

ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MOGAN GÖLÜ HAVZASI (ANKARA) YÜZEY VE YERALTI SULARININ
KARARLI İZOTOP İÇERİKLERİNİN ($\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$) İNCELENMESİ

BEYZANUR KARADEMİR

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ANKARA
2023

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MOGAN GÖLÜ HAVZASI (ANKARA) YÜZEY VE YERALTI SULARININ KARARLI İZOTOP İÇERİKLERİNİN ($\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$) İNCELENMESİ

Beyzanur KARADEMİR

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Şebnem ARSLAN

Bu tez çalışmasının amacı, Mogan Gölü Havzası'nda bulunan yüzey ve yeraltı sularının $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ içeriklerinin belirlenmesi, havzaya düşen yağışın izotopik içeriğinin yıl içerisindeki değişimi ile su örneklerinin $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ içeriklerinin mevsimsel değişimleri arasındaki ilişkinin ortaya konması, yeraltı sularının beslenme yüksekliklerinin belirlenmesi ve Mogan Gölü ile bu gölü besleyen derelerin $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ içerikleri üzerindeki buharlaşma etkisinin mevsimsel olarak ortaya konmasıdır. Yağışlı ve kurak dönemde arazi çalışmalarında pH, EC, çözülmüş oksijen, sıcaklık gibi fizikokimyasal parametreler yerinde ölçülmüştür. Kurak dönemde tüm su noktaları için $\delta^{18}\text{O}$ içerikleri 3.13‰ ile -14.21‰ arasında değişirken, $\delta^2\text{H}$ içerikleri 1.48‰ ile -99.11 ‰ arasında değişmiştir. Tüm veriler birlikte değerlendirildiğinde tez sahasında örneklenen yüzey sularının farklı mevsimlerde farklı oranlarda buharlaşma etkisinde olduğu; yeraltı suyu noktalarının farklı yüksekliklerden beslendiği ve farklı dolaşım sürelerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca derin yeraltı suyu kuyularında oldukça derin dolaşımli bir yeraltı suyu sisteminin varlığı tespit edilmiştir. Bu sistemin günümüz iklim koşullarından daha soğuk olan farklı dönemlerde beslenmiş olabileceği düşünülmektedir.

Temmuz 2023, 92 sayfa

Anahtar Kelimeler: Mogan Gölü Havzası, Ankara, kararlı izotoplar, yüzey suyu, yeraltı suyu

ABSTRACT

Master's Thesis

INVESTIGATION OF THE STABLE ISOTOPIC COMPOSITIONS ($\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$) OF THE SURFACE WATERS AND GROUNDWATERS IN MOGAN LAKE BASIN (ANKARA)

Beyzanur KARADEMİR

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geological Engineering

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Şebnem ARSLAN

The aim of this thesis is to determine the stable isotope compositions ($\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$) of surface and ground waters in the Mogan Lake Basin, to reveal the relationship between the variations in the $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ composition of the precipitation during the year and the seasonal changes in the $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ composition of the water samples, to determine the recharge elevations of the groundwater samples and to put forward the seasonal effect of evaporation on the stable isotope compositions of Mogan Lake and the streams feeding this lake. Physicochemical parameters such as pH, EC, dissolved oxygen and temperature were measured in-situ during field studies in both wet and dry periods. During the dry period, $\delta^{18}\text{O}$ compositions of all the samples ranged from 3.13‰ to -14.21‰, while $\delta^2\text{H}$ compositions ranged from 1.48‰ to -99.11‰. When all the data are evaluated together, it has been determined that the surface waters sampled in the thesis area show evaporation effects, at different rates in different seasons. Moreover, groundwater points sampled at the site have different recharge elevations and most probably have different groundwater residence times. In addition, the presence of a deep circulating groundwater system has been detected in some of the deep wells. It is thought that this system may have been recharged in cooler periods than today's climatic conditions.

July 2023, 92 pages

Keywords: Mogan Lake Basin, Ankara, stable isotopes, surface water, groundwater

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması 21L0443018 proje numarası ile Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (A.Ü. B.A.P.) tarafından desteklenmiştir. Gün geçtikçe, nüfus artışı, sanayileşme ve yanlış tarımsal politikalar nedeniyle su kaynaklarımız miktar ve kalite bakımından tehdit altındadır. Birbirleri ile ilişkili olan, hidrolojik döngünün her bir aşamasını oluşturan yağmur suları, yüzey ve yeraltı sularının izotopik ve kimyasal içeriklerinin belirlenmesi, sürdürülebilir yaklaşımlar ile su kaynaklarımızı koruma noktasında önemlidir. Mogan Gölü Havzası'nda bu doğrultuda gerçekleştirilen tez çalışmamın finansal destekte bulunan A.Ü. B.A.P. Koordinatörlüğü birimine teşekkür ederim. Tez çalışması kapsamında yağmur suyu örnekleri toplanması amacıyla bölümümüz kampüsüne kurulan yağış istasyonunun temini konusunda yardımını esirgemeyen Meteoroloji Genel Müdürlüğü personeline teşekkürü bir borç bilirim. Mogan Gölü izotop örnekleme TUBİTAK destekli 119Y547 nolu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Proje yürütücüsü Doç. Dr. İrfan Akça'ya desteğinden dolayı teşekkür ederim.

Tez konusunun belirlenmesini sağlayan ve tez çalışmam boyunca arazide ve çalışmalarımın her aşamasında desteğini esirgemeyen danışman hocam sayın Doç. Dr. Şebnem ARSLAN'a, yüksek lisans ve lisans eğitim hayatım boyunca ders aldığım bu yolda gelişmemi sağlayan bütün hocalarıma teşekkür ederim. Tez çalışmalarım kapsamında Erasmus programı ile Pisa Üniversitesi'nde birlikte çalıştığım Doç. Dr. Viviana RE'ye, beni bir dönem öğrencisi olarak kabul edip desteğini benden esirgemediği için minnettarım. Tez çalışmamın bir parçası olan laboratuvar çalışmalarında bana yardım eden Dr. Selin SÜER'e ve arazi çalışmalarında yerinde yardımları ile desteğini esirgemeyen Hazal BARUTÇU ve Can ARSLAN'a, tabi ki bize yardımcı olup evini açan mahalle muhtarları başta olmak üzere Gölbaşı İlçesi'nin tüm sakinlerine, teşekkürlerimi sunarım. Değerli meslektaşım Canberk ODABAŞI'na tez çalışmam süresince verdiği teknik destekten dolayı minnettarım.

Eğitim hayatım boyunca maddi, manevi beni destekleyen, her zaman yanımda olan annem, babam, kardeşim ve abime sonsuz teşekkür ederim.

Beyzanur KARADEMİR
Ankara, Temmuz 2023

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI	
ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iv
SİMGELER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1 Amaç ve Kapsam.....	1
1.2 Çalışma Alanının Konumu ve Önemi	2
1.3 Önceki Çalışmalar.....	4
2. ÇALIŞMA ALANININ TANITILMASI	9
2.1 Nüfus	9
2.2 İklim	9
2.3 Bitki Örtüsü ve Toprak Yapısı	9
2.4 Jeoloji	10
2.4.1 Stratigrafik jeoloji.....	13
2.5 Hidrojeoloji.....	22
3. KARARLI İZOTOPLAR.....	26
3.1 İzotop Hidrolojisine Giriş.....	26
3.2 Oksijen (^{18}O) ve Hidrojen (^2H) Kararlı İzotopları.....	27
3.2.1 İzotopik bolluk oranı.....	28
3.2.2 İzotopik ayrışma.....	30
3.2.3 Hidrolojik su döngüsü	32
3.2.4 Yağışın kararlı izotop içeriğini etkileyen faktörler.....	34
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	37
4.1 Saha Çalışması.....	37
4.2 Laboratuvar Çalışmaları.....	43
4.2.1 Kimyasal analiz	43
4.2.2 İzotop analizi	43
4.3 Verilerin Değerlendirilmesi.....	46
5. BULGULAR	47
6. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	56
6.1 Sularda Oksijen-18 (^{18}O) ve Döteryum (^2H) ilişkisi	56
6.1.1 Yağışta ^{18}O ve D ilişkisi	60
6.1.2 Yüzey sularında $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ arasındaki ilişki	61
6.1.3 Kaynaklarda (köy çeşmelerinde) $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ arasındaki ilişki	63
6.1.4 Yeraltı suyu kuyularında $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ arasındaki ilişki	67
6.2 Major İyon Kimyası.....	71
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	82
KAYNAKLAR	85

EKLER.....	88
EK 1 Jeoloji Haritası.....	89
EK 2 Hidrojeoloji Haritası.....	90
EK 3 Hidroloji Haritası	91
ÖZGEÇMİŞ.....	92



SİMGELER DİZİNİ

Ag	Gümüş
Al	Alüminyum
As	Arsenik
α	Ayrışma Faktörü (alfa)
B	Bor
Ba	Baryum
Be	Berilyum
Ca	Kalsiyum
Cd	Kadmiyum
Cl	Klorür
CO ₃	Karbonat
Cr	Krom
Cu	Bakır
EC	Elektriksel İletkenlik
EC ₂₅	Özgül Elektriksel İletkenlik
Fe	Demir
H	Hidrojen
HCO ₃ ⁻	Bikarbonat
Hg	Cıva
HNO ₃	Nitrik asit
H ₂ SO ₄	Sülfirik asit
K	Potasyum
Mg	Magnezyum
mV	Milivolt
Na	Sodyum
NO ₃	Nitrat
O	Oksijen
ORP	Oxidation-Reduction Potential (Yükseltgenme İndirgenme Potansiyeli)
P	Fosfor
Pb	Kurşun
Ph	Asidik-Bazik derecesini belirten birim
PO ₄	Fosfat
S	Kükürt
Sb	Antimon
Se	Selenyum
Sn	Kalay
Sr	Stronsiyum
Tl	Talyum
Ti	Titanyum
U	Uranyum

SO ₄	Sülfat
Zn	Çinko
δ	Del notasyonu
μS	Mikro-simens
‰	Permil
¹⁸ O	Oksijen-18 kararlı izotopu
² H	Hidrojen-2 kararlı izotopu (döteryum)

Kısaltmalar

CD	Canyon Diablo meteoriti troilit fazı
ÇSB	Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı
DSİ	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
DİL	Duraylı İzotop Laboratuvarı
GISP	Greenland Ice Sheet Precipitation
GNIP	Global Network for Isotopes in Precipitation (Yağış İzotopları Küresel Ağı)
IAEA	International Atomic Energy Agency (Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu)
KMSD	Küresel Meteorik Su Döngüsü
ODTÜ	Orta Doğu Teknik Üniversitesi
SLAP	Standard Light Antarctic Precipitation
SMOW	Standard Mean Ocean Water (Ortalama Okyanus Suyu Standardı)
SWAT	The Soil and Water Assessment Tool (Toprak ve Su Değerlendirme Modeli)
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
TÜRKAK	Türk Akreditasyon Kurumu
VPDB	Vienna Pee Dee Belemnite
VSMOW	Vienna Standard Mean Ocean Water (Viyana Standardı Ortalama Okyanus Suyu)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Çalışma alanı yer bulduru haritası	3
Şekil 1.2 Gölbaşı Özel Çevre Koruma Bölgesi Sınırı	4
Şekil 2.1 Mogan Havzası jeoloji haritası	11
Şekil 2.2 Mogan Gölü Havzası'na ait stratigrafik istif	12
Şekil 2.3 Elmadağ Formasyonuna ait araziden bir görünüş	14
Şekil 2.4 Dereköy Ofiyolitik Melanjının Sukesen Deresi-başlangıç noktası olarak kabul edilen konumdan görünüşü.....	17
Şekil 2.5 İkizce Mahallesi'nin güneyinde mostra veren Hançili Formasyonundan bir görünüş	19
Şekil 2.6 Tekke Volkanitine ait andezitlerin uzaktan bir görünüşü.....	21
Şekil 3.1 Yaygın olarak izotoplarının kullanıldığı elementlere ait kararlı ve radyoaktif izotoplar	27
Şekil 3.2 İzotopik ayrışma-sıcaklık arasındaki ilişki	31
Şekil 3.3 Su döngüsü	32
Şekil 3.4 Küresel Meteorik Su Doğrusu ile farklı koşullarda yağan yağışların durumu	34
Şekil 4.1 a) MGM'den alınan yağış istasyonu b) Yağış istasyonunun Ankara Üniversitesi Gölbaşı Kampüsü'ne kurulması	38
Şekil 4.2 Yüzey sularından Kasım 2021 (kurak dönem) örnekleme yapılması- Çölova Deresi orta noktası-.....	39
Şekil 4.3 Yağışlı dönem örnekleme için Mogan Gölü'nde belirlenen noktadan derinden örnekleme cihazı ile su örneğinin alınması	39
Şekil 4.4 Sukesen Deresi'nin orta noktası olan Yurtbeyi Mahallesi'nde yağışlı dönem örnekleme yapılması	40
Şekil 4.5 Boyalık Mahallesi'nde yeraltı suyu şahıs kuyusundan, kuyu çalıştırılarak bir miktar akıtıldıktan sonra kimyasal ve izotop analizi için örnekleme yapılması (Haziran 2022).....	41
Şekil 4.6 ODTÜ Merkez Laboratuvarı'nda Bulunan İzotop Oranı Kütle Spektrometresi (IRMS) Cihazı	44
Şekil 4.7 Kütle Spektrometresi şematik diyagramı	45
Şekil 5.1 Kurak dönem örneklemesinde Mogan Gölü Havzası'ndan örnek alınan noktalar	48
Şekil 5.2 Yağışlı dönem örneklemesinde Mogan Gölü Havzası'ndan örnek alınan noktalar	49
Şekil 6.1 Tez çalışması kapsamında örneklenen tüm su noktalarının kurak ve yağışlı dönem $\delta^2\text{H}$ - $\delta^{18}\text{O}$ grafiği.....	57
Şekil 6.2 IAEA/WMO GNIP Ankara istasyonunda 1964-2016 yılları arasında 902 m yüksekliğe düşen yağışın kararlı izotop içerikleri ile 1035 m'de bulunan ve tez çalışması kapsamında Gölbaşı istasyonunda örneklenen yağışın izotopik içerikleri ..	57
Şekil 6.3 Tez çalışması kapsamında örneklenen yüzey sularının kurak ve yağışlı dönem $\delta^2\text{H}$ - $\delta^{18}\text{O}$ grafiği.....	62

Şekil 6.4 Tez çalışması kapsamında örneklenen kaynakların (köy çeşmeleri) kurak ve yağışlı dönem $\delta^2\text{H}$ - $\delta^{18}\text{O}$ grafiği	64
Şekil 6.5 Kaynaklar (köy çeşmeleri) için $\delta^{18}\text{O}$ - boşalım yüksekliği grafiği	66
Şekil 6.6 Mogan Gölü Havzası yükselti haritası.....	68
Şekil 6.7 Tez çalışması kapsamında örneklenen yeraltı suyu kuyularının 2H - $\delta^{18}\text{O}$ grafiği	69
Şekil 6.8 Tez çalışması kapsamında örneklenen yeraltı suyu kuyularının $\delta^2\text{H}$ - $\delta^{18}\text{O}$ grafiği-2..	70
Şekil 6.9 Yeraltı suyu örneklerinde kuyu derinliklerine bağlı $\delta^{18}\text{O}$ değişimini gösteren grafik	71
Şekil 6.10 Yeraltı suyu örneklerinde Elektriksel İletkenliğe bağlı $\delta^{18}\text{O}$ değişimini gösteren grafik.....	72
Şekil 6.11 Mogan Gölü'nde bir noktaya ait kurak ve yağışlı dönem örneklerine ait Schoeller Diyagramı	74
Şekil 6.12 Mogan Gölü Havzası'nda belirlenen yeraltı suyu kuyusu ve köy çeşmelerine ait kurak dönem örneklerinin Schoeller Diyagramı	76
Şekil 6.13 Mogan Gölü Havzası'nda belirlenen yeraltı suyu kuyusu ve köy çeşmelerine ait yağışlı dönem örneklerinin Schoeller Diyagramı	77
Şekil 6.14 Mogan Gölü'nde bir noktaya ait kurak dönem örneğinin Chadha Diyagramı.....	79
Şekil 6.15 Mogan Gölü Havzası'nda belirlenen yeraltı suyu kuyusu ve köy çeşmelerine ait kurak dönem örnekleri Chadha Diyagramı	80
Şekil 6.16 Mogan Gölü Havzası'nda belirlenen yeraltı suyu kuyusu ve köy çeşmelerine ait yağışlı dönem örnekleri Chadha Diyagramı	81

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1	Mogan Gölü Havzası'nda geniş yayılım alanına sahip olan ana formasyonlar.....	13
Çizelge 2.1	Mogan Gölü Havzası'nda bulunan jeolojik birimlerin (akifer özelliğinde olmayanlar) hidrojeolojik olarak gruplandırılması.....	24
Çizelge 3.1	Oksijen ve Hidrojen elementlerinin kararlı izotopları bolluk oranları	28
Çizelge 3.2	İzotopların bolluk oranı için kullanılan standartlar	29
Çizelge 5.1	MGM'den alınan yağış toplama istasyonu ile alınmış yağış sularının fizikokimyasal parametreleri	47
Çizelge 5.2	Yağışlı dönem (Nisan-Haziran 2021) yüzey suları fizikokimyasal parametreleri.....	50
Çizelge 5.3	Kurak dönem (Kasım 2021) yüzey suyu örnekleri fizikokimyasal parametreleri..	50
Çizelge 5.4	Kurak dönem (Kasım 2021) yeraltı suyu örnekleri fizikokimyasal parametreleri.....	52
Çizelge 5.5	Yağışlı dönem (Haziran 2022) yeraltı suyu örnekleri fizikokimyasal parametreleri.....	53
Çizelge 5.6	Yağışlı dönem (Haziran 2021-Haziran 2022) kimyasal analiz yaptırılan örneklerin kimyasal analiz sonuçları.....	55
Çizelge 5.7	Kurak dönem (Kasım 2021) kimyasal analiz yaptırılan örneklerin kimyasal analiz sonuçları.....	55
Çizelge 6.1	Gölbaşı yağış istasyonundan bir yıl boyunca aylık bazda kollektif olarak toplanmış olan yağış örneklerinde oksijen-18, döteryum, döteryum fazlalığı	56
Çizelge 6.2	Kurak dönemi temsilen alınmış yüzey suyu ve yeraltı suyu örneklerinde oksijen-18, döteryum, döteryum fazlalığı.....	58
Çizelge 6.3	Yağışlı dönemi temsilen alınmış yüzey suyu ve yeraltı suyu örneklerinde oksijen-18, döteryum, döteryum fazlalığı.....	59
Çizelge 6.4	IAEA/ GNIP istasyonunda uzun yıllar (1964-2016) alınmış örneklerin aylık ortalama $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ içerikleri ile d fazlalıkları	60
Çizelge 6.5	Kurak dönem köy çeşmeleri için boşalım yükseklikleri ve Apaydın (2004)'e göre ve bu çalışma ile elde edilen beslenme yükseklikleri	66

1. GİRİŞ

1.1 Amaç ve Kapsam

Şehirleşme, nüfus artışı ve tarımsal faaliyetlere bağlı olarak artan su ihtiyacı, atık suların yanlış deşarjı ve bunlara ek olarak kuraklık gibi iklimsel tehditler nedeniyle evrensel bir su sorunu mevcuttur. Çalışma alanı olarak seçilen Mogan Gölü Havzası (Ankara) da bu su sorunları ile tehdit altındadır. Bu bağlamda, bölgede hem devlet kurumları hem de bilim insanları tarafından farklı alanlarda çalışmalar yürütülmektedir ve bahsi geçen çalışmalar daha çok su kirliliği, kirlilik taşınımı ve modelleme üzerinedir (Yurtsever 2006, Dişli 2007, Yağbasan 2007, DSİ 2020). Buradan anlaşıldığı üzere, tez sahası olarak seçilen alanda Özaydın (1997) tarafından yapılmış bir çalışma dışında su kaynakları ile ilgili olarak güncel bir izotopik çalışma örneği bulunmamaktadır. Sürdürülebilir su yönetimi açısından yüzey ve yeraltı sularının etkileşimi, yeraltı sularının beslenme yükseklikleri, sularda buharlaşmaya etki eden faktörler ve etki derecelerinin bilinmesi oldukça önemlidir. Bu sayede, doğru yönetim ve koruma politikaları geliştirilerek su kaynaklarının doğru kullanımı, kirliliğin önlenmesi gibi noktalarda etkin önlemler alınabilir.

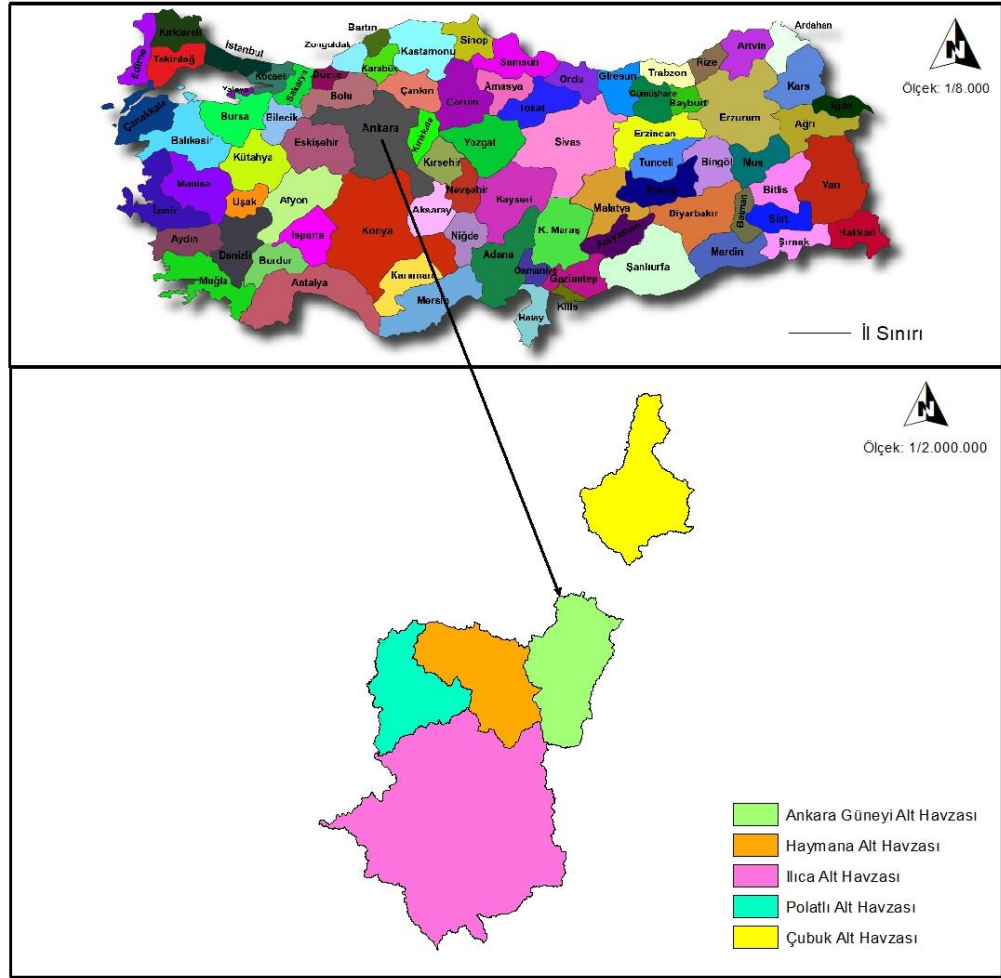
Bu tez çalışmasının temel amacı, Mogan Gölü Havzası ölçeğinde havzada bulunan farklı dolaşım süresine sahip yeraltı sularının kararlı izotop içeriklerinin belirlenmesi, yeraltı sularının beslenme yüksekliklerinin ortaya konması, Mogan Gölü ve bu gölü besleyen Yavrucuk, Çölova ve Sukesen Derelerinin kararlı izotop içeriklerinin belirlenerek, örnekleme noktalarında farklı mevsimlerdeki buharlaşma etkisinin ortaya konması ve havza içerisinde belirlenen bir noktada yağışın izotopik içeriğinin yıllık bazda incelenmesidir. Bu kapsamda tez çalışmasında, hidrojeolojide de sıkça kullanılan oksijen ve hidrojenin kararlı izotopları (^{18}O , ^2H) kullanılmıştır. Su döngüsü sırasında meydana gelen termodinamik reaksiyonlarda değişik molekül türleri için reaksiyon sürelerinin farklı olmasından kaynaklı olarak, reaksiyonun çeşitli evrelerinde aynı elementin izotoplarının oranları farklı olur. Burada daha güçlü bağlara sahip olan ağır izotoplar (^{18}O , ^2H) buharlaşma esnasında suda kalır. Yeraltı sularında bu ağır izotopların

oranları incelenerek suyun kaynağındaki bağıl nem oranı, buharlaşma ortamının sıcaklığı, yüksekliği hakkında bilgi sahibi olabilmek mümkündür.

Bu amaçlar ile Mogan Gölü Havzası'nda gerçekleştirilen arazi çalışmaları ve bu çalışmalar sırasında toplanan su örneklerinde yapılan kimyasal-izotopik analiz çalışmaları sonucunda elde edilen veriler kullanılarak yapılan detaylı izotopik-kimyasal değerlendirmeler tez çalışması kapsamında sunulmuştur.

1.2 Çalışma Alanının Konumu ve Önemi

Tez çalışması kapsamında, çalışma alanı olarak seçilen Mogan Gölü Havzası Ankara İl sınırları içerisinde, ilin güney kesiminde yer almaktadır. Çalışma alanı, Sakarya Havzası'nın 5 alt havzasından biridir ve havzanın yaklaşık yüzey alanı 1014 km²'dir. Havza, Gölbaşı İlçesi'nin neredeyse tamamını kapsamaktadır. Çalışma alanına ait yer bulduru haritası şekil 1.1'de görülmektedir.



Şekil 1.1 Çalışma alanı yer bulduru haritası

Mogan-Eymir Gölleri gibi havzadaki önemli sulak alanların ve su kaynaklarının korunması tez çalışması kapsamında bu bölgenin seçilmesinde çıkış noktası olmuştur. Mogan Gölü Havzası sulak alan konusunda zengin olup Mogan Gölü, Eymir Gölü, Çölova Deresi, Sukesen Deresi, Yavrucuk Deresi gibi birçok önemli sulak alanı barındırmaktadır. Aynı zamanda, Mogan ve Eymir Göllerini de kapsayan Gölbaşı Özel Çevre Koruma Alanı da teze konu çalışma alanı sınırları içerisinde yer almaktadır (Şekil 1.2). Alanda bulunan göller ve bu göllerin çevresinde oluşan sulak, bataklık alanlar çeşitli hayvan ve bitki türlerinin yaşamına ev sahipliği yapmaktadır.



Şekil 1.2 Gölbaşı Özel Çevre Koruma Bölgesi Sınırı (ÇSB 2020’den değiştirilerek alınmıştır)

1.3 Önceki Çalışmalar

Mogan Gölü Havzası Mogan ve Eymir Gölleri, İkizce ve Dikilitaş Göletleri gibi önemli sulak alanları barındırmaktadır. Bu nedenle tez sahasında geçmişten günümüze yapılmış olan hidrolojik ve hidrojeolojik çalışmalar araştırıldığında kirlilik, su bütçesi, modelleme, izotop gibi konular üzerinde birçok araştırma gerçekleştirildiği belirlenmiştir. Sulak alanların canlı yaşamı ve ekosistem konusundaki önemi göz önüne alındığında, biyoloji, çevre gibi farklı ana bilim dallarında da havzada yer alan çok sayıda çalışma mevcuttur. Bu bölümde tez alanında yapılmış bilimsel çalışmalar

incelenmiştir. Bunun yanı sıra, izotopik olarak tez çalışmasına katkıda bulunacağı öngörülen farklı alanlarda yapılan bazı bilimsel çalışmalardan da faydalanılmıştır.

Özaydın (1997) tarafından, büyüklü küçüklü 16 derenin beslediği ve yeraltından beslenimin olduğu Mogan Gölü için, yağışlı-kurak dönemlere bağlı olarak göle gerçekleşen girdi ve çıktılar (beslenim-boşalım) izotopik yöntemlerle belirlenmesi ve göl su bütçesindeki değişmelerin sayısal değerlerine ulaşmak amacıyla alanda doktora tezi çalışması gerçekleştirmiştir. Bu çalışmanın sonucunda, dereler, göl suyu, yeraltı suyu, yağmur suyu ve buharlaşan suyun kararlı izotop içerikleri kullanarak yapılan hesaplamalar ile göle 1994 su yılında yeraltı suyu katkısının yaklaşık $20 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ ve yeraltı suyu çıkışının ise yaklaşık $16 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ olduğu belirlenmiştir.

Apaydın (2004)'ın Beypazarı trona sahasında bulunan akiferlerde gerçekleştirdiği izotop çalışması incelendiğinde, yeraltı sularının ağır izotop içeriğinin sadece beslenme yüksekliği ile açıklanamayacağı yönünde bulgulara rastlandığı görülmüştür. Bu çalışmada alandaki yeraltı sularının ağır izotop içeriğinin, güncel yağışların izotop içeriğine göre daha negatif değerler gösterebildiği belirtilmiştir. Bu durumda, yeraltı suyunun daha yüksek kotlardaki bölgelere düşen yağışlardan beslendiği ya da geçmiş dönemlerde bugünkünden daha soğuk iklim koşullarında ağır izotoplarca daha fakir yağışlardan beslendiği sonucu çıkartılabilmektedir. Bu çalışma ile tez sahasına yakın bir bölgedeki suların ağır izotop oranını etkileyen tek faktörün beslenim yüksekliği değil, iklimsel koşullar da olabileceği gösterilmiştir.

Hayes (2004) tarafından izotopik hesaplamalara giriş adlı bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında, izotopik bolluk oranının ifade edilmesi amacıyla kullanılan yöntemler, izotopik kütle dengeleri, kapalı ve açık sistemlerdeki izotopik etkilerin bu sistemleri nasıl etkilediği konuları açıklanmıştır. İzotopik ayrışma, kütle denge durumları gibi değişime neden olan süreçler formülleri ile detaylı olarak aktarılmıştır.

Yurtseven (2006) tarafından, nitrat ve fosfat kirleticileri bakımından Mogan ve Eymir Gölleri'nin incelendiği bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında, kirlilik düzeyinin Mogan Gölü'nde daha yüksek olduğu, göller arasındaki kirletici hareketinin çoğunluğunun Mogan Gölü'nün taşkın sularını taşıyan kanal ile yüzeysel olarak

gerçekleştiği sonucuna varılmıştır. Mogan Gölü'nden gelen yüzey sularının, Eymir Gölü'ne karışmadan önceki ortalama PO₄ içerik değerinin 1,003 mg/l olduğu, ortalama NO₃ değerinin ise 9,427 mg/l olduğu belirlenmiştir.

Dişli (2007) tarafından, Mogan Gölü ve Eymir Gölü arasındaki beslenim ilişkisi ve göllerin kirlilik durumlarının belirlendiği bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada yeraltı suyu akımının Mogan Gölü'nün güneyinde, batısında ve doğusunda göl sınırına paralel veya paralele yakın bir akışta olduğu, Eymir yönünde de akışın Mogan'dan Eymir'e doğru olduğu belirtilmiştir. Çalışma alanındaki su kaynaklarında su kalitesini belirlemek amacıyla yapılan analizler sonucunda, ağır metaller ve azotlu organik kirleticiler olmak üzere iki farklı kirletici grubu tespit edilmiştir. Kirlilik değerlendirilmesinde ise, Gölbaşı Belediyesi sınırlarında bulunan konut ve işyerlerine ait sıvı ve katı atıkların sızdırmalı foseptiklere, ile merkezi içinden geçerek Mogan Gölü'ne ulaşan Sukesen Deresi'ne ve göle yakın kısımlarda doğrudan göle deşarj edildiği belirlenmiştir. Bu kirlilik, suyun akım yönünün Mogan'dan Eymir'e doğru olması nedeniyle, Mogan Gölü'nden ilerleyerek Eymir Gölü'nü de tehdit etmekte olduğu ifade edilmiştir.

