna Akış (YASA)

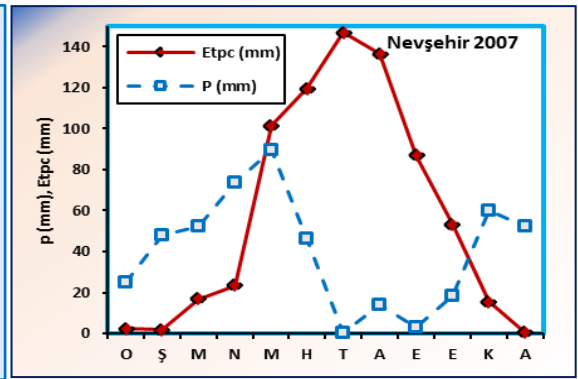
Aylar	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	Toplam
AOS (°C)	-2	1,9	7,3	11,5	14,9	20,6	20,3	25,9	17,1	12,9	4,4	-0,5	
i	0	0,231	1,77	3,52	5,22	8,53	8,34	12,06	6,43	4,19	0,82	0	51,11
Etp (mm)	0	4,44	25,37	45,67	63,86	97,09	95,27	130,57	76,31	52,99	13,18	0	
EDK (39°)	0,85	0,84	1,03	1,1	1,24	1,25	1,27	1,18	1,04	0,96	0,83	0,81	
Etpc (mm)	0	3,73	26,13	50,24	79,18	121,37	120,99	154,07	79,36	52,09	10,94	0	
P (mm)	50,4	23,6	20,2	70,2	29,6	5,2	0,7	0,8	17,1	54,2	29,9	0	301,9
FSY (mm)	100	100	94,07	100	50,42	0	0	0	0	2,11	21,07	21,07	
Etr (mm)	0	3,73	26,13	50,24	79,18	55,62	0,7	0,8	17,1	52,09	10,94	0	296,53
SF (mm)	50,4	19,87	0	14,03	0	0	0	0	0	0	0	0	84,3
SN (mm)	0	0	0	0	0	65,75	120,29	153,27	62,26	0	0	0	401,57
YASA (mm)	25,2	22,535	11,27	12,65	6,325	3,16	1,58	0,79	0,395	0,197	0,09	0,049	84,251
P-YASA (mm)	25,2	1,065	8,93	57,55	23,275	2,04	-0,88	0,01	16,705	54	29,80	-0,049	217,64

Çizelge 3.13: Nevşehir ilinin denestirmeli nem bilançosu (2007 yılı) (Yeraltısuyuna akış= %31,22 P, Etr=%68,78 P) (mgm.gov.tr, 2017) (kısaltmalar Çizelge 3.12'deki gibidir.)

Aylar	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	Toplam
AOS (°C)	1,40	1,2	5,3	6,5	18,1	20,4	23,6	23,6	18,4	13,5	5,9	0,4	
i	0,145	0,115	1,092	1,488	7,01	8,4	10,47	10,47	7,189	4,499	1,285	0,0218	52,184
Etp (mm)	2,85	2,32	16,32	21,338	81,7	95,577	115,695	115,695	83,48	55,628	18,79	0,551	
EDK (39°)	0,85	0,84	1,03	1,1	1,24	1,25	1,27	1,18	1,04	0,96	0,83	0,81	
Etpc (mm)	2,42	1,95	16,8	23,47	101,31	119,47	146,93	136,52	86,82	53,4	15,595	0,446	705,131
P (mm)	25,1	47,9	52,4	73,5	89,4	46,2	0,4	14,2	3,1	18,3	60,2	52,4	483,1
FSY (mm)	100	100	100	100	88,09	14,82	0	0	0	0	44,6	67,55	
Etr (mm)	2,42	1,95	16,8	23,47	101,31	119,47	15,22	14,2	3,1	18,3	15,59	0,45	332,28
SF (mm)	22,68	45,95	35,6	50,03	0	0	0	0	0	0	0	0	154,26
SN (mm)	0	0	0	0	0	0	131,71	122,32	83,72	35,1	0	0	372,85
YASA (mm)	11,34	28,64	32,12	41,07	20,53	10,26	5,13	2,56	1,28	0,64	0,32	0,16	154,05
P-YASA (mm)	13,76	19,255	20,28	32,43	68,87	35,93	-4,73	11,64	1,82	17,66	59,88	52,24	329,035



Şekil 3.25: Nevşehir ilinin 2006 yılı P ve Etpc yıllık değişim grafiği.



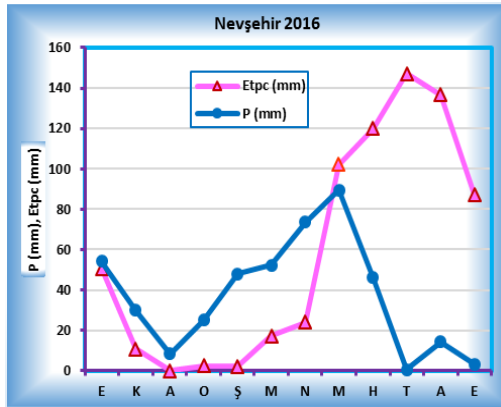
Şekil 3.26: Nevşehir ilinin 2007 yılı P ve Etpc yıllık değişim grafiği.

Çizelge 3.2.2.2.4: Nevşehir ilinin denetirmeli nem bilançosu (2006 -2007 su yılı)
(Etr=%81.56 P) (mgm.gov.tr, 2017)) (kısaltmalar Çizelge 3.12'deki gibidir.)

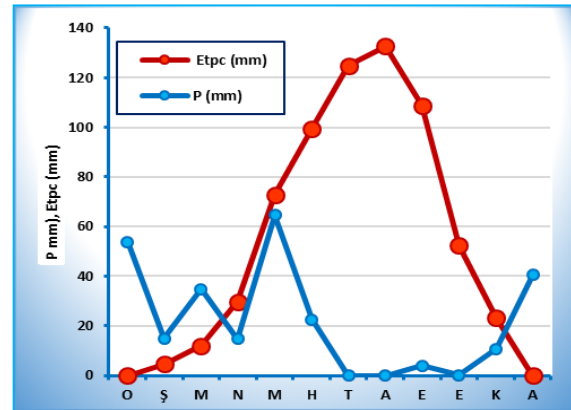
Aylar	2006 E	2006 K	2006 A	2007 O	2007 Ş	2007 M	2007 N	2007 M	2007 H	2007 T	2007 A	2007 E
AOS (°C)	12,9	4,4	-0,5	1,4	1,2	5,3	6,5	18,1	20,4	23,6	23,6	18,4
I	4,199	0,824	0	0,145	0,115	1,09	1,487	7,01	8,4	10,47	10,47	7,18
Etp (mm)	52,886	13,077	0	2,95	2,418	16,65	21,71	82,11	95,91	115,9	115,9	83,88
EDK (39°)	0,96	0,83	0,81	0,85	0,84	1,03	1,1	1,24	1,25	1,27	1,18	1,04
Etpc (mm)	50,77	10,85	0	2,5	2,031	17,149	23,88	101,81	119,88	147,19	136,76	87,23
P (mm)	54,2	29,9	8,3	25,1	47,9	52,4	73,5	89,4	46,2	0,4	14,2	3,1
FSY (mm)	3,43	22,48	22,48	45,08	90,949	100	100	87,59	13,91	0	0	0
Etr (mm)	50,77	13,077	0	2,5	2,031	17,149	23,88	101,81	119,88	14,31	14,2	3,1
SF (mm)	0	0	0	0	0	26,2	49,62	0	0	0	0	
SN (mm)	0	0	0	0	0	0		0	0	132,88	122,56	84,13

Çizelge 3.15: Kozaklı'nın denetirmeli nem bilançosu (2016 yılı) (Etr=%81.56 P)
(Etr=%91P) (mgm.gov.tr, 2017)) (kısaltmalar Çizelge 3.12'deki gibidir.)

Aylar	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	Toplam
AOS (°C)	-0,2	2	3,7	7,3	13,7	17,5	20,7	23,1	21,8	12,9	7,5	-1,9	128,1
I	0	0,249	0,633	1,773	4,59	6,66	8,59	10,14	9,29	4,19	1,84	0	47,955
Etp (mm)	0	5,4	11,599	26,94	58,8	79,66	98,1	112,399	104,609	54,577	27,858	0	
EDK (39°)	0,85	0,84	1,03	1,1	1,24	1,25	1,27	1,18	1,04	0,96	0,83	0,81	
Etpc (mm)	0	4,536	11,946	29,63	72,912	99,575	124,87	132,63	108,79	52,39	23,12	0	
P (mm)	53,8	15	34,8	14,8	64,5	22,5	0	0	3,9	0,1	10,8	40,5	256,839
FSY (mm)	100	100	100	85,17	76,758	0	0	0	0	0	0	40,5	
Etr (mm)	0	4,536	11,946	29,63	72,912	99,258	0		3,9	0,1	10,8	0	233,082
SF (mm)	53,8	10,464	22,854	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SN (mm)	0	0	0	0	0	0,317	124,87	132,63	104,89	52,29	12,32	0	
YASA (mm)	26,9	19,029	20,94	10,47	5,235	2,6175	1,3	0,65	0,325	0,1625	0,08125	0,0406	
P-YASA (mm)	26,9	-4,029	13,86	4,33	59,265	19,8825	-1,3	-0,65	-0,325	-0,0625	0,718	40,459	



Şekil 3.27: Nevşehir ilinin 2006-2007 yılı P ve Etpc yıllık değişim grafiği.



Şekil 3.28: Kozaklı'nın 2006 yılı P ve Etpc yıllık değişim grafiği.

3.2.2.3 KJA ve çevresindeki suların hidrojeokimyasal ve izotopik özelliklerinin çöküntü oluşumuna etkisi

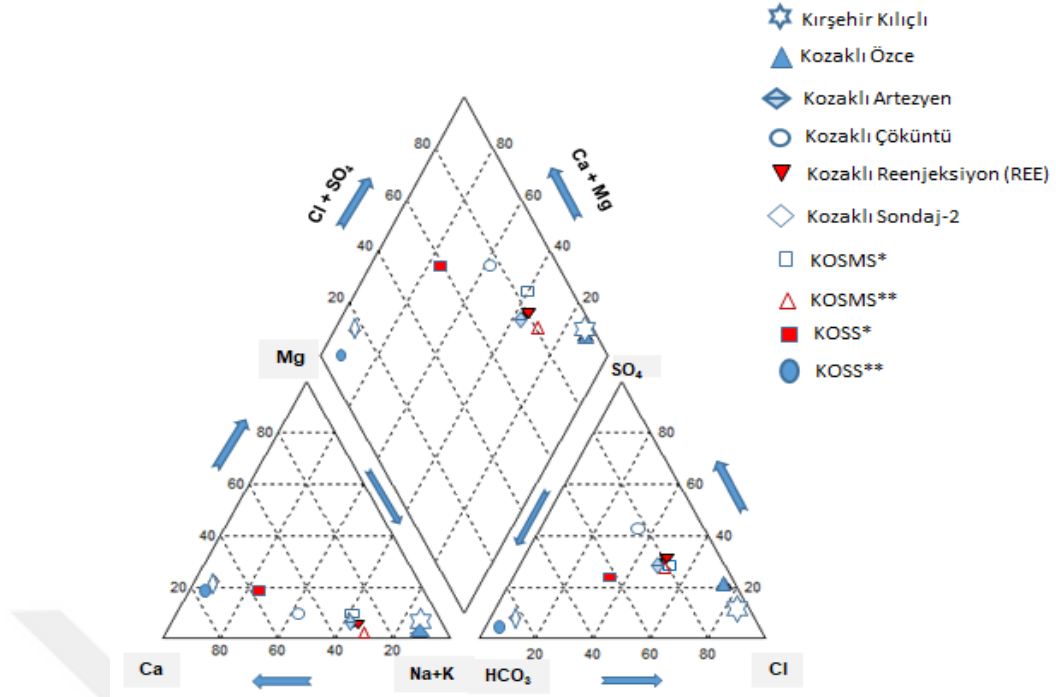
3.2.2.3.1 Suların hidrojeokimyasal özellikleri

Çöküntü alanı ve çevresinde 2017 yılı içerisinde incelemeler yapılmış olup, 31 Mayıs 2017 tarihinde reenjeksiyon kuyusundan, çöküntü alanından, artezyen kuyudan ve Sondaj-2'den olmak üzere toplam 4 adet su örneği alınmıştır. 2005, 2016 ve 2017 yıllarında alınan su örneklerinin analiz sonuçları birlikte değerlendirilmiştir (Çizelge 3.16). Yarılogaritmik Schoeller ve Piper diyagramlarından yararlanılarak suların kökenleri belirlenmiştir.

Çöküntü suyunun iyon dizilimi $Ca^{+2} > Na^{+} > Mg^{+2} > K^{+}$ ve $SO_4^{-2} > Cl^{-} > HCO_3^{-}$ iken su türü Ca-Na-SO₄-Cl-HCO₃'tür. Reenjeksiyon kuyusu, Çöküntü ve Artezyen kuyudan alınan sular benzer, Sondaj-2'den alınan su ise farklı özelliktedir. Reenjeksiyon suyu Na-Ca-Cl-SO₄, Kozaklı Artezyen suyu Na-Ca-Cl-SO₄-HCO₃, Kozaklı Sondaj-2 suyu Ca-Mg-HCO₃ ve Çöküntü suyu Ca-Na-SO₄-Cl-HCO₃ su tiplidir. Reenjeksiyon ve Artezyen kuyu suyu Na ile Cl tiplidir (Şekil 3.29). Kırşehir Kılıçlı ve Kozaklı Özce'den alınan sular ise Na ve Cl'ce zengindir.

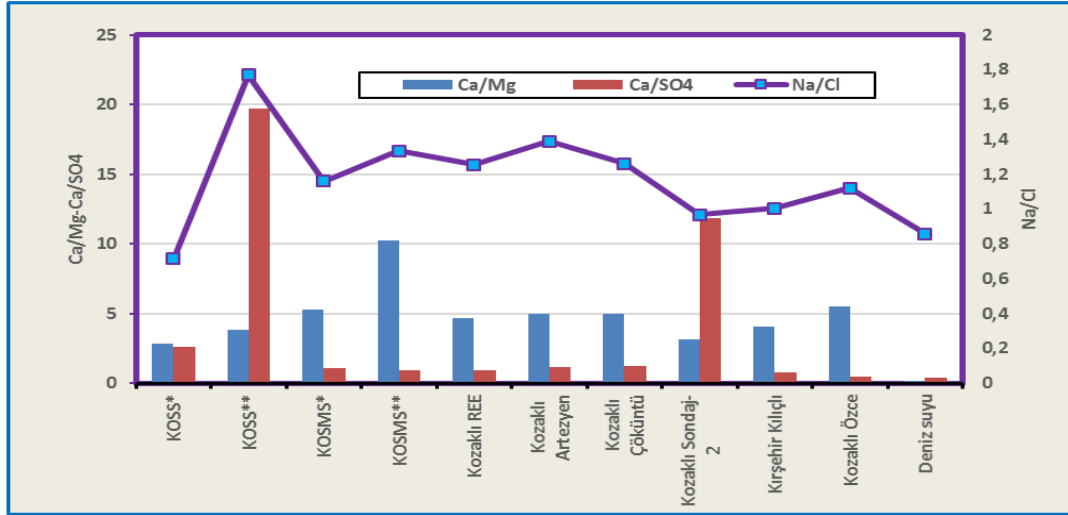
Çizelge 3.16: KJA ve çevresindeki suların fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları
(iyon değerleri meq/L'dir.)

	T (°C)	Debi (lt/s)	pH	EC (mikro S/cm)	Sertlik (FS)	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	HCO ₃
1. Kozaklı REE ^a	60		7,1	3385	57,23	9,431	2,016	19,617	0,522	15,655	9,786	6,032
2. Kozaklı Artezyen ^a	82,5		6,60	2600	67	11,178	2,238	22,097	0,542	15,908	9,723	7,081
3. Kozaklı Çöküntü ^a	25,3			2821	90,82	15,12	3,044	12,614	0,361	10,013	12,555	6,884
4. Kozaklı Sondaj-2 ^a					22,60	3,433	1,086	0,3	0,026	0,31	0,289	3,016
5. Kırşehir Kılıçlı ^b	87,2 (92) (as)	92 (87,2) (as)	6,9	18580	130	20,9	5,16	188	1,76	187	27,4	6,74
6. Kozaklı Özce ^b	86,9 94 (as)	94 (86,9) (as)	7,3	14200	53,2	16,1	2,92	145	2,22	129	35,6	6,65
7. KOSMS ^{*c}	20		7,23	300	62,15	10,43	2	19,02	0,52	16,38	9,41	4,72
8. KOSMS ^{**d}	12,8		7,25	431	51,53	8,55	1,75	20,51	0,556	15,35	8,87	5,98
9. KOSS ^{*c}	86		6,61	3100	66,25	9,78	3,47	3,83	0,12	5,36	3,78	6,53
10. KOSS ^{**d}	81,7		6,22	3010	20,22	3,199	0,845	0,307	0,033	0,112	0,162	2,67
[Kozaklı REE: Kozaklı Reenjeksiyon Kuyusu; Kozaklı Artezyen: Kozaklı Artezyen(Jeotermal) kuyusu; Kozaklı Çöküntü: Kozaklı Çöküntü suyu; Kozaklı Sondaj-2: Soğuk su kuyusu; Kırşehir Kılıçlı: Jeotermal kuyu; Kozaklı Özce: Jeotermal kuyu; KOSS: Kozaklı soğuk su kuyusu; KOSMS: Kozaklı jeotermal kuyu. Örneklem tarihleri: ^a : 31.05.2017 (bu çalışma); ^b : 26.11.2016 (Durdu vd., 2016; Karaca vd., 2017); ^{*c} : 18-21.05.2005; ^{**d} : 18-21.11. 2005 Afşin vd., 2007); T (°C): Sıcaklık; EC: Elektriksel iletkenlik; TS: Toplam Fransız sertliği] ; as:asitleme sonrası.												