Mogan ve Eymir Gölleri akifer sisteminin modellenmesi ile ilgili bir alışma Yağbasan (2007) tarafından yapılmıştır. Bu alışma kapsamında, göllerin su bütçesini oluşturan yeraltı suyu miktarının ne kadar olduğu, Dikilitaş ve İıkızce Göletlerinin göllerdeki su seviyesini nasıl etkilediği ve bölgedeki iklimsel değişikliklerin Mogan ve Eymir Göllerinin, yeraltı suyu seviyelerine olası etkileri belirlenmiştir.

Arslan (2008) tarafından, çevresel izotopların kullanılarak akifer sistemlerindeki beslenim ve boşalım ilişkisinin belirlenmesi amacıyla Kazan trona sahasında bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu alışma kapsamında, çalışma alanındaki orta ve derin akiferlerin izotop içeriğinin, akiferlerin beslenim yüksekliği tarafından tek başına kontrol edilmediği; farklı iklim koşullarının da bu içeriğe etki ettiği belirtilmiştir.

Dostbil (2010) tarafından, Mogan Gölü'nde ağır metal düzeylerinin tespit edilmesi ve bu metallerin farklı balık dokuları üzerindeki etkilerinin incelenmesi amacı ile bir çalışma yapılmıştır. Bu kapsamda, göldeki su ve sedimentte ağır metal varlığı tespit

edilmiştir. Sazan ve Kadife balıklarının karaciğer dokuları, solungaçları gibi organlarında histolojik inceleme yapılması sonucu balıkların karaciğer dokularında önemli düzeyde histopatolojik bulguyu rastlanmamıştır. Ancak, balıkların solungaçlarında Mogan Gölü'nün ötrofik statüsünden kaynaklı olarak nütrient zenginliği ve oksijen miktarının düşük olmasından dolayı bazı patolojik bulgular elde edilmiştir.

Kapan (2011) tarafından, Mogan Gölü'nün kirlilik durumunun incelenmesi amacıyla bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında, azot, fosfor, askıda katı madde ve pH gibi parametreler kullanılmıştır. Bölgedeki kirliliğin, kuzey kesimlerde yer alan ve Mogan Gölü'nü besleyen Sukesen Deresi'nden kaynaklandığı belirlenmiştir. Gölü besleyen bu dere ve diğer derelerde mevsimsel etkiler nedeniyle akışın görülmemesi sonucunda, kirleticilerin göle taşınmadığı belirtilmiştir.

Yağbasan ve Yazıcıgil (2011) tarafından, Mogan ve Eymir Gölleri'nin su seviyelerindeki iklim değişikliği etkisini ortaya koymak amacıyla bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında, yağışın aylık bazda %5 oranında azalmasının ve aylık ortalama sıcaklığın 1°C artmasının göl seviyelerindeki etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak ise uzun süreli kuraklık durumunun, sıcaklık ve yağış değerlerindeki küçük ölçekli fakat uzun vadeli değişikliklerin yeraltı suyu ve göldeki su seviyesinde önemli azalmalara sebep olabileceği belirlenmiştir.

Altinel (2012) tarafından, Mogan Gölü'ndeki su seviyesinin CBS ve Regresyon analizi kullanılarak modellenmesi ile ilgili bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında, Mogan Gölü'nün 2000-2010 yılları arasındaki hacim değerleri belirlenerek, kot bazlı su hacmi hesabı yapılmıştır. Göldeki su seviyesinin her kot değeri için, su kapasitesi belirlenmiş ve potansiyel bir yükselme anında belirlenen her bir kotun ne kadar su taşıyabileceği ortaya konmuştur.

Brooks vd (2014) tarafından, göl su kalitesinin belirlenmesi ve göl girdi-çıkışının hesaplanması amacıyla İngiltere'de bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışma kapsamında, 1000 adet göl suyu örneği kullanılmış ve yapılan analizler sonucunda ¹⁸O

ve ^2H izotop içeriklerinin kar erimesi ile göle beslenimin arttığı dönemde ve buharlaşmanın yüksek olduğu dönemlerde değiştiği görülmüştür.

Quian ve Wu (2014) tarafından, Yinchuan Ovası'nda bulunan göller ile ilgili bir izotop çalışması yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında, göl suyundaki buharlaşmayı ve beslenimini ortaya koymak adına kararlı izotoplar kullanılmıştır. Buharlaşma içeriğindeki $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ve $^2\text{H}/^1\text{H}$ oranları birbirleri ile oldukça yakın değerler almıştır, bu bağlamda çalışmada kullanılan göllerin izotop içeriklerindeki antropojenik etkilerin görülmesi mümkün olmuştur.

Özcan (2016) tarafından, Mogan Gölü Havzası'ndaki tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan kirliliğin kontrolü amacıyla SWAT modelinin değerlendirilmesi konulu bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında, sediman, toplam azot ve fosfor değerleri kullanılarak farklı tarımsal uygulamalardan hangisinin en doğru yöntem olduğu SWAT modeli ile belirlenmiştir. Sonuç olarak, havzadaki tarımsal kaynaklı kirleticilerin azaltılmasındaki en etkin yöntemin %30'luk gübre azaltımı, tarımdaki toprağın işlenmemesi ve teraslama uygulamalarının kombine edilmesi olduğu belirtilmiştir.

Yedek (2019) tarafından, Mogan Gölü'nün güney kesimlerinde biriken gölsel tortulların incelenmesi amacıyla bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında, Mogan Gölü'ndeki su seviyesinin ve alanının geçmişten günümüze değişikliğe uğramış olabileceği tartışma konusu üzerine belirlenen bazı noktalarda sondaj çalışması yapılmıştır. Elde edilen veriler ışığında, Mogan Gölü'nün tarihi ve jeolojik geçmişinde daha küçük boyutlarda olduğu sonucuna varılmıştır.

2. ÇALIŞMA ALANININ TANITILMASI

2.1 Nüfus

Tez alanı Mogan Gölü Havzası'nın tamamı olarak belirlenmiştir. Mogan Gölü Havzası'nın kapsadığı Gölbaşı İlçesi'nin nüfusu 2021 verilerine göre 142.961 kişidir. Nüfusun %50.02'lik kısmını erkekler oluşturuyorken, %49.98'i ise kadınlardan oluşmaktadır (Anonymous https://www.nufusu.com/ilce/golbasi_ankara-nufusu Erişim tarihi: 13.02.2023)

2.2 İklim

Gölbaşı İlçesi'nde kış mevsimi genellikle soğuk ve yağışlı geçmekteyken, yaz mevsimi kurak ve sıcaktır. Karasal iklimin hâkim olduğu Gölbaşı'nın Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)'ne ait Ufuk Danışman istasyonu verilerine göre 2005-2021 yılları arasındaki yıllık yağış ortalaması 368,2 mm'dir. Yine aynı istasyonda MGM tarafından 2004-2021 yılları arasında gerçekleştirilmiş ölçümlere göre yıllık sıcaklık ortalaması 11,4°C olarak belirlenmiştir. Aynı yıllar için aylık ortalama sıcaklıklar -0,6°C olarak Ocak ayında, en yüksek sıcaklıklar ise 23,3°C olarak Ağustos ayında ölçülmüştür. (MGM www.mgm.gov.tr Erişim Tarihi: 13.02.2023)

2.3 Bitki Örtüsü ve Toprak Yapısı

Bölgede yaygın olarak otsu bitkilerin varlığından söz edilebilir. Yüksek kesimlerde farklı bitki toplulukları mevcutken Eymir Gölü'ne yakın alanlarda ormanlık kısımlar bulunmaktadır (Anonymous <https://www.goller.gen.tr/golbasi.html> Erişim Tarihi: 13.02.2023). Bölgeyi karakterize eden bitki türleri arasında Sevgi Çiçeği olarak bilinen Centuarea teihateheffi Mogan Gölü çevresinde yetişmekte olan endemik bir bitki türüdür.

Mogan Gölü Havzası'ndaki toprak yapısı yıkanmanın zayıf olduğu, verimi düşük, bitki besin maddesi bakımından zengin değildir. Tahıl tarımı yapılmasına elverişli kahverengi topraklar; derin ve geçirgen olan, besin maddesi bakımından zengin ve kolay işlenebilen alüvyal topraklar bulunmaktadır. Bu topraklar iklime uyum

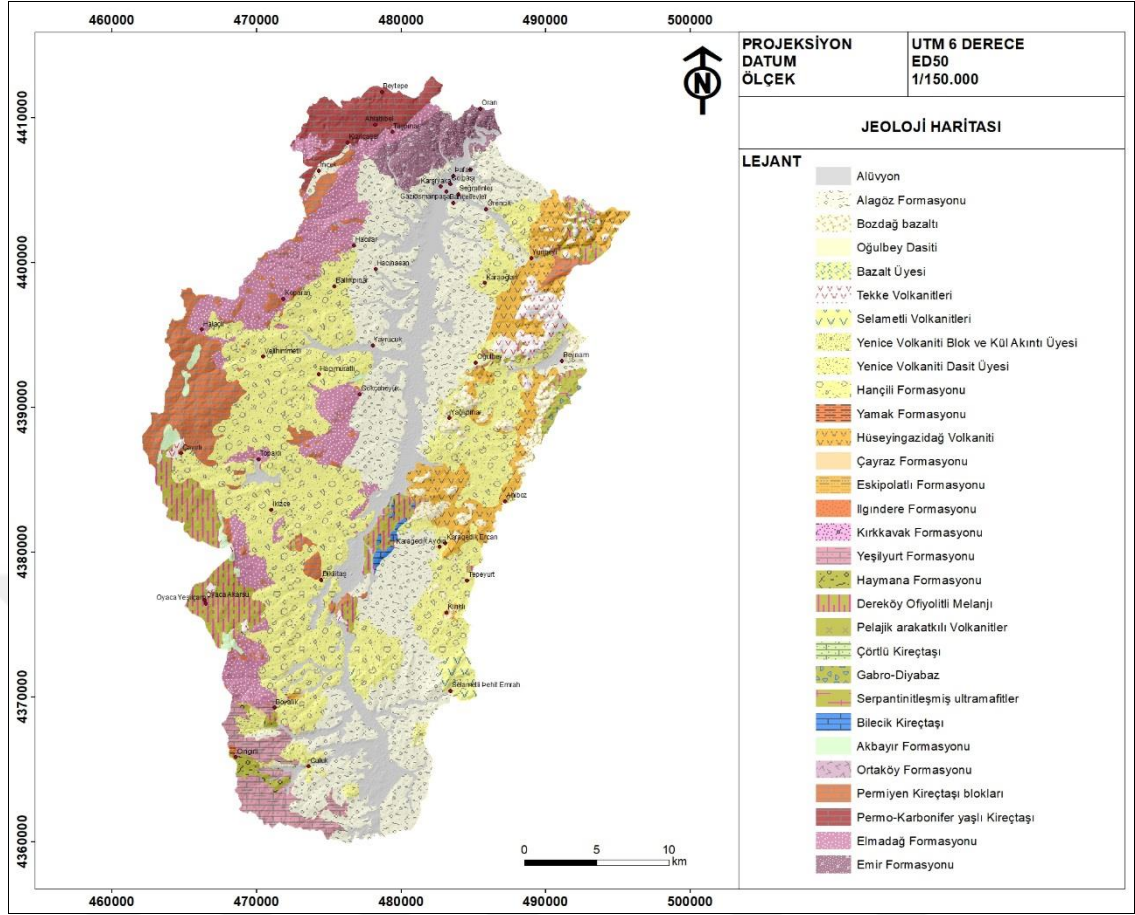
sağlayabilen ve her türlü bitkinin yetiştirilmesine olanak sağlayan topraklardır. Buna ek olarak, bölgede organik madde açısından zengin, hidromorfik topraklar ve derin, geçirgen olan kolüvyal topraklar da mevcuttur (Anonymous acikders.ankara.edu.tr Erişim Tarihi: 13.02.2023).

2.4 Jeoloji

Mogan Gölü Havzası'nın jeolojisini Triyas-Erken Kratese yaşlı Sakarya zonuna ait birimler ve Mesozoyik yaşlı İzmir-Ankara-Erzincan zonuna ait birimler oluşturmaktadır (Şekil 2.1, Şekil 2.2, EK-1). Sakarya zonuna ait kayaçlar sırasıyla Emir Formasyonu, Permien ve Karbonifer yaşlı kireçtaşı blokları, Elmadağ Formasyonu, Bilecik kireçtaşları ve Akbayır Formasyonu şeklindedir. İzmir – Ankara – Erzincan zonuna ait olan Dereköy Ofiyolitli Melanjı ve Eldivan Ofiyolitli karışığının üstünde Sakarya zonuna ait jeolojik birimler tektonik özellikte yer almaktadır. Temelde yer alan bu jeolojik birimlerin üstüne uyumsuz bir şekilde en altta en yaşlı olan Mesozoyik yaşlı Haymana Formasyonu ve formasyona ait kayaçlar gelmektedir (DSİ 2020).

Havzada en geniş yayılıma sahip birim 289.27 km²'lik yüzey alanı ile Hançili Formasyonudur, bu formasyonu takip eden kayaçlar Alagöz Formasyonu, alüvyon, Permien kireçtaşı blokları, Hüseyingazıdağ volkaniti, Permo-Karbonifer yaşlı kireçtaşı, Yeşilyurt Formasyonu, Emir Formasyonu'dur. Yüzey alanı en küçük olan formasyon ise 0.03 km² ile Ilgındere Formasyonu'dur (Şekil 2.1, Şekil 2.2).

Havzada yer alan Gölbaşı İlçesi'nin Beynam Mahallesi'nin güney kesiminde Eldivan Ofiyolitine ait ultramafit, gabro-diyabaz, volkanit üyeleri ve kireçtaşı yüzeylenmektedir. Tez alanının Oyaca ve Boyalık Mahallelerinin güneyinde Dereköy Ofiyolitli Melanjı mostra vermektedir (Şekil 2.1, EK-1). Boyalık Mahallesi'nin doğusu, Culuk Mahallesi'nin kuzey ve güney kesimlerinde Yeşilyurt Formasyonu görülmektedir. Boyalık'ın kuzeydoğusunda ise Kırkkavak Formasyonu mostra vermektedir. Culuk Mahallesi'nin kuzeybatısında ve Boyalık Mahallesi'nin batısında sınırlı bir alanda Çayraz Formasyonu bulunmaktadır. Şekil 2.1'de görülebileceği üzere Karagedik'in kuzey ve doğu yamaçları, Gerder ve Ahiboz Mahallelerinin kuzey ve güney kesimlerinde Hüseyingazıdağ Volkanitleri yüzeylenmektedir.



Şekil 2.1 Mogan Havzası jeoloji haritası (DSİ 2020’den değiştirilerek alınmıştır)

Mogan Gölü Havzası’nın genelinde olmak üzere, Velihimmetli, Ballıkpınar, İkizce ve Yağlıpınar Mahallelerinde Hançili Formasyonu geniş yayılım göstermektedir (Şekil 2.1 ve EK-1). Bu formasyon, Beynam’ın kuzeydoğu ve Gerder’in güneydoğu yamaçlarında mostra vermektedir. Oğulbey’in güneyinde Oğulbey Dasiti mostra vermektedir. Bölgeden adını da alan Selametli Volkanitleri, Selametli Mahallesi’nin kuzey ve güney kesimlerinde bulunmaktadır. Alagöz Formasyonu ise Yağlıpınar ve Karaoğlan Mahallelerinin batı kesimlerinde yüzeylenmektedir. Havza genelinde vadi tabanları ve nehir yataklarında jeolojik süreçler sonucunda yerleşen alüvyon malzeme yer almaktadır (Şekil 2.1, EK-1).

Mogan Gölü Havzası genelinde geniş yayılım gösteren ana jeolojik formasyon isimleri ve formasyonların gösterdiği yayılım alanları çizelge 2.1’de verilmiştir.

Kuvaterner	Alüvyon		Toprak, silt, kil, çakıl, çamur, kum
Üst Miyosen	Alagöz Formasyonu		Çakıtağ, kumtaşı, gölsel kireçtaşı, volkanitler, jips
Alt Pliyosen	Bozdağ Bazaltı		Bazalt
Miyosen	Oğulbey Dasiti		Dasit
	Tekke Volkanitleri		Andezit, trakiandezit, tüf, aglomera Bazalt Üyesi yer almaktadır.
	Selametli Volkaniti		Andezit bazalt, piroklastik kayalar
	Hançili Formasyonu		Çakıtağ, kumtaşı, silttaşı, marn, killi kireçtaşı, tüft, jips, bitümlü şeyl
	Yenice Volkaniti		Yenice Volkaniti Blok-Kül Akıntısı - Piroklastik blok ve kül akıntısı Yenice Volkaniti Dasit Üyesi-Dasit
Eosen	Yamak Formasyonu		Çakıtağ, kumtaşı, kilitaşı, marn, kireçtaşı
	Hüseyingazıdağ Volkaniti		Andezit, dasit, trakit, trakiandezit, bazaltik lav, piroklastik
	Çayraz Formasyonu		Kumtaşı, kumlu kireçtaşı, kireçtaşı, marn
	Eskipolatlı Formasyonu		Kumtaşı, marn, kireçtaşı, şeyl
	İlginkidere Formasyonu		Kumtaşı, şeyl, marn, kireçtaşı
Paleosen	Kırkkavak Formasyonu		Şeyl, kumtaşı, kumlu kireçtaşı
	Yeşilyurt Formasyonu		Kireçtaşı bloku, kumtaşı, şeyl, kumlu kireçtaşı, türbiditik kireçtaşı, çakıtaşı
Üst Kretase	Haymana Formasyonu		Kumtaşı, çakıtaşı, şeyl
Mesozoyik	Dereköy Ofiyoliti-Melanji		Gabro, peridotit, serpantin, kireçtaşı blokları
Alt Jura Alt Kretase	Eldivan Ofiyoliti-Volkanit Üyesi		Pelajik arakatlı Volkanitler, spilit, diyabaz, tüf, volkanit, radyolarit, çamurtaşı, görtü kireçtaşı
	Eldivan Ofiyoliti-Kireçtaşı Üyesi		Kırmızı renkli görtü kireçtaşı
	Eldivan Ofiyoliti-Gabro, Diyabaz Üyesi		Plajiyogranitler tarafından kesilmiş iri ve ince taneli gablo ve diyabaz
	Eldivan Ofiyoliti-Ultramafit Üyesi		Serpantinleşmiş ultramafitler, serpantinleşmiş dunit, Piroksenit, amfibolit
	Bilecik Kireçtaşı		Neritk Kireçtaşı
Triyas	Akbayır Formasyonu		Beyaz, krem ve kırmızı renkli siltli bant ve yumrulu kireçtaşı
	Ortaköy Formasyonu		Sipilitik bazalt, diyabaz, tüf, aglomera, volkanik kayalardan beslenmeli kumtaşı
	Eimadağ Formasyonu		Metaçakıllıtaşı, metakumtaşı, metamilttaşı, metaçamurtaşı, kumlu kireçtaşı, kumtaşı, kireçtaşı Permian Kireçtaşı Blokları ve Permo-Karbonifer yağlı kireçtaşı birimleri yer almaktadır.
	Emir Formasyonu		Şist, filit, meta volkanik

Şekil 2.2 Mogan Gölü Havzası'na ait stratigrafik istif (DSİ 2020'den alınmıştır)

Çizelge 2.1 Mogan Gölü Havzası'nda geniş yayılım alanına sahip olan ana formasyonlar

JEOLJİK BİRİM	YAYILIM ALANI (m²)
Hañçili Formasyonu	289.57 km ²
Alagöz Formasyonu	223.05 km ²
Alüvyon	105.51 km ²
Permiyen Kireçtaşı Blokları	88.59 km ²

2.4.1 Stratigrafik jeoloji

Mogan Gölü Havzası'nda bulunan farklı yaş ve özellikteki jeolojik birimlerin görüldüğü havzanın stratigrafik kesiti şekil 2.3'de görülmektedir. Havzanın tamamının litolojisinin yer aldığı jeoloji haritası EK-1'de yer almaktadır. Bölgedeki tüm birimler aşağıda yaşlıdan gence sırasıyla açıklanmıştır.

Emir Formasyonu

Emir Formasyonu çalışma alanında yer alan Taşpınar Mahallesi (güneydoğusunda) ve çalışma alanının batısında mostra vermektedir. Sarı ve kahverengi renklerde olan metavolkanit, fillit ve tabakalanmalı şist gibi birimlerden meydana gelen formasyonun yaşı Erken Triyas olarak belirlenmiştir (DSİ 2020).

Elmadağ Formasyonu

Triyas yaşlı Elmadağ Formasyonu, havzanın batı kesimi ve Halaçlı ile Taşpınar Mahallelerinin aralarında ve Çerkezhüyük Mahallesi'nin batı kesimlerinde mostra vermektedir. Formasyon gri, sarı, boz ve kahverengi renklerinde, metamiltası, metakumtaşı, tabakalanma derecesi orta-ince olan metaçakıltaş ve metaçamurtaşlarından oluşmaktadır. Elmadağ Formasyonu tabanında Emir Formasyonu ile üst sınırlarında da Ortaköy Formasyonu ile geçişli durumdadır. Formasyonun yapısında Permiyen ve Karbonifer yaşlı kireçtaşı blokları vardır. Bu kireçtaşlarının boyutları farklıdır. Arazi çalışmaları esnasında çekilmiş ve belirlenen formasyona ait olan fotoğraf şekil 2.3'te görülmektedir.



Şekil 2.3 Elmadağ Formasyonuna ait araziden bir görünüş

Permo-Karbonifer Yaşlı Kireçtaşı

İncek ve Taşpınar Mahallelerinin sınırlarında mostra veren kireçtaşları 26.05 km²'lik bir yüzey alanına sahiptir. Orta ince tabakalanmalı olan birim, fosil içeriğine sahiptir. Beyaz ve gri renkli olup yer yer kristalize olmuş durumdadır.

Permiyen Yaşlı Kireçtaşı Blokları

Bu birim farklı kayaç çeşitlerine bağlı olarak Ortaköy Formasyonu ve Elmadağ Formasyonu içerisinden ayırt edilmiştir. Alanda yaygın olarak görülen ve farklı ebatlara sahip olan kireçtaşı bloklarının yaşı Permiyen'dir. Birim Çayırli Mahallesi (kuzeyi) ve havzanın kuzeybatısı, batısında mostra vermektedir. Birimin verdiği kireçtaşı mostraları genellikle isminden de anlaşılacağı üzere bloklar halindedir. Renk olarak beyaz-gri, tabakalanma durumu ince-orta, çatlaklı yapıda ve bazı noktalarda kristalize durumdadır. DSİ (2020)'ye göre, Permiyen yaşlı kireçtaşlarının çökelme ortamları havza kenarı ve resif önleridir.

Ortaköy Formasyonu

Bu birim Mogan Gölü Havzası'nın Taşpınar Mahallesi (kuzeydoğu kesimleri) ve Hacılar Mahallesi (batı kesimleri) taraflarında mostra vermektedir. Ortaköy

Formasyonunun yaşı Orta-Geç Triyas olarak belirlenmiştir. Formasyon diyabaz, spilitik bazalt, kumtaşları, tuf ve aglomeralardan oluşmaktadır. Yanal yönde Elmadağ Formasyonu ile geçişli durumdadır.

Akbayır Formasyonu

Bu birimin tez alanında bulunan Hallaçlı Mahallesi (güney kesimleri) ve Çayırılı Mahallesi (kuzeybatı kesimleri) mostraları görülmektedir. Formasyonun rengi krem, kırmızı, beyaz ve bejdir. Formasyon, tabakalanma derecesi ince ve orta, çört yumrularını yaygın biçimde içeren, biyomikritik ve killi olan iki farklı kireçtaşıdan meydana gelmektedir.

Bilecik Kireçtaşları

Bilecik kireçtaşları havzada bulunan Karagedik Mahallesi (batı kesimleri) sınırları içerisinde mostra vermektedir. Birimin yaşı Geç Jura-Erken Kretase olup, neritik özellikli kireçtaşları tarafından temsil edilmektedir. Yapısında çok çatlağı olan, kristalize ve kalın katmanlara sahip kireçtaşları vardır.

Serpantinleşmiş Ultramafitler

Serpantinleşmiş ultramafitler, Mogan Gölü Havzası'nda bulunan Beynam Mahallesi (güney kesimi) sınırlarında mostra vermektedir. Birimin yaşı erken Kretase –geç Jura olarak belirlenmiştir. Yeşil renklerde gözlenen birim, zaman zaman serpantinleşmiş durumda ve kırılgan bir yapıya sahiptir. Ultramafitleri oluşturan birimler sırasıyla; piroksenit, amfibolit ve dünitlerdir.

Gabro-Diyabaz

Havzada bulunan Beynam Mahallesi güney kesimleri civarında mostra veren jeolojik birimin yaşı erken Kretase – geç Jura olarak belirlenmiştir. İnce bir dokuya sahip olan birim verdiği mostralarda siyah ve koyu tonlarda yeşil renginde gözlenmektedir.

Çörtlü Kireçtaşı

Bu birim de gablo-diyabazlar gibi Beynam Mahallesi güney kesimlerinde mostra vermektedir, ancak yayılım alanı oldukça sınırlıdır. Birim beyaz ve kırmızı renklidir ve laminalı ve ince tabakalıdır. Birimin yaşı gablo-diyabaz birimi ile aynı olup, erken Kretase – geç Jura olarak rapor edilmiştir.

Pelajik Ara katkılı Volkanitler

Volkanitler, tez alanında bulunan Beynam Mahallesi'nin güney kesim sınırları içerisinde mostra oluşturmaktadır. Tüfit, bazalt, kil içeriğine sahip kireçtaşı, spilitik bazalt ve çamurtaşı-radyolaritler pelajik arakatlı volkanitleri oluşturmaktadır. Birim mostraları siyah, koyu tonlarda yeşil ve kahverengi olarak görülmektedir. Yapıları genel olarak yastık (pillow) lav akıntılı haldedir. Akyürek vd. (1997) tarafından volkanitlerin yaşı erken Kretase- geç Jura olarak belirlenmiştir.

Dereköy Ofiyolitli Melanj

Melanj, havzada bulunan Boyalık'ın güney kesimleri ve Oyaca Mahallesi sınırları içerisinde mostra vermektedir. Birimin yaşı Mesozoyik olarak belirlenmiştir (DSİ 2020). Bu birim beyaz, yeşil ve mor renkli olan diyabaz, gablo, yastık lavlar ve serpantin içeriğine sahiptir. Neritik ve pelajik ortamlarda oluşmuş olan kireçtaşları da melanjin içerisindeki diğer jeolojik birim olup, kahverengi, gri, pembe ve kırmızı renklerde (Şekil 2.4). Ayrıca birim bloklu yapıya sahip olup, kıltaşı, killi kireçtaşları ve şeyl, volkanit gibi istifleri içermektedir.

Haymana Formasyonu

Birim havzada bulunan Boyalık ve Cingirli Mahallesi güney kesimleri sınırlarında mostra vermektedir (Şekil 2.1). Formasyon yaşı Atıcı vd. (2014) tarafından Maastrihtiyen-Kampaniyen olarak belirlenmiştir. Bu formasyon şeyl, çakıltaşı ve kumtaşları içermektedir. Formasyonu oluşturan çakıltaşları mostra verdikleri bölgelerde gri ve boz renklerde görülmektedir. Çakıltaşlarının boylanma dereceleri orta düzeydedir. Şeyller ise ince laminalı, gri ve boz renklerde olup, tutturulma dereceleri

düşüktür. Formasyonu oluşturan üçüncü ve son jeolojik birim olan kumtaşları ise bej, gri ve krem renklerde görülmektedir.



Şekil 2.4 Dereköy Ofiyolitik Melanjının Sukesen Deresi-başlangıç noktası olarak kabul edilen konumdan görünüşü

Yeşilyurt Formasyonu

Boyalık'ın doğusu, Culuk'un kuzey ve güney kesimlerinde mostra veren birim çakıtaşı, türbiditik kireçtaşı, kumtaşı, şeyl ve kumlu kireçtaşlarından oluşmaktadır. Formasyonun mostraları gri ve kahverengi renk tonlarında görülmektedir. Birimin yaşı Paleosen olarak belirlenmiştir.

Kırkkavak Formasyonu

Geç Paleosen– erken Eosen yaşlı olan formasyon havzada bulunan Boyalık Mahallesi kuzeydoğu kesimleri sınırları içerisinde mostra vermektedir. Formasyon, yanal ve düşey yönlerde çeşitliliğe sahiptir. Bu formasyon ardalanmalı kumtaşı-kireçtaşı, fosil içeriği ve kumtaşı ara katkıları yüksek olan gri renkli şeyller, kumlu kireçtaşlarından meydana gelmiştir.

Ilgındere Formasyonu

Alanda görülen Kırıkkayak Formasyonu gibi bu birim de Oyalık Mahallesi'nin kuzeydoğu kesimleri civarında yüzeylenmekte ve kumtaşı, çakıltası, kireçtaşı, marn ve şeyller tarafından temsil edilmektedir. Havzada yayılım alanları oldukça sınırlı olan formasyonun yaşı erken- orta Eosen olarak belirlenmiştir.

Eskipolatlı Formasyonu

Bu formasyon havzada bulunan Boyalık Mahallesi kuzeydoğu kesimleri sınırları içerisinde mostra oluşturmaktadır. Birimin rengi genelde bozdur ve kumtaşı-şeyl ardalanmalı, marn ve türbiditik türde kireçtaşı tarafından temsil edilmektedir. Alt kesimlere doğru litoloji yerini kumtaşı ve şeyl ardalanması olan ve aralarında çakıllı birimleri içeren birime bırakır. Formasyonun yaşı erken- orta Eosen olarak belirlenmiştir. Buna ek olarak, üstten Çayraz Formasyonu ile uyumluluk düzlemi; alttan ise Ilgınlıkdere Formasyonu ile geçişli bir sınıra sahiptir.

Çayraz Formasyonu

Havzada bulunan Boyalık Mahallesi (batı kesimleri) ve Culuk Mahallesi (kuzeybatı kesimleri) sınırlarında mostra veren Çayraz Formasyonu, Eosen (erken-orta) yaşlıdır. Formasyon sarı, beyaz ve gri renklerde olup, kireçtaşı, kumtaşı, marn ve kumlu kireçtaşlarından oluşmaktadır.

Hüseyingazıdağ Volkaniti

Orta Eosen yaşlı Hüseyingazıdağ volkaniti çalışma alanında Gerder Mahallesi, Ahiboz Mahallesi ve Karagedik Mahallesi'nin kuzey ve doğu yamaçlarında mostra vermektedir. Bu birim dasit, trakiandezit, bazaltik lav, piroklastik malzeme ve çoğunlukla iri fenokristalli andezitten oluşmaktadır. Havzada 3 farklı mahallenin sınırları içerisinde mostra veren birimin toplam yüzey alanı 54.43 km²'dir (DSİ 2020).

Yamak Formasyonu

Boz ve kahverenginin sarımsı tonlarında renkli olan bu formasyon, alanda bulunan Cingirli Mahallesi'nin kuzeybatı kesimlerinde yayılım göstermektedir. Marn, çakıltası ve kumtaşı ardalanmalarından oluşan bir litolojiye sahip olan bu birimin yaşı Atıcı vd.

(2014) tarafından geç Eosen olarak belirlenmiş olup, kalınlığı yaklaşık olarak 30 m olarak ifade edilmiştir.

Hançili Formasyonu

Hançili Formasyonu İkizce, Yağlıpınar, Velihimmetli ve Ballıkpınar Mahalleleri sınırları içerisinde geniş yayılım göstermektedir (Şekil 2.1). Hançili Formasyonu marn, killi kireçtaşı, kumtaşı, silttaşı, tüfit ve konglomera ardalanmasından oluşmakla birlikte ek olarak bitümlü şeyl ve yer yer jipsler içermektedir. Bu birim alüvyon yelpazelerinin geliştiği, karasal özellikteki havzada göl ve ırmaklarda çökelen bir formasyondur (DSİ 2007). Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen arazi çalışmaları esnasında Hançili Formasyonuna ait mostralar şekil 2.5’te görülmektedir.



Şekil 2.5 İkizce Mahallesi’nin güneyinde mostra veren Hançili Formasyonundan bir görünüş

Yenice Volkaniti-Dasit Üyesi

Havzada bulunan Culuk Mahallesi sınırları içerisinde mostra veren birim için Atıcı vd. (2014) tarafından dasidik bileşime sahip lavlardan oluşan bir birim olduğu belirtilmiştir.

Yenice Volkaniti-Blok ve Kül Akıntısı Üyesi

Bu jeolojik birim havzadaki yayılımını, Selametli Mahallesi sınırları içerisinde mahallenin güneybatı kesimlerinde ortaya koymaktadır. Kayaç türü olarak piroklastik bir kayaç olma özelliğindedir. Birimin yaşı erken Miyosen olarak belirlenmiş olup, birim volkanizmaya bağlı oluşan akıntının bir ürünüdür.

Selametli Volkanitleri

Selametli Volkanitlerinin yayılım alanı havzada sınırlı bir alandır. Birimin yaşı Atıcı vd. (2014) tarafından Orta Miyosen olarak belirlenmiştir. Bazalt, piroklastik kayalar ve andezitlerden oluşan Selametli Volkanitleri, verdiği mostralarda beyaz renklerde gözlenmektedir.

Tekke Volkanitleri

Geç Miyosen yaşı Tekke Volkanitleri, Gerder Mahallesi güneydoğusu ve Beynam Mahallesi kuzeydoğusunda yamaç alanlarında mostra vermektedir (Şekil 2.6). Volkanitler, tuf, trakiandezit, aglomera ve andezitlerden oluşmaktadır. Birim içerisindeki andezitler pembe, kırmızı, siyah ve boz renklerde olabilir. Havzada karasal koşulların hakim olduğu dönemde oluştuğu kabulü yapılmıştır. Volkanitlerin içerisindeki tüfler oldukça ince tanelidir ve genellikle beyaz, gri renklerde bulunmaktadır.

Bazalt Üyesi

Gerder Mahallesi kuzeydoğusunda yayılım gösteren bazaltlar, koyu kahve ve siyah renklerde gözlemlenmektedir. İçerisinde akma yapıları ve gaz kabarcıklarından dolayı oluşan boşluklar mevcuttur. Birim karasal süreçlerin hakim olduğu dönemdeki volkanizma sonucu oluşmuştur.

Oğulbey Dasiti

Oğulbey Dasiti ismini aldığı Oğulbey Mahallesi güney kesimleri içerisinde mostra vermektedir. Dasitleri oluşturan volkanizma Miyosen yaşıdır. Birimin içerisinde çamurtaşları ve tuf aglomeraları birbiri ile kesme ilişkisi oluşturmuş şekilde yer almaktadır.



Şekil 2.6 Tekke Volkanitine ait andezitlerin uzaktan bir görünüşü

Bozdağ Bazaltı

Akyürek vd. (1982) tarafından gerçekleştirilen çalışma ile Bozdağ Bazaltları ilk defa tanımlamıştır. Beynam Mahallesi doğu ve kuzey kesimlerinde mostra veren birim, siyah renkte görülmektedir. Bazaltın içerisinde, yapısında bulunan gaz kabarcıklarının oluşturduğu gaz boşlukları ve kalsit dolguları mevcuttur. Miyosen ve Üst Miyosen yaşlı farklı birimlerin yapısında olması nedeniyle, bazaltların yaşı geç Miyosen- erken Pliyosen olarak belirlenmiştir.

Alagöz Formasyonu

Kalınlığı ortalama 120 m ve yüzey alanı 223.05 km² olan Alagöz Formasyonu Geç Miyosen-Erken Pliyosen yaşındadır. Formasyon, Çerkezhüyük ve Ballıkpınar Mahalleleri'nin doğu kesimlerinde ve Karaoğlan ve Yağlıpınar Mahalleri'nin batı kesimlerinde yüzeylenmektedir. Kumtaşı, volkanitler, çakıltaşı, jips ve gölsel kireçtaşı formasyonu oluşturan jeolojik birimlerdir. Formasyonun içerisindeki kumtaşı ve çakıltaşı birimleri, renk olarak; boz, gri, bej, kırmızı, sarımsı gri olup, tutturulma dereceleri çok düşüktür (yer yer tutturulmamıştır). Formasyonun içerisindeki gölsel kireçtaşları ise sarımsı beyaz, beyaz renkte olup, bazı noktalarda çok kalın katmanlara sahipken, genellikle masif görünen, içerisinde düşük miktarda çört yumruları bulunan ve yer yer kil oranının arttığı bölgelerde killi kireçtaşı birimi haline gelmiştir.

Güncel Alüvyon

Alüvyonlar alanda, nehirlerin akış yolu boyunca dere yataklarında ve vadi tabanlarının olduğu yerlerde bulunmaktadır. Kil, çamur, bitkisel toprak, kum ve siltler alüvyonu oluşturmaktadır. Yapısındaki litolojik birimler genellikle tutturulmamış özelliktedir. Havzada yer alan alüvyonlar en genç birim olup, yaşı Kuvaternerdir.

2.5 Hidrojeoloji

Tez çalışmasının gerçekleştirildiği Mogan Gölü Havzası'nda bulunan formasyonlardan yeraltı suyu içeren birimler şöyledir;

- Alagöz Formasyonu (kumtaşı, çakıltası ve kireçtaşı)
- Hüseyingazıdağ Volkaniti (dasit, andezit ve bazaltik özellikte lav)
- Hançili Formasyonu (killi kireçtaşı, kumtaşı ve çakıltası)
- Permian Yaşlı Kireçtaşı Blokları
- Permo-Karbonifer Yaşlı Kireçtaşı

Yukarıda belirtilen jeolojik birimler, hidrojeolojik olarak yüksek verime sahip akifer olma özelliğindedir (DSİ 2020). Bu doğrultuda hazırlanmış olan Mogan Gölü Havzası'na ait hidrojeoloji haritası (DSİ 2020) EK-2'de verilmiştir.

Genel olarak bakıldığında, kireçtaşlarının yapısında gözenekler vardır ve kireçtaşları bu gözeneklerin zamanla birbirleri ile bağlantılı boşluklar haline gelmesi sonucunda hidrojeolojik olarak geçirimsizlik özelliğine sahip olabilirler. Kireçtaşlarının yapısındaki gözeneklerin miktarını ve geçirimsizlik derecesini çökelim ortamları, tektonizma, karstlaşma gibi farklı durumlar etkilemektedir (Freeze ve Cherry 1979). Mogan Gölü Havzası'nda bulunan kireçtaşlarından yüksek geçirimsizliğe sahip olanları, Permian ve Permo-Karbonifer yaşlı kireçtaşlarıdır. Havzada yer alan Hüseyingazıdağ Volkanitleri, Alagöz Formasyonu ve Hançili Formasyonu hidrojeolojik olarak yüksek geçirimsizliğe sahip diğer jeolojik birimlerdir. Bu formasyonların içerisinde yüksek gözenek ve geçirimsizlikte olan kayaçlar yer almaktadır. Bu üç formasyon, diğer kireçtaşı birimleri gibi yeraltı suyu içeriğine sahip olup, havzadaki akifer sisteminin temel öğelerindendir.

Derinlerde ve hızlı soğuma ile oluşmuş volkanik bir kayacın gözenek ve geçirimsizlik bakımından zengin olması beklenmemektedir. Fakat, jeolojik birimin meydana geldiği ve yerleştiği ortamlardaki tektonizma vb. gibi jeolojik süreçlerin etkisi ile jeolojik birimlerin hidrojeolojik özellikleri değişiklik gösterebilir. Örneğin, bazalt gibi volkanik kayalarda tektonizmanın etkisi ile yapısında kırık-çatlak oluşması söz konusu olabilir. Böylece, bu kayalar kırık-çatlaklarında yeraltı suyu hareketine olanak sağlayabilir, yeraltı suyunu yapısında depolayabilir. Tez çalışmasının gerçekleştirildiği Mogan Gölü Havzası'nda farklı hidrojeolojik özelliklerde volkanik kayalar da mevcuttur. Havzada bulunan ve akifer özelliği bulunmayan diğer jeolojik birimler, hidrojeolojik açıdan verimsizlik durumuna göre akitard, akiklud veya akifüj olarak gruplandırılmıştır (Çizelge 2.1). Bu çizelgede alüvyonların da akitard grubunda olmasının nedeni yaylımlarının sınırlı olması sebebi ile yerel akifer özelliğinde olmasıdır. Buradan anlaşılabileceği üzere yerel akifer özelliğinde olup, sınırlı ölçüde verime sahip bazı jeolojik birimler akitard grubuna dâhil edilmiştir. Hidrojeolojik olarak verimsiz olan jeolojik birimler ise akifer özellikte olmaması nedeni ile akiklud ve akifüj grubuna dâhil edilmiştir.

Havzada DSİ tarafından çoğunluğu Permo-Triyas yaşlı kireçtaşları üzerinde ortalama debileri 20 l/sn civarında olan yeraltı suyu kaynakları tespit edilmiştir (DSİ 2020). Bu kaynakların debisi, havzadaki yağış miktarı ve yağıştan yeraltı suyuna süzülen su miktarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Permiyen yaşlı kireçtaşları ve Permo-Karbonifer yaşlı kireçtaşlarının kırık çatlaklı akifer sistemlerindeki yeraltı suyu tablasının topoğrafyayı kestiği noktalarda bahsedilen kaynak çıkışları gözlenmektedir.

Mogan Gölü'nün çevresinde bulunan alüvyonlar yeraltı suyu ve yüzey sularının süzülmesine olanak sağlamaktadır. Böylece sınırlı alanlar için yeraltı suyunun göl su bütçesine dâhil olduğu yorumu yapılabilir. Havzada özel (şahıs, firma vb.) ve kamu kurumlarına ait olmak üzere birçok yeraltı suyu kuyu açılmıştır. Bu kuyulardan belgeli olanları değerlendirildiğinde büyük bir kısmının debilerinin 5 l/sn olduğu belirlenmiştir (DSİ 2020).

Çizelge 2.2 Mogan Gölü Havzası'nda bulunan jeolojik birimlerin (akifer özelliğinde olmayanlar) hidrojeolojik olarak gruplandırılması

FORMASYON	YAŞ	LİTOLOJİ
AKİKLÜD VE AKİFÜJ OLANLAR		
Selametli Volkanitleri	Orta Miyosen	Andezit bazalt, piroklastik kayalar
Yenice Volkaniti Blok ve Kül Akıntı Üyesi	Miyosen	Piroklastik blok ve kül akıntısı
Çayraz Formasyonu	Alt-Orta Eosen	Kumtaşı, kumlu kireçtaşı, kireçtaşı, marn
Eskipolatlı Formasyonu	Alt-Orta Eosen	Kumtaşı, marn, kireçtaşı, şeyl
Ilgındere Formasyonu	Alt Eosen-İpresiyen	Kumtaşı, şeyl, marn, kireçtaşı
Yeşilyurt Formasyonu	Paleosen	Kireçtaşı bloklu, kumtaşı, şeyl, kumlu kireçtaşı, türbiditik kireçtaşı, çakıltası
Haymana Formasyonu	Maastrichtiyen	Kumtaşı, çakıltası, şeyl
Dereköy Ofiyolitli Melanji	Mesozoyik	Gabro, peridotit, serpantinit, kireçtaşı blokları
Serpantinitleşmiş Ultramafitler	Alt Kratese-Üst Jura	Serpantinitleşmiş dünit, piroksenit, amfibolit
Çörtlü Kireçtaşı	Alt Kretase	Kırmızı renkli çörtlü kireçtaşı
Elmadag Formasyonu	Triyas	Metaçakıltası, metakumtaşı, metamiltası, metaçamurtaşı, kumlu kireçtaşı, kumtaşı, kireçtaşı, aglomera, metavolkanit, metatüf
Emir Formasyonu	Orta-Geç Triyas	Şist, fillit, metavolkanik
AKİTARD		
Alüvyon	Kuvaterner	Toprak, sil, kil, çakıl, çamur, kum
Bozdağ Bazaltı	Alt Pliyosen	Bazalt
Oğulbey Dasiti	Üst Miyosen	Dasit
Bazalt Üyesi	Üst Miyosen	Bazalt
Tekke Volkanitleri	Üst Miyosen	Andezit, trakiandezit, tüf, aglomera
Yenice Volkaniti Dasit Üyesi	Miyosen	Dasit
Yamak Formasyonu	Eosen-Lütesiyen	Çakıltası, kumtaşı, kiltası, marn, kireçtaşı
Kırkkavak Formasyonu	Üst Paleosen-Alt Eosen	Şeyl, kumtaşı, kumlu, kireçtaşı
Bilecik Kireçtaşı	Alt Kratese-Üst Jura	Neritik kireçtaşı
Gabro-Diyabaz	Alt Kratese	Plajiyogranitler tarafından kesilmiş iri ve ince taneli gablo ve diyabaz
Pelajik Arakatkılı Volkanitler	Alt Kratese	Spilit, diyabaz, tüf, volkanit, radyolarit, çamurtaşı, çörtlü kireçtaşı
Akbayır Formasyonu	Üst Jura	Beyaz, krem ve kırmızı renkli silis bant ve yumrulu kireçtaşı
Ortaköy Formasyonu	Orta-Geç Triyas	Spilitik bazalt, diyabaz, tüf, aglomera, volkanik kayalardan beslenmeli kumtaşı

Tez alanında yapılan debi ölçümleri ve yeraltı suyu kuyularında belirlenen yeraltı suyu seviyeleri Bulgular başlığında sunulmuştur. Elde edilen bulgular ve tez alanı için yapılan literatür araştırması kapsamında belirlenen belgeli yeraltı suyu kuyularından elde edilen veriler ışığında, alandaki yeraltı suyu akım yönünün havzadaki yükseltinin yüksek olduğu noktalardan nispeten daha düşük olduğu noktalara doğru gerçekleştiği belirlenmiştir. Ayrıca havzadaki yeraltı suyu hareketi Mogan ve Eymir Gölleri

açısından değerlendirildiğinde, daha düşük kotlardan gelen suların Mogan Gölü'ne doğru hareket ettiği buradan da Eymir Gölü'ne doğru devam ettiği görülmüştür (Dişli 2007).



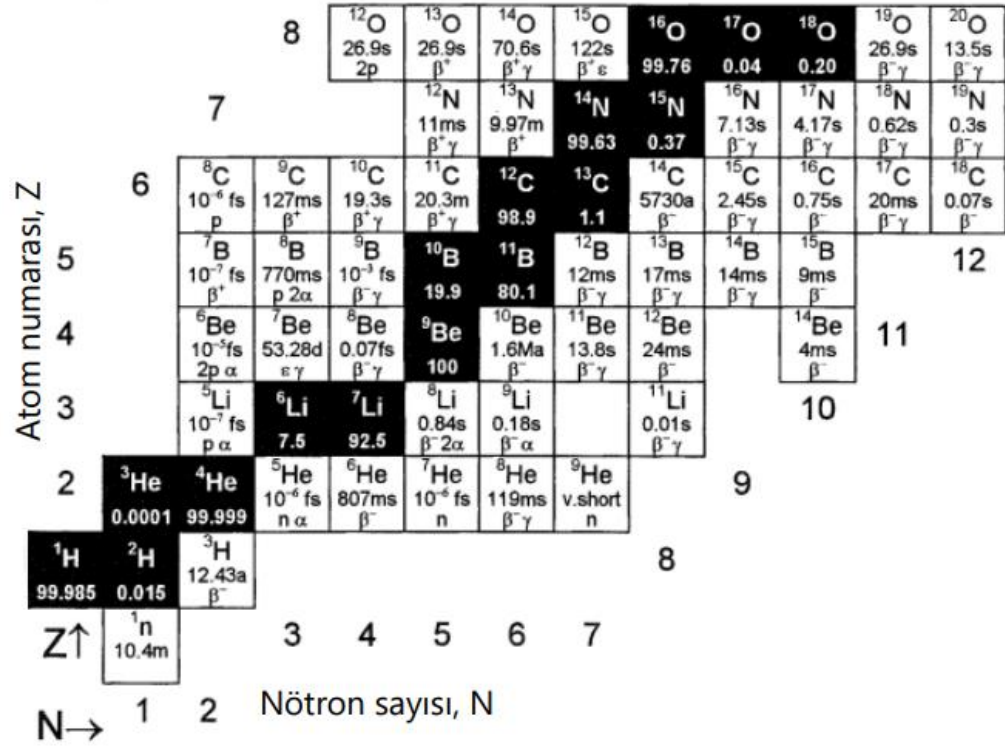
3. KARARLI İZOTOPLAR

3.1 İzotop Hidrolojisine Giriş

Atom numarası aynı, kütle numarası farklı olan elementlere izotop denir, aynı elementin farklı izotopları vardır. Aynı elementin farklı izotopları arasında kimyasal özellikler de aynıdır. Fakat izotoplar arasındaki fiziksel özellikler farklı olup bu durumun nedeni, fiziksel özelliklerin atomun kütlesi tarafından kontrol ediliyor olmasıdır.

İzotoplar, kararlı ve radyoaktif olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Kararlı izotoplar için duraylı, radyoaktif izotoplar içinse duraysız veya kararsız ifadeleri kullanılmaktadır. Kararlı izotopların çekirdek yapısı yüzyıllar geçse de değişmez, kararsız (radyoaktif) izotopların çekirdek yapısı ise enerji salınımı gerçekleşmesi ya da kütle değişimi sonucunda değişmektedir. İzotopun çekirdek yapısındaki bu değişikliğe *radyoaktif bozunma* denilmektedir. Bu bozunma olayı çok yavaş ya da hızlı olarak gerçekleşebilir. Bir izotopun bozunma hızına *yarılanma ömrü* denilir. Yarılanma ömrü t_0 anındaki izotop sayısının bozunmaya uğraması sonucu bu sayının yarıya inmesi için geçen zamandır. Kararsız bazı izotopların yarılanma ömrü femto saniye, dakika mertebesinde olurken bazı izotoplarda ise bu değer yüzler hatta milyonlarca yıl mertebesinde olabilir (Clark ve Fritz 1997). Şekil 3.1’de yaygın kullanılan bazı elementlerin kararlı ve radyoaktif izotopları görülmektedir.

Hidrojen ve oksijen elementinin izotopları, suyun (H_2O) yapısında doğal olarak mevcut olmaları nedeni ile hidrojeolojik araştırmalarda en çok kullanılan izotoplardır (Clark ve Fritz 1997). Karbon elementinin izotopları ikinci olarak en çok kullanılan izotoplardır. Bor, sülfür ve helyum izotopları ise genellikle jeotermal suların araştırılması gibi ileri düzey araştırmalarda kullanılmaktadır (Avşar vd. 2017, Tokçaeer 2022) .



Şekil 3.1 Yaygın olarak izotoplarının kullanıldığı elementlere ait kararlı ve radyoaktif izotoplar (Clark ve Fritz 1997'den alınmıştır) (Siyah renkli kutular kararlı izotopları; beyaz renkli kutular ise radyoaktif izotopları göstermektedir)

3.2 Oksijen (^{18}O) ve Hidrojen (^2H) Kararlı İzotopları

Doğada doğal olarak bulunan ve hidrolojik döngünün farklı evrelerinde hidrolojik sisteme giriş yapan "çevresel izotopların" hidrolojide kullanımı 1960'lı yıllardan itibaren Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA) tarafından yürütülen ve desteklenen çalışmalar ile yaygınlaşmıştır (Tezcan 2002). Bu bağlamda oksijen, hidrojen (^{18}O , ^2H) ve karbon atomlarının izotopları oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Su döngüsü sırasında meydana gelen termodinamik reaksiyonlarda farklı molekül türleri için reaksiyon sürelerinin farklı olmasından ötürü reaksiyonunun farklı evrelerinde aynı elementin izotoplarının oranları farklı olur ve bu yüzden daha güçlü bağlara sahip olan ağır izotoplar buharlaşma sırasında suda kalır. Yeraltı sularında bu ağır izotopların oranları incelenerek suyun kaynağındaki bağıl nem oranı, buharlaşma ortamının sıcaklığı, yüksekliği hakkında bilgi sahibi olabilmek mümkündür. Yeraltı sularının izotopik içeriği yağışın izotopik içeriği ile yakından ilişkilidir. Yağışların kararlı izotop

içeriklerine etki eden faktörler sıcaklık etkisi, enlem, yükseklik, sıcaklık, karasal etki olarak sıralanabilir (Clark ve Fritz 1997).

İzotopun çekirdek yapısında herhangi bir değişiklik olmaması, herhangi bir yarılanma ömrüne sahip olmayarak izotopik ayrışmaya uğramaması o izotopu kararlı izotop yapar. Kararlı izotopların çekirdeklerinde herhangi bir değişiklik meydana gelmediği için hidrolojik çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

3.2.1 İzotopik bolluk oranı

İzotopun derişimleri ya da bolluk oranları “del” notasyonu (δ) ile ifade edilmektedir. Bu oran hesaplanırken aynı elementin farklı izotopları birbirine oranlanır, izotopun bolluk oranını ölçerken izotopun sayısı ile aynı elementin en bol bulunan izotopunun değeri ile oranlanmaktadır. Örneğin $\delta^{18}\text{O}$ belirlemek için ^{16}O ile oranlama yapılır. Suyun yapısında bulunan O ve H elementlerinin izotopik bolluk oranları çizelge 3.1’de sunulmuştur.

Çizelge 3.1 Oksijen ve Hidrojen elementlerinin kararlı izotopları bolluk oranları

	Oksijen Elementi İzotopları			Hidrojen Elementi İzotopları	
İzotop	^{16}O	^{17}O	^{18}O	^1H	^2H
İzotop Bolluk Oranı	99.76	0.04	0.20	99.985	0.015

İzotop bolluk oranı ölçümünde bir kalibrasyon standardı kullanılmaktadır. Kararlı su izotoplarının ölçümü için kullanılan standart VSMOW’dur. Bu standardın açılımı “Vienna Standard Mean Ocean Water” baş harflerinin kısaltması olup Viyana Standardı Ortalama Okyanus Suyu olarak belirtilebilir. Bu standart kullanılmadan önce Kuzey Atlantik Suyu’nun izotopik açıdan standart olduğu kabul edilerek bu suyun izotopik bileşimi kullanılmaktayken zamanla standardın tükenmiş olması gerekçesiyle VSMOW standardına geçilmiştir (Clark ve Fritz 1997).

Bu bilgilere göre aşağıda verilen formüller bolluk oranını ifade etmektedir.

$$\delta^{18}\text{O} (\text{‰}) = \frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{örnek}} - (^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{VSMOW}}}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{VSMOW}}} \times 10^3$$

aynı hesaplama Döteryum (^2H) izotopu için yapılacak olursa;

$$\delta^2\text{H} (\text{‰}) = \frac{(^2\text{H}/^1\text{H})_{\text{örnek}} - (^2\text{H}/^1\text{H})_{\text{VSMOW}}}{(^2\text{H}/^1\text{H})_{\text{VSMOW}}} \times 10^3$$

şeklinde hesaplanabilir. Buradaki formül ile elde edilen değer oldukça küçüktür, bu nedenle 1000 ile çarpılarak kullanım kolaylığı sağlanır. Böylece bolluk oranı *permil* değerinden ifade edilmiş olur. VSMOW ile ifade edilen Oksijen ve Hidrojen izotoplarından farklı olarak, farklı izotopların bolluk oranlarını ifade etmekte farklı standartlar kullanılmaktadır. Çizelge 3.2' de bu standartlar görülmektedir.

Çizelge 3.2 İzotopların bolluk oranı için kullanılan standartlar

Element	δ Gösterimi	Ölçülen Oran	Kullanılan Standart
Hidrojen	δD ($\delta^2\text{H}$)	D/H ($^2\text{H}/^1\text{H}$)	VSMOW
Oksijen	$\delta^{18}\text{O}$	$^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$	VSMOW
Karbon	$\delta^{13}\text{C}$	$^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$	VPDB
Sülfür	$\delta^{34}\text{S}$	$^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$	CD
VSMOW= Vienna Standard Mean Ocean Water			
VPDB= Vienna Pee Dee Belemnite			
CD= Canyon Diablo meteoriti troilit fazı			

İzotopların bolluk oranının izotopik ayrışma ve zenginleşme süreçleri esnasında değişmesi, bilimsel çalışmalarda kararlı izotopların kullanılması konusunda ana çıkış noktasıdır. Bu durum, tez çalışması kapsamında da ana çıkış noktası olmuştur. Bu bağlamda çalışma alanında bulunan yeraltı ve yüzey sularının mevsimsel olarak, yağışın ise bir yıl boyunca ^{18}O ve ^2H kararlı izotoplarının bolluk oranındaki değişimler ortaya konmuştur.

3.2.2 İzotopik ayrışma

Oksijen elementinin üç farklı kararlı izotopu bulunmaktadır ve bunlardan ^{18}O diğer iki izotopa göre (^{17}O ve ^{16}O) ağır izotop olarak adlandırılmaktadır. Hidrojen elementinin ise iki farklı kararlı izotopu bulunmaktadır ve bu izotoplarından ^2H izotopu ^1H izotopundan ağırdır. Bu durum, yağmur sularındaki ağır ve hafif izotop içeriği kavramını ortaya çıkarmıştır. Buradan yola çıkarak yağışın ağır izotop içeriğinin hafif izotop içeriğinden farklı olduğu ve $^1\text{H}^1\text{H}^{18}\text{O}$ ile $^2\text{H}^1\text{H}^{16}\text{O}$ arasındaki derişim farkının birbiri ile bir ilişkisi olabileceği düşünülmüştür (Friedman 1953). Bu düşünceden yola çıkarak yapılan farklı çalışmalarda ve araştırmalarda elementlerin izotoplarında farklı süreçlere bağlı olarak ayrışma gerçekleştiği görülmüştür. Bu duruma *izotopik ayrışma* denilmektedir (Clark ve Fritz 1997). İzotopik ayrışma, bir molekülün farklı izotoplardan meydana gelen türlerinin kütle ve bağ enerjilerinin birbirinden farklı olması sonucu meydana gelmektedir. Böylece izotopun bolluk oranı değişmektedir. Sisteme giren ve sistemden çıkan izotop oranlarının birbirine oranı da o izotopun ayrışma faktörü olarak ifade edilip, simgesi α (alfa) dır. Ayrışma faktörü $\alpha = R_{\text{giren}} / R_{\text{çıkan}}$ olarak formülize edilmektedir. Burada R_{giren} tepkimeye giren bileşiğin ağır izotop/hafif izotop oranını; $R_{\text{çıkan}}$ tepkimeden çıkan bileşiğin ağır izotop/hafif izotop oranını belirtmektedir. Ayrışma faktörü izotopik dengenin olduğu reaksiyonlarda denge sabitine eşittir.

Suyun buharlaşması tepkimesi için ayrışma faktörü denlemi aşağıdaki gibi oluşmaktadır. Buradan;

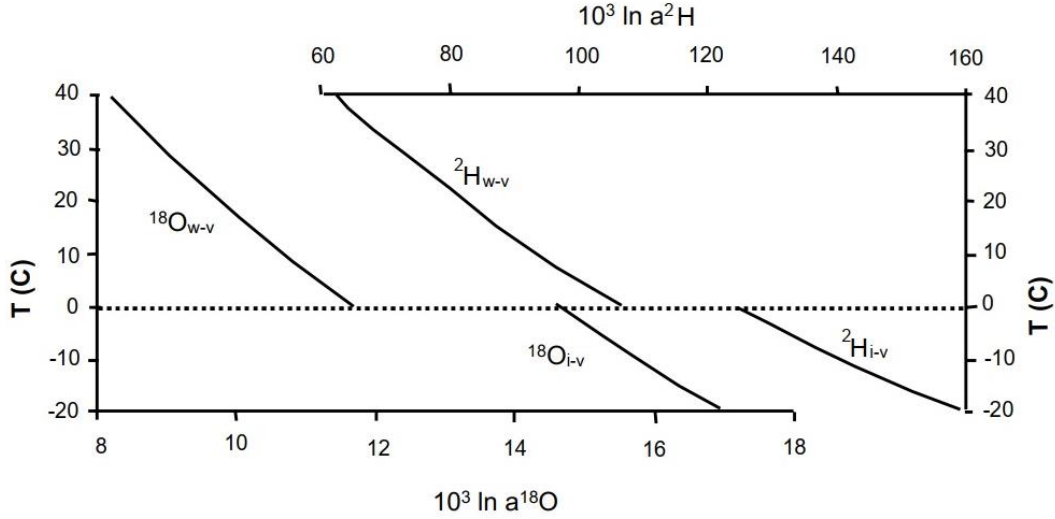
$$\text{H}_2\text{O}_{\text{su}} \longleftrightarrow \text{H}_2\text{O}_{\text{buhar}}$$
$$\text{Ayrışma Faktörü, } \alpha = \frac{R_{\text{giren}}}{R_{\text{çıkan}}}$$

$$\alpha^{18}\text{O}_{\text{su-buhar}} = [(^{18}\text{O} / ^{16}\text{O})_{\text{su}}] / [(^{18}\text{O} / ^{16}\text{O})_{\text{buhar}}]$$

hesabı ile ayrışma faktörü bulunur.