Şekil 3.29: KJA ve çevresindeki suların Piper diyagramı

Kasım 2005 yılına ait Kozaklı soğuk su örneği ile Kozaklı Sondaj-2 örneğinin Ca/SO_4 oranları yüksektir. Ayrıca Kasım 2005 yılına ait Kozaklı sıcak su örneğinin de Ca/Mg oranı yüksektir. Bunların dışında kalan su örnekleri birbirleriyle benzer değerlere sahiptir. Na/Cl oranı birbirine en uzak örnekler ise 2005 yılı Mayıs ve Kasım aylarında alınan Kozaklı soğuk sularıdır. Bu farklılıklar meteorik yağışlardan kaynaklanabilir. Söz konusu sulardaki yüksek Na^+ değerleri, kaynak alanlarındaki granit ve kumtaşlarıyla; yüksek SO_4^{2-} değerleri, jips ve anhidritlerle gerçekleşen uzun süreli ilişkilere bağlanabilir. Ayrıca, sıcak ve mineralli sulardaki bu bileşenler eski havzalara ait formasyon sularının yanı sıra Na/Cl oranı 1/1 olan sularda halitin çözünmesi sonucu da türemiş olabilir. Kozaklı çöküntü suyunda Ca/Mg oranı (4,967), Ca/SO_4 oranı (1,204) ve Na/Cl oranı (1,26) olarak belirlenmiştir.

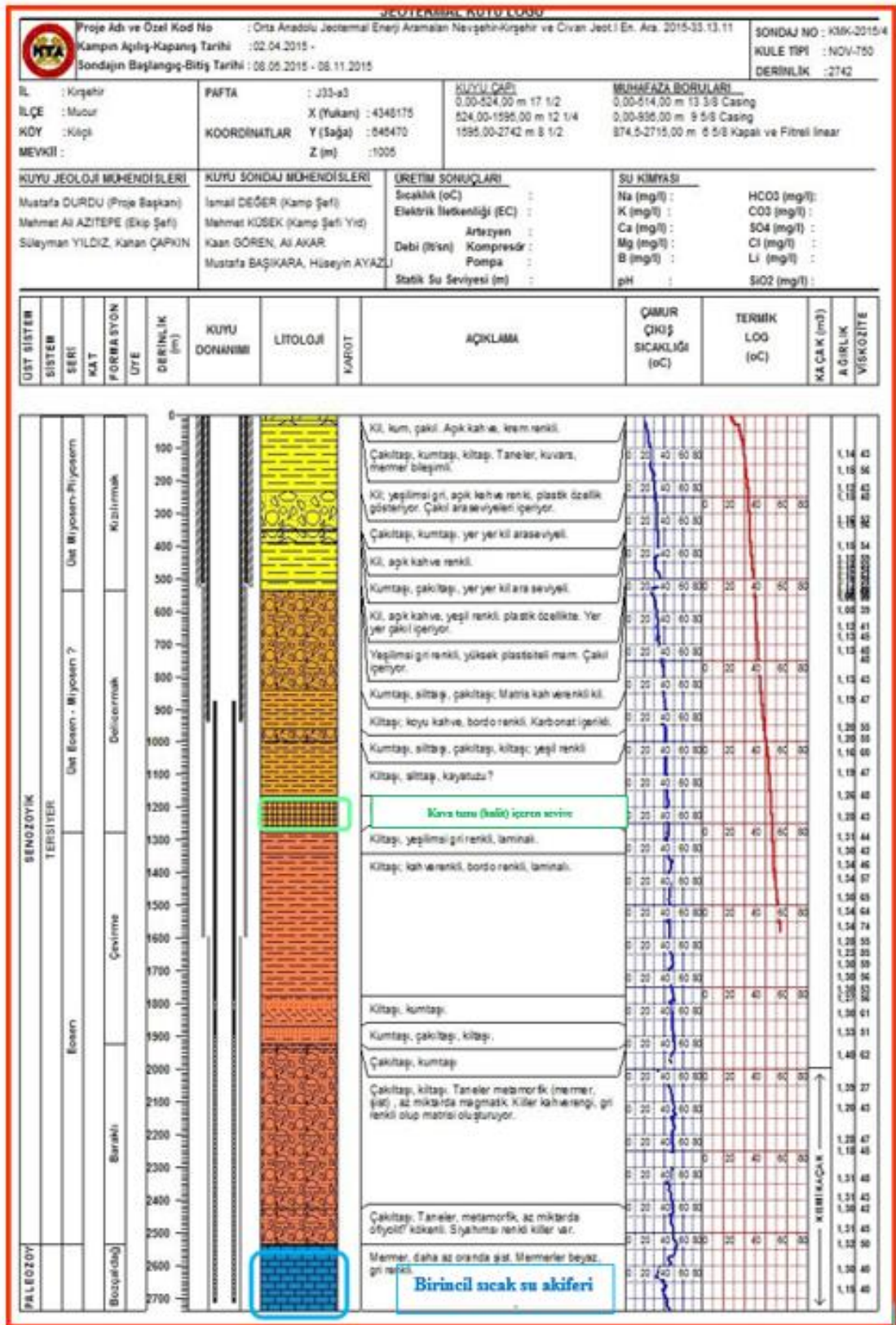


Şekil 3.30: KJA ve çevresindeki sulardeki bazı iyon oranlarının değişimi.

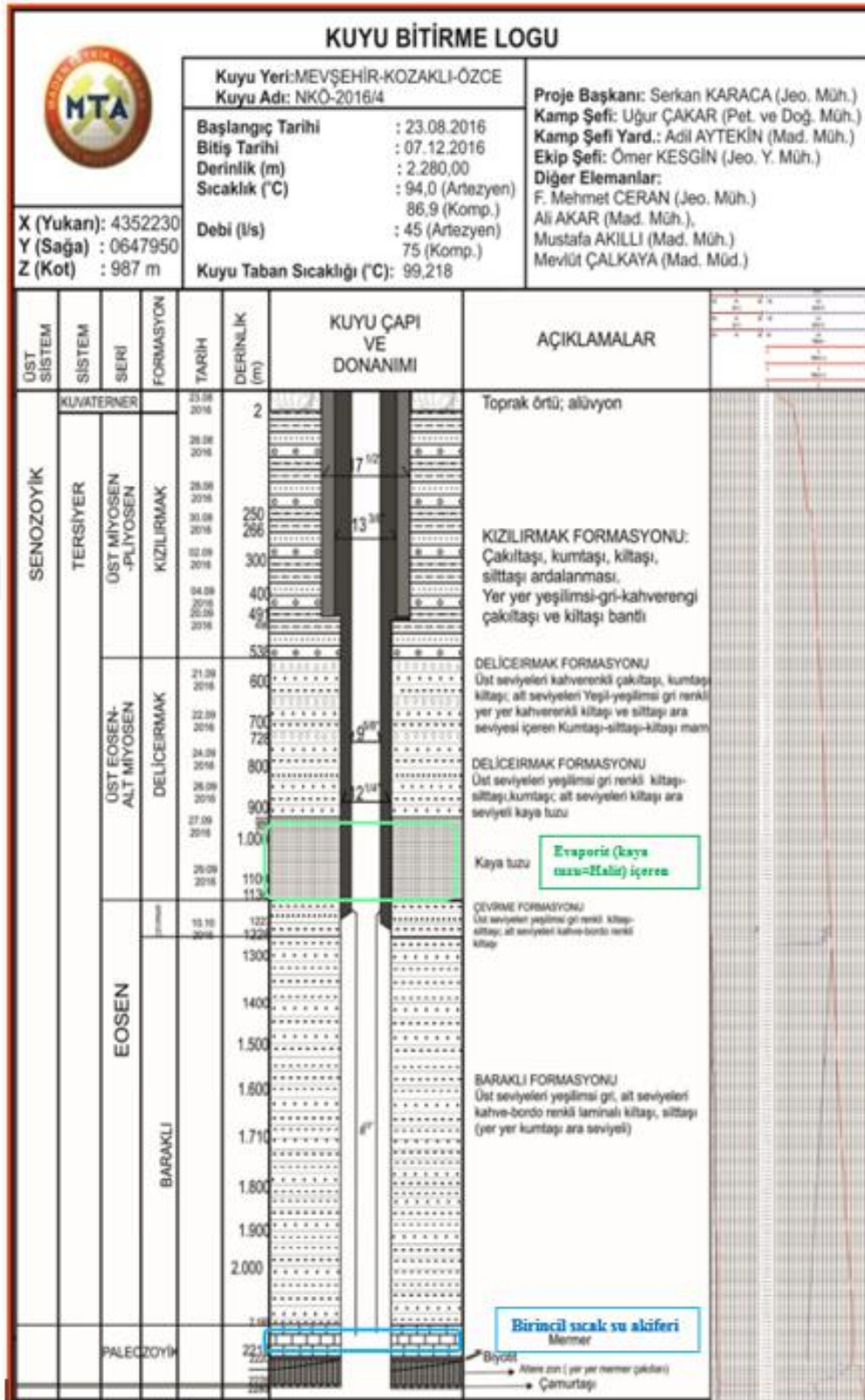
Karstlaşma ve çöküntü oluşumunda suların doygunluk indisi değerlerinin ve karışım korozyonunun rolü önemlidir. Bu açıdan, KJA'daki incelenen suların doygunluk indisleri hesaplanmıştır (Çizelge 3.17). Buna göre, KJA'dan alınan sular aragonit, dolomit ve kalsite doygunudur. Reenjeksiyon kuyu suyu ayrıca barite de doygunudur. Suların tamamı anhidrit, jips ve halit gibi mineralleri çözebilir niteliktedir.

Kireçtaşları ve dolomit (daha çok) az asidik suda çözünebilir. Su kalsit ve dolomite doygun olmadığında genellikle kalsit doygunluğu %99'un üzerine çıkana kadar mineral çözmeye devam eder (Plummer vd. 1978; Pakmer, 1984). Çözünme miktarı %65 ile %90 arasına kadar doğrusal özellik gösterirken, bu noktadan sonra önemli ölçüde düşer (Afşin ve Kayabalı, 2004).

Çöküntü suyunun doygunluk derecesi en yüksek değeri 1,28 ile dolomittir. Bu değeri 0,88 ile kalsit ve 0,76 ile aragonit takip etmektedir. Üstelik çöküntünün içinde travertenlerin üzerinde yer alan organik maddece zengin turba benzeri birim karbonatlı kayalarda çözünürlüğü tetikleyen bir başka faktördür. Bu bağlamda, Özce ve Kılıçlı gibi bazı sondajlarda Oligomiyosen yaşlı evaporitler kesilmiştir (Durdu vd.,2016; Karaca vd., 2017) (Şekil 3.31 ve 3.32). Bu evaporitler CO₂'ce zengin ve kısmen H₂S gazı da içeren jeotermal sularla yeraltı akış yolu boyunca temas ettiğinde en kolay çözünen birimlerdir.



Şekil 3.31: Kılıçlı (Kırşehir – Mucur) jeotermal kuyu logu (Durdu vd., 2016).

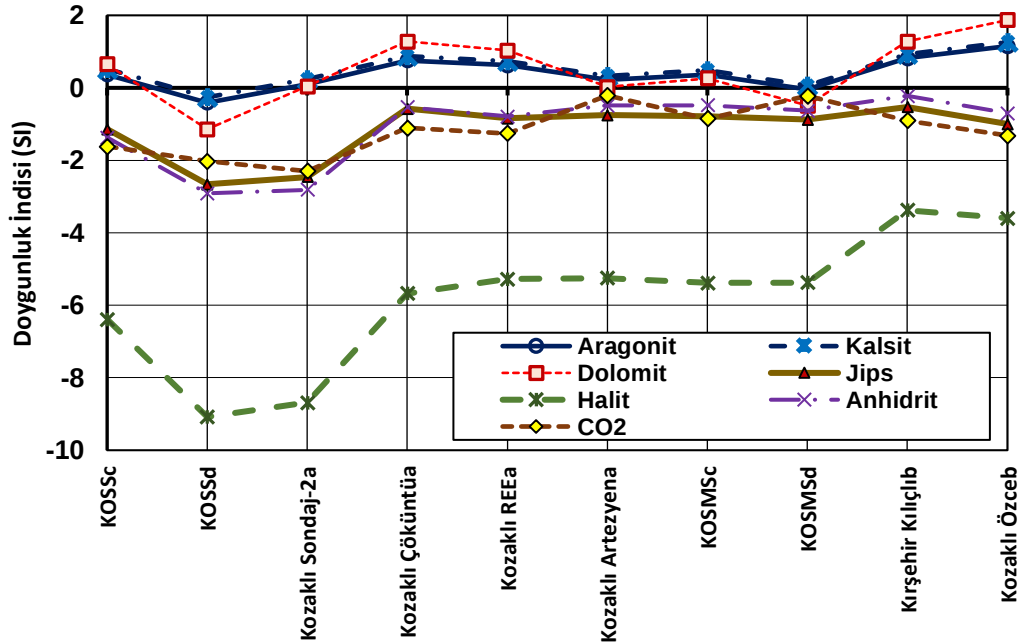


Şekil 3.32: Özce (Nevşehir – Kozaklı) jeotermal kuyu logu (Karaca vd., 2017).

Jeotermal sular genelde kalsit, aragonit ve dolomite doymun olup, bunları çökeltebilme; jips, anhidrit ve halite doymun olmayıp, bunları çözebilme özelliklerine sahiptir (Çizelge 3.17 ve Şekil 3.33).

Çizelge 3.17: KJA ve çevresinde incelenen suların doymunluk indisi değeri ve bazı iyon oranları (meq/L/meq/L).*[(kısaltmalar Çizelge 3.16'deki gibidir. Ö.y: Ölçüm yapılmadı)* (Örnekleme tarihleri:^a. 31.05.2017 (bu çalışma); ^b: 26.11.2016 (Durdu vd., 2016, Karaca vd., 2017); ^c: 18-21.05.2005; ^d: 18-21.11. 2005 Afşin vd., 2007)].

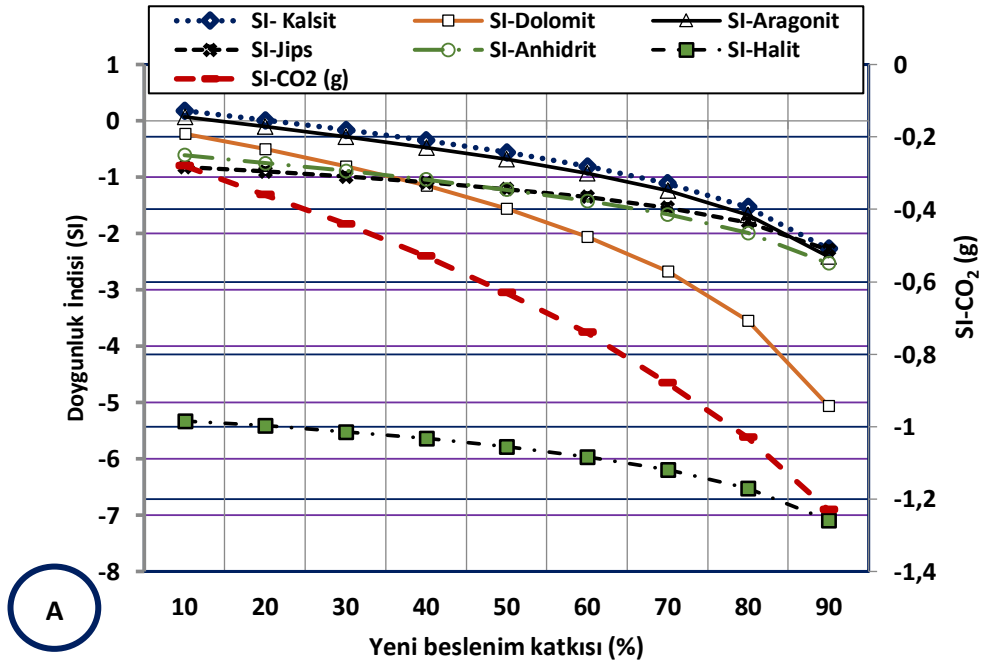
Örnek adı	KOSS ^c	KOSS ^d	Kozaklı Sondaj-2 ^a	Kozaklı Çöküntü ^a	Kozaklı REE ^a	Kozaklı Artezyen ^a	KOSMS ^c	KOSMS ^d	Kırşehir Kılıçlı ^b	Kozaklı Özce ^b
Aragonit	0,37	-0,41	0,09	0,76	0,62	0,22	0,37	-0,05	0,82	1,15
Kalsit	0,52	-0,26	0,24	0,88	0,74	0,33	0,48	0,06	0,93	1,26
Dolomit	0,65	-1,14	0,04	1,28	1,03	0,02	0,26	-0,49	1,28	1,87
Fluorit	-0,98	-2,75	-2	-0,19	-0,02	-0,07	0,28	-0,49	0,05	-0,07
Jips	-1,14	-2,66	-2,46	-0,58	-0,84	-0,75	-0,78	-0,88	-0,53	-1
Halit	-6,39	-9,08	-8,69	-5,67	-5,28	-5,25	-5,38	-5,37	-3,38	-3,6
Anhidrit	-1,37	-2,91	-2,81	-0,53	-0,79	-0,49	-0,48	-0,63	-0,22	-0,7
CO ₂	-1,62	-2,03	-2,3	-1,11	-1,26	-0,21	-0,85	-0,22	-0,9	-1,32
Ca/Mg	2,85	3,828	3,161	4,967	4,679	4,995	5,252	10,23	4,05	5,51
Ca/SO ₄	2,581	19,71	11,86	1,2	0,964	1,15	1,106	0,962	0,762	0,452
Na/Cl	0,715	1,772	1,26	1,389	1,253	1,253	1,16	1,335	0,967	1