İzotopik ayrışmaya sıcaklığın etkisi ters yöndedir, eğer sıcaklık yüksek ise izotopik ayrışma düşük oranda gerçekleşir. Tersisi durumda, yani sıcaklık düşük ise izotopik

ayırışma daha yüksek oranlarda gerçekleşmektedir. Farklı sıcaklıklardaki izotopik ayırışma miktarı için aşağıdaki grafik incelenebilir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 İzotopik ayırışma-sıcaklık arasındaki ilişki (Clark ve Fritz 1997)

İzotopun bolluk oranını değiştiren diğer bir süreç ise izotopik zenginleşmedir. Zenginleşme ve ayırışma faktörleri için aşağıdaki denklemler yazılır;

İzotopik Zenginleşme (enrichment) Faktörü, ϵ

$$\epsilon^{18}\text{O}_{\text{su-buhar}} = [({}^{18}\text{O}/{}^{16}\text{O})_{\text{su}} / ({}^{18}\text{O}/{}^{16}\text{O})_{\text{buhar}}] * 1000$$

$$\epsilon_{x-y} = (R_x/R_y - 1) * 10^3 = (\alpha - 1) * 10^3$$

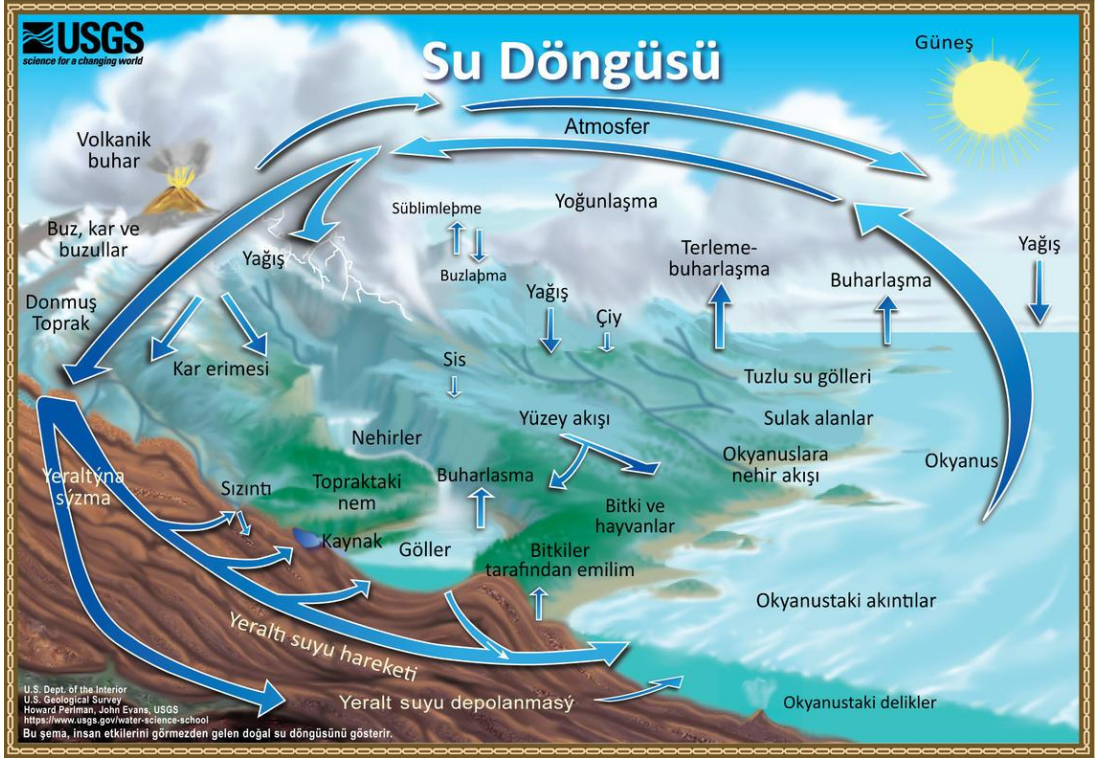
İzotopik Ayırışma (seperation), Δ

$$\Delta_{x-y} = \delta_x - \delta_y$$

$$\Delta^{18}\text{O}_{\text{su-buhar}} = \delta^{18}\text{O}_{\text{su}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{buhar}}$$

3.2.3 Hidrolojik su döngüsü

Yüzey ve yeraltı suları farklı koşullara bağlı olarak birbirleri ile etkileşim halinde olabilmektedir. Yüzeydeki suyun buharlaşarak atmosfere yükselmesi ve bulut oluşturması, burada düşük sıcaklıkta yoğunlaşarak buharın suya dönüşmesi ve yüzeye inmesi yağmuru meydana getirmektedir. Yağan yağmur yüzey sularını ve yeraltı sularını beslemektedir. Farklı koşullara bağlı olarak yeraltı suları bazen yüzey suyunu; bazı bölgelerde ise yüzey suları yeraltı suyunu besleyebilir. Sonuç olarak dünyada durmaksızın devam eden bir su döngüsünün varlığından bahsedilebilir. Temsili bir su döngüsü şekil 3.3’de görülmektedir.



Şekil 3.3 Su döngüsü (Anonymous. 2006. Web sitesi: <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/su-dongusu-water-cycle-turkish> Erişim Tarihi: 15.02.2023)

Meteorik sular için döngünün başlangıç noktası okyanuslardan buharlaşma ile başlamaktadır, su döngüsü boyunca her süreçte suyun izotopik içeriği değişmektedir. Sulardaki kararlı izotoplar, yeraltı suyunun geçtiği süreçleri, hangi yüksekliklerden

beslendiğini bize göstermektedir. İzotopik çalışmalarda *Küresel Meteorik Su Doğrusu* (KMSD) çok kullanılan ve oldukça önemli bir kavramdır. Burada dünya çapındaki yağmur sularının ve tatlı sulardaki $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ arasındaki ilişki şu şekildedir (Craig 1961);

$Y = Ax + B$ burada;

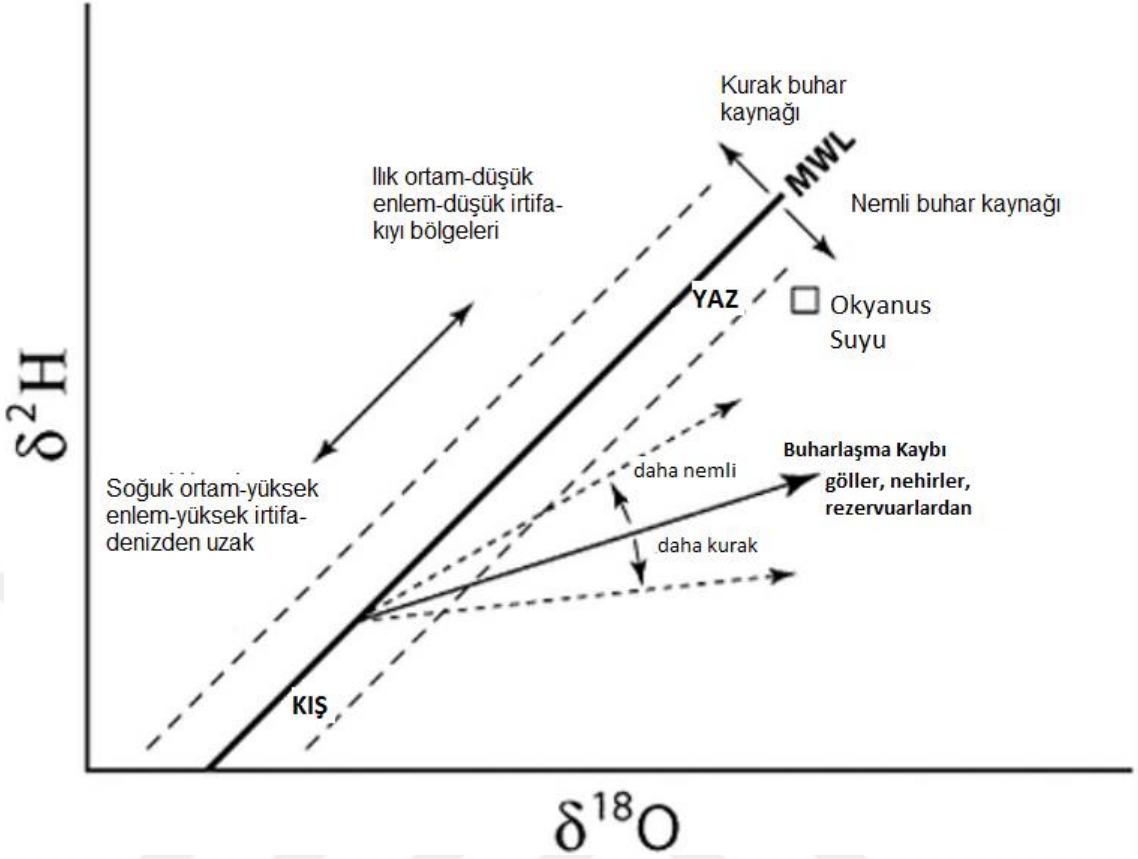
A=doğrunun eğimi

B=döteryum fazlası olup ;

$\delta^2\text{H} = 8 * \delta^{18}\text{O} + 10\%$ SMOW formülü kullanılmaktadır.

Küresel Meteorik Su Doğrusu +10‰ döteryum fazlalığı değerine sahiptir (Craig 1961). Ankara için bu değer genel olarak +11‰, Antalya Meteorik Su Doğrusu için +16‰ ve Adana Meteorik Su Doğrusu için +20‰ olarak belirlenmiştir (Özyurt vd. 2019). Yağıştan buharlaşmanın yoğun olarak gerçekleştiği bazı bölgeler dışında dünya çapında Meteorik Su Doğrularının eğimi 8'dir.

Meteorik Su Doğruları, Küresel Meteorik Su Doğrusu'na paralel olup buharlaşmanın gerçekleştiği ortamdaki bağıl neme bağlı olarak bu doğrunun sol ya da sağındadır. Daha soğuk olan dönemlerde, daha yüksek kotlarda, yüksek enlemlerde ve karasallığın arttığı iç kesimlerde gerçekleşen yağışlar izotopik içerik bakımından o bölgenin Yerel Meteorik Su Doğrusu'nun sol alt kesimlerinde yer alması beklenir (Şekil 3.4). Bu durumun tam tersi olduğunda, yani daha düşük kotlar, daha sıcak iklim gibi durumlarda yağışın Meteorik Su Doğrusu'nun sol üstünde yer alması beklenir. Buharlaşma sonucunda küresel/ yerel meteorik su doğrusundan bir sapma meydana gelir. Bu sapma sonucunda eğimi 8'den farklı bir doğru oluşur. Buharlaşma doğrusunun eğimini belirleyen buharlaşma sırasındaki bağıl nemdir. Gonfiantini (1986)'ya göre bağıl nemin 0 olduğu ortamlarda buharlaşma doğrusu eğimi 3.9 iken, bağıl nemin %75 olduğu ortamlarda buharlaşma doğrusunun eğiminin 5.2 olması beklenmektedir.



Şekil 3.4 Küresel Meteorik Su Doğrusu ile farklı koşullarda yağan yağışların durumu (Clark ve Fritz 1997'den değiştirilerek alınmıştır)

3.2.4 Yağışın kararlı izotop içeriğini etkileyen faktörler

Sıcaklık, yükselti farkları gibi etkenler yağışın kararlı izotopik içeriğini etkilemektedir. Clark ve Fritz (1997)'e göre bu faktörler 6 ana başlıkta toplanmış olup, bu başlıklar şöyledir;

1. Hava sıcaklığı
2. Enlem etkisi
3. Yükseklik etkisi
4. Mevsim etkisi
5. Miktar etkisi
6. Karasallık etkisi

1. Hava sıcaklığı

Yağışın kararlı izotop içeriği, soğuk ortamda sıcağa kıyasla daha negatif bir değer almaktadır. Bu duruma izotopik fakirleşme de denilebilir. Tersi durumda da sıcak ortamda izotopik içerik zenginleşerek (ağır izotoplarca daha zengin) daha pozitif bir değer alır. Dansgaard (1964), hava sıcaklığına bağlı olarak küresel ölçekte $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ içeriklerinin değişimini kendi adını verdiği eşitlikler ile belirlemiştir. Dansgaard Eşitliği şu şekildedir;

$$\delta^{18}\text{O} (\text{‰ SMOW}) = 0.695 * T_{\text{yıllık}} (^{\circ}\text{C}) - 13.6$$

$$\delta^2\text{H} (\text{‰ SMOW}) = 5.6 * T_{\text{yıllık}} (^{\circ}\text{C}) - 100$$

Soğuk hava şartlarında özellikle kış aylarında görülen yağışın izotopik içeriği ağır izotoplarca (^{18}O , ^2H) daha fakirdir. Hava şartlarının daha sıcak olduğu yaz aylarındaki yağışların ise ağır izotop içeriği daha zengindir.

2. Enlem etkisi

Enlemin derecesi arttıkça kutup noktasına yaklaşmaktadır, kutup noktalarında güneş radyasyonu nispeten daha azdır. Bu durumda, düşük enlemlerde yıllık ortalama hava sıcaklığı daha düşüktür. Yani enlem etkisinin sıcaklığa bağlı olduğu söylenebilir, burada sıcaklık arttıkça yoğunlaşma azalmaktadır (IAEA http://www-naweb.iaea.org/napc/ih/documents/global_cycle/vol%20II/cht_ii_04.pdf Erişim tarihi: 04.06.2023). Kutup noktalarına doğru gidildikçe de yoğunlaşma oranı artar. Daha düşük olan sıcaklıklarda meydana gelen yağışların kararlı izotop içeriği de daha negatif değer almaktadır. Sonuç olarak enlemin derecesi arttıkça yağışın izotopik içeriğinde zenginleşme meydana gelmektedir (Clark ve Fritz 1997).

3. Yükseklik etkisi

Yükselti ile yağışın kararlı izotop içeriği arasında ters bir orantı vardır. Buna göre, yükselti arttıkça yağışın $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ değeri negatife doğru gitmektedir. Çünkü ağır izotoplarca zengin olan yağmurlar daha alçak kotlara düşerek hareket ettiği için denizden buharlaşma sonrasında kara içlerine doğru hareket sırasında yağışın izotopik içeriğinde ağır izotoplarca fakirleşme meydana gelmektedir.

4. Mevsim etkisi

Mevsim etkisi sıcaklık etkisiyle aynı şekilde ilişkilendirilebilir. Yaz mevsiminde meydana gelen yağışlar, daha fazla ağır izotop içeriğine sahiptir. Bunun nedeni, yağış yeryüzüne inerken su buharının içerisindeki ağır izotopların yağışa katılmaya meyili olmasıdır. Yaz aylarının aksine, kış mevsiminde meydana gelen yağışlar, daha az ağır izotop içeriğine sahiptir.

5. Miktar Etkisi

Az miktarda yağışın gerçekleştiği dönemlerde buharlaşma yağış üzerinde daha etkili olduğu için, yağışın $\delta^{18}\text{O}$ içeriği pozitif değere yaklaşmaktadır. Bu durumda izotopik zenginleşmenin varlığından bahsedilebilir. Burada miktar etkisinin yanında sıcaklığın da yüksek olmasının etkisi oldukça fazladır.

6.Karasallık etkisi

İç kesimlere doğru gidildikçe iklim karasallaşmaktadır, burada karasallaşma kuraklaşmayı yani yağışın azalmasını ifade etmektedir. Kıyıdan iç kesimlere doğru gidildikçe yağış miktarı azalmaktadır. Karasallığın arttığı bu bölgelerde yağışın meydana gelmesi için sıcaklığın daha da düşmesi gerekir, karasallaşma arttıkça yağışın kararlı izotop içeriği daha negatif değer almaktadır. Karasallığın arttığı bölgelerde yağış izotopik içerik bakımından fakirleşir.

Sonuç itibari ile bahsedilen etkilerin neredeyse tamamı temelde sıcaklık etkisine dayandırılabilir. Bir bölgede sıcaklık arttıkça buharlaşma da artar ve dolayısıyla o bölgeye düşen yağışın $\delta^{18}\text{O}$ içeriği daha pozitif olur.

Bu etkilerden yola çıkarak su örnekleri için izotopik zenginleşme, fakirleşme durumu belirlenip, suların beslenme yüksekliği ve yağış, buharlaşma gibi iklimsel olaylar ile su örnekleri arasındaki ilişki için önemli yorumlar yapılabilir. Tez çalışması kapsamında farklı noktalardan toplanan yeraltı suyu ve yüzey suyu örneklerinin $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ değerleri belirlenerek, sunulan bilgiler ışığında yorumlanmıştır.

4. MATERİYAL VE YÖNTEM

Tez çalışması kapsamında belirlenen amaçlara ulaşmak için üç farklı aşamadan geçilmiştir. Su örneklerinin toplanması için kurak dönem (Kasım 2021) ve yağışlı dönem (Haziran 2021-Haziran 2022) olmak üzere iki dönemde saha çalışması gerçekleştirilmiştir. Sahada toplanan su örnekleri izotop içerikleri ve bazı örnekler için majör anyon-kasyon element içerikleri için laboratuvara gönderilmiştir. Laboratuvar analizlerinin ardından, son aşama olan verilerin değerlendirilmesi gerçekleştirilerek tez çalışması olarak hazırlanıp sunulmuştur.

4.1 Saha Çalışması

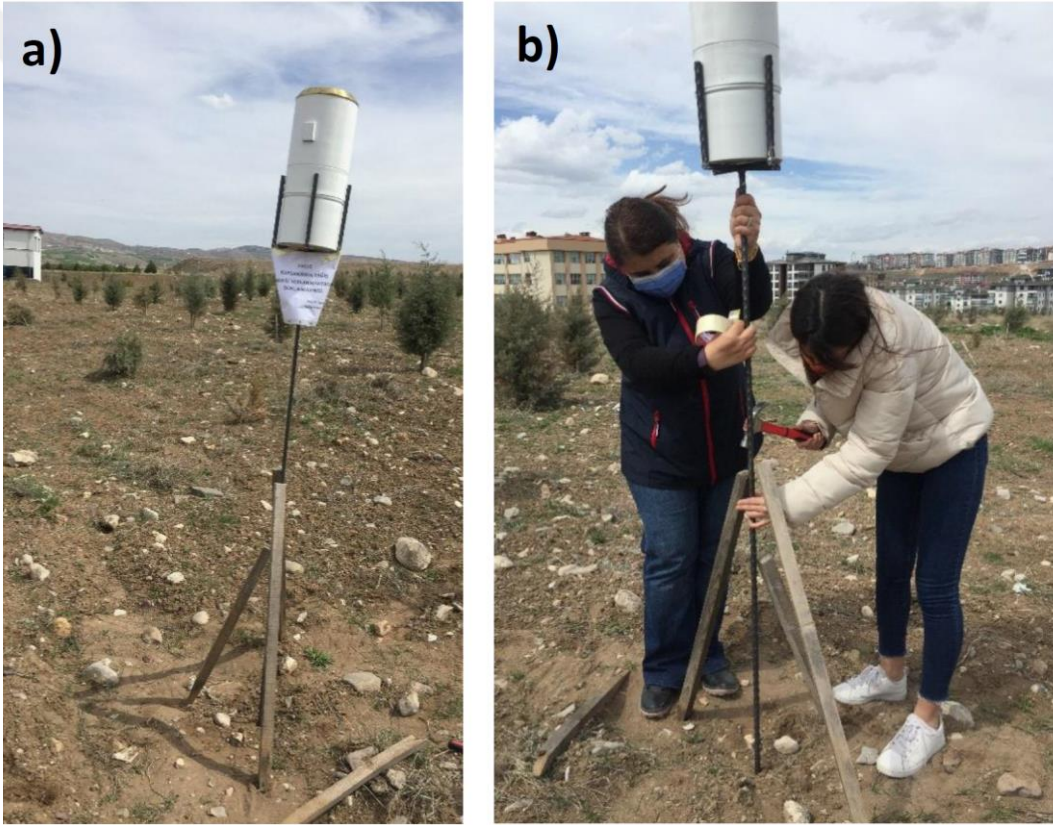
Tez çalışması kapsamında tez alanı olarak belirlenen, Mogan Gölü Havzası'nda çalışmanın tasarlandığı aşamada belirlenen noktalarda yeraltı suları, yüzey suları ve havzaya düşen yağışın kararlı izotop içeriklerini ortaya koymak amacıyla, iki farklı dönemde (yağış örnekleri aylık periyotta) olmak üzere saha çalışması gerçekleştirilmiştir. Eş zamanlı olarak yağmur suyunun izotopik içeriğini aylık periyotlarla öğrenebilmek için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün desteği ile Ankara Üniversitesi 50. Yıl Kampüsü'ne yağış toplama istasyonu (Şekil 4.1) kurulmuştur. İstasyon ile alanda yağış meydana geldikçe günlük bazda toplanan örnekler, aylık olarak bir örnek olacak şekilde bir yıl boyunca (Haziran 2021- Haziran 2022 arasında) kompozit yağmur/kar suyu örneği olarak toplanmıştır. Bu örnekler toplanırken, Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu (IAEA)/ GNIP (Global Network of Isotopes in Precipitation) tarafından belirlenen ilkeler uygulanmıştır¹.

Yağış örneklerin buharlaşmasını önlemek amacıyla, yağışı takiben mümkün olan en yakın zamanda örnekler toplanmıştır. Örnekleme sonrası gerçekleşebilecek buharlaşmayı önlemek amacıyla, su örneği şişelerinin etrafı bant ile sarılmıştır. 1035 m'de bulunan bu istasyondan alınan yağış örneklerinin izotopik içerikleri 902 m'de

¹ Bu konuda incelenen kitapçık ile ilgili detaylı bilgi için: http://www-naweb.iaea.org/napc/ih/documents/other/gnip_manual_v2.02_en_hq.pdf

bulunan IAEA/GNIP ve Ankara Bölge Meteoroloji İstasyonu'ndan alınan veriler de kullanılarak değerlendirilmiştir.

Tez çalışması kapsamında, yüzey ve yeraltı suları örnekleme ile ilgili olarak ilk saha çalışması Kasım 2021 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında, toplam 45 adet su noktasından su örneği alınmıştır. Su örnekleri Mogan Gölü'nden farklı derinlik ve noktalardan, havza genelinde belirlenen şahıs kuyularından, Mogan Gölü'nü besleyen dereler ve havzadaki kaynak noktalarından toplanmıştır (Şekil 4.2).



Şekil 4.1 a) MGM'den alınan yağış istasyonu b) Yağış istasyonunun Ankara Üniversitesi Gölbaşı Kampüsü'ne kurulması

Üniversitemiz Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nde yürütülmekte ve TÜBİTAK tarafından desteklenmekte olan 119Y547 No'lu proje kapsamında 7 Haziran 2021 tarihinde yapılan arazi çalışmasında, Mogan Gölü'ne tekne ile çıkılarak 8 farklı noktadan derinliğe bağlı olarak kimyasal ve kararlı izotop analizleri için örnekleme

alışmaları yapılmıştır (şekil 4.3). Aynı dönemde Mogan Gölü'nü besleyen Yavrucuk, Sukesen ve lova derelerinden de kurak dönem su örnekleri alınmıştır.



şekil 4.2 Yüzey sularından Kasım 2021 (kurak dönem) rneklemesi yapılması- lova Deresi orta noktası-



şekil 4.3 Yağışlı dönem rneklemesi için Mogan Gölü'nde belirlenen noktadan derinden örnekleme cihazı ile su örneğinin alınması

Mogan Gölü örnekleri kimyasal analiz sonuçlarına göre, göl kimyasında derinliğe ve lokasyona bağlı olarak fazla bir değişiklik olmadığı belirlenmiştir. Bu nedenle, Kasım 2021’de yapılan saha çalışmasında yağışlı dönem örnekleme için Mogan Gölü’nden temsil edici tek bir noktadan su örneği alınmıştır.

Gölü besleyen Yavrucuk, Sukesen ve Çölova Derelerinden su örnekleri derenin kaynak noktasına yakın, orta noktası ve Mogan Gölü’ne yakın noktaları temsil edecek şekilde alınmıştır. Buralarda yapılan örneklemede 0,5 litrelik pet su şişesi ve uzun bir tahta çubuk kullanılarak oluşturulan basit düzenek kullanılmıştır (Şekil 4.4). Yeraltı suyu kuyularından su örneği alınırken kuyular çalıştırılarak içerisinde bekleyen durgun suyun akıtılmasının ardından örnekleme yapılmıştır (Şekil 4.5).



Şekil 4.4 Sukesen Deresi’nin orta noktası olan Yurtbeyi Mahallesi’nde yağışlı dönem örnekleme yapılması



Şekil 4.5 Boyalık Mahallesi'nde yeraltı suyu şahıs kuyusundan, kuyu çalıştırılarak bir miktar akıtıldıktan sonra kimyasal ve izotop analizi için örnekleme yapılması (Haziran 2022)

Örnekleme çalışmaları esnasında, önceden kalibre edilmiş HACH HQ40d marka dijital multimetre cihaz ile su örneklerinin elektriksel iletkenlik (EC), pH, yükseltgenme-indirgenme potansiyeli (ORP), sıcaklık, çözünmüş oksijen (DO) değerleri ölçülmüştür. Örneklerin fiziko-kimyasal parametreleri tablolar halinde sunulmuştur.

Saha çalışmalarında örneklenen su noktalarında ölçülen elektriksel iletkenlik (EC) değeri sıcaklığa bağlı olarak değiştiği için özgül elektriksel iletkenlik değeri (EC₂₅) hesaplanmıştır. Bu hesaplama için APHA vd. (1989) tarafından oluşturulan eşitlik kullanılmıştır.

$$EC_{25} = (EC_A \times K) / [1 + (0.0191 \times (t_A - 25))]$$

Eşitlikte; EC_{25} : 25°C sıcaklıktaki özgül elektriksel iletkenliği ($\mu S/cm$), K : sabiti (iletkenlik ölçer hücre sabiti, 1 cm^{-1}), EC_A : sahada ölçülen elektiriksel iletkenliği ($\mu S/cm$) ve t_A : sahada ölçülen sıcaklığı ($^{\circ}C$) ifade etmektedir.

Saha çalışmaları esnasında ölçülen fiziko-kimyasal parametreler ve yöre halkının bilgisi dikkate alınarak, çalışmaya katkı sağlayacağı düşünülen bazı noktalardan majör iyon içeriğini belirlemek amacıyla kimyasal analiz yaptırılmak üzere örnek alınmıştır. Su örneği alınmadan önce 100 ml'lik ve 1 litrelik polietilen şişeler 3 kere su ile çalkalanmış, daha sonra örnek ile doldurularak kapağı kapatılmış ve herhangi bir akıntı olmaması için elektrik bandı ile izolasyonu sağlanmıştır. Majör katyon analizleri için 100 ml'lik polietilen şişelere alınan örnekler 0,45 μm 'lik şırınga ucu filtreler ile filtrelenmiş ve örneğin pH'ını 2'nin altına düşürecek şekilde ultra saf nitrik asit kullanılarak asitlenmiştir. Majör anyon analizleri için 1 lt'lik şişelere alınan örnekler üzerinde herhangi bir işlem yapılmamıştır İzotop analizi için 10 ml'lik polietilen şişeler kullanılmıştır, şişelere örnek suyu doldurulmadan önce 3 kere su ile çalkalanmıştır. Daha sonra örnek ile doldurulup elektrik bandı ile kapağı tamamen izole edilmiştir. Alınan su örnekleri saha çalışması esnasında arabada bulundurulanan araç buzdolabında saklanmıştır. Örnekler laboratuvara teslim edilene kadar ise $5 \pm 3\text{ }^{\circ}C$ sıcaklığındaki koşullarda soğuk zinciri bozmayacak şekilde muhafaza edilmiş ve özellikle majör iyon analizi için alınan örneklerin aynı gün laboratuvara teslimleri sağlanmıştır.

Alınan su örneklerinin kimyasal analiz sonuçlarının doğruluğunun değerlendirilebilmesi için elektro-nötralite (EN) değerleri hesaplanmıştır. Bunun nedeni, Appelo ve Postma (2010)'a göre kimyasal analizi yapılan su örneğinin analiz sonucu ve örnek için hesaplanan anyon-katyon dengesinin $\pm 5\%$ hata payı diliminde olması gerekmektedir. Hata payının 5% 'ten daha yüksek olması durumunda analiz sonucunun değerlendirmeye tabi tutulması veya analizin tekrarlanması önerilmektedir. Bu kapsamda, belirlenen bazı su noktalarından alınan örneklerin analiz sonuçlarının güvenilirliğini ortaya koyabilmek için aşağıdaki eşitlik kullanılarak elektro-nötralite değerleri hesaplanmıştır.

$$\text{Elektro-Nötralite (EN, \%)} = [(\sum \text{Katyon} - \sum \text{Anyon}) / (\sum \text{Katyon} + \sum \text{Anyon})] \times 100$$

4.2 Laboratuvar Çalışmaları

Laboratuvar çalışmaları iki farklı laboratuvar ile yürütülmüştür. Su örneklerinin kimyasal analizi, TÜRKAK tarafından akredite edilmiş ÇINAR Çevre Laboratuvarı A.Ş. de TS EN ISO/IEC 17025 Standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Örneklerin kararlı izotop içerikleri ise Orta Doğu Teknik Üniversitesi Merkezi Laboratuvar bünyesindeki Duraylı İzotop Kütle Spektrometresi Laboratuvarı'nda (DİL) yapılmıştır.

4.2.1 Kimyasal analiz

Laboratuvarda gerçekleştirilen kimyasal analiz çalışması ile major iyonlar (Magnezyum (Mg^{+2}), Sodyum (Na^{+}), Kalsiyum (Ca^{+2}), Potasyum (K^{+}), Sülfat (SO_4^{2-}), Klorür (Cl^{-}), Nitrat (NO_3^{-}), Alkalinite ($mgCaCO_3/L$), Fosfat (PO_4^{-3}) ölçülmüştür. Laboratuvarda yapılan kimyasal analiz prosedürü ise şu şekildedir;

Klorür, nitrat ve sülfat iyonları İyon Kromatografi cihazıyla ölçülmüştür. İyonların sıvı kromatografik ayrılmaları, ayırma kolonları ile yapılmaktadır. Ölçüm sırasında dedektör olarak iletkenlik dedektörü kullanılmaktadır. Anyonlar, kolon içindeki alıkonma sürelerine göre birbirlerinden ayrılarak dedektöre ulaşırlar. Kantitatif analiz her bir iyonun vermiş olduğu pik alanları üzerinden çizilen kalibrasyon eğrileri kullanılarak yapılmaktadır. Alkalinite titrimetrik yöntem ile ölçülmüştür. 100 ml'lik erlen içerisine alınan 50 ml numune fenolftalein indikatörü (H_2SO_4 standart çözeltisi) ile önce kırmızı renkten renksiz dönünceye kadar titre edilmiş ardından Aynı numune üzerine bu kez metil oranj indikatörü damlatılarak H_2SO_4 standart çözeltisi ile portakal renginden kırmızıya dönülen noktaya kadar titre edilmiştir.

4.2.2 İzotop analizi

Tez çalışması kapsamında alınan yeraltı suyu, yüzey suyu ve yağmur suyu örneklerinin kararlı izotop içeriğinin belirlenmesi amacı ile örnekler ODTÜ Merkez Laboratuvarı'na

teslim edilmiştir. Laboratuvarında bulunan İzotop Oranı Kütle Spektrometresi cihazı ile ölçümler gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.6).



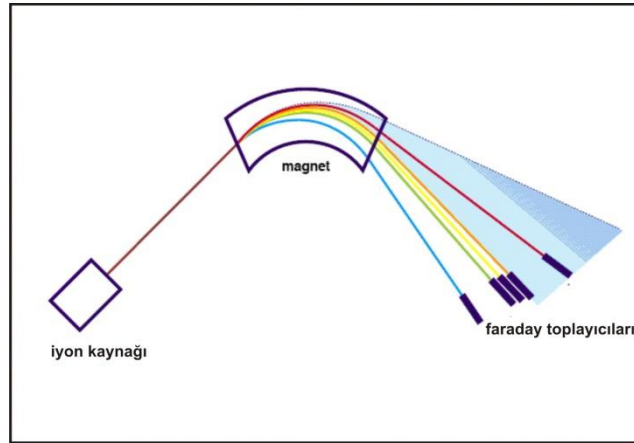
Şekil 4.6 ODTÜ Merkez Laboratuvarı'nda Bulunan İzotop Oranı Kütle Spektrometresi (IRMS) Cihazı

Sularda izotop oranı tayini analizlerinde, oksijen için $\delta^{18}\text{O} - ^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$, hidrojen için de $\delta^2\text{H} - ^2\text{H}/^1\text{H}$ oranlarının ölçümü yapılmaktadır. Bu izotopların bileşimleri referans standart bileşimden permil (‰) sapma şeklinde δ parametresi ile ifade edilmektedir. Bu bağlamda, sularda $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ analizlerinde, referans standart olarak Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA), Viyana tarafından temin edilen Vienna Standard Mean Ocean Water (VSMOW) uluslararası su standardı kullanılmaktadır. VSMOW'a ek olarak, analizlerde normalizasyon ve kalibrasyon işlemlerinin yapılması amacıyla, GISP (Greenland Ice Sheet Precipitation) ve SLAP (Standard Light Antarctic Precipitation) uluslararası su standartları da bulundurulmaktadır.

Duraylı İzotop Laboratuvarı'nda analizler, taşıyıcı gaz akışı (helyum) içerisinde örnek gazı analizini içeren Sürekli Akış Tekniğine dayanmaktadır. Bu teknikte kullanılan Gas Bench ünitesi, suda $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ belirlenmesi için kütle spektrometresine bağlı halde bulunan bir sürekli akış ara birimidir.

Su örneklerinde $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ analizi iki ayrı test olarak yapılmaktadır. Bu izotopların analizinde, su örneğine ait izotop oranı, kütle spektrometresine yollanacak bir gaza, su-gaz izotopik dengesi yolu ile transfer edilmektedir. Bu amaçla, ilk aşamada, ölçülecek gaz (denge gazı), numuneyi içeren örnek şişesine bir iğne vasıtasıyla enjekte edilmektedir. Belirli bir süre sonra şişede bulunan gaz ile sıvıya ait moleküller arasında izotopik dengenin kurulmasını takiben örnek gazı, örnek şişesinden yine bir iğne vasıtası ile çekilmekte ve Gas Bench birimine saflaştırma ve farklı gaz bileşimlerinden ayırıştırma işlemleri için yollanmaktadır. Daha sonra örnek gazı, yüksek saflıktaki referans gazlar eşliğinde, kütle spektrometresine ölçüm için giriş yapmaktadır.

Kütle spektrometresine giriş yapan gazlar, iyon kaynağı içerisinde “electron impact ionization” yöntemi ile iyonlaştırılmaktadır. Oluşan iyonlar yüksek voltaj ile hızlandırılmakta ve ardından kütle/yük-(m/z) oranlarına göre ayrıldıkları manyetik alan içerisine girmektedir. Daha sonra iyonlar ilgili Faraday toplayıcıları (iyon dedektörleri) tarafından toplanmaktadır. Son olarak dedektörlerden çıkan sinyaller sayısallaştırılmakta ve veri sistemi tarafından kaydedilmektedir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 Kütle Spektrometresi şematik diyagramı

Analizde Kullanılan Gazlar

Taşıyıcı Gaz: Yüksek saflıkta olan He gazı (5.0)

Suda $\delta^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ analizi

- Denge Gazı: He + % 0.3 CO₂ gaz karışımı
- Referans Gaz: Yüksek saflıkta CO₂ gazı (4.5)

Suda $\delta^2\text{H}/^1\text{H}$ analizi

- Denge Gazı: He + % 2 H₂ gaz karışımı
- Referans Gaz: Yüksek saflıkta H₂ gazı (4.5)

DİL’da, uluslararası standartlara (VSMOW, GISP ve SLAP) ek olarak, rutin analizlerde her örnek seti ile birlikte kullanılmak üzere, laboratuvar içi standartlar bulundurulmaktadır. Farklı izotopik bileşimlere sahip bu standartlar, uluslararası standartlara göre, periyodik aralıklarla kalibre edilmektedir.

4.3 Verilerin Değerlendirilmesi

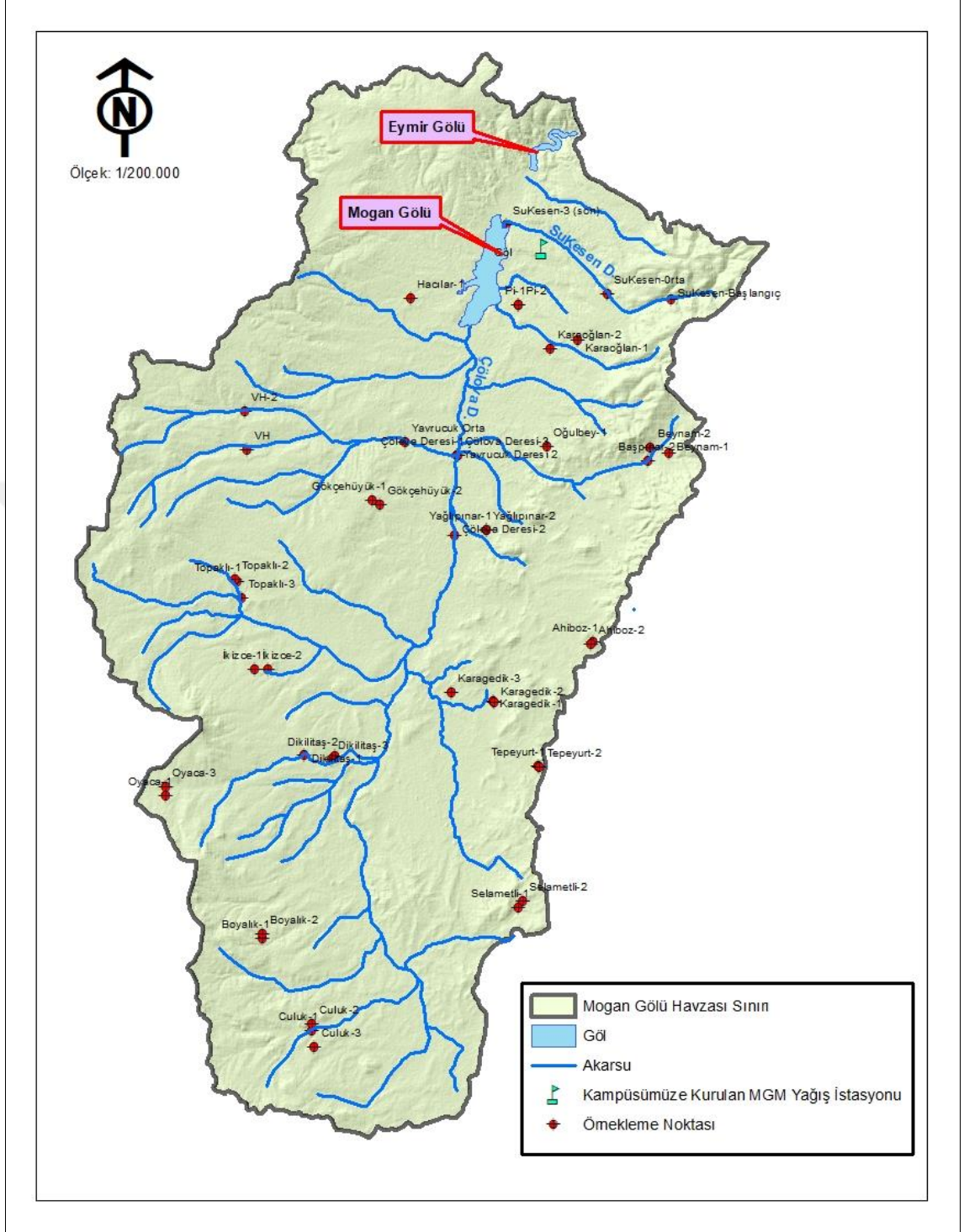
Saha çalışmalarında elde edilen fizikokimyasal parametreler ve debi, jeolojik birim tanımlama, alınan örneklerin laboratuvar analizlerinin yaptırılması sonucunda bir veri tabanı oluşturulmuştur. Bütün veriler kullanılarak bilgisayar ortamı ve literatür taraması ışığında değerlendirmeler yapılmıştır. Değerlendirme sonuçları sonraki bölümlerde yer almaktadır.

5. BULGULAR

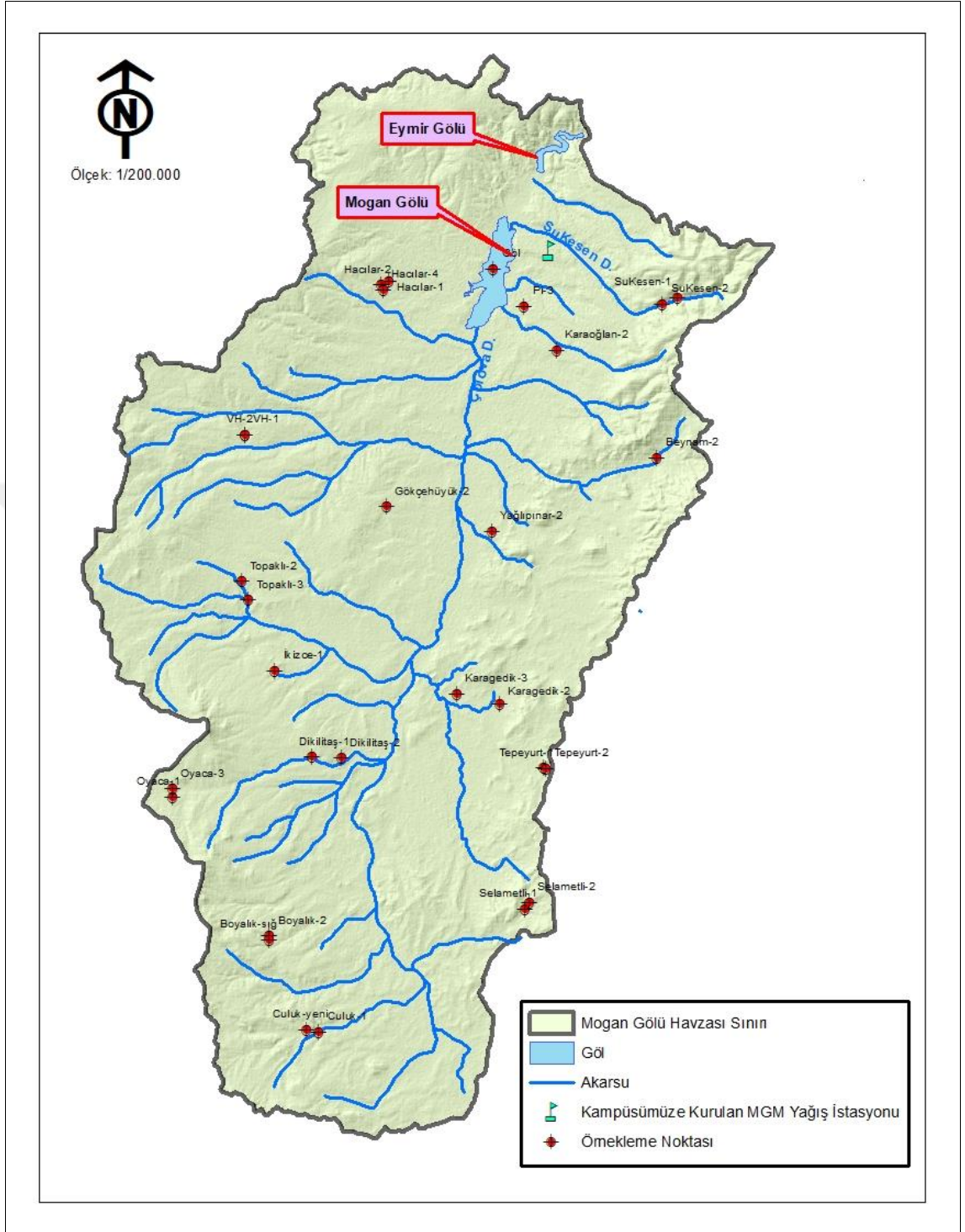
Tez çalışması kapsamında kurak ve yağışlı dönemde Mogan Gölü Havzası'nda belirlenen yüzey ve yeraltı suyu örnekleme noktaları ile yağmur suyu örnekleme noktası şekil 5.1 ve şekil 5.2'de sunulan haritalarda görülmektedir. Alınan örneklerden, örnekleme esnasında pH, Elektriksel İletkenlik, sıcaklık gibi fiziko-kimyasal parametreler ölçülmüştür. Ayrıca örneklerin, laboratuvar ortamında izotopik ve kimyasal analizleri gerçekleştirilmiştir. Kimyasal ve izotopik analiz ölçüm sonuçları, kurak ve yağışlı dönem ayrı ayrı olmak üzere tablolar halinde bu başlık altında verilmiştir. Buna göre arazi çalışmaları esnasında ölçülen fizikokimyasal parametreler yağış (Çizelge 5.1), yüzey suları (Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.3) ve yeraltı suları (Çizelge 5.4) şeklinde gruplandırılarak sunulmuştur. Bu çizelgelere göre yağış örneklerinin elektriksel iletkenlik (EC) değerleri 48,6 $\mu\text{S/cm}$ ile 144,1 $\mu\text{S/cm}$ arasında değişmektedir (Çizelge 5.1). Mogan Gölü için EC değerleri kurak dönemde 4400 $\mu\text{S/cm}$ iken yağışlı dönemde, beklenildiği üzere bu değer düşüş göstererek 3800 $\mu\text{S/cm}$ olarak belirlenmiştir. Gölü besleyen derelerin EC değerleri yağışlı dönemde 370 $\mu\text{S/cm}$ ile 4840 $\mu\text{S/cm}$ arasında değişmekteyken kurak dönemde 367 $\mu\text{S/cm}$ ile 4660 $\mu\text{S/cm}$ arasında değişmiştir. Yeraltı suyu örnekleme noktaları için EC değerleri kurak dönemde 494 $\mu\text{S/cm}$ ile 6390 $\mu\text{S/cm}$ arasında değişirken yağışlı dönemde 429 $\mu\text{S/cm}$ ile 2900 $\mu\text{S/cm}$ arasında değişmiştir.

Çizelge 5.1 MGM'den alınan yağış toplama istasyonu ile alınmış yağış sularının fizikokimyasal parametreleri (bu tabloda verilen sıcaklıklar Elektriksel İletkenlik ölçümlerinin yapıldığı sıcaklığı göstermektedir- ölçümler oda sıcaklığında yapılmıştır)

Örnek Adı	EC ($\mu\text{S/cm}$)	Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	ÖEİ ($\mu\text{S/cm}$)
Haz.21	83,3	17,3	97,663
Eyl.21	139,6	18,3	160,09
Eki.21	245	19,7	272,59
Kas.21	187,8	20,2	206,76
Ara.21	144,1	17,6	167,82
Oca.22	48,6	18,6	55,368
Şub.22	73,4	18,1	84,542
Mar.22	52,2	21	56,518
Nis.22	90,9	18,6	103,56
May.22	95,4	17,6	111,1
Haz.22	102,7	18,2	118,03



Şekil 5.1 Kurak dönem örneklemesinde Mogan Gölü Havzası'ndan örnek alınan noktalar



Şekil 5.2 Yağışlı dönem örneklemesinde Mogan Gölü Havzası'ndan örnek alınan noktalar

Çizelge 5.2 Yağışlı dönem (Nisan-Haziran 2021) yüzey suları fizikokimyasal parametreleri

Örn. Noktası	Örn. Adı	Tarih	Derinlik (m)	X	Y	Z	EC (µS/cm)	pH	T (C)	ORP (mV)	DO (mg/l)
Dere-1	VH	6.04.2021		470463	4393527	1111.51	594	8,11	16,4	198	9,35
Dere-2	VH-2	6.04.2021		470326	4395391	1.113.079	782	7,55	15,3	212,1	6,8
Dere-3	Yavrucuk Orta	6.04.2021		478188	4393906	1000.89	775	7,86	15,6	251,2	7,05
Dere-4	Yavrucak Deresi 2	6.04.2021		480713	4393241	982.61	4670	9,15	19,7	169	18,5
Dere-5	Çölova Deresi 1	6.04.2021		480758	4393228	982	4660	8,92	21,9	1576	10,28
Dere-6	Çölova Deresi 2	6.04.2021		480619	4389310	985.29	4250	8,39	20,1	224,5	12,05
Dere-7	Çölova Deresi 3	6.04.2021		480771	4393260	984.219	4840	8,87	19,7	231,1	10,57
Dere-8	Başpınar 2	6.04.2021		490103	4392949	1161.47	1165	8,07	13,4	249	6,3
Dere-9	SuKesen Başlangıç	6.07.2021		491191.3	4400847.7	1221	370	8,05	14,6	227,9	7,09
Dere-10	SuKesen Orta	6.07.2021		488111.8	4401139.9	1122.68	870	8,18	16,9	207,3	7,64
Dere-11	SuKesen 3 (son)	6.07.2021		483128.3	4404536.1	976	907	10,66	24,7	-56,1	10,05
Göl-5	Mogan 5Y	6.07.2021	0 (yüzey)	482212.8	4402464.9	1.006.454	3820	8,95	22,3	148,3	10,69
Göl-5	Mogan 5O	6.07.2021	1.May	482212.8	4402464.9	1.006.454	3740	8,93	19,4	182,4	7,42
Göl-5	Mogan 5D	6.07.2021	3	482212.8	4402464.9	1.006.454	3830	8,83	18,9	-4	4,5

Çizelge 5.3 Kurak dönem (Kasım 2021) yüzey suyu örnekleri fizikokimyasal parametreleri

Örn. Noktası	Tarih	X	Y	Z	EC (µS/cm)	pH	T (C)	ORP (mV)	DO (mg/l)
SuKesen-1	19.11.2021	491252	4401048	1224	367	8,37	6,9	166,8	8,98
SuKesen-2	19.11.2021	490511	4400732	1211	497	8,11	8,7	165,3	8,36
SuKesen-3	19.11.2021	488112	4401140	1123	654	8,3	8,8	171,1	7,89
SuKesen-4	19.11.2021	483118	4404673	977	2260	9,12	8,8	156,2	14,64
Çölova-1	19.11.2021	480619	4389310	982	2290	8,62	4,9	175,6	10,35
Çölova-2	23.11.2021	480748	4393392	981	4630	9,01	4,4	-20,9	10,23
Çölova-3	23.11.2021	480832	4393531	981	4660	8,87	5,9	-37,3	10,06
Mogan-5Y	22.11.2021	482212.8	4402465	1006,45	4390	8,96	8,7	211,5	5,38
Mogan-5O	22.11.2021	482212.8	4402465	1006,45	4350	8,94	8,4	220	5,96
Mogan-5D	22.11.2021	482212.8	4402465	1006,45	4420	8,94	8,2	214,5	5,59
Yavrucuk-1	23.11.2021	480763	4393425	983	5030	9,04	4,2	-43,4	16,88

Yağışlı dönemde Mogan Gölü'nden alınan su örneklerinin pH değeri 8,83 ile 8,95 arasında değişiyorken (Çizelge 5.2), bu değerler kurak dönem için 8,2 ile 8,7 arasında değişmektedir (Çizelge 5.3). Göl su örneklerinde kurak dönemde pH değerlerinde azalma olmuştur.

Gölü besleyen derelerin pH değerlerine bakıldığında yağışlı dönem için, 7,86 ile 10,66 arasında değiştiği görülmektedir (Çizelge 5.2). Bu değerler kurak dönemde ise 8,3 ile 9,12 arasında değişmiştir (Çizelge 5.3) ve yağışlı döneme nispeten daha düşük olarak ölçülmüştür. Yeraltı suyu örneklerinde kurak dönemde yapılan ölçümlerde pH değerleri en düşük 7,27, en yüksek 9,18 olarak ölçülmüştür. Yağışlı dönemde yeraltı suları için pH değeri 7,2 ile 9,9 arasında değişmiştir.

Yağışlı dönemde derelerden alınan su örnekleri için sıcaklık değeri 13,4°C ile 24,7°C arasında değişmiştir (Çizelge 5.2). Kurak dönem için ise dere suları sıcaklık değeri 4,2°C ile 8,8°C arasında değişerek yağışlı döneme kıyasla düşüş göstermiştir (Çizelge 5.3). Yeraltı suyu örnekleri için kurak dönem örneklemede sıcaklık değerleri, 9,4°C ile 23°C arasında değişmiştir. Yağışlı dönemde alınan yeraltı suyu örneklerinin sıcaklık değerleri ise 14,8°C ile 23,7°C arasında değişerek kurak döneme kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür.

Gölü besleyen derelerin ORP değerleri yağışlı dönemde -56,1 mV ile 251,2 mV arasında değişmiştir. ORP için kurak dönemde ölçülen değerler -43,4 mV ile 175,6 mV arasında değişmiştir. Yeraltı suyu örneklerinde ORP değerleri kurak dönem için -186,4 mV ile 213 mV arasında değişmiştir (Çizelge 5.3).

Mogan Gölü'nün çözünmüş oksijen değerleri yağışlı dönemde 4,5 mg/l ile 10,69 mg/l arasında değişmiştir (Çizelge 5.2). Göl yüzeyinden alınan su örneğinin çözünmüş oksijen içeriği daha yüksek çıkmıştır. Kurak dönem için gölden alınan su örneklerinin çözünmüş oksijen değerleri 5,38 mg/l ile 5,96 mg/l arasında değişmiştir (Çizelge 5.3). Gölü besleyen derelerin çözünmüş oksijen içeriği yağışlı dönemde, 6,33 mg/l ile 12,05 mg/l arasında değişmiştir. En yüksek çözünmüş oksijen içeriğine sahip örnek Çölova Deresi-2'dir. Derelerden alınan su örneklerinin kurak dönemde çözünmüş oksijen içerikleri 7,89 mg/l ile 14,64 mg/l arasında değişmiştir.

Çizelge 5.4 Kurak dönem (Kasım 2021) yeraltı suyu örnekleri fizikokimyasal parametreleri

Örn. Noktası	Tarih	Derinlik (m)	X	Y	Z	EC (µS/cm)	pH	T (C)	ORP (mV)	DO (mg/l)
Culuk-1	17.11.2021		473655	4365055	1151	731	8,02	9,7	120,3	8,64
Culuk-2	17.11.2021		473624	4365380	1142	892	7,61	12	161,8	7,16
Culuk-3	17.11.2021	100	473743	4364244	1199	561	8,19	14	137,5	6,04
Boyalık-1	17.11.2021	6	471219	4369594	1218	1162	7,65	13	160,8	4,55
Boyalık-2	17.11.2021		471228	4369765	1226	519	7,68	13	207,3	7,82
Oyaca-1	17.11.2021	85	466499	4376582	1220	545	8,17	11,5	161,7	6,08
Oyaca-2	17.11.2021	34				772	7,79	11,9	153,3	6,79
Oyaca-3	17.11.2021		466470	4376983	1207	1151	7,27	14,7	179,9	6,01
Dikilitaş-1	17.11.2021		473279	4378530	1086	909	7,75	12,6	175,1	6,2
Dikilitaş-2	17.11.2021	7	474756	4378498	1040	1629	7,36	13,3	154,2	5,19
Dikilitaş-3	17.11.2021		474591	4378356	1044	907	7,57	14,1	171,5	8,02
İkizce-1	17.11.2021		471484	4382773	1094	1521	7,51	14,8	183,5	7,68
İkizce-2	17.11.2021	27	470860	4382765	1120	653	7,54	13,8	165,9	7,14
Topaklı-1	17.11.2021	54	469995	4387037	1114	581	7,59	14,2	162,5	7,43
Topaklı-2	17.11.2021	36	469867	4387136	1121	682	7,55	19,2	145,2	6,38
Topaklı-3	17.11.2021		470205	4386220	1082	680	7,72	11,2	164,2	7,3
Gökçehtyök-1	17.11.2021	75	476564	4391055	1109	566	7,75	10,2	213	2,15
Gökçehtyök-2	17.11.2021		476958	4390804	1076	1018	7,31	11	193,4	3,02
Selametli-1	18.11.2021		483736	4371085	1191	979	7,39	16,8	-38	0,32
Selametli-2	18.11.2021	40	483972	4371402	1223	1400	7,43	9,8	148,1	2,22
Tepeyurt-1	18.11.2021		484691	4377993	1083	452	7,76	11,5	138,6	7,51
Tepeyurt-2	18.11.2021	65	484760	4377976	1085	969	7,52	12,7	116,2	2,26
Karagedik-1	18.11.2021	2	482483	4381185	1020	3390	8,02	10,6	135,5	5,11
Karagedik-2	18.11.2021	2	482531	4381139	1020	2540	7,91	12,4	100	6,3
Karagedik-3	18.11.2021		480434	4381643	1013	538	8,35	15,2	123,8	7,38
Ahiboz-1	18.11.2021	90	487399	4384092	1111	528	8,19	13,7	133,7	8,25
Ahiboz-2	18.11.2021	110	487307	4383995	1100	540	7,98	15,8	154,4	7,64
Yağlıpınar-1	18.11.2021	140	482160	4389596	1007	1640	7,79	15,3	195,7	7,77
Yağlıpınar-2	18.11.2021	55	482160	4389596	1007	1838	7,9	15,7	181,4	7,26
Oğulbey-1	18.11.2021	70	485152	4393658	1075	506	8,17	12,7	78,4	6,2
Beynam-1	18.11.2021		491104	4393355	1189	1472	7,68	13,4	203	2,27
Beynam-2	18.11.2021		490203	4393619	1151	1116	7,73	13	201,9	2,14
Karaoğlan-1	19.11.2021		486643	4398898	1099	494	7,81	13,5	169,1	5,64
Karaoğlan-2	19.11.2021	94	485304	4398474	1071	1411	7,71	16	193,8	4,93
Hacılar-1	19.11.2021	257	478487	4400919	994	3170	9,18	9,4	135,5	4,19
Pi-1	19.11.2021	500	483732	4400617	1007	6390	8,99	23	-186,4	2,57
Pi-2	19.11.2021	40	483732	4400617	1007	932	7,76	12,5	59,3	7,01

Yeraltı suyu örnekleri için kurak dönemde çözülmüş oksijen içeriği 0,32 mg/l ile 8,64 mg/l arasında değişmiştir (Çizelge 5.4). Yeraltı suları için yapılan yağışlı dönem örneklemesinde çözülmüş oksijen içeriği değerlerinin nispeten düşerek, 0,2 mg/l ile 7,66 mg/l arasında değiştiği belirlenmiştir (Çizelge 5.5). Bu dönemde ölçülen sıcaklık değerleri 9,4 ile 16,8 derece arasında değişiklik göstermiştir. Yeraltı suyu örneklerinin

EC değerleri oldukça geniş aralıktaki (en düşük 494 $\mu\text{S/cm}$, en yüksek 6390 $\mu\text{S/cm}$) değerlerde ölçülmüştür.

Çizelge 5.5 Yağışlı dönem (Haziran 2022) yeraltı suyu örnekleri fizikokimyasal parametreleri

Örn. Noktası	Tarih	Derinlik (m)	X	Y	Z	EC ($\mu\text{S/cm}$)	ORP (mV)	pH	T	DO (mg/l)
Culuk-1	22.06.2022		473655	4365055	1151	725	96	7,66	17,9	7,22
Culuk-yeni	22.06.2022		473033	4365178	1151	543	79	7,33	15,5	7
Boyalık-2	22.06.2022		471228	4369765	1226	537	61,4	7,64	16,1	6,74
Boyalık-sığ	22.06.2022		471197	4369588	1221	1398	72	7,53	15,4	3,97
Oyaca-1	22.06.2022		466499	4376582	1220	552	75,7	8,26	17,9	5,86
Oyaca-3	22.06.2022		466470	4376983	1207	1061	53,5	7,33	15	5,71
Dikilitaş-1	22.06.2022		473296	4378532	1085	835	152	7,94	17,6	6,35
Dikilitaş-2	22.06.2022		474756	4378498	1040	2580	76,1	7,23	19,8	3,87
İkizce-1	22.06.2022		471484	4382773	1094	1405	83,7	7,29	15,7	7,24
Topaklı-3	22.06.2022		470205	4386220	1082	672	112,6	7,52	20,8	4,84
Topaklı-2	22.06.2022		469867	4387136	1120	664	158	7,66	21,6	5,97
Gökçeşük-2	22.06.2022		476958	4390804	1076	890	123	7,22	17,7	0,17
Beynam-2	22.06.2022		490203	4393196	1151	1240	112,7	7,68	16,4	3,47
Karaoglan-2	22.06.2022		485304	4398475	1070	1368	77,8	7,74	13,7	6,9
Pi-3	22.06.2022		483732	4400617	1007	967	38	7,85	17,1	3,87
SuKesen-1	22.06.2022		491252	4401048	1224	352	22,6	8,42	17,4	6,57
SuKesen-2	22.06.2022		490511	4400732	1211	429	28,2	8,18	17,5	7,48
Selametli-1	23.06.2022		483736	4371085	1191	969	-161	7,86	16,8	0,2
Selametli-2	23.06.2022		483972	4371402	1223	1571	-36	7,51	14,8	3,88
Tepeyurt-1	23.06.2022		484691	4377993	1083	454	61	7,55	18,2	6,31
Tepeyurt-2	23.06.2022		484760	4377976	1085	1029	-45	7,54	17,8	2,15
Karagedik-2	23.06.2022		482531	4381139	1020	2900	-11	7,64	15,8	6,98
Karagedik-3	23.06.2022		480435	4381643	1012	531	57	8,16	15,5	6,98
Velihimmetli sığ (VH2)	23.06.2022	60	470019	4394336	1127	937	155	7,77	16,3	3,82
Velihimmetli-1	23.06.2022	150	470019	4394336	1127	619	616	7,46	16	5,98
Hacılar-1	23.06.2022	191	477084	4401853	1048	929	79,5	9,86	23,7	0,84
Hacılar-2	23.06.2022	192	476713	4401681	1063	1013	236	8,12	18	7,66
Hacılar-4	23.06.2022	164	476809	4401432	1050	835		8,47	18,1	
Yağlınar-2	23.06.2022	55	482160	4389596	1007	1854	50	7,79	16,9	6,03

Yağışlı dönemde yeraltı suyu örneklerinin ölçülen sıcaklığı 13,7°C ile 21,6°C arasında değişmektedir. Yeraltı suyu örneklerine ait pH değerleri 7,23 ile 9,86 arasında değişiyorken tek bir örnek 9 pH değerini geçmiştir.

Çizelge 5.6 ve Çizelge 5.7’de tez sahasında seçilen noktalarda kimyasal analiz yaptırılan örnekler için majör iyon analiz sonuçları sunulmuştur. Bu sonuçlara göre Ca^{2+} değeri yağışlı dönemde 1,99 mg/l ile 134 mg/l aralığında değişmekteyken, kurak dönemde 1,76 mg/l ile 104 mg/l arasında değişmektedir. Mogan Gölü’nden toplanan

örneklerde ise Ca^{2+} değeri yüzeyde 38,2 mg/l, derinde ise 41,1 mg/l çıkmıştır. Kurak dönem örneklerine ait Ca^{2+} içeriğine bakıldığında yağışlı döneme kıyasla daha düşük (1,76 mg/l ile 104 mg/l arasında değişen değerler) çıkmıştır. Yağışlı dönem örneklerinin Mg^{2+} değeri 0,254 mg/l ile 43,7 mg/l arasında değişmektedir. Magnezyum iyonu bakımından Mogan Gölü'nden alınan su örnekleri 100 mg/l ve 103 mg/l değerleri ile diğer örneklere nispeten daha zengin içeriğe sahiptir. Kurak dönem örneklerinin Mg^{2+} değeri 0,759 mg/l ile 79,9 mg/l arasında değişmektedir. Mogan Gölü'nün yüzeyinden alınan Mogan-5Y örneğinin Mg^{2+} içeriği kurak dönemde 146 mg/l, Mogan-5D örneğinin içeriği ise 156,8 mg/l'dir.

Her iki dönem için de su örneklerinin K^+ değerleri diğer anyon-kasyonlara nispeten çok yüksek seviyelerde olmayıp K^+ yağışlı dönemde 0,147 mg/l ile 60,9 mg/l arasında, kurak dönemde ise 0,417 mg/l ile 57 mg/l arasında değerler almaktadır. Mogan Gölü'nden alınan su örneklerinin K^+ içeriğine bakıldığında, yağışlı dönemde 9,2 mg/l (Mogan-5Y) ve 9,44 mg/l (Mogan-5D)'dir. Kurak dönem örnek sonuçlarında ise bu değerler her iki noktada da 13,8 mg/l olarak belirlenmiştir.

Örneklere ait Cl^- değerleri incelendiğinde, yağışlı dönem için değerlerin 10,5 mg/l ile 86,4 mg/l arasında, kurak dönem için ise 3,26 mg/l ile 858 mg/l arasında değerler aldığı görülmüştür. Mogan Gölü örneklerinin Cl^- değerleri ise yağışlı dönemde yüzey için 459 mg/l, derin nokta için 458 mg/l değerinde çıkmıştır. Kurak dönemde bu değerler sırasıyla 562 mg/l ve 759 mg/l değerlerini alarak artmıştır.