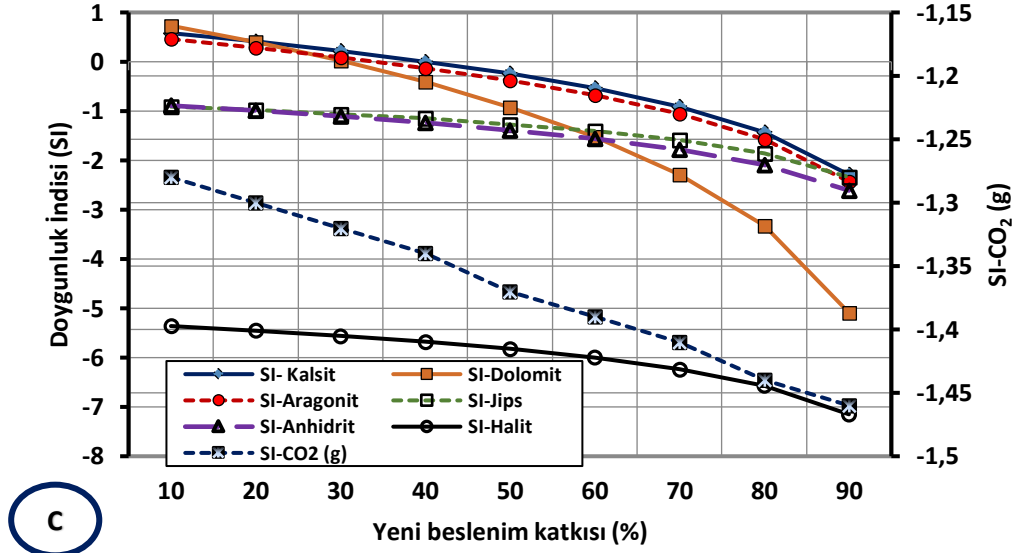
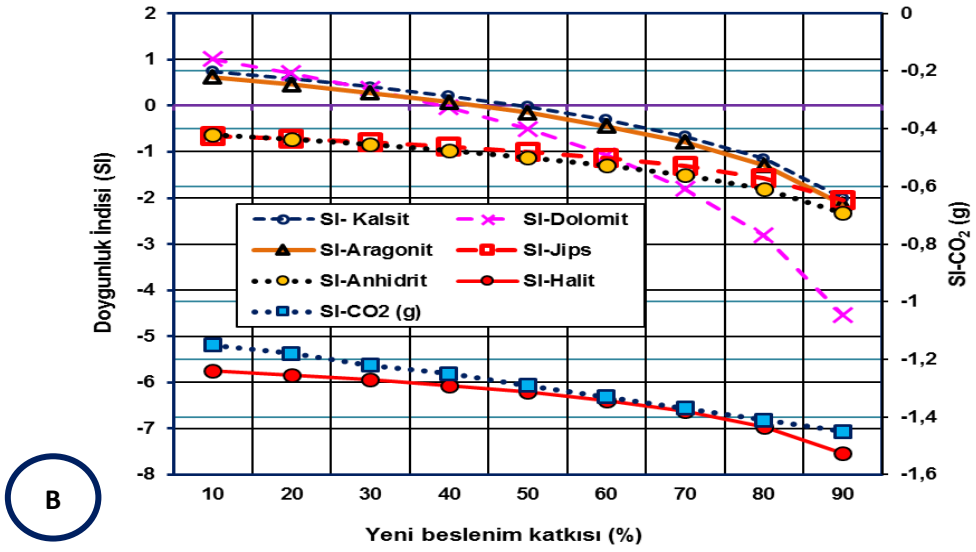
Şekil 3.33: KJA ve çevresindeki suların doymunluk indisi grafiği.

Çizelge 3.18: Kozaklı Çöküntü, Artezyen ve Reenjeksiyon sularının genç sularla farklı oranlarda karışması durumunda doygunluk indisi (SI) ve yeni beslenme katkı (%) değerlerinin değişimi.

Çöküntü	Karışım yüzdeleri	10	20	30	40	50	60	70	80	90
	SI- Kalsit	0,74	0,58	0,41	0,21	-0,02	-0,3	-0,66	-1,15	-2
	SI-Dolomit	1,01	0,71	0,36	-0,04	-0,5	-1,07	-1,8	-2,81	-4,53
	SI-Aragonit	0,62	0,46	0,28	0,08	-0,15	-0,44	-0,79	-1,29	-2,14
	SI-Jips	-0,65	-0,72	-0,79	-0,89	-1	-1,13	-1,31	-1,58	-2,05
	SI-Anhidrit	-0,63	-0,73	-0,84	-0,97	-1,12	-1,29	-1,51	-1,81	-2,32
	SI-Halit	-5,75	-5,84	-5,94	-6,07	-6,21	-6,39	-6,62	-6,96	-7,53
	SI-CO ₂ (g)	-1,15	-1,18	-1,22	-1,25	-1,29	-1,33	-1,37	-1,41	-1,45
Artezyen	Karışım yüzdeleri	10	20	30	40	50	60	70	80	90
	SI- Kalsit	0,18	0,01	-0,16	-0,35	-0,56	-0,81	-1,11	-1,53	-2,27
	SI-Dolomit	-0,23	-0,5	-0,81	-1,15	-1,56	-2,05	-2,67	-3,54	-5,06
	SI-Aragonit	0,07	-0,1	-0,28	-0,47	-0,68	-0,93	-1,24	-1,67	-2,41
	Jips	-0,82	-0,9	-0,99	-1,09	-1,21	-1,35	-1,54	-1,8	-2,29
	SI-Anhidrit	-0,61	-0,75	-0,89	-1,04	-1,22	-1,42	-1,66	-1,99	-2,53
	SI-Halit	-5,33	-5,41	-5,52	-5,64	-5,78	-5,96	-6,19	-6,52	-7,09
	SI-CO ₂ (g)	-0,28	-0,36	-0,44	-0,53	-0,63	-0,74	-0,88	-1,03	-1,23
Reenjeksiyon	Karışım yüzdeleri	10	20	30	40	50	60	70	80	90
	SI- Kalsit	0,58	0,41	0,22	0	-0,24	-0,54	-0,91	-1,43	-2,29
	SI-Dolomit	0,73	0,4	0,02	-0,41	-0,92	-1,52	-2,29	-3,33	-5,09
	SI-Aragonit	0,46	0,29	0,09	-0,13	-0,38	-0,68	-1,05	-1,57	-2,43
	SI-Jips	-0,91	-0,98	-1,06	-1,15	-1,27	-1,4	-1,59	-1,86	-2,34
	SI-Anhidrit	-0,89	-0,99	-1,11	-1,24	-1,39	-1,56	-1,78	-2,09	-2,61
	SI-Halit	-5,36	-5,45	-5,56	-5,68	-5,82	-6	-6,24	-6,57	-7,15
	SI-CO ₂ (g)	-1,28	-1,3	-1,32	-1,34	-1,37	-1,39	-1,41	-1,44	-1,46



Şekil 3.34a: Kozaklı Çöküntü (A), sularının genç sularla farklı oranlarda karışması durumunda doygunluk indisi (SI) değerlerinin ve yeni beslenme katkı (%) değerlerinin değişimi.



Şekil 3.34 b ve c: Kozaklı Artezyen (B) ve Reenjeksiyon (C) sularının genç sularla farklı oranlarda karışması durumunda doygunluk indisi (SI) değerlerinin ve yeni beslenme katkı (%) değerlerinin değişimi.

3.2.2.3.2 Suların izotopik değerlendirilmesi

Jeotermal incelemelerde izotop tekniklerinin kullanılmasının birinci nedeni sıcak suların izotop oranlarının sıcaklığa, su-kayaç ilişkisine, değişik kökenli suların karışımı gibi işlemlere karşı oldukça hassas olmasıdır. İkinci neden olarak izotopların fiziksel ve kimyasal özelliklerini iyi koruduklarından bölgesel akış yönü ve sıcak su kökeninin belirlenmesinde oldukça iyi izleyici olmalarıdır.

Duraylı izotoplardan $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ hidrolojik koşulların belirlenmesinde ve akışkanı etkileyen işlevlerin değerlendirilmesinde kullanılırken ^3H radyoaktif izotopu ise suların yaşının belirlenmesi ve jeotermal rezervuara olan en soğuk su akışının belirlenmesinde kullanılmaktadır (Arnorsson, 2000).

$\delta^2\text{H}$ - $\delta^{18}\text{O}$ grafiği üzerinde meteorik su doğrusu üzerine düşen su örneklerinin atmosferik sulardan kaynaklandığı ve diğer izotopik süreçlerden etkilenmediği varsayılır. Meteorik su doğrusundan olan sapmalar ise başka izotopik süreçlerin etkili olduğunu gösterir. Bu süreçlerden en çok karşılaşılanlardan birisi buharlaşma, diğeri ise su ile kayaç mineralleri arasındaki izotopik değişimdir (Domenico ve Schwartz, 1990). Jeotermal suların $\delta^{18}\text{O}$ içerikleri yerel meteorik sularınkinden daha yüksektir. Bunun nedeni yüksek sıcaklıklarda su ile $\delta^{18}\text{O}$ 'ce zengin kayaç mineralleri arasındaki izotop alışverişidir (Truesdell vd. 1980 ve Domenico ve Schwartz, 1990).

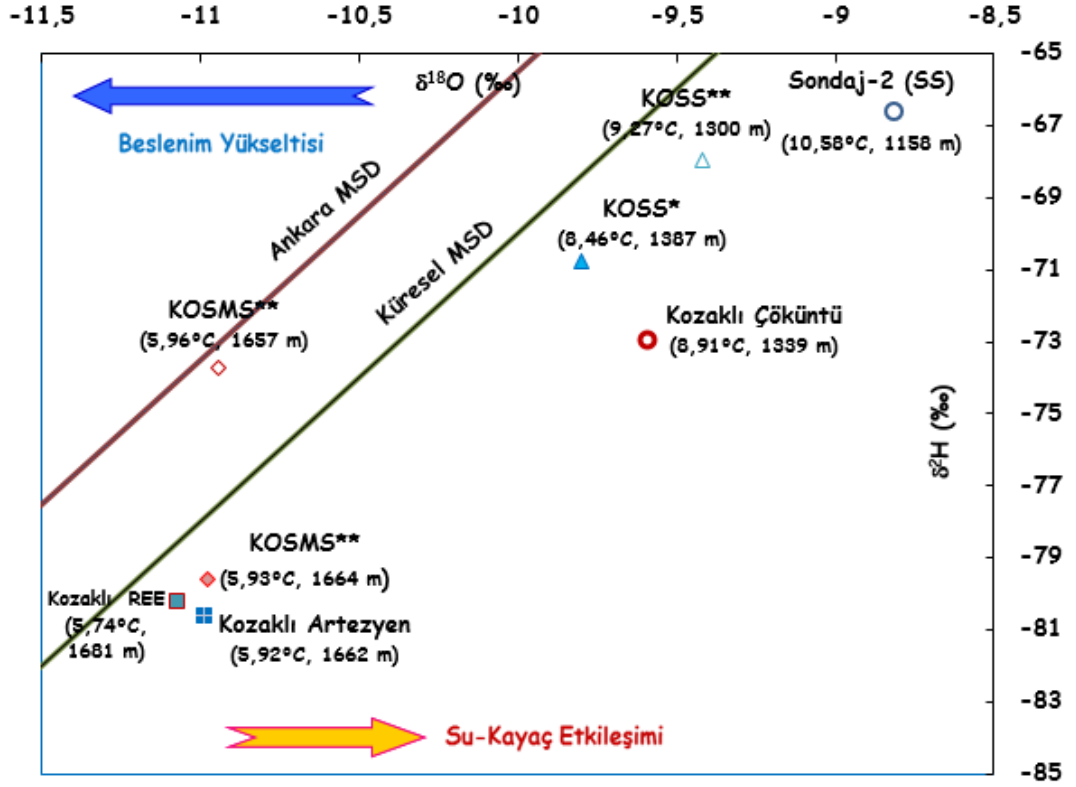
KJA ve çevresinde incelenen suların izotopik analiz sonuçları Çizelge 3.19'de verilmiştir.

Söz konusu suların $\delta^2\text{H}$ - $\delta^{18}\text{O}$ grafiğine göre (Şekil 3.35); KOSMS* -KOSMS**, Kozaklı Artezyen yüksek kotlardan (1657-1681 m); Sondaj-2 en düşük kottan (1158m) diğer sular ise kısmen orta kotlardan (1300-1387 m) beslenmektedir (Şekil 3.36). KOSMS'de kurak dönemlerde $\delta^2\text{H}$ değerlerinde $\delta^{18}\text{O}$ 'e oranla önemli artışın gözlenmesinin nedeni, sularda bulunan H_2S gazı olabilir (Afşin vd., 2007).

Çizelge 3.19: KJA ve çevresinde incelenen suların izotop analiz sonuçları.¹

Örnek Sembölü	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^2\text{H}$ (‰)±hata	^3H (TU) ±hata	$\delta^{13}\text{C}$ VPDB	^{14}C (görünür yaş) (yıl)±hata	^{14}C (% modern karbon.(p mc) ±hata	$\delta^{34}\text{S}_{\text{VCDT}}$ (‰)	^3H (TU) Yaş (yıl)	^{14}C (% modern karbon) (pmc) yaş	Boşalım Sıcaklığı (°C)	Boşalım Yüksekliği (m)	Beslenim Sıcaklığı (°C)	Beslenim Yüksekliği (m)
Kozaklı REE ^c	-11,07 ±0,15	-80,26 ±0,87	1,77 ±0,76	b	b	b	b	30	b	60	1140	5,74	1681
Kozaklı Artezyen ^c	-10,99 ±0,14	-80,58 ±0,87	0,59 ±0,7	b	b	b	b	49,62	b	82,5	1056	5,91	1662
Kozaklı Çöküntü ^c	-9,59 ±0,14	-72,99 ±0,90	2,46 ±0,78	b	b	b	b	24,12	b	25,3		8,91	1339
Kozaklı Sondaj-2 ^c	-8,81 ±0,19	-66,62 ±1,18	2,63 ±0,76	b	b	b	b	22,93	b	81,7		10,58	1158
KOSMS*	-10,98 ±0,15	-79,59 ±2	-0,38 ±0,21	b	b	b	b	57,47	b	86	1056	5,93	1660
KOSMS**	-10,95 ±0,15	-73,72 ±2	0,4 ±0,24	0,1 ±0,2	35170 ±350	1,26 ±0,06	19,9	56,56	36450,4 9	81,7	1053	6	1653
KOSS*	-9,8 ±0,15	-70,75 ±2	6,92 ±0,33	b	b	b	b	5,65	b	20	1058	8,46	1387
KOSS*	-9,42 ±0,15	-67,95 ±2	8,63 ±0,36	b	b	b	b	1,71	b	12,8	1058	9,27	1300

¹ [(PDB: Pee Dee Belemnite; CDT: Canon Diablo Troilite). (b:belirlenmedi) (Örnekleme tarihleri:a. 31.05.2017 (bu çalışma); b. 26.11.2016 (Durdu vd., 2016, Karaca vd., 2017); *c: 18-21.05.2005; **d: 18-21.11. 2005 Afşin vd., 2007)]



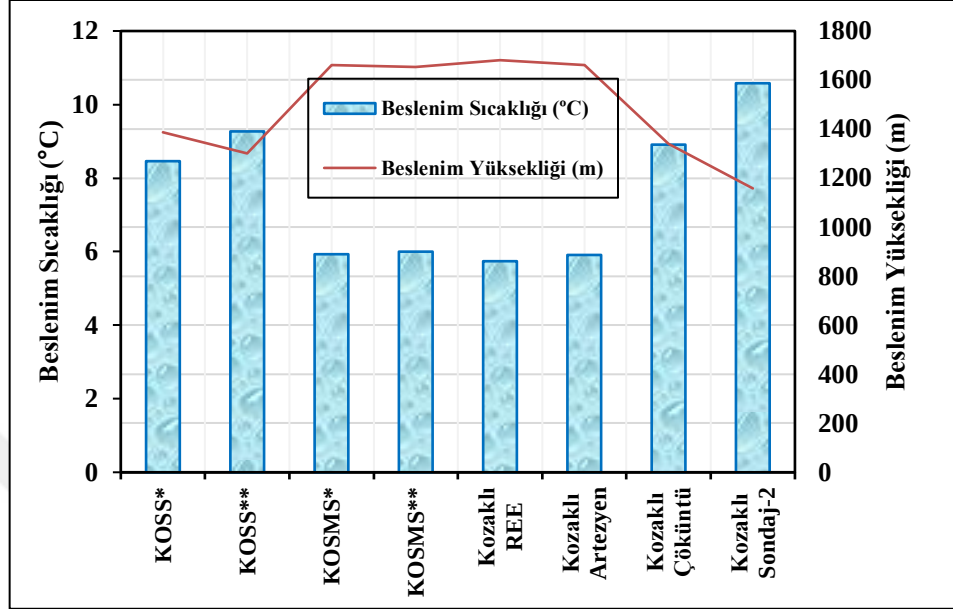
Şekil 3.35: KJA ve çevresindeki suların $\delta^2\text{H}$ - $\delta^{18}\text{O}$ grafiği. Örnekleme tarihleri:^a. 31.05.2017 (bu çalışma); ^b: 26.11.2016 (Durdu vd., 2016, Karaca vd., 2017); ^c: 18-21.05.2005; ^d: 18-21.11. 2005 [Aşşin vd., 2007]

KOSMS’de kurak dönemde $\delta^2\text{H}$ değerinde $\delta^{18}\text{O}$ ’e oranla önemli artışın gözlenmesinin nedeni, sularda bulunan (hipojenik) H_2S gazına bağlı izotopik takas olabilir.