Yağışlı dönemde toplanan su örneklerinin SO_4^{2-} içeriği 21,2 mg/l ile 135 mg/l arasında değişmektedir. Kurak dönemde ise 14,9 mg/l ile 342 mg/l arasında değişmektedir. Mogan Gölü'nden alınan su örnekleri için SO_4^{2-} içeriği yağışlı dönemde 875 mg/l (Mogan-5Y) ve 867 mg/l (Mogan-5D) değerlerinde, kurak dönemde ise 1058 mg/l (Mogan-5Y) ve 1433 mg/l (Mogan-5D) değerinde çıkmıştır. Yağışlı dönem su örneklerinin NO_3^- içeriği 0,681 mg/l ile 312 mg/l arasında değişmekteyken, bu değerler kurak dönemde, 5,35 mg/l ile 237 mg/l arasında değişmektedir. Mogan Gölü'nden alınan su örnekleri için NO_3^- içeriği yağışlı dönemde gözlenmemekteyken, kurak dönemde 5,27 mg/l (Mogan-5Y) ve 5,32 mg/l (Mogan-5D) olarak belirlenmiştir. Mogan

Gölu örnekleri ve diğler su noktalarından alınan örnekler için fosfat değlerleri deteksiyon limiti altında kalmıştır ve bu nedenle çizelgelerde fosfat değlerleri sunulmamıştır.

Çizelge 5.6 Yağışlı dönem (Haziran 2021-Haziran 2022) kimyasal analiz yaptırılan örneklerin kimyasal analiz sonuçları

Örnek Adı	Ca ⁺² (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	Alkalinite (mgCaCO ₃ /L)
VH	97,2	9,56	11,8	8,79	16,4	29	11,3	282,6
VH-2	134	13,5	15,3	0,612	19,2	33	0,792	399
Mogan-5Y	38,2	100	701	9,2	459	875	0	620,6
Mogan-5D	41,1	103	728	9,44	458	867	0	610,8
Boyalık-1	137	36,6	54,5	8,7077	86,4	94,4	312	312,3
Topaklı-2	65,1	11,7	45,5	1,76	16,2	21,2	77,7	251,4
Karaoğlan-2	99,5	43,7	45,5	60,9	126	63,3	270	258,4
Pi-3	60,5	19,1	103	2,91	74,3	83,3	17,5	288
Selametli-1	60,5	41,6	63,3	7,68	10,5	135	1,19	410,4
VH-2	46	9,1	143	1,72	33,7	30,2	7,92	454,6
VH	87,8	9,21	15,1	0,147	15,7	36,5	38,5	256,8
Hacılar-1	1,99	0,254	194	0,357	15,8	52	0,681	422
Hacılar-3	2,63	0,279	170	0,391	12,4	107	0,877	335

Çizelge 5.7 Kurak dönem (Kasım 2021) kimyasal analiz yaptırılan örneklerin kimyasal analiz sonuçları

Örnek Adı	Ca ⁺² (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	Alkalinite (mgCaCO ₃ /L)
Karaoğlan-2	82,4	40,9	72,8	57	93,4	54,1	237	275,6
Mogan-5D	24,8	156,8	1195	13,8	759	1433	5,32	694,4
Mogan-5Y	25,1	146	1049	13,8	562	1058	5,27	679,2
Pi-1	1,76	0,759	1390	3,51	858	103	5,35	1472
Pi-2	79	27,2	86,3	0,417	28,8	94,9	50,9	345
Selametli-1	56,8	43,8	72,3	7,26	9,97	151	<0,45	410
Topaklı-2	60,3	10,8	50,2	1,66	13,6	21,9	88,1	253
Velihimmetli-3	104	8,58	5,92	0,489	3,26	14,9	33,1	217,2
Yağlıpınar-1	47	79,9	212	4,98	138	342	14,2	428

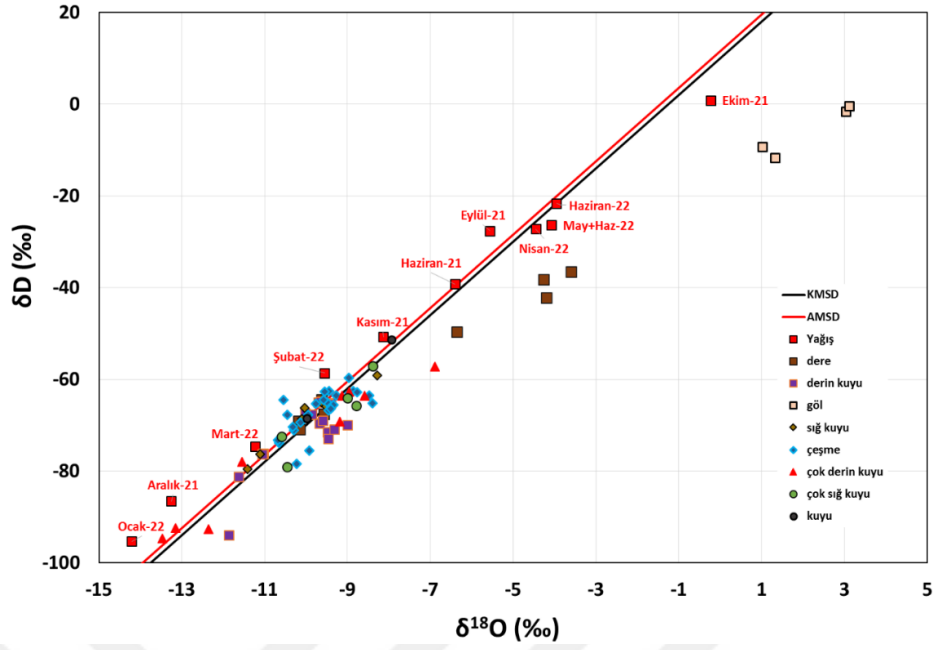
6. TARTIŞMA VE SONUÇ

6.1 Sularda Oksijen-18 (^{18}O) ve Döteryum (^2H) ilişkisi

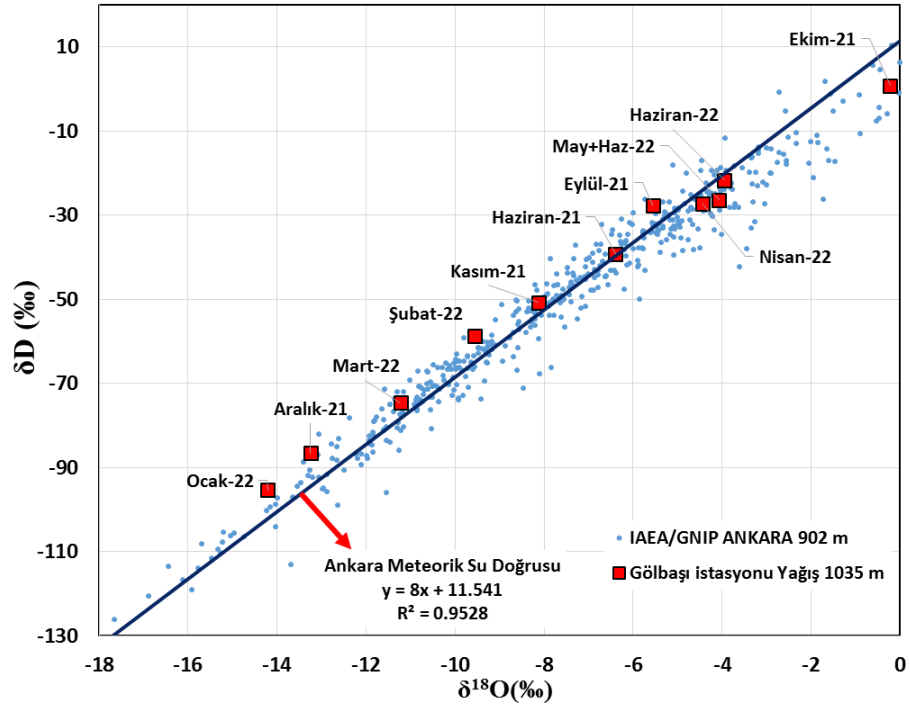
Tez çalışmaları kapsamında Mogan Gölü Havzası'nda kurak ve yağışlı dönemi temsilen farklı noktalardan 78 adet yüzey suyu ve yeraltı suyu örneği ile Gölbaşı yağış istasyonundan 11 adet yağış örneği (Çizelge 6.1) olmak üzere toplam 89 örnek için $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ analizleri yaptırılmıştır (Şekil 6.1). Bu analiz sonuçlarına göre Haziran 2021 ile Haziran 2022 arasında bir yıl boyunca aylık bazda kolektif olarak toplanmış yağış örneklerinin $\delta^{18}\text{O}$ içerikleri -0,23 ‰ ile -14,21 ‰ arasında değişirken, $\delta^2\text{H}$ içerikleri 0,84‰ ve -98,62‰ arasında değişmiştir (Çizelge 6.1 ve Şekil 6.1). Yağış örnekleri için döteryum fazlalıkları da bir yıl boyunca, beklenildiği üzere, aylık bazda farklılık göstermiş ve 2,68‰ ile 16,82‰ arasında değişmiştir. Yüzey ve yeraltı suları için kurak ve yağışlı dönemlerde alınmış tüm örneklerin $\delta^{18}\text{O}$ içeriklerinin 3,12‰ ile -13,47‰ arasında, $\delta^2\text{H}$ içeriklerinin ise 1,48 ‰ ve -99,11‰ arasında oldukça geniş bir aralıkta değiştiği belirlenmiştir (Çizelge 6.2 ve Çizelge 6.3; Şekil 6.1). İlerleyen bölümlerde yağış örnekleri, yüzey suyu örnekleri, kaynaklar ve yeraltı suları için kararlı izotop içerikleri ve $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ arasındaki ilişki ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Şekil 6.1'de verilen Ankara Meteorik Su Doğrusu şekil 6.2'de sunulan IAEA/GNIP verileri ile elde edilmiştir. Bu doğrunun döteryum fazlalığı 11,54 olarak bulunmuştur.

Çizelge 6.1 Gölbaşı yağış istasyonundan bir yıl boyunca aylık bazda kolektif olarak toplanmış olan yağış örneklerinde oksijen-18, döteryum, döteryum fazlalığı

Örnek İsmi	Tarih	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^2\text{H}$	D-Fazlalığı
Yağış Mogan-1	Haz.21	-6,40	-39,21	11,99
Yağış Mogan-2	Eyl.21	-5,56	-27,67	16,82
Yağış Mogan-3	Eki.21	-0,23	0,84	2,68
Yağış Mogan-4	Kas.21	-8,13	-50,77	14,26
Yağış Mogan-5	Ara.21	-13,25	-89,54	16,49
Yağış Mogan-6	Oca.22	-14,21	-98,62	15,06
Yağış Mogan-7	Şub.22	-9,55	-59,62	16,81
Yağış Mogan-8	Mar.22	-11,22	-74,61	15,17
Yağış Mogan-9	Nis.22	-4,45	-27,21	8,39
Yağış Mogan-10	Haz.22	-3,95	-21,61	9,99
Yağış Mogan-11	Mayıs+Haziran 2022	-4,07	-26,38	6,18



Şekil 6.1 Tez çalışması kapsamında örneklenen tüm su noktalarının kurak ve yağışlı dönem $\delta^2\text{H}$ - $\delta^{18}\text{O}$ grafiği (Küresel Meteorik Su Doğrusu (KMSD) $\delta^2\text{H} = 8\delta^{18}\text{O} + 10$ (‰ SMOW) Craig (1961), ve IAEA/GNIP istasyonu verileri kullanılarak elde edilen Ankara Meteorik Su Doğrusu (AMSD) da bu şekilde gösterilmiştir)



Şekil 6.2 IAEA/WMO GNIP Ankara istasyonunda 1964-2016 yılları arasında 902 m yüksekliğe düşen yağışın kararlı izotop içerikleri ile 1035 m'de bulunan ve tez çalışması kapsamında Gölbaşı istasyonunda örneklenen yağışın izotopik içerikleri

Çizelge 6.2 Kurak dönemi temsilen alınmış yüzey suyu ve yeraltı suyu örneklerinde oksijen-18, döteryum, döteryum fazlalığı

Örnek İsmi	Tarih	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^2\text{H}$	D-Fazlalığı	Örnek Tipi
Çölova-1K	19.11.2021	-3,59	-34,51	-5,76	Yüzey Suyu
Çölova-2K	23.11.2021	-4,26	-36,20	-2,11	Yüzey Suyu
Çölova-3K	23.11.2021	-4,20	-39,22	-5,63	Yüzey Suyu
Mogan-5 Yüzey	22.11.2021	3,04	0,33	-23,99	Yüzey Suyu
Mogan-5 Derin	22.11.2021	3,13	1,48	-23,54	Yüzey Suyu
SuKesen-1K	19.11.2021	-10,18	-67,14	14,32	Yüzey Suyu
SuKesen-2K	19.11.2021	-10,15	-68,93	12,24	Yüzey Suyu
SuKesen-3K	19.11.2021	-6,36	-47,69	3,21	Yüzey Suyu
Beynam-2K	18.11.2021	-9,76	-65,35	12,72	Çeşme
Boyalık-2K	17.11.2021	-10,65	-73,81	11,35	Çeşme
Culuk-1K	17.11.2021	-8,86	-62,56	8,34	Çeşme
Dikilitaş-1K	17.11.2021	-9,45	-62,63	12,96	Çeşme
Gökçe höyük-2K	17.11.2021	-8,97	-60,64	11,09	Çeşme
İkizce-1K	17.11.2021	-9,94	-67,78	11,76	Çeşme
Karagedik-3K	18.11.2023	-8,47	-58,23	9,56	Çeşme
Oyaca-3K	17.11.2023	-9,49	-64,93	11,02	Çeşme
Selametli-1K	18.11.2023	-10,67	-73,26	12,12	Çeşme
SuKesen-2A K	19.11.2023	-10,13	-69,48	11,55	Çeşme
Tepeyurt-1K	18.11.2023	-10,29	-71,1	11,22	Çeşme
Topaklı-3K	17.11.2023	-9,33	-65,56	9,09	Çeşme
Ahiboz-1 K	18.11.2021	-9,68	-69,64	7,80	Derin Kuyu
Beynam-1 K	18.11.2021	-10,03	-68,24	11,97	Sığ Kuyu
Boyalık-1 K	17.11.2021	-10,59	-74,44	10,26	Çok Sığ Kuyu
Culuk-3 K	17.11.2021	-9,86	-67,71	11,18	Derin Kuyu
Dikilitaş-2 K	17.11.2021	-9,00	-64,11	7,89	Çok Sığ Kuyu
Gökçe höyük-1 K	17.11.2021	-9,70	-65,06	12,51	Derin Kuyu
Elektrokent K	19.11.2021	-13,15	-96,76	8,46	Çok Derin Kuyu
İkizce-2 K	17.11.2021	-9,62	-65,07	11,89	Sığ Kuyu
Karagedik-2 K	18.11.2021	-8,38	-58,11	8,96	Çok Sığ Kuyu
Karaoğlan-1 K	19.11.2021	-9,97	-68,53	11,25	Kuyu
Karaoğlan-2 K	19.11.2021	-9,65	-64,86	12,34	Derin Kuyu
Oğulbey-1 K	18.11.2021	-9,39	-65,20	9,95	Derin Kuyu
Oyaca-1 K	17.11.2021	-11,03	-76,15	12,10	Derin Kuyu
Oyaca-2 K	17.11.2021	-10,09	-68,62	12,12	Sığ Kuyu
Pi-1 K	19.11.2021	-11,55	-79,99	12,40	Çok Derin Kuyu
Pi-2 K	19.11.2021	-8,28	-53,72	12,53	Sığ Kuyu
Selametli-2 K	18.11.2021	-11,41	-79,57	11,69	Sığ Kuyu
Tepeyurt-2 K	18.11.2021	-9,59	-65,84	10,88	Derin Kuyu
Topaklı-1 K	17.11.2021	-9,46	-65,35	10,35	Derin Kuyu
Topaklı-2 K	17.11.2021	-9,52	-65,82	10,30	Sığ Kuyu
Velihimmetli-1 K	23.11.2021	-9,13	-63,65	9,40	Çok Derin Kuyu
Velihimmetli-2 K	23.11.2021	-11,63	-81,23	11,80	Derin Kuyu
Yağlıpınar-1 K	18.11.2021	-6,89	-57,19	-2,06	Çok Derin Kuyu
Yağlıpınar-2 K	18.11.2021	-9,00	-65,85	6,13	Derin Kuyu

Kurak ve yağışlı dönemi temsil eden yeraltı suyu örneklerinin alındığı kuyular çizelge 6.2 ve çizelge 6.3'te görüldüğü üzere kendi içinde 4 ana gruba ayrılarak değerlendirilmiştir. Burada, çok sığ kuyu tipi 0-7 m aralığında, sığ kuyu tipi 20-40 m aralığında, derin kuyu tipi 55-100 m ve çok derin kuyu tipi 140-500 m aralığında kuyu derinliğine sahip olan kuyuları ifade etmektedir.

Çizelge 6.3 Yağışlı dönemi temsilen alınmış yüzey suyu ve yeraltı suyu örneklerinde oksijen-18, döteryum, döteryum fazlalığı

Örnek İsmi	Tarih	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^2\text{H}$	D-Fazlalığı	Örnek Tipi
Mogan-5D	7.06.2021	1,03	-9,34	-17,57	Yüzey Suyu
Mogan-5Y	7.06.2021	1,32	-9,71	-20,30	Yüzey Suyu
Yavrucuk-1Y	27.04.2021	-8,81	-62,7	7,78	Yüzey Suyu
Yavrucuk-2Y	27.04.2021	-8,62	-61,99	6,97	Yüzey Suyu
Çölova-2Y	27.04.2021	-1,51	-21,12	-9,04	Yüzey Suyu
Su Kesen-2Y	27.04.2021	-9,94	-65,84	13,68	Yüzey Suyu
SuKesen-3Y	27.04.2021	-9,35	-61,27	13,53	Yüzey Suyu
Başpınar-2Y	27.04.2021	-9,49	-66,43	9,49	Yüzey Suyu
Mogan-5Y Nis	21.04.2021	-0,16	-16,91	-18,91	Yüzey Suyu
Mogan-5D Nis	21.04.2021	0,31	-11,15	-13,63	Yüzey Suyu
Su Kesen-1 Haz	22.06.2022	-9,57	-67,52	9,04	Yüzey Suyu
Boyalık-2	22.06.2022	-10,32	-71,32	11,24	Çeşme
Culuk-1	22.06.2022	-8,77	-62,83	7,33	Çeşme
Culuk yeni	22.06.2022	-8,95	-63,05	8,55	Çeşme
Gökçe höyük-2	22.06.2022	-9,55	-63,69	12,71	Çeşme
Oyaca-3	22.06.2022	-9,57	-64,44	12,12	Çeşme
Topaklı-3	22.06.2022	-9,27	-63,49	10,67	Çeşme
İkizce-1	22.06.2022	-9,92	-68,05	11,31	Çeşme
Beynam-2	22.06.2022	-9,46	-66,81	8,87	Çeşme
Dikilitaş-1	22.06.2022	-9,4	-62,2	13,00	Çeşme
Karagedik-3	23.06.2022	-8,39	-59,04	8,08	Çeşme
Boyalık-1 Y	22.06.2022	-10,46	-74,24	9,44	Çok Sığ Kuyu
Hacılar-1 Y	23.06.2022	-13,47	-99,11	8,65	Çok Derin Kuyu
Hacılar-2 Y	23.06.2022	-8,59	-58,41	10,31	Çok Derin Kuyu
Hacılar-3 Y	23.06.2022	-12,36	-88,15	10,73	Çok Derin Kuyu
Karagedik-2 Y	23.06.2022	-8,79	-60,41	9,91	Çok Sığ Kuyu
Karaoğlu-2 Y	22.06.2022	-10,02	-67,41	12,75	Derin Kuyu
Oyaca-1 Y	22.06.2023	-11,05	-76,38	12,02	Derin Kuyu
Pi-3 Y	22.06.2022	-7,93	-51,42	12,02	Kuyu
Selametli-2 Y	23.06.2022	-11,11	-77,37	11,51	Sığ Kuyu
Tepeyurt-2 Y	23.06.2022	-9,48	-66,34	9,50	Derin Kuyu
Topaklı-2 Y	22.06.2022	-9,31	-65,73	8,75	Derin Kuyu
Velihimmetli-1 Y	23.06.2022	-8,96	-62,79	8,89	Çok Derin Kuyu
Yağlıpınar-2Y	23.06.2022	-9,46	-67,96	7,72	Derin Kuyu

6.1.1 Yağışta ^{18}O ve D ilişkisi

Çevresel izotop çalışmalarında yağıştaki ^{18}O ve D içeriklerini bilmek önemlidir çünkü bu içerikler bölgesel ve zaman içinde değişen belirgin bir sinyal verirler ve sıcaklık, havadaki nem ve su buharı kaynağının izotop oranı gibi parametrelere bağlıdır. Bir yıl boyunca (Haziran 2021 ve Haziran 2022 arasında) tez çalışması kapsamında kurulan yağış toplama istasyonundan alınan örneklerin izotop içerikleri zamana bağlı olarak değişiklik göstermiştir. Önceden belirtildiği üzere, kış aylarındaki yağış yaz aylarındakinden izotopik olarak daha hafiftir yani ağır izotoplarca daha fakirdir. Sıcaklığa bağlı olarak gerçekleşen izotopik fakirleşme Aralık 2021, Ocak 2022’de kar yağışı şeklinde gerçekleşen yağış örneklerinde belirgindir. Ekim 2021’de alınmış örnek için çizelge 5.1’de görülebileceği üzere bu örneğin EC değeri diğer örneklerle göre yüksektir (245 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Bu örnek tek bir yağış ardından toplanmıştır ve buharlaşma etkisi altında kalmıştır. Bu buharlaşmanın yağış sırasında gerçekleştiği düşünülmektedir. Dolayısıyla, bu örnek ağır izotoplarca en zengin yağış örneğidir. IAEA/ GNIP istasyonunda uzun yıllar (1964-2016) alınmış örneklerin aylık ortalama $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ içerikleri ile d fazlalıkları çizelge 6.4’de sunulmuştur. Bu istasyon Gölbaşı istasyonundan 135 m daha düşük kotta bulunmaktadır. Beklenildiği üzere kış aylarında alınan örneklerin ortalama kararlı izotop içerikleri bu istasyonda da ağır izotoplarca daha fakirleşmiş şekildedir.

Çizelge 6.4 IAEA/ GNIP istasyonunda uzun yıllar (1964-2016) alınmış örneklerin aylık ortalama $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ içerikleri ile d fazlalıkları

ÖRNEK İSMİ	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	δD (‰)	D-Fazlalığı
1964-2016 Yılları Arasında Ölçülen IAEA/GNIP İstasyon Verileri			
Ocak GNIP	-11,29	-78,59	11,73
Şubat GNIP	-10,74	-72,17	13,75
Mart GNIP	-9,14	-62,03	11,09
Nisan GNIP	-7,00	-44,18	11,82
Mayıs GNIP	-5,70	-35,34	10,26
Haziran GNIP	-4,68	-29,93	7,51
Temmuz GNIP	-3,62	-24,27	4,69
Ağustos GNIP	-3,79	-25,81	4,51
Eylül GNIP	-5,45	-35,15	8,45
Ekim GNIP	-7,00	-45,29	10,71
Kasım GNIP	-9,18	-59,95	13,49
Aralık GNIP	-10,65	-71,62	13,58
2022 Yılında Ölçülen IAEA/GNIP İstasyon Verileri			
Haziran 2021 GNIP	-4,6	-29,1	7,7
Ocak GNIP	-13,52	-93,6	14,56
Şubat GNIP	-9,62	-63,7	13,26

Çizelge 6.4 IAEA/ GNIP istasyonunda uzun yıllar (1964-2016) alınmış örneklerin aylık ortalama $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ içerikleri ile d fazlalıkları (devam)

ÖRNEK İSMİ	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	δD (‰)	D-Fazlalığı
Mart GNIP	-9,63	-60,4	16,64
Nisan GNIP	-2,47	-8,7	11,06
Mayıs GNIP	-1,56	-8,9	3,58
Haziran GNIP	-4,84	-29,6	9,12
Temmuz GNIP	-7,08	-50,8	5,84
Ağustos GNIP	-2,34	-7,6	11,12
Eylül GNIP	-	-	-
Ekim GNIP	-5,01	-27,6	12,48
Kasım GNIP	-6,26	-33,3	16,78
Aralık GNIP	-12,26	-90,5	7,58

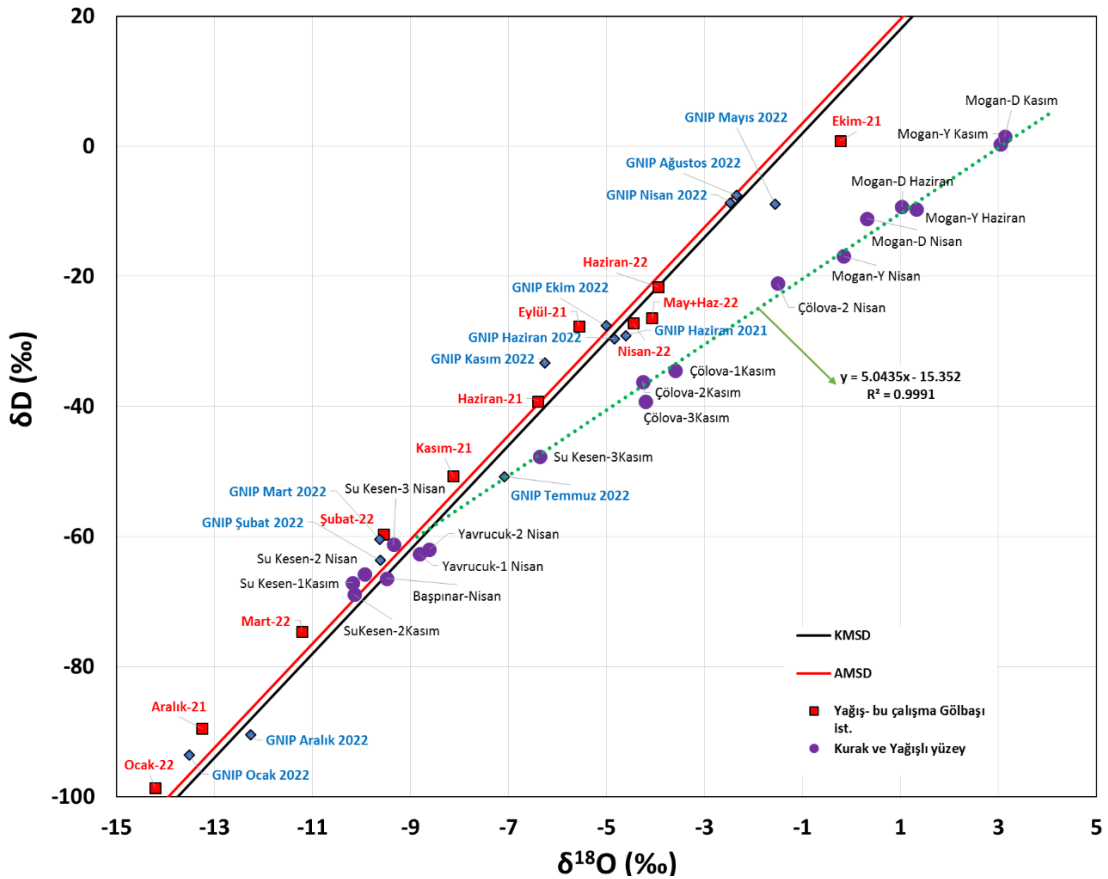
6.1.2 Yüzey sularında $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ arasındaki ilişki

Küresel ve yerel meteorik su doğrularından sapma buharlaşma, yoğunlaşma ve su-kayaç etkileşimi gibi farklı süreçlerden dolayı meydana gelebilir. Buharlaşma sırasında öncelikle hafif izotoplar buhar fazına geçtikleri için sıvı faz ağır izotoplarca zenginleşir (Clark ve Fritz 1997). Dolayısıyla, şekil 6.3’de Ankara Meteorik Su Doğrusu’ndan sapma gösteren örnekler ile bir buharlaşma doğrusu belirlenmiştir. Buharlaşma doğrusunun eğimi (s) havadaki bağıl neme bağlıdır (Clark ve Fritz 1997).

Göl ve dere sularından yağışlı dönemde alınan 12, kurak dönemde alınan 9 (kurak dönemde bazı dereler kuruduğu için örnekleme yapılamamıştır) örnek için $\delta^{18}\text{O}$ içeriklerinin 3,13‰ ile -10,18‰ arasında değiştiği belirlenmiştir. Aynı örnekler için $\delta^2\text{H}$ içerikleri 1.48‰ ile -63,893‰ arasında değişmiştir. Bir yıl boyunca 1035 m yükseklikte konumlanmış olan yağış istasyonundan toplanan kompozit yağış örneklerinin $\delta^{18}\text{O}$ içerikleri -0,23‰ ile -14,21‰ arasında değişirken $\delta^2\text{H}$ içerikleri 0,84‰ ile -98,62‰ arasında değişmiştir. Ağır izotoplarca en fakir örnek Ocak 2022’de kar yağışı olarak gerçekleşen yağışlardan oluşan örnek olurken, ağır izotoplarca en zengin örnek Ekim 2021’de tek bir yağış olayı sonucu meydana gelen yağmur olarak toplanmış örnek olmuştur.

Tez çalışması kapsamında alınmış tüm örnekler için $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ ilişkisi şekil 6.3’te sunulmuştur. Bu şekilde Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu ile MGM ve DSİ İşbirliği ile Ankara istasyonunda (yükseklik 902 m) yağışlarda aylık olarak yapılan ölçümler de

verilmiştir (IAEA/GNIP 2023) (Şekil 6.3’e bakınız: GNIP, ilgili ay, 2021 veya 2022). Yüzey suları (Mogan Gölü ve gölü besleyen başlıca dereler Çölova, Sukesen, Başpınar ve Yavrucuk dereleri) kurak ve yağışlı dönem $\delta^2\text{H}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ grafiğine göre Mogan Gölü’nden alınan örnekler sahada en yüksek buharlaşmayı gösteren örneklerdir (Şekil 6.3). Gölde üç farklı zamanda alınmış örneklerden Kasım ayı (kurak dönemi temsilen) hem derin hem de yüzey örneği neredeyse birbirinin aynı kararlı izotop içeriğine sahiptir ve en fazla buharlaşma gösteren örneklerdir. Haziran ayında alınan göl örneğinde buharlaşma etkisi Kasım ayı örneğine göre daha az olsa da Nisan ayında alınan örneğe göre daha fazladır. Göl örneklerinden en az buharlaşma etkisi altında olan örnek Nisan ayında göl yüzeyinden alınan örnektir (Şekil 6.3). Mogan Gölü’nün yanı sıra Çölova Deresi’nden ve Sukesen Deresi’nin Mogan Gölü’ne giriş yaptığı noktada kurak dönemde alınan örnekler de kısmi buharlaşma etkisindedir.



Şekil 6. 3 Tez çalışması kapsamında örneklenen yüzey sularının kurak ve yağışlı dönem $\delta^2\text{H}$ - $\delta^{18}\text{O}$ grafiği (Küresel Meteorik Su Doğrusu (KMSD) $\delta^2\text{H} = 8\delta^{18}\text{O}+10$ (‰ SMOW) Craig (1961) ve IAEA/GNIP istasyonu verileri kullanılarak elde edilen Ankara Meteorik Su Doğrusu (AMSD) da bu şekilde gösterilmiştir)

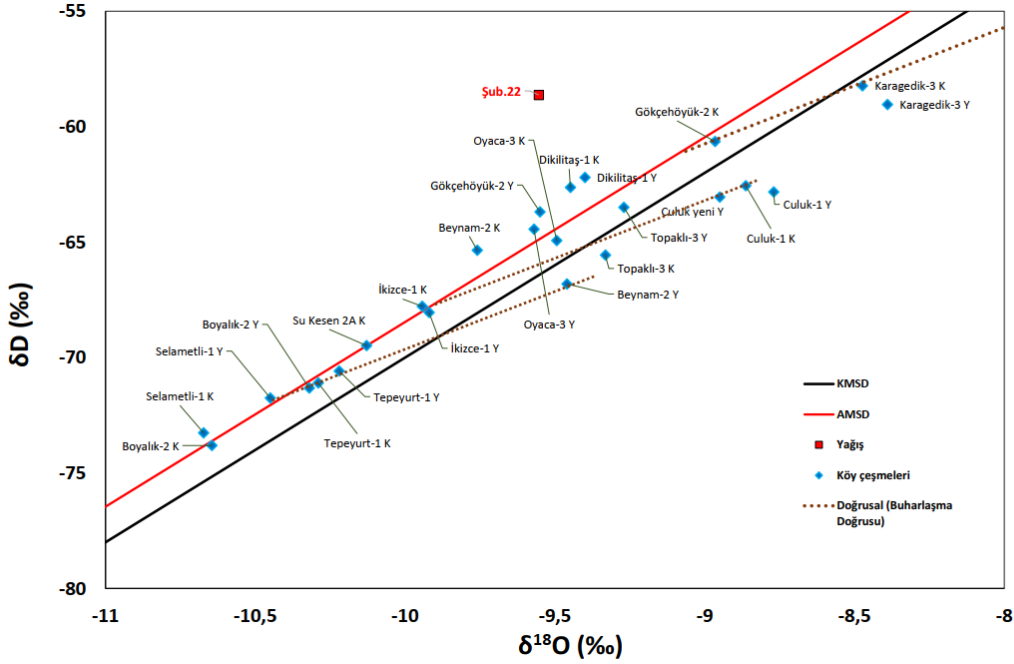
Küresel ve yerel meteorik su doğrularından sapma buharlaşma, yoğunlaşma ve kayaç-su etkileşimi gibi farklı süreçlerden dolayı meydana gelebilir. Buharlaşma sırasında öncelikle hafif izotoplar buhar fazına geçtikleri için sıvı faz ağır izotoplarca zenginleşir (Clark ve Fritz 1997). Dolayısıyla şekil 6.3'te Ankara Meteorik Su Doğrusu'ndan sapma gösteren örnekler ile bir buharlaşma doğrusu belirlenmiştir. Buharlaşma doğrusunun eğiminin (s) havadaki bağıl neme bağlı olduğu önceki bölümde belirtilmiştir (Gonfiantini 1986; Clark ve Fritz 1997). Tez alanı için şekil 6.3'te verilen doğrunun eğimi yaklaşık 5 olarak belirlenmiştir. Gonfiantini (1986)'ya göre bağıl nemin %50 olduğu ortamlarda buharlaşma doğrusunun eğimi 4,5 iken %75 bağıl nemde eğimin 5,2 olması beklenmektedir. Ankara Meteoroloji İstasyonunda (17130) Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından 1926-2021 yılları arasında ölçülmüş ortalama bağıl nem % 60'tır. Bu durumda, buharlaşma doğrusunun eğimi (s=5) ile çalışma sahasında belirlenen bağıl nem miktarı birbiriyle uyumludur.

Buharlaşma gösteren örneklerin buharlaşma öncesi orijinal izotopik imzasına buharlaşma doğrusu ile yerel meteorik su doğrusu kesiştirilerek ulaşılabilir (Clark ve Fritz 1997). Dolayısıyla, yağış örnekleri ile göl ve dere örneklerinin izotopik içerikleri karşılaştırıldığında (Şekil 6.3) bu örneklerin genel olarak kış yağışları ile beslendiği söylenebilir (buharlaşma doğrusu ile Ankara Meteorik Su Doğrusu (döteryum fazlalığı 11,47‰) kesiştirildiğinde buharlaşma etkisinde göl ve dere örnekleri ve buharlaşma etkisi altında olmayan örnekler hem Gölbaşı istasyonu, hem de GNIP istasyonu Şubat ve Mart 2022'de gerçekleşen yağışlar ile benzer izotopik içeriğe sahip olduğu görülmektedir.

6.1.3 Kaynaklarda (köy çeşmelerinde) $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ arasındaki ilişki

Kurak ve yağışlı dönemler için Topaklı Mahallesi, Culuk Mahallesi civarındaki çeşmeler ve Karagedik Mahallesi çeşmelerinden alınan örneklerin buharlaşma etkisi altında olduğu belirlenmiştir (Şekil 6.4). Bu örnekler için buharlaşma örneklemenin doğrudan kaynağın çıkış noktasından yapılamamış olması ile ilişkili olabilir.

Şekil 6.4’de yüzey suları için önceki bölümde elde edilmiş buharlaşma doğrusu eğimi kullanılarak buharlaşma etkisi altında olan örneklerin buharlaşma öncesi kararlı izotop içerikleri belirlenmiştir. Culuk Yeni ve Culuk 1Y örneklerinin izotopik içeriği buharlaşma doğrusu ile değerlendirildiğinde, bu kaynak noktalarının buharlaşmaya uğramadan önceki izotopik içeriği için $\delta^{18}\text{O}$ ’ın yaklaşık -9,8 ‰ ve $\delta^2\text{H}$ ’nin ise yaklaşık -67 ‰ (İkizce-1K örneğinin izotopik kompozisyonuna benzer) olduğu yorumu yapılabilir. Beynam-2Y örneğinde de buharlaşmanın etkisi görülmekte olup, buharlaşma doğrusu ile ilişkilendirildiğinde bu örneğin buharlaşma etkisine uğramadan önceki izotopik içeriğinin $\delta^{18}\text{O}$ için yaklaşık -10,45‰, $\delta^2\text{H}$ için ise yaklaşık -72,5‰ olduğu şekil 6.4 ile anlaşılmaktadır.



Şekil 6.4 Tez çalışması kapsamında örneklenen kaynakların (köy çeşmeleri) kurak ve yağışlı dönem $\delta^2\text{H}$ - $\delta^{18}\text{O}$ grafiği (Küresel Meteorik Su Doğrusu (KMSD) $\delta^2\text{H} = 8\delta^{18}\text{O}+10$ (‰ SMOW) Craig (1961), ve IAEA/GNIP istasyonu verileri kullanılarak elde edilen Ankara Meteorik Su Doğrusu (AMSD) ile birlikte yüzey suyu verileri kullanılarak elde edilen buharlaşma doğrusu da bu şekilde gösterilmiştir)

Önceki bölümlerde belirtildiği üzere yağışlarda Kot-Oksijen-18 (^{18}O) ilişkisi sıcaklık, enlem, kot, coğrafik konum gibi farklı faktörlerle değişmektedir. Yurtsever ve Gat (1981)’a göre yükseklikte meydana gelen 100 metre artışa karşılık $\delta^{18}\text{O}$ içeriğinde

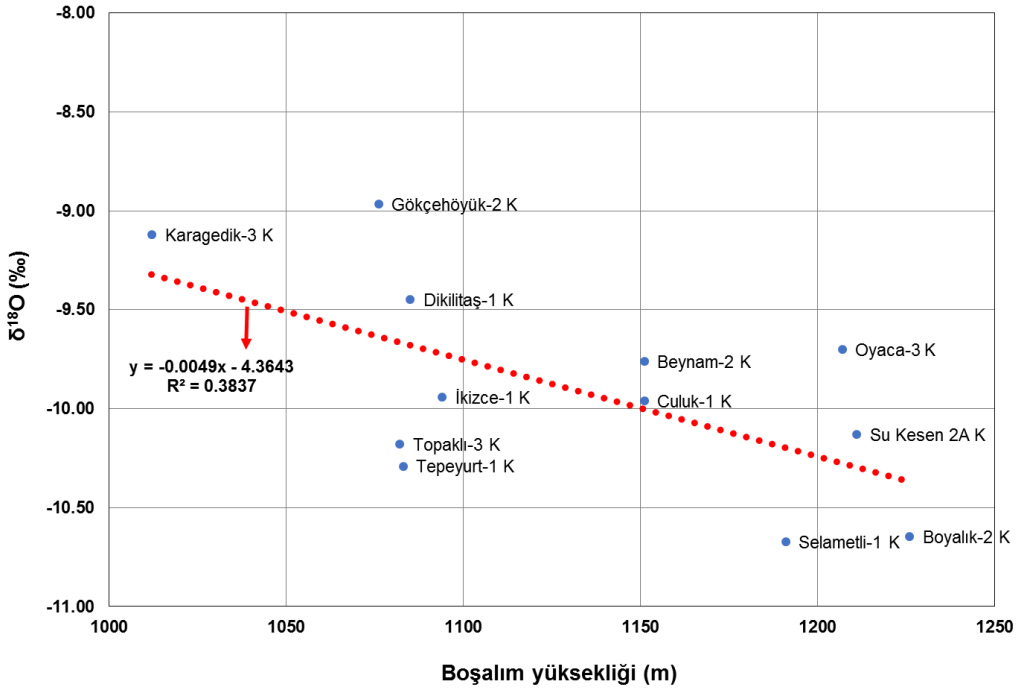
fakirleşme 0,15 ‰ ile 0,50 ‰ arasında gerçekleşmektedir. Bu ilişkiyi bir havzada ortaya koyabilmek için farklı kotlardan yağış örnekleri alınması gerekmektedir. Yapılan yerel ölçekteki çalışmalarda her zaman mümkün olmadığı için çoğu zaman yağış temsilen mevsimlik kaynaklardan alınan örneklerin izotopik içerikleri değerlendirilmektedir. Tez sahasına yakın bir bölgede bulunan Beypazarı'nda yağış temsilen farklı kotlardan boşalım yapan kaynaklardan alınmış örneklerde yapılan analizler neticesinde Apaydın (2004) yükseklik- ^{18}O ilişkisini ortaya koymuş ve kotta 100 m'lik bir artışa karşılık 0,44‰ fakirleşme meydana geldiğini belirtmiştir. Apaydın (2004) kurak (Kasım 2000) ve yağışlı (Mayıs 2000) dönemleri temsilen iki farklı denklem ile yağışın ^{18}O içeriğinin kot ile değişimini ortaya koymuştur (Denklem 1 ve Denklem 2). Bu denklemler için korelasyon katsayısının (r) 0,97'nin üzerinde olduğu belirtilmiştir.

$$\delta^{18}\text{O} = -0.0044 \cdot \text{Kot} - 4.811 \text{ (Mayıs 2000)} \quad (\text{Denklem 1})$$

$$\delta^{18}\text{O} = -0.0044 \cdot \text{Kot} - 4.838 \text{ (Kasım 2000)} \quad (\text{Denklem 2})$$

Bu denklemler Arslan (2008) tarafından Kazan Trona sahasında kullanılmış ve denklemin çalışma alanında ^{18}O -kot ilişkisini tanımlamada yeterli olduğu sonucuna varılmıştır. Bu tez çalışması kapsamında alanda öncelikle farklı kotlardan boşalım yapan kaynakların belirlenebilmesi için çalışılmıştır. Bu sayede kot- ^{18}O ilişkisinin ortaya konulabilmesi amaçlanmıştır. Şekil 6.5'te görülebileceği üzere sahada 1000 m ile 1250 m arasındaki kotlarda boşalım yapan kaynaklar bulunmaktadır. Bu kaynakların debileri mevsimsel olarak değişim gösterse de hem kurak hem yağışlı dönemde boşalım yaptıkları bilinmektedir. Dolayısıyla, çalışma kapsamında belirlenen kaynakların tam olarak yağış temsili ettiği söylenemez. Yine de, köy çeşmelerinde boşalım yüksekliğindeki artış ile $\delta^{18}\text{O}$ içeriğinde bir fakirleşme olduğu söylenebilir. Kurak dönemde alınan örnekler için buharlaşma etkisi düzeltilmesi yapıldıktan sonra elde edilen $\delta^{18}\text{O}$ - kot ilişkisi için korelasyon katsayısı 0,38'dir. Bu ilişkiyi temsil eden Denklem 3'e göre hesaplanmış beslenim yükseklikleri çizelge 6.5'te sunulmuştur.

$$\delta^{18}\text{O} = -0.0049 \cdot \text{Kot} - 4.3643 \text{ (Denklem 3)}$$



Şekil 6.5 Kaynaklar (köy çeşmeleri) için $\delta^{18}\text{O}$ - boşalım yüksekliği grafiği

Çizelge 6.5 Kurak dönem köy çeşmeleri için boşalım yükseklikleri ve Apaydın (2004)'e göre ve bu çalışma ile elde edilen beslenme yükseklikleri

Örnek İsmi	$\delta^{18}\text{O}$ (buharlaşma etkisi düzeltilmiş)	Boşalım Yüksekliği (m)	Beslenme Yüksekliği (tez çalışması)	Beslenme Yüksekliği (Apaydın, 2004)
Beynam-2K	-9,76	1151	1101,01	1118,46
Boyalık-2K	-10,65	1226	1281,83	1319,83
Culuk-1K	-9,96	1151	1141,98	1164,09
Dikilitaş-1K	-9,45	1085	1037,58	1047,83
Gökçe höyük-2K	-8,97	1076	939,07	938,12
İkizce-1K	-9,94	1094	1138,48	1160,19
Karagedik-3K	-9,12	1012	970,55	973,18
Oyaca-3K	-9,70	1207	1088,92	1105,00
Selametli-1K	-10,67	1191	1287,42	1326,06
Sukesen-2A K	-10,13	1211	1176,44	1202,46
Tepeyurt-1K	-10,29	1083	1209,31	1239,07
Topaklı-3K	-10,18	1082	1186,88	1214,09

Hem bu çalışma ile elde edilmiş hem de Apaydın (2004)'e göre hesaplanmış olan beslenme yükseklikleri bazı örnekler için anlamsız sonuç verse de (örneğin Beynam-2 örneğinin boşalım yüksekliği 1151 m olduğu için beslenme yüksekliği 1101 m veya 1118 m olmaması beklenmektedir, aynı şekilde Dikilitaş-1, Gökçe höyük-2 ve Oyaca-3 örnekleri için de boşalım yükseklikleri ile beslenme yükseklikleri uyumsuz olarak

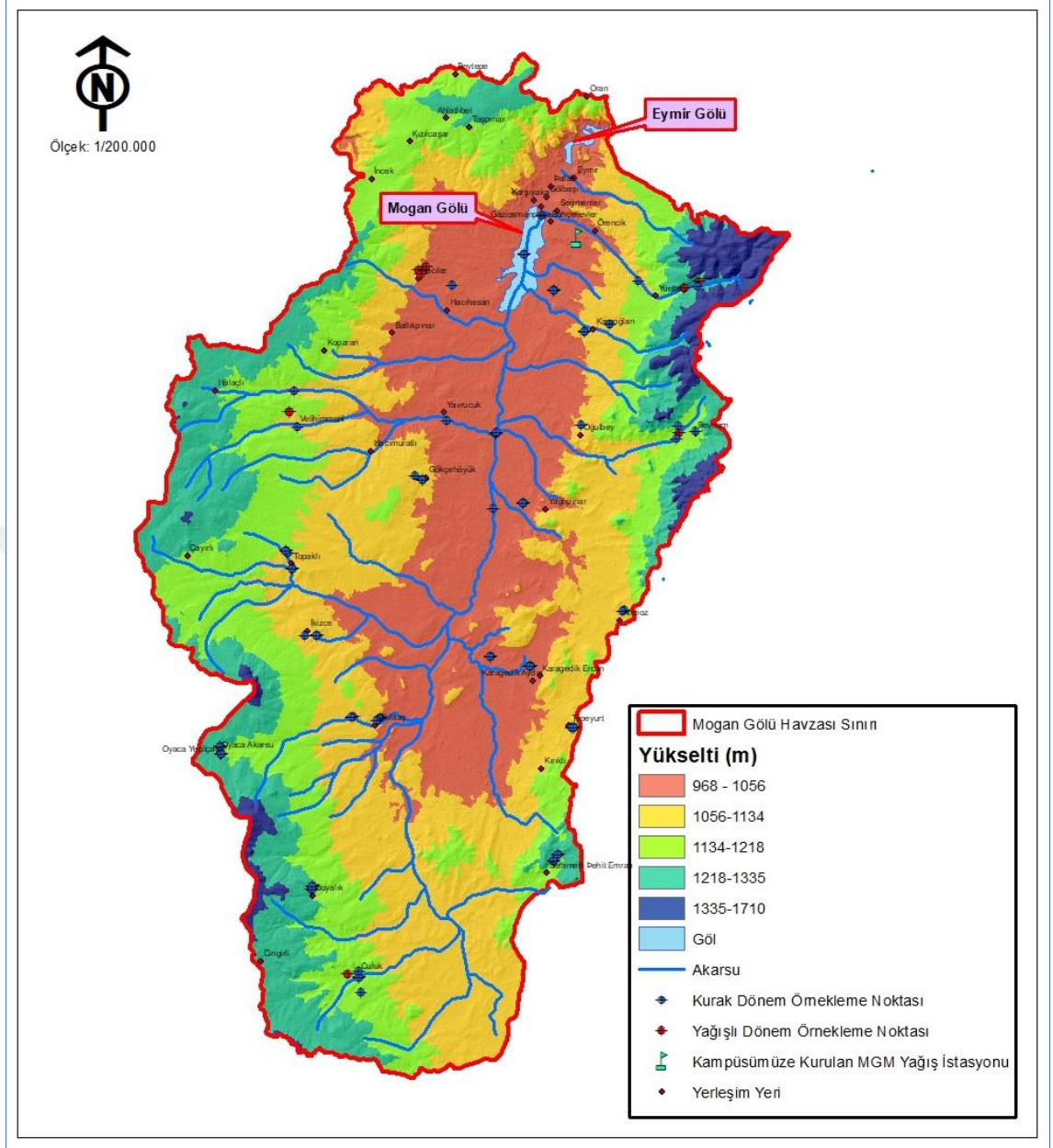
gelmiştir) kaynakların çoğu için bu denklemler mantıklı sonuç vermiştir. Bu sonuçlara göre Selametli-1 ve Boyalık-2 kaynaklarının beslenme yüksekliği 1300 m'den fazladır. Diğer örnekler için de havza genelinde 968 ile 1710 m arasında değişen kotlar (Şekil 6.5) bulunduğu için hesaplamaların doğru olabileceği sonucu çıkarılabilir.

Yeraltı suyu kuyuları için yapılan beslenme yüksekliği hesaplamalarına göre havzada en fazla beslenme yüksekliğine sahip örnekler Hacılar Mahallesi'nde bulunan Elektrokent'teki bir siteye ait olan derin kuyu (1800 m) ve yine Hacılar Mahallesi'nde bulunan Merkez Kent Sitesindeki bir diğer kuyu (1900 m) olarak belirlenmiştir. Mogan Gölü Havzası'nda günümüz topografyasına göre en yüksek kot yaklaşık 1710 m (Şekil 6.6) civarındadır ve bu örneklerdeki izotopik fakirleşme yükseklik etkisi ile açıklanamamaktadır.

6.1.4 Yeraltı suyu kuyularında $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ arasındaki ilişki

Tez çalışması kapsamında havzadaki seçili kuyulardan alınmış yeraltı sularının kararlı izotop içerikleri oldukça geniş bir aralıkta değişmektedir (Çizelge 6.2, Çizelge 6.3). Bu örneklerden kurak dönemi temsilen alınan Yağlıpınar-1, Pi-2, Dikilitaş-2, Ahiboz-1, Yağlıpınar-2 örnekleri buharlaşma etkisindedir (Şekil 6.7). Dikilitaş-2 kuyusunun derinliği 7 m'dir (Çizelge 5.4). Bu kadar sığ bir kuyuda yüzeyden buharlaşma beklenen bir olaydır. Dikilitaş-2 dışındaki kuyular (Pi-2 kuyusunun derinlik bilgisi net değildir) için derinlikler 55-140 m arasında değişmektedir. Bu kuyularda filtrelemenin nasıl yapıldığı tam olarak bilinmediği için buharlaşmanın beslenme sırasında veya yüzeyden buharlaşma olarak gerçekleşmiş olması muhtemeldir. Yağışlı dönemde alınan bazı örnekler için de buharlaşma söz konusu olabilir.

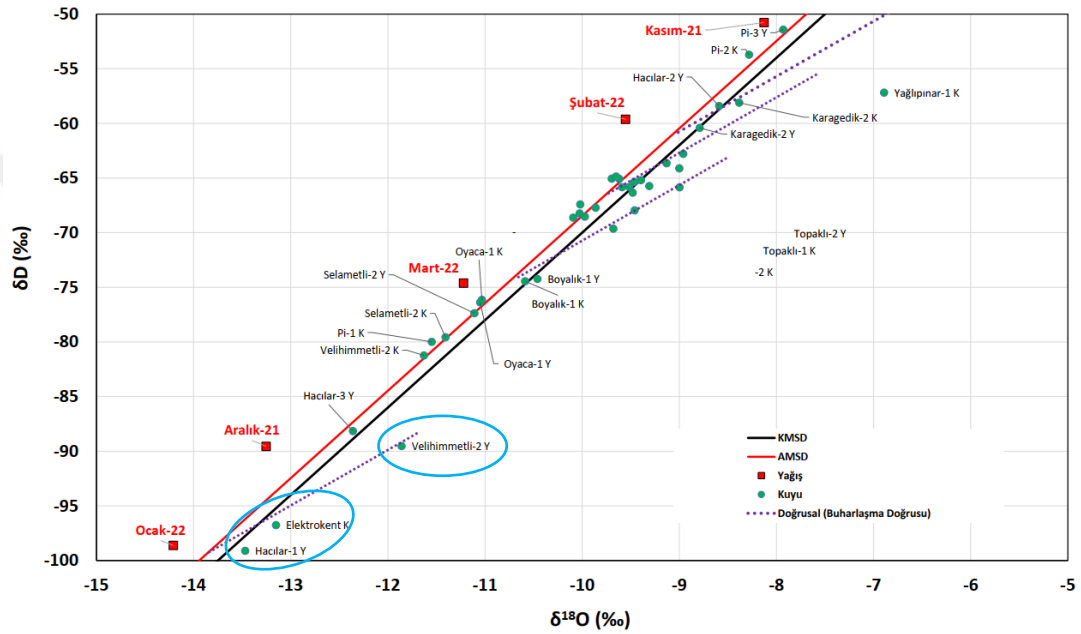
Velihimmetli-2Y, Elektrokent-K ve Hacılar-1Y örneklerinin (Şekil 6.7'de mavi elips ile gösterilmiştir) kararlı izotop içerikleri güncel yağışlar ile açıklanamamaktadır. Hacılar-3Y örneğinin izotopik içeriğine bakıldığında kış yağışları (örn. Aralık) ile beslenmiş olabileceği yorumu yapılmıştır.



Şekil 6.6 Mogan Gölü Havzası yükselti haritası

Hacılar-1Y ve Elektrokent-K yeraltı suyu noktaları, tez çalışması kapsamında örneklenmiş en derin kuyulardır. Hacılar-1Y kuyusuna ait kuyu logu incelendiğinde sondaj çalışması esnasında şist ve grovak birimlerinin kesildiği görülmektedir. Arslan (2008) tarafından Kazan Trona sahasında gerçekleştirilen çalışmalarda, bölgedeki paleo suların varlığından bahsedilmiştir. Bahsi geçen bu paleo suların kararlı izotop içerikleri ile oluşturulan meteorik su doğrusunun döteryum fazlalığı 8,6 olarak bulunmuştur. Arslan (2008) bu çalışmasında, Pleyistosen döneminden Holosen dönemine geçerken

yağışın döteryum fazlalık değerinde yaklaşık olarak +2 permil kadar değişim meydana geldiğini ortaya koymuştur. Dolayısıyla, Hacılar-1Y ve Elektrokent-K örnekleri kararlı izotop içeriklerinde, yukarıda da belirtildiği üzere, yükseklik etkisi ile açıklanamayan bir izotopik fakirleşme mevcuttur ve günümüz koşullarından daha soğuk bir ortamda ve günümüzdeki yağışın izotopik içeriğinden farklı yağışlar ile beslendiği yorumu yapılmıştır.

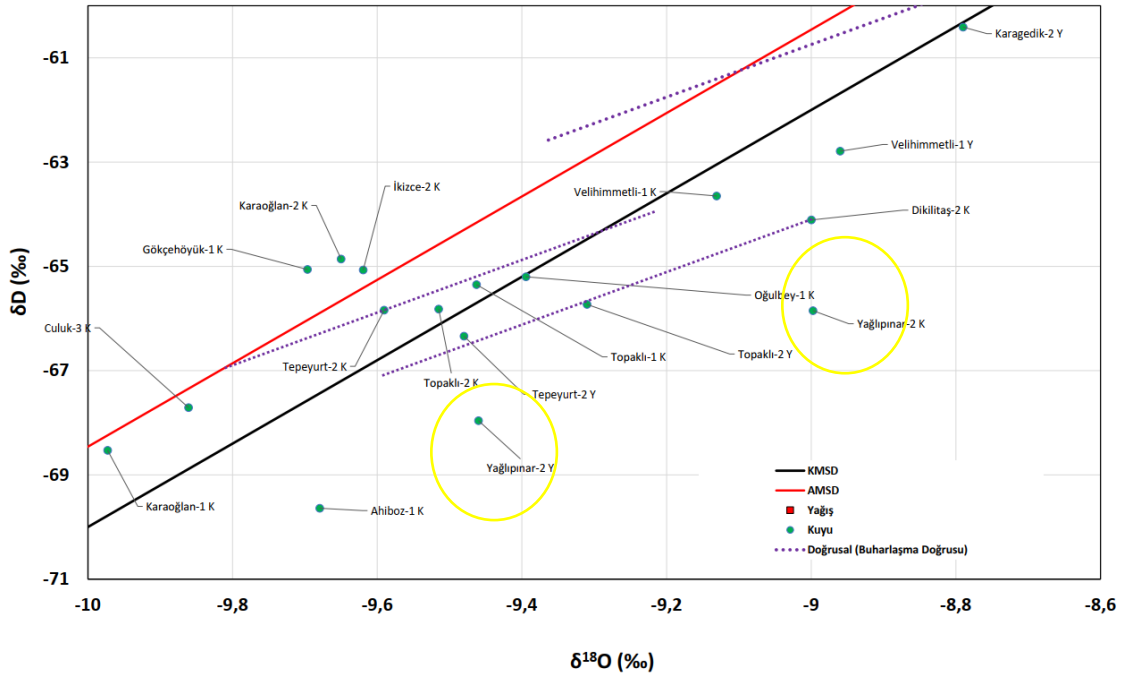


Şekil 6.7 Tez çalışması kapsamında örneklenen yeraltı suyu kuyularının ^2H - $\delta^{18}\text{O}$ grafiği (Küresel Meteorik Su Doğrusu (KMDS) $\delta^2\text{H} = 8\delta^{18}\text{O} + 10$ (‰ SMOW) Craig (1961), ve IAEA/GNIP istasyonu verileri kullanılarak elde edilen Ankara Meteorik Su Doğrusu (AMSD) ile birlikte yüzey suyu verileri kullanılarak elde edilen buharlaşma doğrusu da bu şekilde gösterilmiştir)

Yağlıpınar-2K ve Yağlıpınar-2Y örneklerine bakıldığında (Şekil 6.8'de sarı çember ile gösterilmiştir), bu yeraltı suyu kuyuları çok derin olmayan nispeten sığ kuyulardır. Sığ kuyuda kurak-yarı kurak ortamlarda buharlaşma meydana gelebilir, bu durumun başlıca nedeni olarak kuyu teçhizatı ile ilgili bir problem olmasıdır. İki örneğin izotopik içeriğindeki farklılık bu şekilde açıklanmaktadır.

Tüm örnekler için derinliğe bağlı $\delta^{18}\text{O}$ değişimi Şekil 6.9'da verilmiştir. Daha derin kuyular için daha derin dolaşım süresine sahip örnekler alınmış olabileceği, bu örnekler

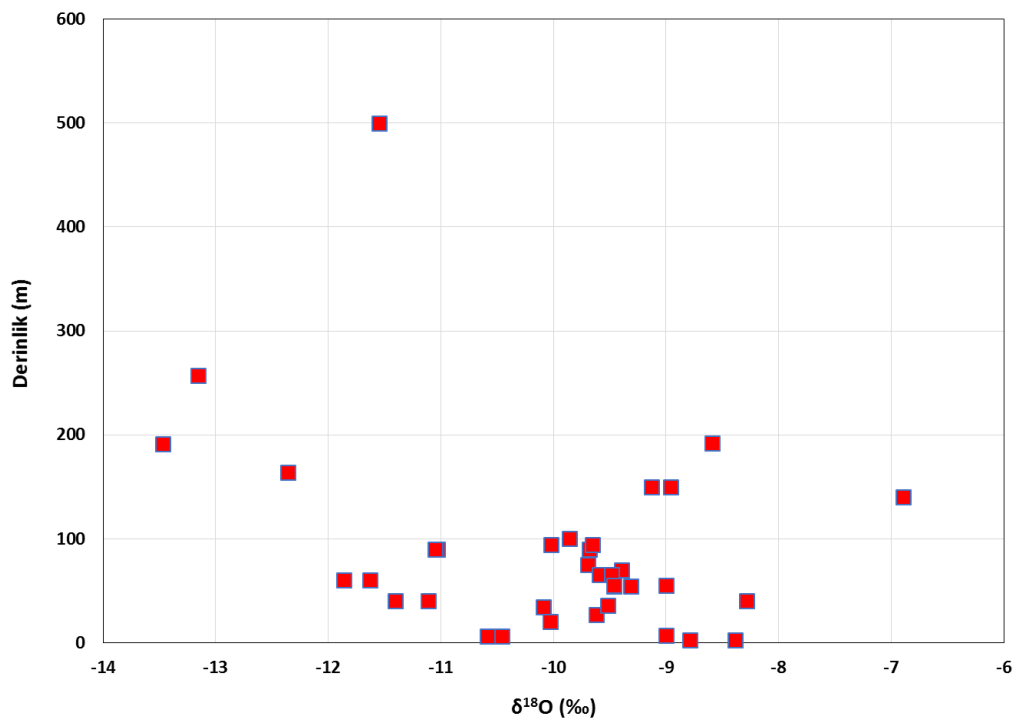
için paleo suların var olabileceği düşüncesi ile hava sıcaklığının günümüzden daha soğuk ortamlardaki yağış ile beslenme durumu belirlenmeye çalışılmıştır. Sonuçta, soğuk ortamlarda (son buzul çağı gibi) gerçekleşen yağışın izotopik içeriğinin sıcak ortamlarda gerçekleşen yağışa göre ağır izotoplarca fakir olması beklenmektedir. Şekil 6.7'ye göre bazı derin kuyuların ağır izotoplarca fakir izotop içeriğine sahip olduğu söylenebilir (mavi çember) fakat yine de kuyu derinliği ile $\delta^{18}\text{O}$ arasında tam belirgin bir ilişki ortaya konamamıştır. Yeraltında kalış süresi ile yeraltı sularının su-kayaç etkileşimi sonucunda Elektriksel İletkenlik değerlerinde bir artış meydana gelebileceği bilinmektedir. Örneklenen kuyu sularında böyle bir ilişkinin olup olmadığının belirlenmesi için şekil 6.10'da sunulan grafik hazırlanmış ve grafikte belirli bir ilişki gözlenememiştir. Bu grafikte ve şekil 6.9'da kullanılan $\delta^{18}\text{O}$ değerleri için buharlaşma düzeltmesi yapılmamıştır.