İncelenen suların döteryum fazlası (d) değerleri Kozaklı jeotermal suları dışında tüm sularda 10’den düşüktür. Bu değerler Kozaklı jeotermal sularının yüksek hızlı, diğer suların ise göreceli olarak daha düşük hızlı buharlaşma etkisindeki yağışların atmosferik su buharından oluştuklarını gösterebilir.

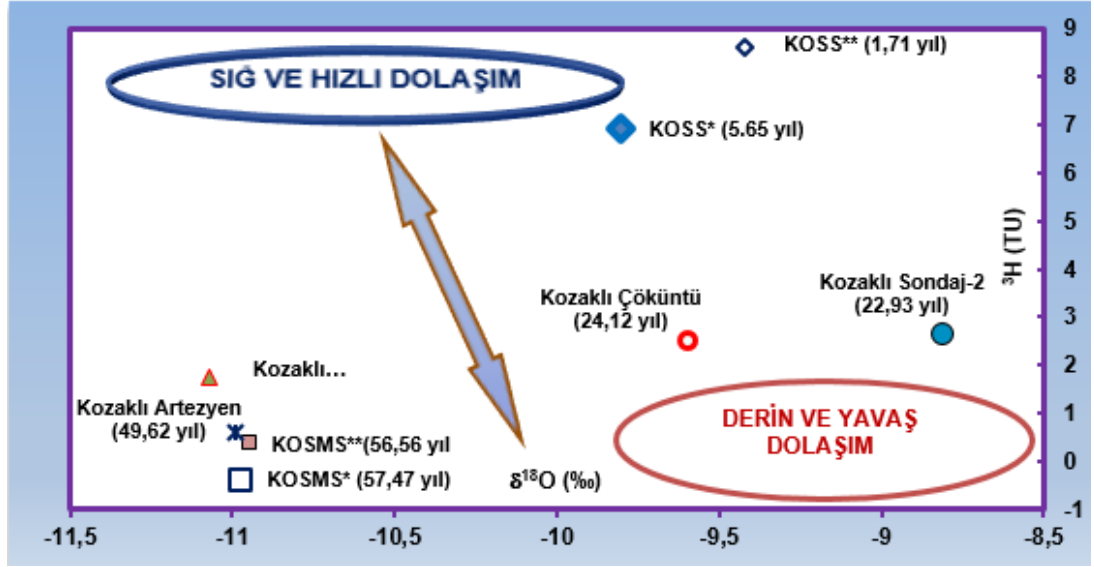
Kozaklı çöküntü ve sondaj-2’den alınan numuneler grafikte Küresel Meteorik Su Doğrusu’ndan sapma göstermektedir, bu durum buharlaşmanın göstergesi olabilir. Söz konusu suların beslenme sıcaklıkları jeotermal sularda 5,7 °C ile 5,9 °C; diğer sularda 8 °C ile 10,5 °C civarında hesaplanmıştır. Ortalama yıllık hava sıcaklığı (OYHS)=($^{18}\text{O}+12,82$)/0,467+2 (Bayarı vd. 2009). Bu sonuçlar, Kozaklı jeotermal sularının yeraltısuların yeraltı akış sistemi boyunca dolaşımaları sırasında su-kayaç etkileşiminin yanı sıra jeotermal gradyan, granit sokulumu ve radyojenik ısı kaynakları sonucu ısınmakta olduklarının işaretçisi olabilir.

Kozaklı çöküntü, Sondaj-2 ve Kozaklı soğuk sularının beslenme sıcaklıkları yüksek, beslenme yükseklikleri ise diğer örneklerle göre düşüktür (Şekil 3.36). Diğer örnekler için bu anlamda tam tersi durum söz konusudur.



Şekil 3.36: KJA ve çevresindeki suların beslenme sıcaklık ve yükseklikleri (Örnekleme tarihleri:^a: 31.05.2017 (bu çalışma); ^b: 26.11.2016 (Durdu vd., 2016, Karaca vd., 2017); ^c: 18-21.05.2005; ^d: 18-21.11. 2005 Afşin vd., 2007)]

$\delta^2\text{H}-^3\text{H}$ grafiğine göre, ^3H değerleri bakımından KOSS* (5,65 yıl) ve KOSS**(1,71 yıl) sıg ve hızlı dolaşımli; Kozaklı Artezyen, KOSMS* ile KOSMS** (49-57 yıl) yavaş ve derin dolaşımli yeraltısularıdır (Şekil 3.37). 0,5 TU'ya eşit veya daha düşük ^3H değerine sahip sular Clark ve Fritz (1997)'e göre, 1952 yılı öncesine ait yağışlardan beslenmiş sular; >0,5 TU'dan daha yüksek ^3H değerine sahip sular ise 1952 yılı öncesi/civarı ve sonrasına ait yağışların karışımından oluşmuş yeraltısuları olabilir. Kozaklı çöküntüdeki su ile Sondaj-2'deki suların dolaşım süreleri 24,12-22,93 yıl) birbirlerine yakındır (Çizelge 3.19). Bu durum çöküntüdeki iyon miktarı göreceli olarak düşük olan soğuk yeraltısularının yüksek derişimli derin kökenli jeotermal sularla karışarak, daha önce sözü edilen karışım korozyonuna yol açmış olabileceğine işaret eder. Bu sonuç, KJA'da paleokarstlaşmadan sonra güncel olarak da karışım korozyonu vb. etkenlerin de katkısı ile karstlaşmanın sürmekte olduğunun kanıtı olmalıdır.

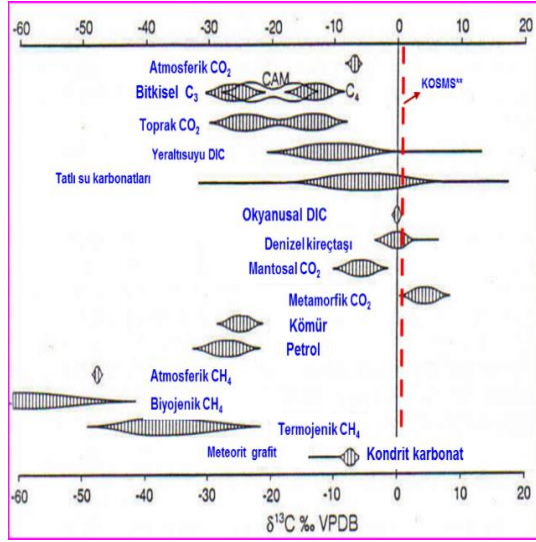


Şekil 3.37. KJA'da incelenen suların $\delta^{18}\text{O}$ ve ^3H ilişkisi. Örneklem tarihleri:^a. 31.05.2017 (bu çalışma); ^b. 26.11.2016 (Durdu vd., 2016, Karaca vd., 2017); ^c. 18-21.05.2005; ^d. 18-21.11. 2005 (Afşin vd., 2007)]

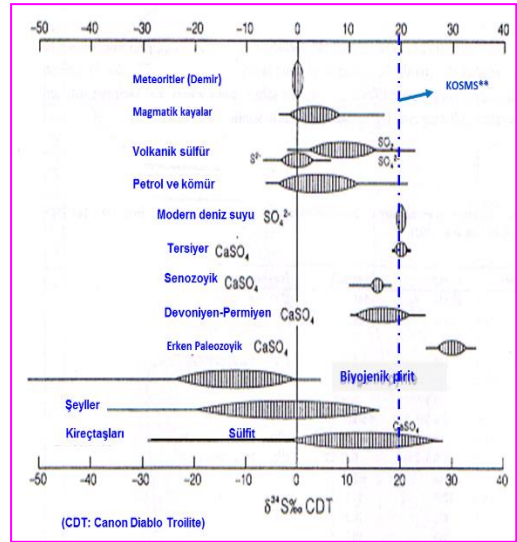
Suların $\delta^{13}\text{C}$, ^{14}C ve $\delta^{34}\text{S}$ izotoplarıyla değerlendirilmesi; çöküntü ve diğer sıcak su noktalarında CO_2 ve H_2S gaz çıkışları gözlenmiştir (Şekil 3.40). CO_2 gazı, KOSMS'de tatlı su karbonatları, denizel kireçtaşı ve metamorfik/jeojenik kökenli olabilir. KOSMS kaynak alanında yüzeylenmiş Bozçaldağ metamorfitlerine ait mermerler ve/veya Neojen yaşlı gölsel kireçtaşlarına ilişkin üstteki CO_2 gazının yorumuyla kısmen uyumludur (Afşin vd., 2007).

$\delta^{34}\text{S}$ ‰_{VCDT} değeri KOSMS**'de 19,9; SO_4^{2-} miktarı (mg/L), KOSMS**'de yüksektir (426,18). SO_4^{2-} iyonu ise karbonat kayaçlara yanı sıra daha önce bahsedilen Özce ve Kılıçlı gibi bazı sondajlarda kesilmiş (Durdu vd., 2016 ve Karaca vd., 2017) Oligomiyosen yaşlı jipslerin yeraltı sularıyla çözünmesine bağlanabilir (Afşin vd. 2007).

Konya kapalı havzası (KKH)'nda obrukların yoğunlaşmasının nedenleri yüksek hidrolik iletkenlik zonu, paleo-karstik kanalların çözünmesi, karışım korozyonu ve manto kökenli CO_2 (Pekkan, 2004) olarak belirtilmiştir. Benzer biçimde, Kozaklı'daki çöküntünün bulunduğu alanda yüksek hidrolikli zonlar karbonatlı (traverten, kireçtaşı ve mermerler) ve evaporitli (jips ve halit) kayalar ile bu kayalardaki paleokarst kanalları, jeotermal suların fiziksel-kimyasal özellikleri ve jeojenik kökenli CO_2 ile evaporitik kökenli H_2S gibi gazlara bağlı karışım korozyonu sonucu karstlaşma giderek ilerlemiş ve özellikle aşırı su çekimi ve dış basıncın artmasıyla çöküntü oluşmuştur.



Şekil 3.38: Kozaklı jeotermal suyu (KOSMS**)’nda doğal karbon bileşiklerinin kökenlerine bağlı $\delta^{13}\text{C}$ değerinin Clark ve Fritz (1997)’e göre gösterimi (Afşin vd. 2007)



Şekil 3.39: KOSMS**’de $\delta^{34}\text{S}$ ‰ değerlerinin Clark ve Fritz (1997)’e göre gösterimi (Afşin vd., 2007)



Şekil 3.40: Çöküntüde gözlenen CO_2 gaz çıkışları ile kaynak alanındaki traverten ve artezyen kuyu.

3.3 Jeofizik Çalışmalar

3.3.1 Önceki jeofizik çalışmalar

Kırşehir masifinin üst kesiminde yer alan mermerler ile Çevirme formasyonuna ait kireçtaşı hazne kayaç niteliğindedir. Sıcak su üretiminde rezervuar olan Eosen kireçtaşlarının derinliğinin 100 m'ler civarında kalınlığının 50-100 m'ler arasında olduğu belirlenmiştir (Göçtü vd., 1992).

Çöküntü alanını kapsayan jeofizik çalışmalarda KD-GB doğrultulu ve düşey atımlı iki paralel fay ile KB-GD doğrultulu, diğer faylara dik düşey atımlı iki paralel fay belirlenmiştir. Ayrıca GD'da yerel birimler derinleşerek yaklaşık 900 m olmasına karşın GB'da temel birimler yaklaşık 500 m'dir (Akgül vd., 2008).

Çöküntü alanı ve çevresinde 600-700 m derinlikteki temeldeki şist ve mermerlerin üzerinde sırasıyla çakıltası, kıltaşı, çamurtaşı ve kumtaşından oluşan birimler yer alır. Şist ve mermeri örten çakıltıtaşlarının kalınlığı yaklaşık 400 m olup, bölgedeki faylanmadan dolayı 200-400 m derinlikte başlamaktadır. Zemin seviyesinden itibaren ise faylanmaya bağlı olarak kıltaşı, çamurtaşı ve kumtaşlarından oluşan birim 200-400 m derinliklere ulaşmıştır (Akgül vd., 2008).

KB-GD yönlü incelemede temel birimi oluşturan şist ve mermerlerin derinlikleri KB'da yaklaşık 800 m, profil ortasında yaklaşık 700 m ve GD'da ise yaklaşık 1.000 m'dir. Aynı şekilde KB'da yaklaşık 350m, ortada 200 m, GD'da ise 500 m derinliklerde bulunan çakıltıtaşlarının kalınlıkları 450-500 m arasında değişmektedir. Bütün birimleri örterek zemine kadar ulaşan kil, çakıllı kil, kıltaşı, çamurtaşı ve kumtaşından oluşan birimin ise zeminden itibaren kalınlıkları profilin KB'sında 300-400 m, ortasında 200 m, GD'sunda ise 500 m'ye kadar çıkmaktadır. Çöküntü alanına en yakın DES ölçü noktasında kil, çakıllı kil, kıltaşı, çamurtaşı ve kumtaşından oluşan birim zeminden itibaren 300 m kalınlıkta yer almaktadır. Bu birimin hemen altında yer alan çakıltıtaşları yaklaşık 500 m kalınlıkta olup, zeminden 300 m derinde başlayıp 800 m derinliğe kadar ulaşmaktadır. Temel birimi oluşturan şist ve mermer ise 800 m derinden itibaren başlamaktadır (Akgül vd., 2008).

3.3.2 Güncel jeofizik çalışmalar

Çöküntü civarında 31.03.2017 tarihinde güncel jeofizik çalışmalar yapılmıştır. Bu kapsamda, çöküntü alanında yüzey dalgalarının çok kanallı analizi yöntemi (MASW)'nde 2 profil, doğru akım rezistivite yöntemi (DES)'nde 2 profil ve 'elektrik öz direnç tomografi yöntemi (ERT)'nde 3 profil olmak üzere toplam 7 profilde ölçüm yapılmıştır (Çizelgeler 3.20, 3.21, 3.22, 3.23, 3.24, Şekiller 3.41, 3.42, 3.43).



Şekil 3.41:KJA'da MASW ve DES ölçümlerine ait lokasyon görüntüsü.



Şekil 3.42:KJA'da ERT ölçümlerine ait lokasyon görüntüsü.



Şekil 3.43: KJA’da MASW ve DES (A) ve ERT (B) çalışmaları.

Çizelge 3.20: KJA’da MASW profil koordinatları, uzunlukları, jeofon ve ofset aralıkları.

Profil no	Başlangıç		Bitiş		Ofset Aralıkları (m)	Jeofon Aralıkları (m)	Profil Uzunluğu (m)
	Y	X	Y	X			
MASW1	660769	4341439	660733	4341488	5	5	60
MASW2	660722	4341479	660698	4341425	5	5	60

Çizelge 3.21: KJA’da DES profil koordinatları.

Profil No	Başlangıç		Bitiş	
	Y	X	Y	X
DES 1	660778	4341439	660690	4341577
DES 2	660690	4341420	660730	4341500

Çizelge 3.22: KJA’da gerçekleştirilen MASW çalışması verileri.

Profil No	Katman No	Vp (m/s)	Vs (m/s)	H (m)	V _{s30} (m/s)	Olası Litoloji
MASW1	1	329	170	4	313	Üst kısımları kırıklı- çatlaklı traverten
	2	530	332	13		
	3	1343	438	-		
MASW2	1	290	183	2,5	321	
	2	521	331	11		
	3	912	337	-		

Çizelge 3.23: KJA’da gerçekleştirilen DES çalışması verileri.

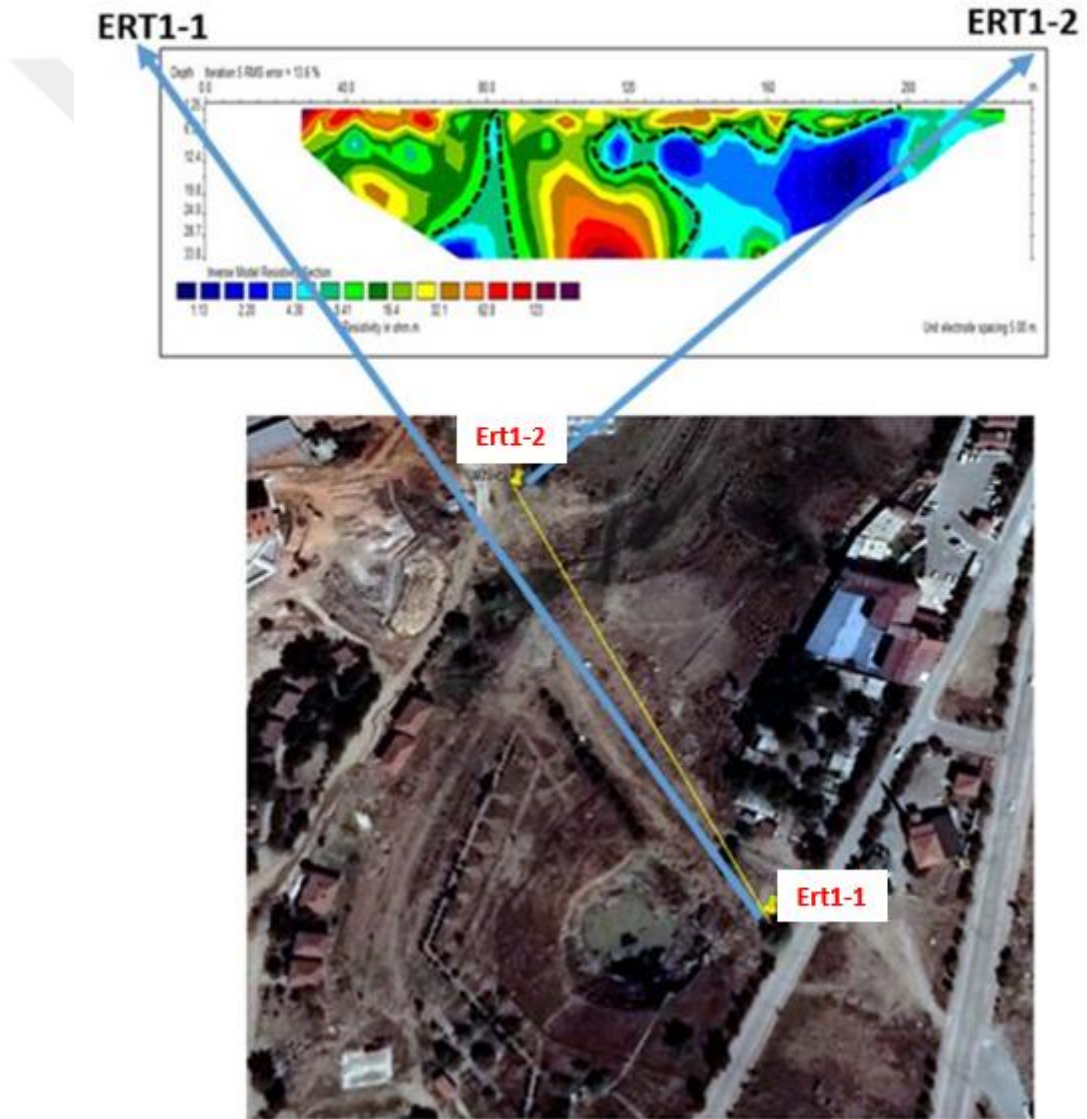
Nokta	P (ohm.m)	H (m)	D (m)	Olası Litoloji
DES 1	146	0,75	0,75	Üst kısımları kırıklı-çatlaklı traverten
	12	1	2	
	26	1,5	3	
	3	12	15	
	2	2	16	
	0,001	22	38	
DES 2	235	1	1	
	26	3	14	
	0,05	17	31	
	0,07	-	-	

Çizelge 3.24: KJA’da gerçekleştirilen ERT profil koordinatları.

Profil	Başlangıç		Bitiş	
	Y	X	Y	X
ERT 1	660778	4341439	660665	4341631
ERT 2	660662	4341396	660784	4341612
ERT 3	660722	4341300	660832	4341515

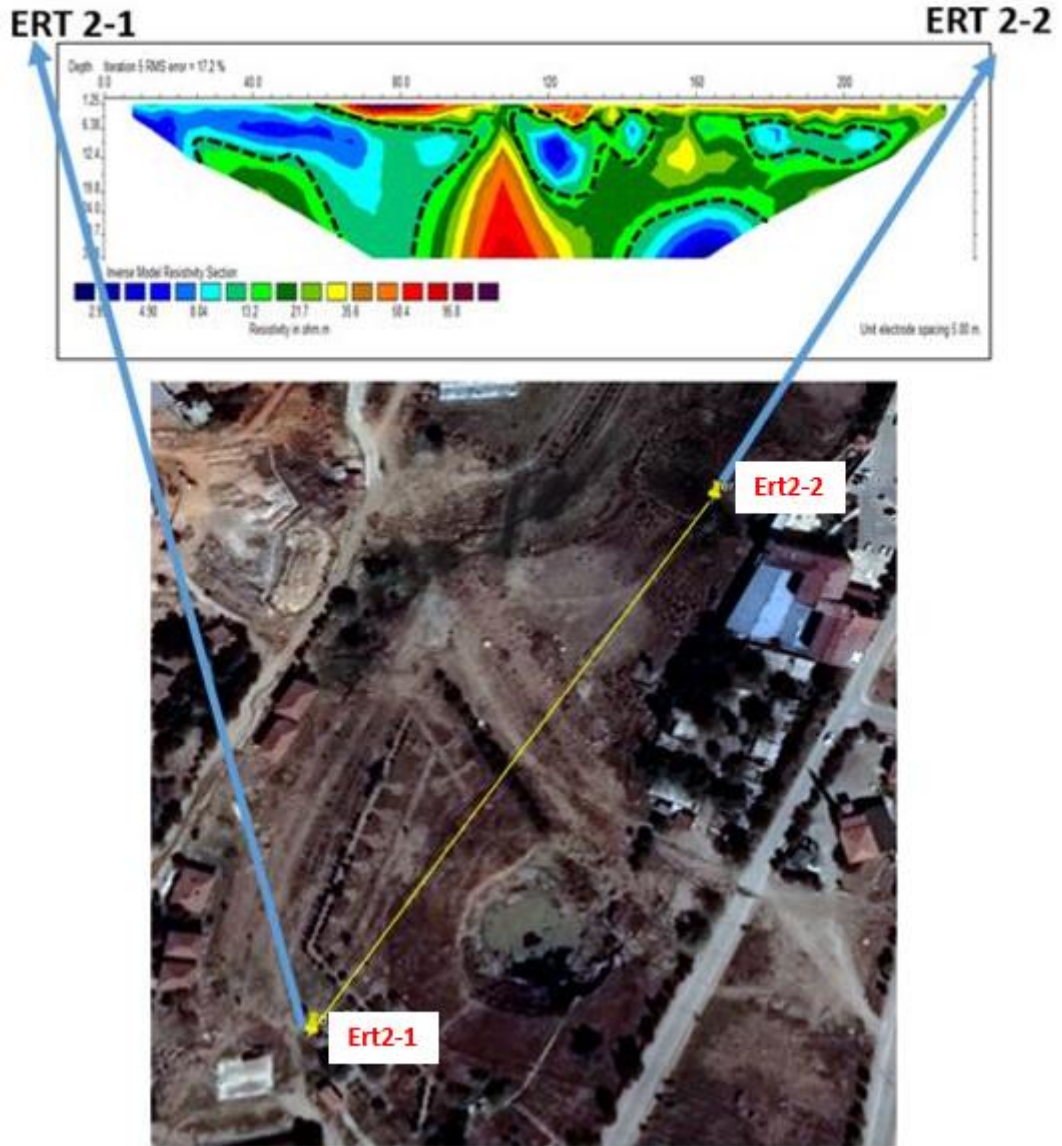
Arazide alınan bu ölçümlerin neticesinde jeofizik değerlendirmelere dayalı olarak var olan çöküntünün yeraltındaki geometrisi, olası karstik boşlukların lokasyonları, alansal dağılımları, yeraltı suyu durumu ve örtü-temel kayaç dokanak ilişkileri saptanmaya çalışılmıştır. KJA’da çöküntü çevresinde yapılan jeofizik ölçümler sonucunda, çöküntü alanı genelinin üst kısımları kırıklı-çatlaklı yapıda olan travertenlerden oluşmaktadır.

ERT 1’de elektrot aralığı 5 m, açılım 240 m ve Schlumberger dizilimi uygulanmıştır. Ölçüm alınan profil hattı yaklaşık olarak 5 – 7 m yakınında su birikintisi gözlenmiştir. Koyu ve açık mavi birimlerin öz dirençleri düşüktür. Bu birimler suya doygun veya boşluklu olup, 6 m’den başlayarak derinlere doğru devam etmektedir. Bu bölgeler profilde kesikli çizgilerle gösterilmiştir (Şekil 3.44). Çöküntünün K ve KD’sunda bulunan alanlarda da aynı durum söz konusudur. Çöküntü alanının kuzeyinde bulunan toplama ve dağıtım merkezi ile çöküntü alanı arasında kalan ve aktif olan Şelale kuyusu bu bölgede bulunmaktadır. Özellikle çöküntünün kuzeyi yeni bir çökme olayı meydana gelmesi açısından riskli alandır. Kesitte sarı, yeşil ve kırmızı renkli olan bölgeler öz direnci daha yüksek olan birimlerdir.



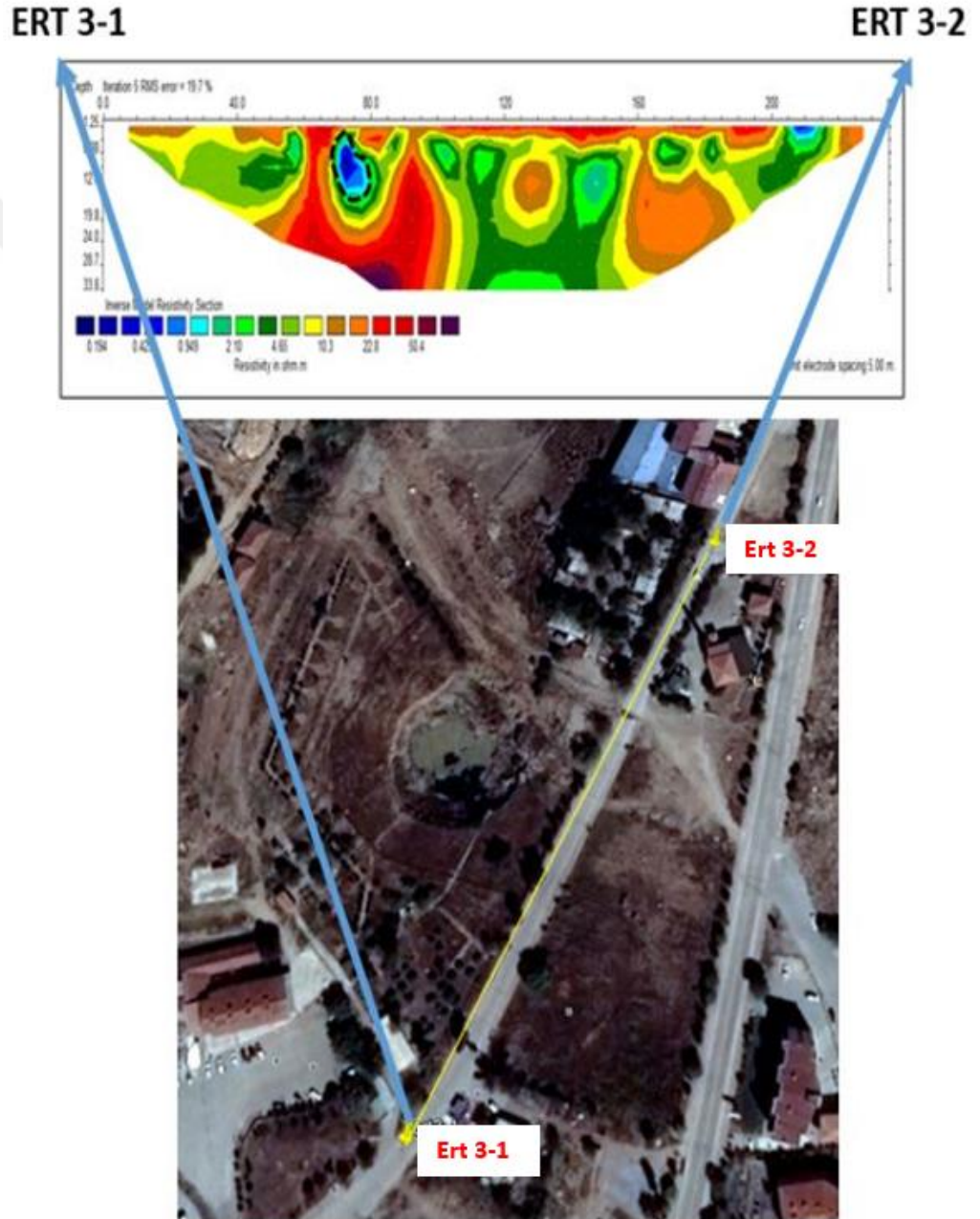
Şekil 3.44: KJA’da gerçekleştirilen ERT-1 ölçümü ve elde edilen düşey öz direnç profili.

ERT 2’de elektrot aralığı 5 m, açılımı 240 m ve Schlumberger dizilimi uygulanmıştır. Ölçüm alınan profil hattı yaklaşık olarak 3 – 5 m yakınında su birikintisi gözlenmiştir. Öz dirençleri düşük olan bu bölgeler suya doymun veya boşlukludur. Kesitte sarı, yeşil ve kırmızı renkli bölümler öz direnci daha yüksek olan birimlerdir. Yüzeyden itibaren özellikle çöküntünün taban seviyesine kadar olan derinliklerin suya doymunluk ve/veya gözeneklilik oranı yüksektir. Çöküntünün kuzeyinde profilin ortalarında, 5-20 m derinlikteki birimler suya doymundur. Çöküntünün KD’sunda ise suya doymun birimlerin derinlikleri 20 m’den itibaren başlamıştır (Şekil 3.45).



Şekil 3.45: KJA’da gerçekleştirilen ERT-2 ölçümü ve elde edilen düşey öz direnç profili.

ERT 3’de elektrot aralığı 5 m, açılımı 240 m ve Schlumberger dizilimi uygulanmıştır (Şekil 3.46). İstif kalınlığı yaklaşık olarak 35 m olan kesitte tutturulmamış birimler çapraz tabakalanma gösteren çakıl, kil ve kum olabilir. ERT 3 profilinde yol üzerinde çöküntü hizasında, yüzeyden itibaren 15 m derinliğe kadar ulaşan suya doygun birimler mevcuttur. Bu noktadan itibaren reenjeksiyon kuyusundan gelen suya bağlı olarak çöküntü bu yönde ilerleyebilir. Yol üzerinde yapılan ölçüm ve gözlemlerde deformasyon açık bir biçimde gözlenmiştir.



Şekil 3.46: KJA’da gerçekleştirilen ERT-3 ölçümü ve elde edilen düşey öz direnç profili.

3.4 Çöküntünün Bölgesel Tektonizması Ve Depremsellikle Olan İlişkisi

Çöküntünün oluşumunda kayaçların kimyasal bileşimleri dışında tetikleyici başka etmenleri (fay, depremsellik vb.) de dikkate almak gerekir. KJA ve çevresi, Hersiniyen ve Alp orojenezleri etkisinde kalmış, sıkışma ve gerilme rejimli tektonik hareketler sonucunda, paleotektonik ve neotektonik dönemlerde faylar, kıvrımlar, bindirmeler ve açılma çatlakları gibi yapısal unsurlar oluşmuştur (Dağıstan vd., 2008). KJA'nın bulunduğu Kozaklı İlçesi Deprem Araştırma Dairesi haritasında ve İnşaat Mühendisleri Odasının Deprem Bölge Tablosu verilerine göre 3.derece deprem bölgesinde yer alır. KJA'ya en yakın fay, Kozaklı'nın doğusunda bulunan Boğazlıyan fayıdır (Şekil 3.47). KJA'daki fayların genel uzanımları KB-GD, KD-GB ve KKB-GGD doğrultularında olup, jeofizik incelemelerle yaklaşık D-B yönlü yapılar da saptanmıştır (Dağıstan vd., 2008). KJA'da, Oligosen yaşlı Deliceirmak formasyonu (çakıltası, kumtaşı, çamurtaşı) ve Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı Kızılırmak formasyonu (çakıltası, kumtaşı, kiltası, kireçtaşı, tuf)'ndan oluşan yaygın örtünün yapısal unsurları gizlediği (Dağıstan vd., 2008) belirtilmiştir. Bu nedenle, Dağıstan vd. (2008), KKB-GGD yönlü uzanım gösteren Bağlıca ve Eşe derelerinin ve vadilerin morfolojik özelliklerinin genç tektonik yapıların göstergesi olabileceği ifade edilmiştir.



Şekil 3.47: KJA ve çevresindeki fayların Google Earth üzerine yerleştirilmiş hali.

Çöküntünün oluşum tarihinden önce Kozaklı ve civarında iki deprem meydana gelmiştir. Bunlardan ilki 16.11.2006 tarihinde 29,8 km derinde Mw:3 büyüklüğünde ikincisi çöküntüden 1 ay önce yani 13.12.2006 tarihinde 8,8 km derinde ve Mw:3,2 büyüklüğündeki depremlerdir. Bu bağlamda, çöküntünün söz konusu fayların kesişme noktasında açığa çıkmış olması, küçük ölçekli deprem sonrası çöküntü duvarındaki düşmenin gerçekleşmesi, bölgedeki eski ve güncel tektonik hareketlerin ve depremin çöküntünün oluşmasında ana etken olmasa da tetikleyici rolünü göstermektedir.



4. ÇÖKÜNTÜ İYİLEŞTİRME ÇALIŞMALARI

KJA'daki çöküntünün ana nedenlerinden birisi olarak görülen yeraltısuyunun aşırı ve kontrolsüz kullanımına bağlı olarak yeraltısuyu seviyesindeki düşümü önlemek ve jeotermal potansiyeli daha verimli kullanabilmek amacıyla 2016 yılında toplama ve dağıtma merkezinin yapım çalışması tamamlanmıştır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1: KJA'da iyileştirme çalışmaları.

31.03.2017 tarihinde yerinde yapılan incelemelerde tesis yetkililerinden bilgiler alınmıştır. Tesisin kapasitesinin 200-230 lt/s olduğu fakat şu anda 110 lt/s giriş ve aynı oranda çıkış yapıldığı ve bunun tamamının şehir ısıtmasında kullanıldığı ifade edilmiştir. Havuz suyu sıcaklığı 89 °C'dir. Tesiste 1.500 ton kapasiteli toplama havuzu ile 500 ton kapasiteli reenjeksiyon havuzu yer almaktadır. İnceleme tarihi itibarıyla toplama havuzuna 2 kuyudan su sağlandığı 4 kuyunun daha eklenerek toplam 6 kuyudan su temin edileceği ifade edilmiştir. KJA'daki otellerin, fizik tedavi ve rehabilitasyon hastanesinin ısınma ve banyo vb. amaçlarının yanı sıra seraların



Şekil 4.3: KJA’da reenjeksiyon kuyusundan çöküntü alanına bakış.

KJA’daki çöküntüye ilişkin resmî raporda (Akyüz vd, 2007) çökme olayının inceleme alanı ile ilgili mevcut imar planındaki yapı yasağına ve hükümlerine titizlikle uyularak, hiçbir şekilde yapılaşmaya gidilmemesinin, çöküntü alanında bulunan imar planına aykırı tesislerin sorumluluk ve yetki sahibi belediye tarafından değerlendirilmesi gerektiği belirtilmiştir.

Çevrede kurulu bulunan termal tesislerin jeotermal sondaj kuyularından yapmış oldukları üretim ile sıcak su kaynağı çıkışı durmuştur. Bu durumdan dolayı Kozaklı Belediye’sine ait tesislerin ve sıcak su kaynağının çevresinde belediye tarafından dolgu yapılarak zemin sıkıştırılmış ve bu alan park olarak düzenlenmiştir. Bu sıkıştırılmış dolgu kaynak üzerini kapatmış olup olası sıcak su çıkışı engellenmiştir (Akyüz vd., 2007).

Sübsidans problemlerinin sebebi sadece yeraltısuyu seviyesi (YASS)'ndeki düşümler değildir. Su tablasındaki yükselme de aynı derece tehlikelidir. Bunun potansiyel sonuçları, tünel ve bodrum katlarından sızma, temel kazık kapasitesindeki azalmalar, yapıların oturma ihtimali, bodrum katlarının hasar görmesi; su, kanalizasyon vb. borularının tahribidir. Bu nedenle, YASS’lerin kontrolü su temininden daha önemlidir. Eğer yapılar, su tablasının belli bir seviyede olduğu dönemlerde yapılırsa, YASS'deki değişim bu yapıların bütünlüğünü bozmamalıdır. Bunun için, YASS değişimlerinin

uzun süreli denetlenmesiyle, seviyede büyük dalgalanmaların olmadığı zaman tespit edilebilir (Bell, 1993). Ancak, bazen suyun az olduğu dönemlerde, Kozaklı’da olduğu gibi akiferlerden aşırı su çekilmektedir. Aslında, genelde YASS’nin yüksek olduğu yağışlı dönemlerde su çekilmelidir. Yalnız böyle bir durumda buradaki risk, sübidansın gerçekleşmesi değildir. Jeotermal sular kuyuya hücum edebilir. Sonuç olarak; aşırı su çekimi sıkça yapılmamalıdır. Küçük kazançlara karşılık büyük potansiyel tehlikelerin göze alınmaması için aşırı su çekimi hususunda çok titiz davranılmalıdır. Böyle durumlarda, böyle alanlarda su kalitesi sürekli olarak gözlenmeli, önemli kalite bozuklukları saptanırsa, pompaj durdurulmalıdır (Bell, 1993).

1969 yılında Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (IAH) ve UNESCO’nun başlattığı bir proje ile dünya genelinde zemin çökmelerinin konumu, nedenleri, büyüklüğü gibi bilgiler toplanmaya başlamıştır. Veri tabanında tutulan kayıtlara göre; son 30 yılda 200’den fazla zemin çökmesi belgelenmiş ve bunların büyük çoğunluğunun yeraltı sularının çekilmesiyle ilişkili olduğu görülmüştür (URL-3).

KJA’nın yaklaşık 30 km kuzeydoğusunda beslenme alanında Kozaklı jeotermal sularının birincil akiferi konumundaki mermerlerde bir kalsit işletmesi bulunmaktadır (Şekil 4.4). Bu işletme, akiferi giderek tüketmektedir. Bilindiği gibi, 2007 yılında yayımlanmış daha sonra da iyileştirilmiş Jeotermal Kaynaklar Yasası, beslenme alanlarında böyle yapılara izin vermemektedir.



Şekil 4.4: KJA’daki kalsit işletmesi.

Ülkemizde Kozaklı İlçesinde meydana gelen çökme olayının benzeri Şanlıurfa İlinin Akçakale İlçesine bağlı Ekinyazı mahallesinin kırsalında da meydana gelmiştir. Pamuk tarlasında meydana gelen obruk, ıslah çalışmaları kapsamında Devlet Su İşleri tarafından 13 kamyon ve her biri 1-2 ton ağırlığındaki kayalar ile doldurulmasına rağmen 4 yıl sonra tekrar aynı noktada yeniden çökme meydana gelmiş ve çapı yaklaşık 10-12 m olup, derinliği belirlenememiş obruğun doldurulan kayaların tümünü yuttuğu gözlenmiştir (URL-4). Şanlıurfa’da meydana gelen bu olayda Kozaklı’dakine benzer biçimde YASS’daki düşüme ek olarak aşırı sulamanın neden olduğu örtü kayaçtaki yükün artması ile çöküntünün oluştuğu tahmin edilmiştir. Yeterli araştırma yapılmadan çöküntünün 13 kamyon kaya ile doldurulması da örtü kayacın yükünü daha da arttırarak yeni bir çökme olayına neden olduğu anlaşılmıştır.

Niğde Sazlıca’daki Dipsiz gölü ve çevresindeki çöküntüler Çelik ve Afşin (1998) tarafından ayrıntılı biçimde incelenmiştir Burada, CO₂ akışı ile karstik alanların genişleyeceği, karstik kireçtaşlarına sıkışmamış birimlerin dolmasıyla boşlukların kirleneceği ve bunu da çöküntünün takip edeceği belirtilmiştir. Akifer derinliğinin artmasına bağlı olarak çöküntünün oluşumunun yüzeyde gecikeceği, Dipsiz gölünde her 1 m’lik su seviyesi düşümünün 8kN/m² efektif basınç artışına neden olacağı, çökme nedeniyle yeraltı sularının kirlenebileceği ifade edilmiştir.

Bu bağlamda, benzer biçimde, Kozaklı çöküntü alanında, atmosfere açık yeraltısuyunun kirlenmesini önlemek amacıyla atık su ve katı atıkları bölgeden uzaklaştırılmalı ve yöre halkı bilinçlendirilmelidir.

2017 yılı MTA Bilimsel Etkinlik Haftası kapsamında ‘Konya Ovası Bölgesinde Karstik Çöküntü Alanlarının Belirlenmesi ve Tehlike Değerlendirilmesi’ konulu sunumda Törk vd. (2017)’nce obruk gelişiminde en önemli litolojinin karstik özellikteki formasyonlar olduğu; volkanik kökenli gazların ve karışım korozyonunun yeraltısuyunun çözücü özelliğini arttırdığı, aşırı su çekimi sonucu YASS’daki düşümün oluşan obruk sayısının yükselmesine yol açtığı ifade edilmiştir.

KKH’da daha sık görülen obruklar MTA’nın çalışması kapsamında incelenmiş ve potansiyel alanlar belirlenmeye çalışılmıştır. MTA’nın öncülük ettiği ve TÜBİTAK’ın da yer aldığı proje için 4.250.000 TL’lik bir bütçe ayrılmıştır. Çalışmada kohezyonlu zeminlerde çökme, kohezyonsuz taneli zeminlerde ise oturma/sübsidans obruklarının oluşacağı ifade edilmiştir. Obruğun oluştuğu birimin birim hacim ağırlığı belirlenerek,

tek eksenli sıkışma deneyi ile dayanımları sınıflandırılmıştır. Silis içeriğinin fazlalığının dayanımın artmasına, kil içeriğinin fazla olmasının ise dayanımın düşmesine neden olduğu vurgulanmıştır. Konya ovasında gravite, jeoelektrik araştırmalar, yer radarı ve çoklu frekans elektromanyetik yöntemler gibi jeofizik çalışmalar yapılmış, uzaktan algılama ve sondaj çalışmalarının ise devam ettiği belirtilmiştir.

Kozaklı bölgesinde de olası obruk oluşum alanları bu tip çalışmalar ile belirlenmeli ve bu çalışmalar sonucuna göre tedbirler alınmalıdır. Tez çalışması kapsamında lokal olarak MASW, DES ve ERT jeofizik çalışmaları ile birlikte alınan örselenmiş numunelerden birim hacim ağırlık ve dayanım sınıflamaları yapılarak sonuçlar yorumlanmaya çalışılmıştır. Kozaklı'da da KKH'ya benzer geniş çaplı ve uzun vadeli çalışmaların yapılması jeotermal enerji açısından Orta Anadolu'da önemli bir alanda olası bir afetin önlenmesi için büyük önem taşımaktadır

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

❖ KJA ve çevresinin temelinde Kırşehir masifinin doğu uzantısı olan Paleozoyik yaşlı kristalin birimler alttan üste doğru gnays, şist; mermer bant ve mercekleri ile şist ardalanmalıdır. Mermerler beyaz-açık gri renkli olup, bol kırıklı, çatlaklı ve erime boşluklu olup, hazne kayayı oluşturmuştur.

❖ Çöküntü alanının jeolojisi için daha önceki çalışmalar ile güncel çalışmalar birlikte değerlendirilmiştir. Güncel olarak yapılan 2 adet MASW, 2 adet DES ve 3 adet ERT olmak üzere toplam 7 profil jeofizik ölçümün yanısıra Çöküntü alanından 4 zemin ve 2 kaya olmak üzere toplam 6 el numunesi alınmıştır.

❖ Daha önceki jeofizik çalışmalarda KJA'da KB-GD doğrultulu ve düşey atımlı iki paralel ve KB-GD doğrultulu diğer faylara dik düşen iki paralel fay tespit edilmiştir.

❖ Güncel jeofizik çalışmalarda ise yaklaşık 35-40 m derinlikteki birimler tespit edilmeye çalışılmıştır. Özellikle çöküntü hizasında, çöküntünün kuzey ve doğusunda suya doygun ve/veya boşluklu birimler mevcuttur.

❖ Güncel jeofizik çalışmalardan MASW ve DES ölçümlerine göre olası litoloji üst kısımları kırıklı-çatlaklı travertenden oluşmuştur.

❖ Zeminden alınan iki adet el numunesinin laboratuvar sonuçlarına göre; 1 no'lu numunenin siltli çakıl, çakıl-kum-silt karışımı (GM); 2 no'lu el numunesinin plastisitesi düşük silt (ML) olduğu saptanmıştır.

❖ Kayaç el numunesinin laboratuvar sonuçlarına göre nokta yükleme deneyi ile değerler bulunmuştur. Bu değerlerden faydalanılarak tek eksenli basınç dayanımları hesap edilmiş ve üst seviyedeki kırıklı çatlaklı traverten birimin düşük dayanımlı olduğu ortaya konulmuştur.

❖ KJA'daki mermerlerden oluşan Bozçaldağ mermerleri yüksek permeabilite ve poroziteye sahip olduklarından jeotermal suların birincil akiferidir.

❖ Bölgedeki sıcak su kuyularının derinlikleri 60 m ile 2.015 m, sıcaklıkları ise 80 °C – 96 °C arasındadır. En güncel verilerden 2008 yılında tamamlanan MTA-K4 sondajında sıcaklık 80 °C ve çöküntü alanının yaklaşık 200 metre yakınında bulunan Şelale kuyusunun derinliği yaklaşık 140 m, sıcaklığı ise 92 °C olduğu ifade edilmiştir.

❖ Kozaklı sahasında bulunan sıcak sular aynı kimyasal karakteri gösterdiği için aynı kökenlidirler. KJA'daki jeotermal sularda Na ve Cl ve SO_4 ; soğuk sularda ise Ca ve HCO_3 hakimdir.

❖ İncelenen sular aragonit, kalsit ve dolomite doygun olup, bunları çöktürme; jips, anhidrit ve halit bakımından doygun olmayıp bunları çözeltme özelliklidir. Bu durum YAS'ın mermer, kireçtaşı, traverten ve evaporit gibi karbonatlı kayalarla etkileşimine işaret eder. Ayrıca karışım korozyonu da kayaların çözünmelerinde ve karstik yapıların oluşmasında etken faktördür.

❖ KJA'daki jeotermal suların yeraltısuların yeraltı akış sistemi boyunca dolaşmaları sırasında su-kayaç etkileşiminin yanı sıra jeotermal gradyan, granit sokulumu ve radyojenik ısı kaynakları sonucu ısınmaktadır.

❖ Bölgede jeotermal enerji ile konut ısıtması, seracılık ve otellerin ısınma ve termal tesis kullanımı açısından büyük önem taşımaktadır. Bölgede 25-30 adet kamu ve özel sektöre ait termal tesis yer almaktadır.

❖ Bölgede 2016 yılında tamamlanan Kozaklı Jeotermal Su Hattı ve Otomasyon Merkezi ile su toplama ve dağıtma faaliyetleri başlamıştır. Tesiste 1.500 ton kapasiteli toplama havuzu ile 500 ton kapasiteli reenjeksiyon havuzu yer almaktadır.

❖ 500 tonluk reenjeksiyon havuzundan yaklaşık 1.140 m kotunda yer alan reenjeksiyon kuyusuna kaynak sağlanmaktadır. Reenjeksiyon kuyusu ise 110-150 lt/sn kapasite ile sürekli çalıştırılmaktadır. Reenjeksiyon kuyusunun aktif hale gelmesiyle yeraltısuyu seviyesinde yükselme olduğu belirtilmiştir. Kuruyan çöküntü tabanı ise reenjeksiyondan sonra su seviyesinin yükselmesiyle dolduğu ifade edilmiştir. Yerinde yapılan incelemede de çöküntü tabanından su çıkışları vardır.

❖ YAS'ın karbondioksit ile birleşmesi sonucu oluşan karbonik asit çözünebilen kayalardaki boşlukların artmasına neden olarak karstlaşmayı hızlandırır. Akabinde kontrolsüz ve aşırı yeraltısuyu kullanımı sonucu boşluk hacmi artar ve örtü birim kendi ağırlığını taşıyamayarak ani çökmelere neden olur. Çöküntünün oluşmasının iki ana etkeni olarak karstlaşma ve yeraltısuyu seviyesinin düşmesidir.

❖ 2006-2007 yıllarına ait KJA yıllık yağış miktarları grafiğine göre çöküntü oluşumundan önceki 8 yılda yıllık yağış miktarları ortalama yağış miktarının hep altında kalmaktadır. Bu durum yeraltısularının beslenmesine olumsuz etki ederken yeraltısularının aşırı kullanımı ile de YASS düşmesine neden olmaktadır.

- ❖ Çöküntünün oluşmasında tektonik faaliyetler ve dış faktörler de etkili olmuştur. Çöküntü meydana gelmeden önceki 3 ay içerisinde bölgede Mw:3,0 ve Mw:3,2 büyüklüğünde iki adet deprem meydana gelmiştir. Ayrıca çöküntü alanında yüzeyde dolgunun olduğu ve bu dolgunun hafriyat dökümü sonucu oluştuğu ifade edilmiştir.
- ❖ İnceleme esnasında çöküntü alanında deformasyonlara rastlanılmıştır. Çöküntü etrafında zeminde oturmalar, çatlaklar ve çok geniş açıklıklar tespit edilmiştir. Bu deformasyonlar çöküntü alanının genişlemesine neden olabilir. 2016 yılının sonunda çöküntü civarında büyük bir parçada kopma olduğu belirtilmiştir. Özellikle çöküntünün doğusunda bulunan yoldaki oturmalar yolun aktif olarak kullanıldığı düşünüldüğünde tehlike arz etmektedir.
- ❖ Çöküntünün bulunduğu bölgedeki birimlerin suya doygun ve/veya boşluk içeren birimlerden oluştuğu saptanmıştır. Özellikle çöküntünün kuzeyinde yer alan bölgenin de çöküntü alanı ile aynı özellikleri taşımasından dolayı potansiyel çöküntü alanı olabileceği öngörülmüştür.
- ❖ Ülkemizde obruk oluşumunda sonraki ıslah çalışmaları kapsamında çöküntüyü büyük kaya bloklarıyla doldurma işlemi gibi önlemler gerekli ön araştırmalar yapıldıktan sonra uygulanmalıdır. Ayrıca atmosferle temas halinde bulunan çöküntü içerisindeki suların atık su ve katı atıklar ile olabilecek teması mutlaka engellenmeli ve yerel halk bu konuda bilinçlendirilmelidir.
- ❖ Yer altında oluşan karstik yapılar ise zamanla genişleyerek örtü yükünün de etkisi ile KJA'da 2007 yılında meydana gelen çöküntülere benzer senaryolara neden olabilir.
- ❖ Çöküntünün İHA görüntülerine göre; çöküntü yakınında bulunan Belediye İşletmesi ve çöküntünün 20 m doğusunda bulunan ve aktif olarak kullanılan karayolu için gerekli tedbirler alınmalıdır. Bu kapsamda çöküntü ilerlemesinin ve şev stabilitesi sorununun yol üzerindeki etkisi daha kapsamlı ve uzun vadeli incelenmeli, reenjeksiyon beslemesinin yolun altındaki birimlere olan etkisi araştırılmalıdır.
- ❖ KJA'daki çöküntü aletsel çalışmalar yardımıyla uzun vadede izlenmelidir. Bu yöntem ile araştırma yapılması çöküntünün gelişimi hakkında bilgi verecektir.
- ❖ Çöküntü alanına giriş ve çıkışların kontrol altına alınması, daha detaylı çalışmalar ve uzun süreli gözlemler ile değerlendirilmesi olası bir afeti engelleyebilmek adına büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- Afşin, M., Kavurmacı, M., Doğan, G., Gürdal, H., Erdoğan, N., Gürel, A. ve Oruç, Ö., 2015. Kozaklı (Nevşehir) ve Terme (Kırşehir) jeotermal sularının hidrojeokimyasal ve Tıbbi-Biyoklimsel değerlendirmesi. Jeotermal Kaynaklar Sempozyumu ve sergisi. (4-6 Kasım 2015), Ankara, Bildiriler Kitabı, (Ed.: Ateşoğulları ÖC, Doğdu N ve Kolat Ç.). 565-576.
- Afşin, M., Erdoğan, N., Gürdal, H., Gürel, A., Onak, A., Oruç, Ö., Kavurmacı, M. ve Durukan, G., 2007. Orta Anadolu'daki Sıcak Ve Mineralli Suların Ve Travertenlerin Hidrojeokimyasal Ve İzotopik İncelenmesi Ve Suların Tıbbî Ve Biyoklimsel Değerlendirilmesi, Aksaray.
- Afşin, M. ve Kayabalı, K., 2004. Uygulamalı Hidrojeoloji (Tercüme), Gazi Kitabevi, 682 s. (Kitabın orijinal adı: Applied Hydrogeology, C.W. Fetter, 2001; Prentice-Hall Publ., p. 593).
- Akgül, H., Öztürk, S. ve Bilgin, T.R. 2008. Orta Anadolu Jeotermal Enerji Aramaları Projesi Kozaklı Jeoloji ve Jeofizik Raporu, MTA Derleme Rapor No:11041.
- Akyüz, M., Şeren, İ., Sevim, S., Koçak, A. ve Kocabacak, E., 2007. Bayındırlık Ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Jeolojik Etüd Raporu, Nevşehir
- Arık, F., 2017. Deprem, Obruk ve Afet Yönetimi Paneli, Konya.
- Arnorsson, S., 2000. Isotopic and Chemical Techniques in Geothermal Exploration, Development and Use, IAEA publication, Vienna, 351s.
- Aydemir, S., Demir, T., Yeşilnacar, I., Seyrek, A. ve Doğan, E., 2005, Harran Ovası Çökme Çukurları, IV. GAP Tarım Kongresi, Cilt:II, Şanlıurfa, 21-28.
- Bayarı, S. ve Özyurt, N., 2014. Earth Tide, A Potential Driver For Hypogenic Fluid Flow: Observations From A Submarine Cave In SW Turkey. Hypogene Cave Morphologies Karst Waters Institute Special Publication 18, 20-24.
- Bayarı, S., Özyurt, N. ve Kilani, S., 2009. Radiocarbon age distribution of groundwater in the Konya Closed Basin Obruks, central Anatolia, Turkey: analysis of likely formation processes. Hydrogeol J 17:347–365.
- Bell, G. F., 1993, Engineering geology, Blackwell, Scientific, Cambridge.
- Bögli, A., 1980. Karst hydrology and physical speleology (translated from the German by June C. Schmid). Springer, New York.
- Buchignani, V., D'amato avanzi, G., Giannecchini, R. ve Puccinelli, A., 2007, Evaporite karst and sinkholes; a synthesis on the case of Camaiole (Italy), Environmental Geology, Springer-Verlag.
- Canik, B., 1991. Terme kaplıcası ve çevresinin hidrojeolojik etüdü, A.Ü.F.F. Jeoloji Mühendisliği Bölümü Yayını.
- Canik, B., ve Çörekçioğlu, I., 1985. The formation of sinkholes (Obruk) between Karapınar and Kızören-Konya. Karst Water Resour IAHS Publication. 161:193-205.
- Clark, I., ve Fritz, P., 1997. Environmental Isotopes in Hydrogeology. Lewis publishers. Pp: 328.
- Çelik, M. ve Afşin, M., 1998. The role of hydrogeology in solution subsidence development and its environmental impacts; a case-study for Sazlıca (Niğde, Turkey), Environmental Geology, 36, 335-342.
- Dağıstan, H., Kara, İ. ve Duru, M., 2008. Nevşehir-Kozaklı jeotermal sahasında yeni bulgular. Termal ve Maden Suları Konferansı, 24-25 Nisan 2008, İstanbul 156-169.
- Deere, D. U., ve Miller, R. P., 1966. Classification and index properties of intact rock. Technical report AFWL-TR-65-116, AF Special Weapons Center, Kirtland AirForce Base, New Mexico.

- Doğan, U., 2004. Dolin Sınıflamasında Yeni Yaklaşımlar, Gazi Üniversitesi, Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, Cilt:24, Sayı:1, Ankara, 249-269.
- Domenico, P. ve Schwartz, F., 1990. Physical and Chemical Hydrogeology. John Wiley & Sons, 824s.
- Durdu, M., Azıtepe, M. A., ve Yıldız S., 2015. Orta-Anadolu Jeotermal Enerji Aramaları Nevşehir-Kırşehir ve Civarı Jeotermal Enerji Aramaları, MTA Genel Müdürlüğü, 2015-33.13.11, KMK-2015/4 nolu kuyu raporu.
- Erdoğan, N., Gürdal, H., Afşin, M. ve Oruç, Ö., 2008. Orta Anadolu termomineral suların insan sağlığına etkileri yönünden değerlendirilmesi. Su-Enerji-Sağlık Sempozyumu 2008, Aksaray.
- Erişen, B. ve Özgür, R., 1999. Kozaklı (Nevşehir) Alanının Jeotermal Enerji Olanaklarına İlişkin Değerlendirme Raporu, MTA Derleme Rapor No:10376.
- Ford, D. C. ve Williams, P., 1989. Karst geomorphology and hydrology. Hyman, Winchester, MA.
- Ford, D. C. ve Williams, P., 2007. Karst hydrogeology and geomorphology. Wiley, Chichester, UK, 562pp.
- Göçtü, S., Kaynak, M. ve Duvarcı, E., 1992. Nevşehir Kozaklı Sıcaksu Aramaları Jeofizik Etüd Raporu, MTA Derleme Rapor No:9828.
- Gutierrez, F., Guerrero, J. ve Lucha, P., 2007, A genetic classification of sinkholes illustrated from evaporite paleokarst in Spain, Environmental Geology, Springer-Verlag.
- Gürel, A., Afşin, M. ve Doğan, G., 2013. Nevşehir Kozaklı ve Kırşehir Terme (Orta Anadolu) Jeotermal Alanlarında Traverten Oluşum Mekanizması, Baki Canik Su Medeniyeti Sempozyumu 2013, Aksaray.
- Jennings, J. N., 1985. Karst geomorphology (revised and expanded edition of Jennings, 1971). Blackwell, Oxford, UK, 293 pp
- Kadioğlu, S. ve Kadioğlu, Y. K., 2010. Picturing internal fractures of historical statues using ground penetrating radar method. Advances in Geosciences 24, 23-34.
- Kara, H., 1997. Türkiye Jeoloji Haritaları Yozgat G-19, MTA
- Kara, İ., 2009. Nevşehir Kozaklı MTA-K4 Jeotermal Araştırma Sondajı Kuyu Bitirme, MTA Derleme Rapor No:11182.
- Karaca, S., Kesgin, Ö. ve Ceran, F.M., 2017. Nevşehir-Kayseri ve civarı jeotermal enerji aramaları 2016-33-13,09 no'lu MTA Genel Müdürlüğü projesi, NKÖ-2016/4 no'lu kuyu raporu (yayımlanmamış), Ankara.
- Koçak, A., 1997. Kozaklı Jeotermal Alanının Su kimyası ve Rezervuar Sıcaklığının İncelenmesi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enst, Doktora Tezi.
- Kopar, İ., 2007. Kozaklı (Nevşehir) jeotermal sahasında oluşan örtü-çökme dolininin (cover-sinkhole sinkhole) oluşumu ve sonuçları bakımından bir değerlendirme. Türk Coğrafya Dergisi, 49, 73-88, İstanbul.
- Kuniansky, E. L., Weary, D. J. ve Kaufmann, J. E., 2016. The current status of mapping karst areas and availability of public sinkhole-risk resources in karst terrains of the United States. Hydrogeol J 24(3):613–624.
- Kuşcu, İ., 1997. The mineralogical and geochemical comparison of the Pb-Zn skarns in the Akdağmadeni, Akçakışla and Keskin districts, Central Anatolia, Turkey. Ortadoğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara, 192 s, (yayımlanmamış).
- M.T.A., 1992. Nevşehir-Kozaklı SSK-1 Sıcak Su Sondajı Kuyu Bitirme Raporu.
- Niehoff, W., 1965, Kozaklı-Nevşehir İlçaları bölgesinde yapılan jeolojik etüdler, MTA Rapor No:3608.

- Ok, G., 2007. Kozaklı (Nevşehir) Ve Terme (Kırşehir) Sıcak Ve Minerallisularının Su Kimyası Ve İzotopik Yöntemlerle Karşılaştırılması, Tıbbi Ve Biyoiklimsel Değerlendirmesi, Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Ens. Yüksek Lisans Tezi, Niğde.
- Öngür, T. ve Kartal, T., 1972. Terme (Kırşehir) kaplıcasına ilişkin hidrojeolojik rapor, Rapor No:4846.
- Özbek, T., 1975. Nevşehir Kozaklı Kaplıcası Hidrojeoloji Etüd Raporu, MTA Derleme Rapor No:5451.
- Özer, R., 2015. Kozaklı (Nevşehir) Sahası Jeotermal Enerji Kapasitesinin Belirlenmesi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens. Yüksek Lisans Tezi, Aksaray.
- Özgür, R., Uygur, N., Güdücü, A. ve Önder, M., 1997. Nevşehir-Kozaklı K-1 sıcak su sondajı kuyu bitirme raporu. MTA Gen. Md. Der. Rap. No:10275 Ankara, 1997.
- Özkan, H. ve Koçak, A., 2006. Nevşehir ili jeotermal kaynakların değerlendirme raporu, MTA Ankara.
- Pasvanoğlu, S. ve Chandrasekharam, D., 2011. Hydrogeochemical and isotopic study of thermal and mineralized waters from the Nevşehir (Kozaklı) area, Central Turkey, Journal of Volcanology and Geothermal Research.
- Pasvanoğlu, S., Güner, A. ve Gültekin, F., 2012. Environmental problems at the Nevşehir (Kozaklı) geothermal field, central Turkey. Environ Earth Sci 66:549–560.
- Pekkan, E., 2004. Konya kapalı havzasında karstik çöküntü yapıları olan obrukların oluşumunu etkileyen hidrojeokimyasal süreçlerin incelenmesi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Plummer, L. N., Wigley, T. M. L. ve Parkhurst D.L., 1978, The kinetic of calcite dissolution in CO₂- water systems at 5° to 60°C and 0.00 to 1.00 atm CO₂, American Journal of Science 278, 176-216.
- Roques, H., 1961. Elements pour une cietique des phenomenes karstochimiques. Ann. Speleol. 16, 329-39.
- Rupert, F. ve Spencer, S., 2004 Florida's sinkholes. Florida Geological Survey Poster no. 11, FGS, Tallahassee, FL.
- Serrüya, S., 1963. Kozaklı Ilıcaları Nevşehir Vilayeti, MTA Derleme Rapor No:3207.
- Sweeting, M. M., 1973. Karst landforms. Columbia University Press, New York.
- Şamilgil E, 1965. Nevşehir Kozaklı Civarının Hidrpjeolojik Etüdü ve Jeotermik Enerji İmkânı, MTA Derleme Rapor No:3510.
- Şekercioğlu, E., 2002. Yapıların Projelendirilmesinde Mühendislik Jeolojisi. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları No:28, Ankara.
- Tezcan, K., 1963. Nevşehir Kozaklı Gravite Rezistivite ve Termik Etüdları. MTA Derleme Rapor No:3614.
- Terzaghi, K., 1943. Theoretical soil mechanics. Wiley, New York.
- Tihansky, A. B., 1999. Sinkholes, west-central Florida. In: Galloway D, Jones DR, Ingebritsen SE (eds) Land subsidence in the United States. US Geol Surv Circ 1182, pp 121–140
- Todd, D. K., 1980. Graundwater Hydrology, John Wiley and Sons, New York.
- Türk, K., Keleş, S., Köklü, Ş., Yeleşer, L., Yılmaz, P., Sülükçü, S., Emiroğlu, Ş., Ataman, O., Avcı, K., Aykaç, S., Demirci, B., Özerk, R. ve Yılmaz, E., 2017. Konya Ovası (KOP) Bölgesinde (Konya, Karaman, Aksaray, Niğde) Karstik Çöküntü Alanlarının Belirlenmesi ve Tehlike Değerlendirmesi, MTA Bilimsel Etkinlikler Haftası.

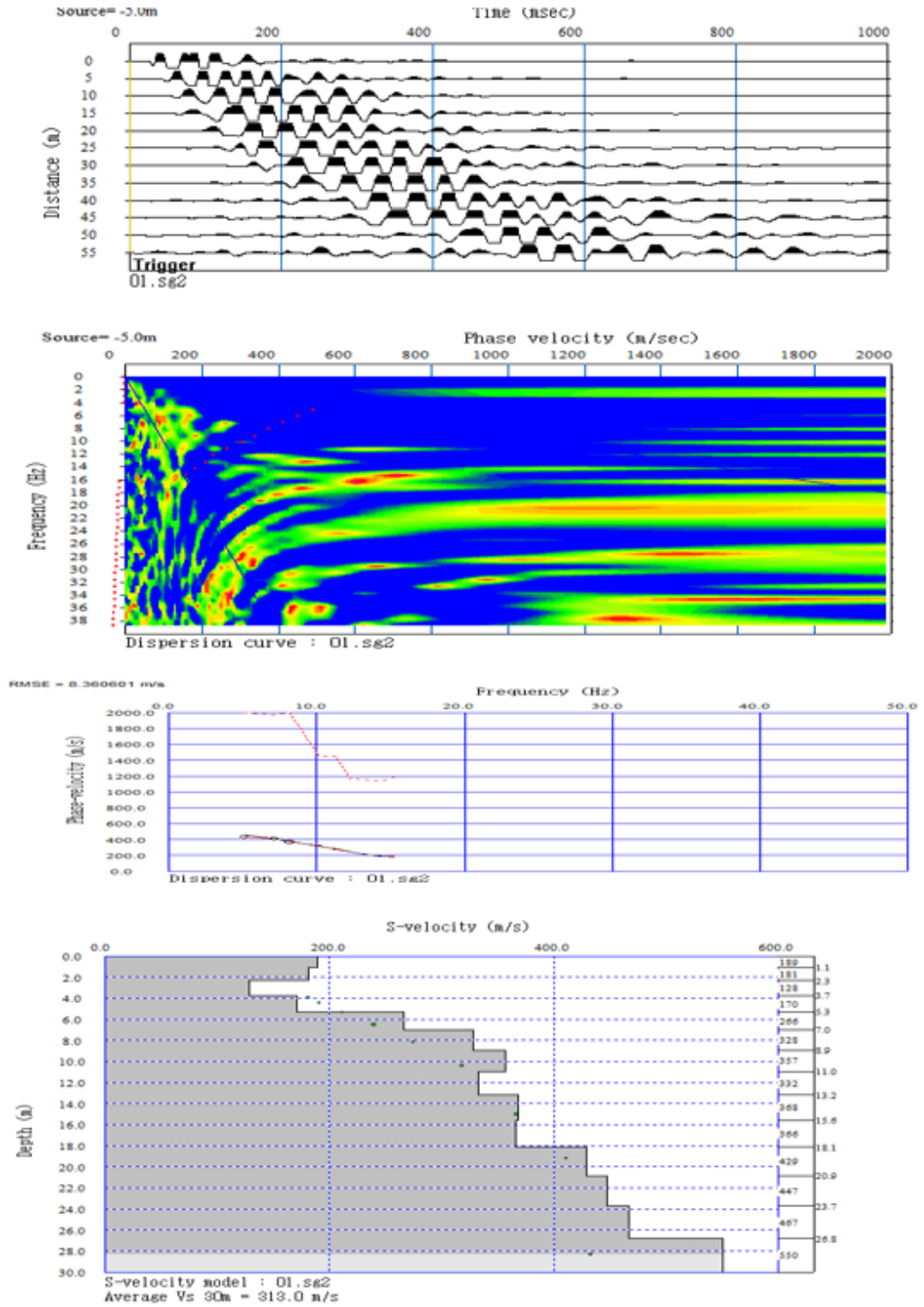
- Truesdell, A. H. ve Hulston, J. R., 1980. Isotopic evidence of environments of geothermal systems. Handbook of Environmental Isotope Geochemistry. Fritz, P. And Fontes J. Ch.(eds), Vol.1, The Terrestrial Environment, Elsevier, pp.179-226.
- Ulusay, R., 2010. Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları:38, 128.
- Üstün, A., Yalvaç, S. ve Tuşat, E., 2008. Konya Kapalı Havzasında Zemin Çökmelerinin GPS Yardımıyla Belirlenmesi, Konya Kapalı Havzası Yeraltısuyu ve Kuraklı Konferansı 116-123, Konya.
- Waltham, T., Bell, F. G. ve Culshaw, M., 2005. Sinkholes and subsidence: Karst and cavernous rocks in engineering and construction. Springer-PraxisBooks in Geophysical Sciences, Springer, Heidelberg, Germany
- Zakari Are'touyap, Njandjock Nouck Philippe, Robert Nouayou, William Teikeu Assatse, Jamal Asfahani 2017. Aquifer porosity in the Pan-African semi-arid context, Environmental Earth Sci (2017) 76:134.
- Zhou, W. ve Beck, G. T. F., 2007. Management and mitigation of sinkhole on karst lands; an overview of practical applications, Environmental Geology, Springer-Verlag.
- Zhou, W. ve Lei, M., 2017. Conceptual site models for sinkhole formation and remediation. Environmental Earth Sciences, 76: 818, 1-12
- URL-1 <http://udim.koeri.boun.edu.tr/zeqmap/osmap.asp> (15.11.2017)
- URL-2 www.popularmechanics.com/science/environment/a27144/how-sinkholes-form/?src=social-em (30.10.2017)
- URL-3 <http://isols.usgs.gov/> (15.11.2017)
- URL-4 <http://www.sanliurfa63.com/urfa-da-dort-yil-sonra-ayni-yerde-olusan-obruk-korkuttu/9049/> (20.12.2017)

EKLER

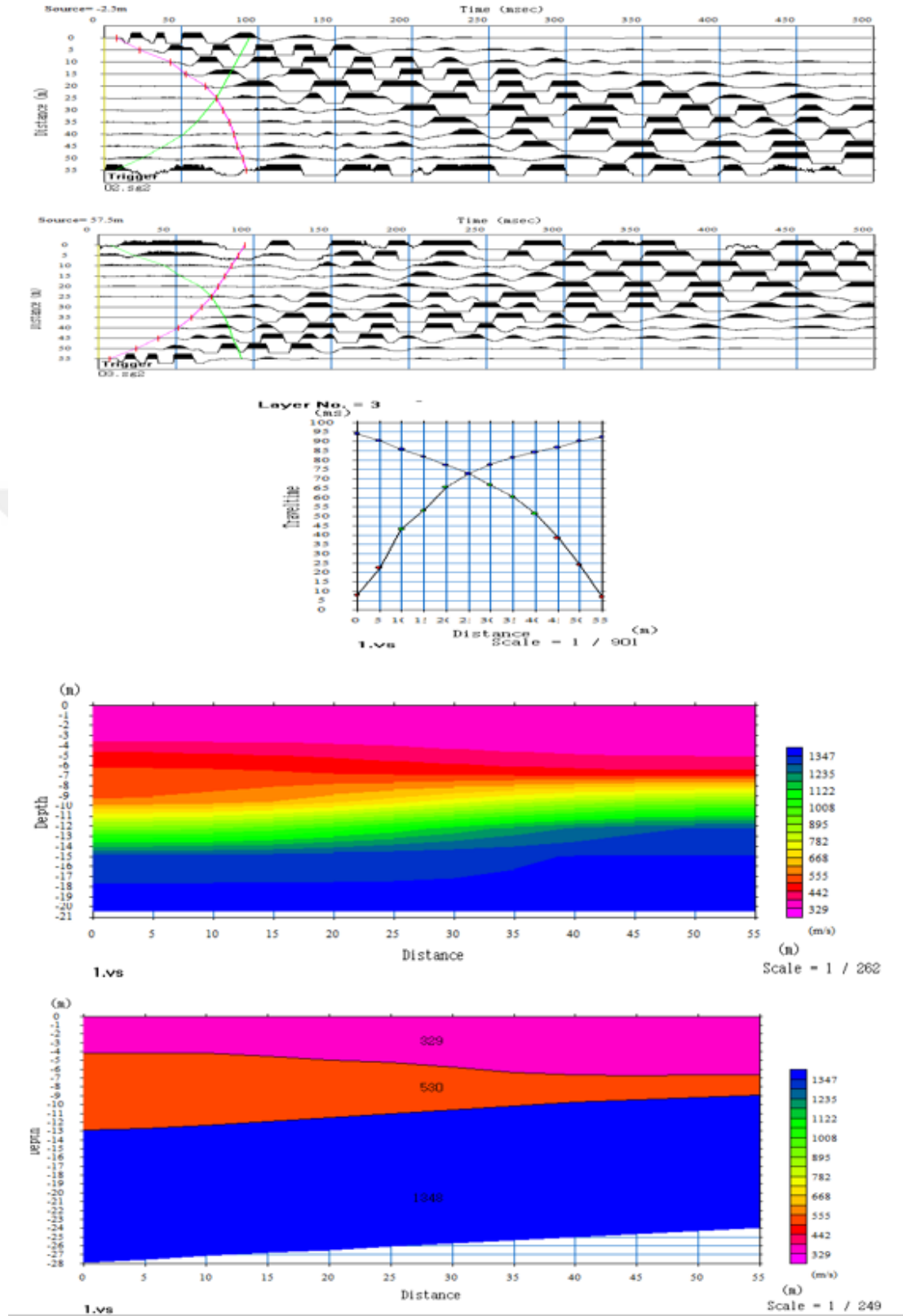
EK A: JEOFİZİK ÖLÇÜM VERİLERİ

SİSMİK GRAFİKLER

MASW 1

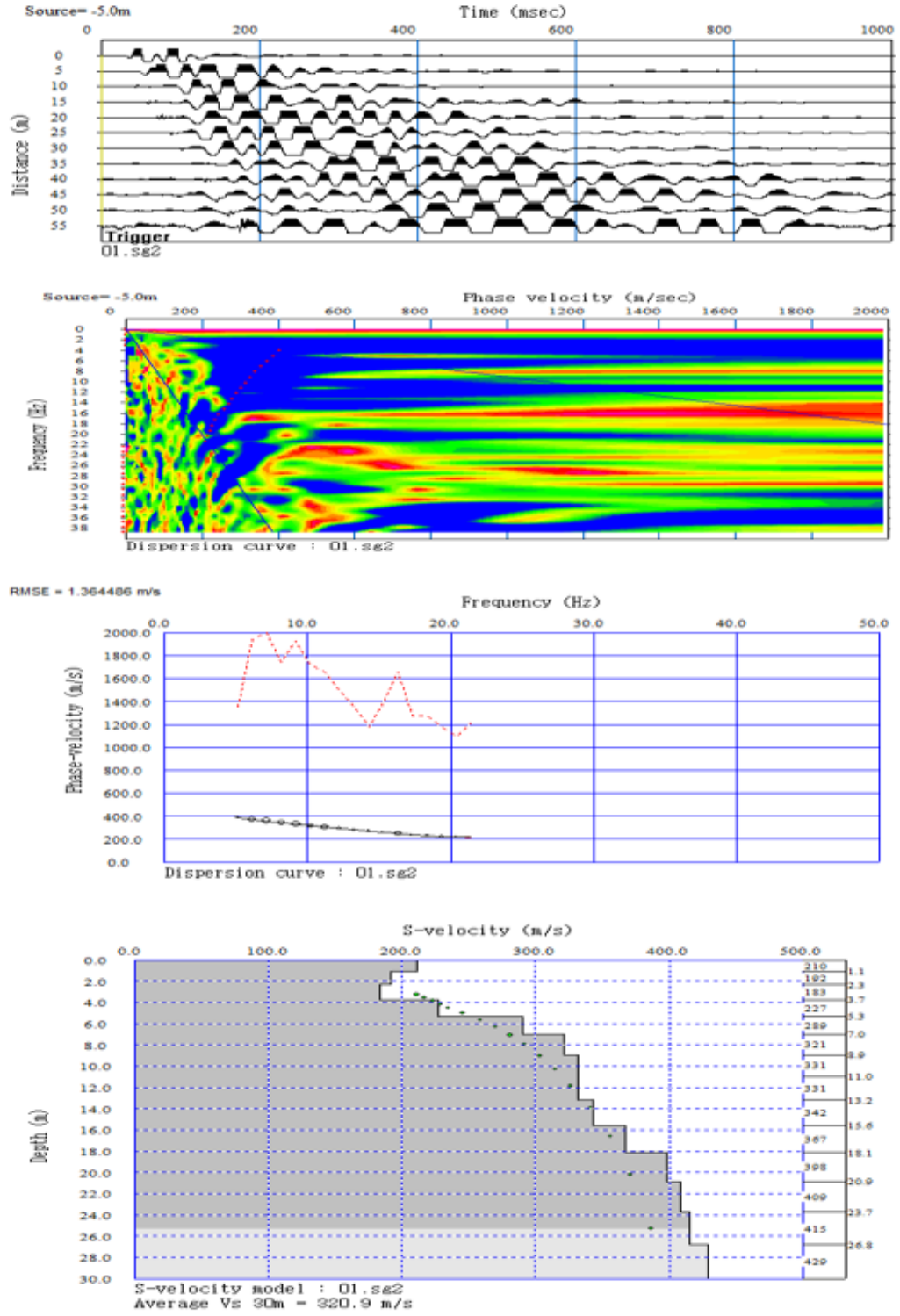


Şekil A.1: MASW 1 ölçüm verileri

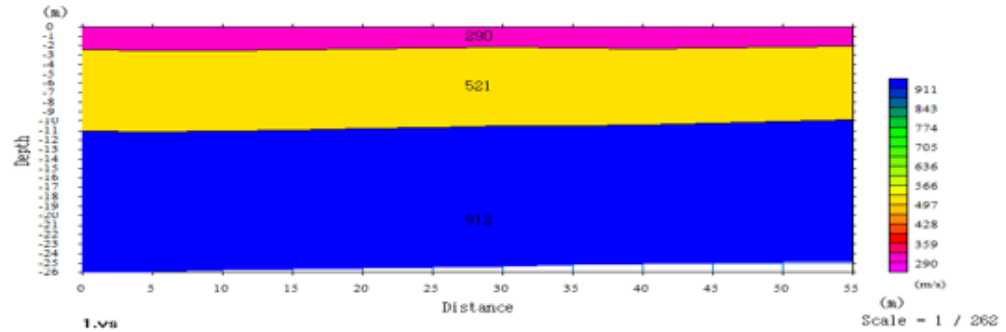
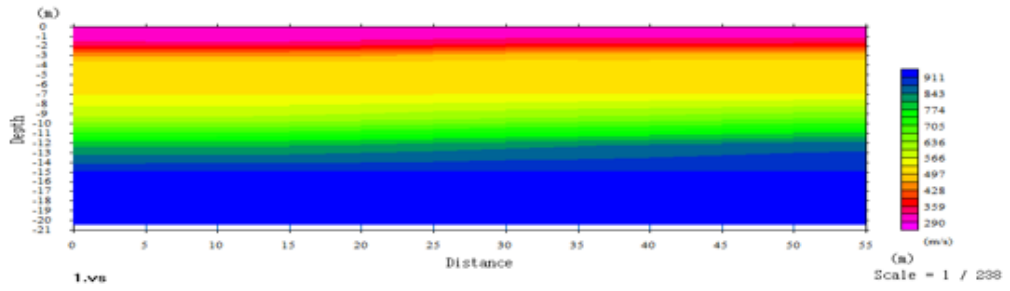
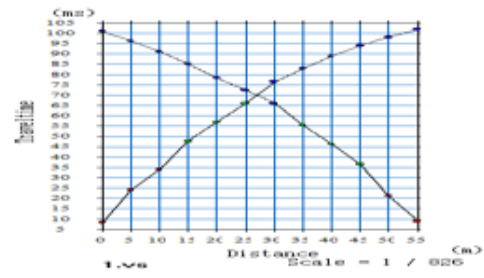
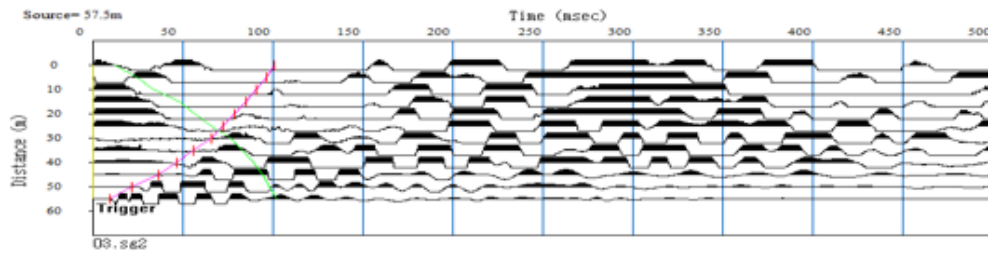
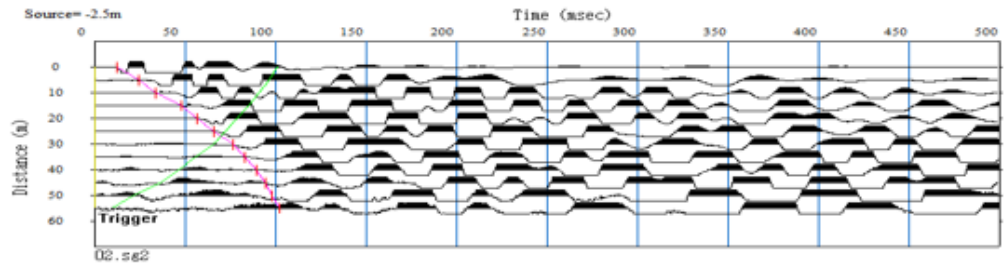


Şekil A.2: MASW 1 ölçüm verileri

MASW 2

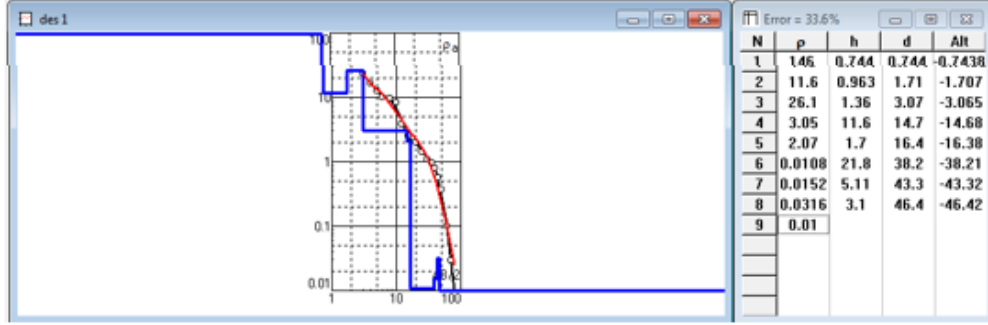


Şekil A.3: MASW 2 ölçüm verileri

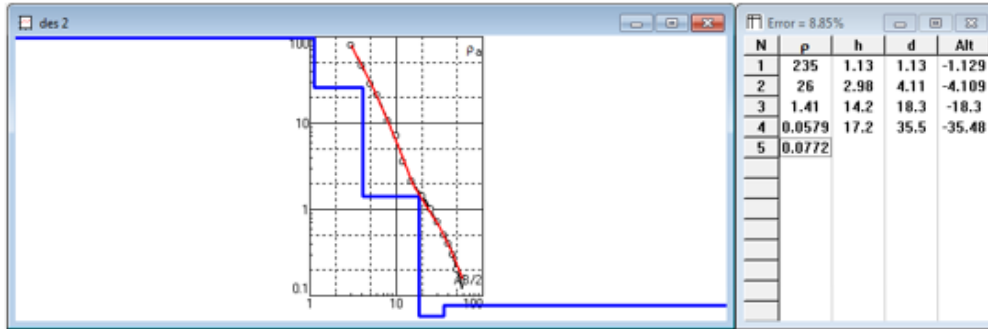


Şekil A.4: MASW 2 ölçüm verileri

DES 1



DES 2



Şekil A.5: DES ölçüm verileri

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Koray SELÇUK

Doğum Tarihi ve Yeri: 02.06.1982 - ANKARA

E-posta adresi : jeokoray@gmail.com

EĞİTİM BİLGİLERİ (Kurum ve Yıl)

Lisans : ANKARA ÜNİVERSİTESİ, Jeoloji Müh. (2000-2004)

Yüksek Lisans :AKSARAY ÜNİVERSİTESİ, Jeoloji Mühendisliği (2015-?)

Doktora :

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLERİ

2007-2012 SELHAS MADEN A.Ş.

2012-2014 BİTLİS İL AFET VE ACİL DURUM MÜDÜRLÜĞÜ

2014 -SGK İNŞAAT VE EMLAK DAİRE BAŞKANLIĞI