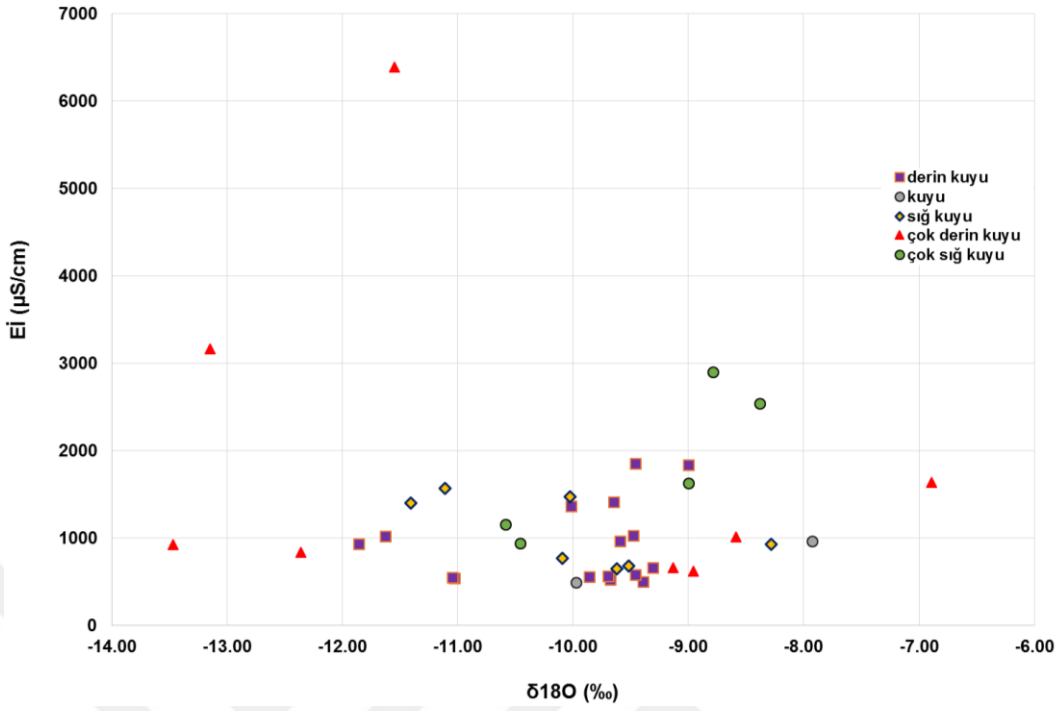
Şekil 6.8 Tez çalışması kapsamında örneklenen yeraltı suyu kuyularının $\delta^2\text{H}$ - $\delta^{18}\text{O}$ grafiği-2 (Küresel Meteorik Su Doğrusu (KMDS) $\delta^2\text{H} = 8\delta^{18}\text{O}+10$ (‰ SMOW) Craig (1961) ve IAEA/GNIP istasyonu verileri kullanılarak elde edilen Ankara Meteorik Su Doğrusu (AMSD) ile birlikte yüzey suyu verileri kullanılarak elde edilen buharlaşma doğrusu da bu şekilde gösterilmiştir)

6.2 Major İyon Kimyası

Tez alanında Mogan Gölü ve gölü besleyen dereler ile ilgili olarak tez çalışmaları ile eş zamanlı olarak yürütülen 119Y547 No’lu TÜBİTAK projesi kapsamında gerçekleştirilen arazi çalışmasına katılım sağlanmıştır. Bu çalışma sırasında Mogan Gölü’nde belirlenen bir noktadan, yüzey ve derin olmak üzere Haziran 2021 (yağışlı dönem) ve Kasım 2021 (kurak dönem) tarihlerinde kimyasal analiz yaptırmak amacıyla su örnekleri alınmıştır. Yağışlı dönemde alınan Mogan Gölü örneklerinin analiz sonucuna bakıldığında derinliğe bağlı olarak ciddi bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir. Kurak dönem için yapılan örnekleme çalışması kapsamında elde edilen kimyasal analiz sonucu yine iki örnek için de oldukça benzer sonuçlar vermiştir.



Şekil 6.9 Yeraltı suyu örneklerinde kuyu derinliklerine bağlı $\delta^{18}\text{O}$ değişimini gösteren grafik



Şekil 6.10 Yeraltı suyu örneklerinde Elektriksel İletkenliğe bağlı $\delta^{18}\text{O}$ değişimini gösteren grafik

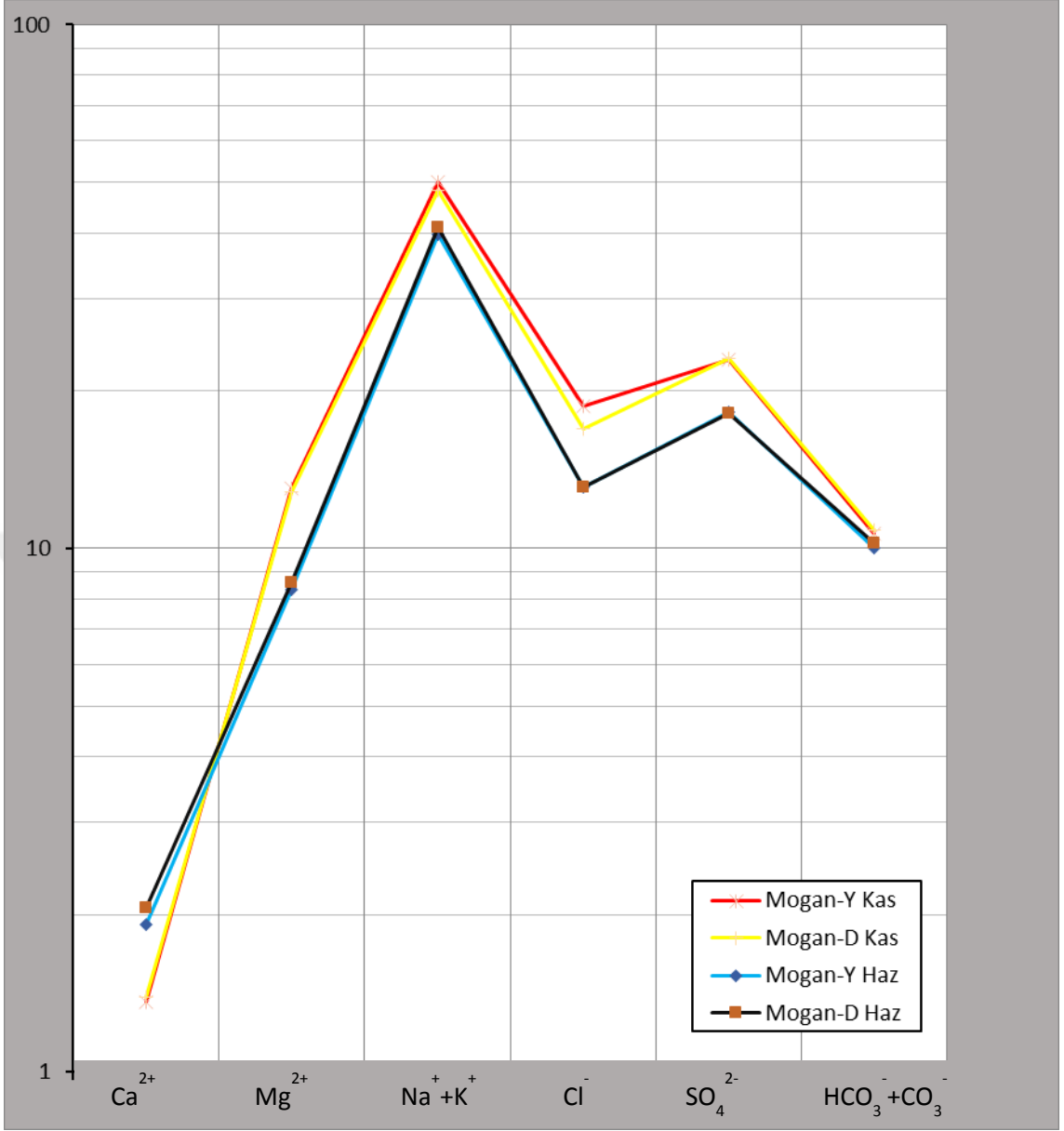
Toplanan su örneklerinin majör iyon içerikleri (Mg^{+2} , Na^+ , Ca^{+2} , K^+ , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- , Alkalinite) çizelge 5.6 ve çizelge 5.7’de verilmiştir. Analiz sonuçları PHREEQC programı aracılığı ile incelenmiş, bu programda sulardaki sucul türlerin dağılım ortaya konmuş, iyon dengesi hesaplamaları yapılmış ve doygunluk indisleri belirlenmiştir. Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi sonucunda, örneklerin genel olarak doygunlukta olduğu mineral türleri şu şekildedir;

- Aragonit
- Kalsit
- Dolomit
- Manyezit
- Huntit
- Monohidrokalzit

Su kimyası analiz sonuçları değerlendirilirken yüzey suyu (Mogan Gölü) ve yeraltı suları (su kuyusu ve köy çeşmeleri) olarak sınıflandırılmıştır. Örneklere ait majör anyon ve katyonlar meq/l cinsine dönüştürülerek Schoeller Diyagramları oluşturulmuştur (şekil 6.11, şekil 6.12, şekil 6.13 ve şekil 6.14).

Şekil 6.11’de görüldüğü üzere Mogan Gölü’nün yüzey noktasından alınan su örneği ile derin noktasından alınan su örneğinin Ca^{2+} , Mg^{2+} , $\text{Na}^{+}+\text{K}^{+}$ ve $\text{CO}_3^{-2}+\text{HCO}_3^{-}$ değerleri neredeyse aynı seviyede bulunmuştur. Burada diğer anyon-katyonlara göre nispeten farklılık gösteren klorür (Cl^{-}) anyonu olmuştur. Bu durumun nedeninin buharlaşma etkisi olabileceği yorumu yapılmıştır. Çünkü, göl yüzeyinde buharlaşma etkisinin, gölün derin noktalarına nispeten daha çok olması sebebiyle sudaki klorür derişimi artmaktadır. Böylece yüzeyden alınan suyun derinden alınan suya göre daha tuzlu özellikte olması beklenebilir.

Arazi çalışmaları esnasında fizikokimyasal parametrelerin ölçülmesi ve izotopik analiz için su örneği alınması amacıyla Mogan Gölü’nün besleyen dereler incelenmiştir. Bu derelerin dere çıkış noktalarından (kaynak) uzaklaştıkça, Mogan Gölü’ne de yaklaştıkça nispeten daha kirli olduğu gözlemlenmiştir. Bu gözlemler, ORP ve EC değerleri de dahil edilerek değerlendirilmiştir. Kanalizasyon sularının kontrolsüz deşarjları, hayvancılık faaliyetlerinden kaynaklı kirleticiler gibi antropojenik etkiler dereler üzerinde olumsuz bir baskı oluşturmaktadır. Buna ek olarak, derelerin Mogan Gölü alanına doğru akış yönünde ilerlemesi esnasında miktar bakımından azalma gözlenmiştir. Buharlaşma etkisi, yüzey sularının miktar bakımından değişikliğe uğramasında etkilidir.



Şekil 6.11 Mogan Gölü'nde bir noktaya ait kurak ve yağışlı dönem örneklerine ait Schoeller Diyagramı

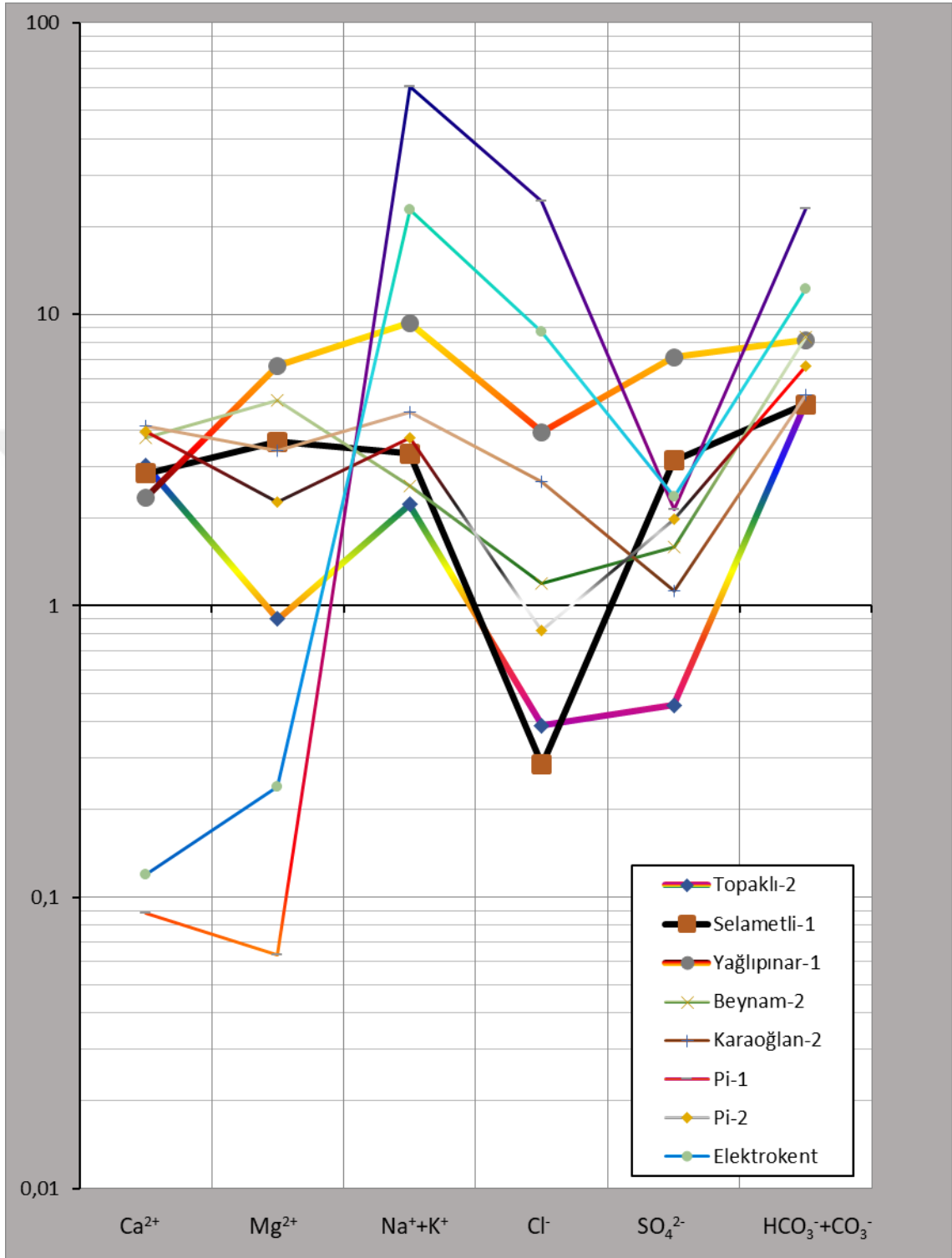
Yağışlı dönem örnekleri için majör iyonlara bakıldığında, magnezyum-kalsiyum değerlerinin Mogan Gölü'nde kurak döneme nispeten arttığı görülmüştür (Şekil 6.11).

Yeraltı suyu kuyuları ve yeraltı suyu kaynaklarından oluşan köy çeşmeleri için ayrı bir Schoeller Diyagramı oluşturulmuştur (Şekil 6.12 ve Şekil 6.13). Burada kurak dönem için Elektrokent örneğine bakıldığında yüksek sodyum-potasyum içeriği (22,880 meq/l) göze çarpmaktadır (Şekil 6.12). Bu örnek, Hacılar Mahallesi'nde bulunan Elektrokent

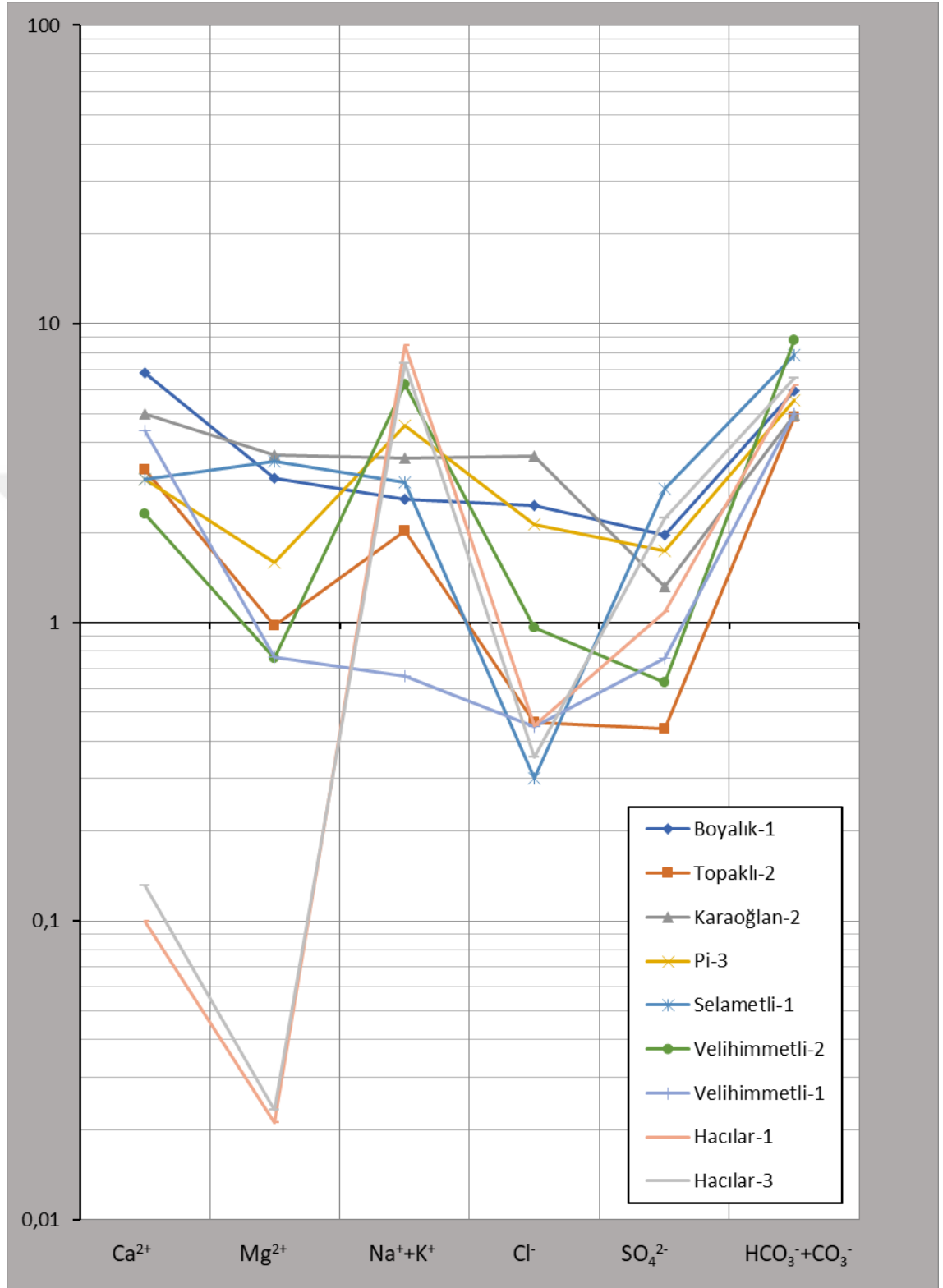
Sitesi sakinlerinin sulama amacıyla kullandığı 257 metrelik yeraltı suyu kuyusuna aittir. Kuyu suyundaki yüksek sodyum ve potasyum içeriğinin kaynağı olarak, akifer sistemindeki derin dolaşım ve bu dolaşım esnasında gerçekleşen su-kayaç etkileşimi gösterilebilir. Bu durum izotop verileri ile desteklenmektedir.

Pi-1 örneğinin alındığı 500 metrelik derinliği olan kuyu Pi Makine firmasına aittir. Arazi çalışmaları esnasında örneklenen diğer yeraltı suyu kuyuları arasında önemli bir yeri vardır. Bunun nedeni proje alanında örneklenmiş olan en derin kuyu olması, yerinde ölçüm esnasında suyun sıcaklığının yüksek olmasıdır (kuyudan akan su beton bir havuza aktarılmaktadır ve buradan akan suyun sıcaklığı ölçüldüğünde 23 derece bulunmuştur. Ancak, kuyu başı sıcaklığının daha yüksek olduğu düşünülmektedir). Derin olan Pi-1 kuyusunun suyu $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ ve Cl^- gibi iyonlar bakımından zengindir. Kuyu sahiplerinden alınan bilgi ve arazide ölçülen değerler, analiz sonuçları ile kıyaslandığında bu kuyudaki suyun termal bir sistemden gelen yeraltı suyu olduğu yorumu yapılabilir. Genel olarak havzadaki sığ kuyularda daha düşük içeriklerde iyon içeriği gözlenmiştir.

Topaklı-2 örneğinin alındığı yeraltı suyu kuyusu, 36 metrelik derinliği olan bir şahıs kuyusudur. Kuyu suyu tarım ve hayvancılık amacıyla kullanılmaktadır. Kuyuda düşük Cl^- ve SO_4^{2-} içeriğine karşın nispeten daha yüksek $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ içeriği mevcuttur. Kuyu sahibinden alınan bilgilere göre kuyu daha derin inşa edilmek istenmiş fakat mermer birime denk geldiği için bu mümkün olmamıştır. Kasım 2021’de yapılan kurak dönem örneklemesinde, Topaklı-2 kuyusunun sıcaklığı 19.2°C belirlenmiştir. Mermer varlığı ve suyun sıcak olması nedeniyle burada termal sistem ile bir etkileşim olabileceği yorumu yapılmıştır. Kuyu suyunda yağışlı dönemde 77,7 mg/l, kurak dönemde ise 88,2 mg/l NO_3^- tespit edilmiş olup kuyu suyunun içme suyu olarak kullanılmamasının daha uygun olacağı düşünülmüştür. Topaklı-2 kuyusu için kuyu sahibi tarafından kuyu derinliğinin 36 metre olduğu ve daha ilerisinde düşey yönde mermerin varlığı Kasım 2021 arazisinde söylenmiştir. Bu durumdan dolayı, karbonat içeriğinin daha çok olmasını beklenilmiştir ve analiz sonuçları da bunu doğrulamaktadır. Yeraltı suyu örneğinin iyon içeriğine bakıldığında 4.878 meq/l’lik bir karbonat+bikarbonat derişimi mevcuttur.



Şekil 6.12 Mogan Gölü Havzası'nda belirlenen yeraltı suyu kuyusu ve köy çeşmelerine ait kurak dönem örneklerinin Schoeller Diyagramı.



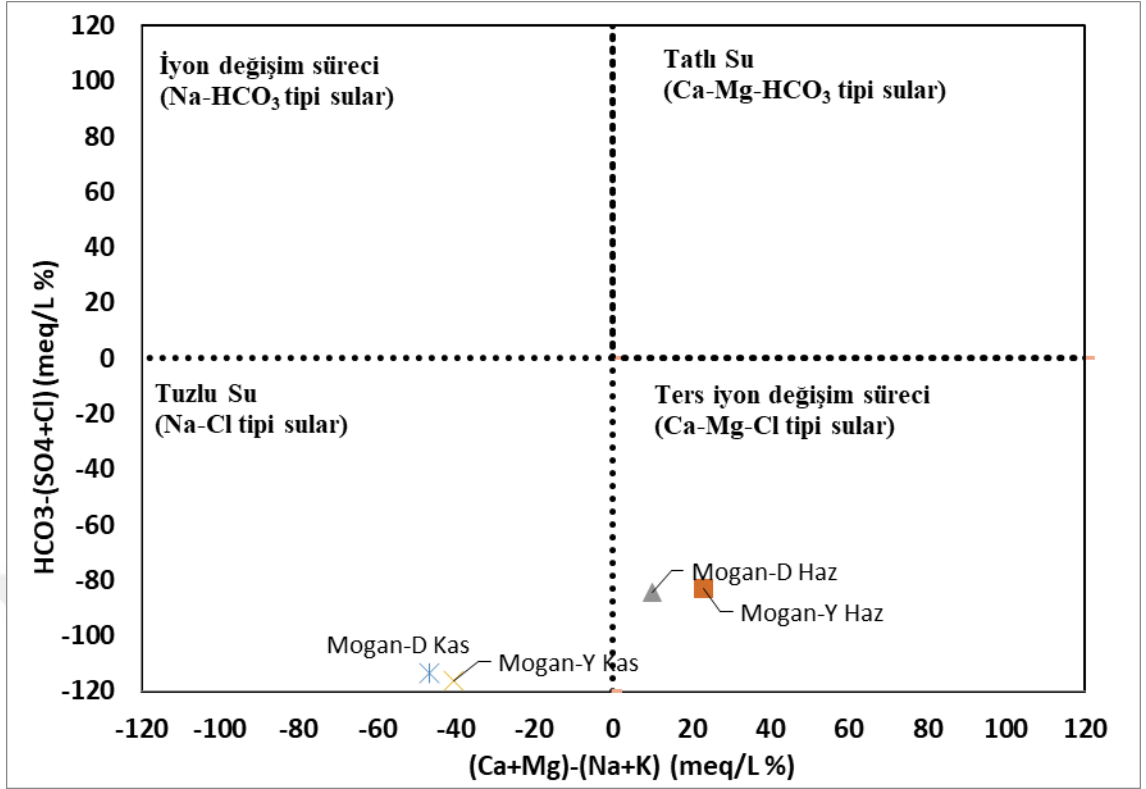
Şekil 6.13 Mogan Gölü Havzası'nda belirlenen yeraltı suyu kuyusu ve köy çeşmelerine ait yağışlı dönem örneklerinin Schoeller Diyagramı

Hacılar Mahallesi'nde bulunan Merkez Kent Sitesi'ne ait 4 kuyudan fizikokimyasal parametreler ölçülmüştür. Bu kuyulardan iki tanesi için de kimyasal analiz yaptırılmıştır (Şekil 6.14). Analiz sonuçları incelendiğinde ve Schoeller Diyagramı'na bakıldığında her iki kuyu için de düşük magnezyum içeriği görülmektedir. Düşük magnezyuma karşın yüksek sodyum-potasyum derişimi bulunmaktadır. Bu kuyulardan Hacılar-1'in derinliği 191 metre, Hacılar-3 ise 164 metredir. İyon içerikleri bölgedeki diğer yeraltı suları ile kıyaslandığında, örneklerin derin dolaşımli bir sistemi temsil ettiği görülmektedir. Yeraltı suyunun dolaşımı esnasında su-kayaç etkileşimine maruz kalarak iyon içeriğinde farklılıklar oluştuğu düşünülmektedir.

8.84 meq/l'lik karbonat+bikarbonat içeriği ile yapısında en çok karbonat bulunduran yeraltı suyu örneği Velihimmetli-1 kuyudur. Kuyunun derinliği 60 metre olup, nispeten sığ dolaşımli bir sistemi temsil etmektedir.

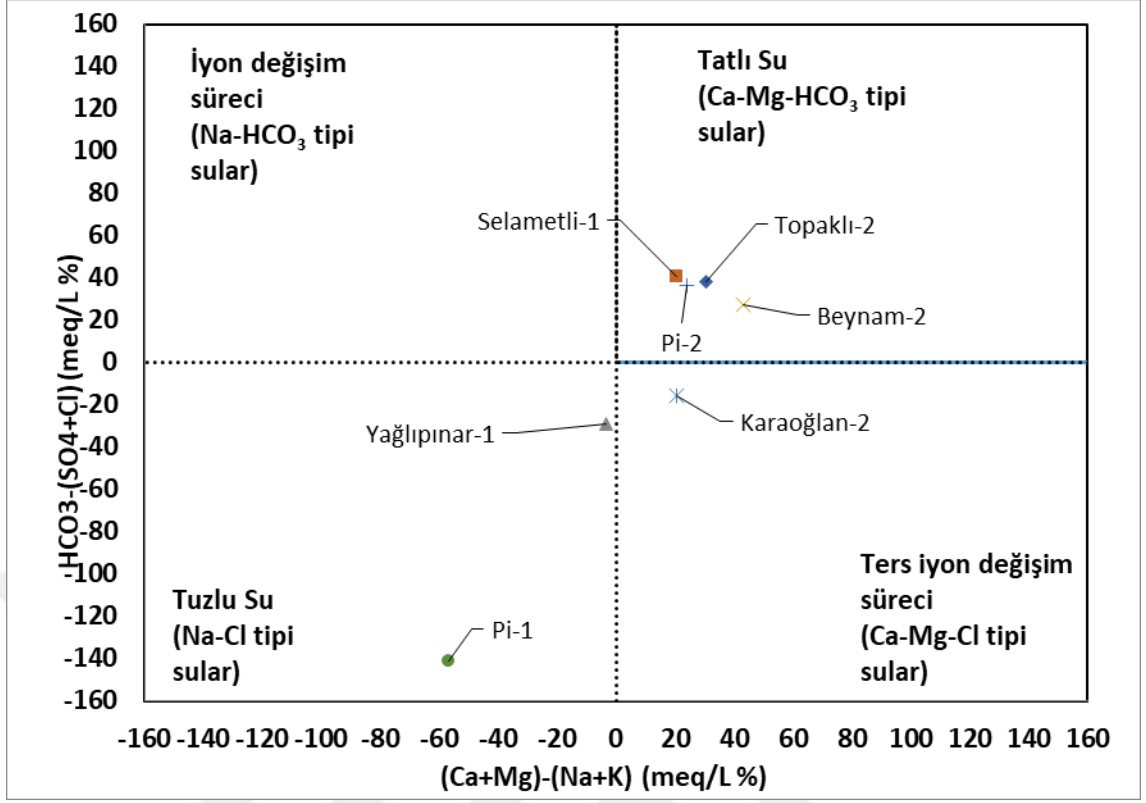
Yeraltı suyu örneklerinde genel olarak su kayaç etkileşiminin suların kimyasal içeriğine etkilerinin görüldüğü kuyular derin dolaşımli sistemi temsil eden kuyulardır. Bu kuyuların derinlikleri 150 ila 500 metre aralığında değişiklik göstermektedir. Daha sığ dolaşımı temsil eden ve 60 metreye kadar derinliğe sahip olan yeraltı suyu kuyuları nispeten daha az çözünmüş iyon içermektedir.

Su örneklerinin majör anyon-kasyon değerlerinin % meq/l cinsinden dönüşümü yapılarak farklı örnekleme dönemleri için Chadha Diyagramı oluşturulmuştur. Burada amaç su örneğinin hangi su tipi grubuna dâhil olabileceği ile ilgili değerlendirme yapabilmektir. Şekil 6.14'te görüldüğü gibi kurak dönem örneklemesinde alınan örneklerin hangi tipte su olduğu ayırt edilmektedir. Bu diyagrama göre sular dört tipte olabilmektedir (Na-HCO₃ tipi, Ca-Mg-HCO₃ tipi, Na-Cl tipi ve Ca-Mg-Cl tipi). Göle ait su örnekleri Na ve Cl iyonları açısından nispeten daha zengin olup, tuzlu su tipindedir. Aynı grafikte yağışlı dönemde göl örneğinde ters iyon değişim sürecinin etkili olduğu ve göl suyunun Ca-Mg-Cl tipi suların temsil edildiği bölgede çıktığı görülmüştür. Gölden alınan derin ve yüzey noktasındaki iki su örneğinin de yağışlı dönemde Chadha Diyagramında yer aldığı bölgeye bakıldığında, Mg ve Ca bakımından nispeten zenginleşmenin varlığından bahsedilebilir (Şekil 6.14).



Şekil 6.14 Mogan Gölü’nde bir noktaya ait kurak dönem örneğinin Chadha Diyagramı

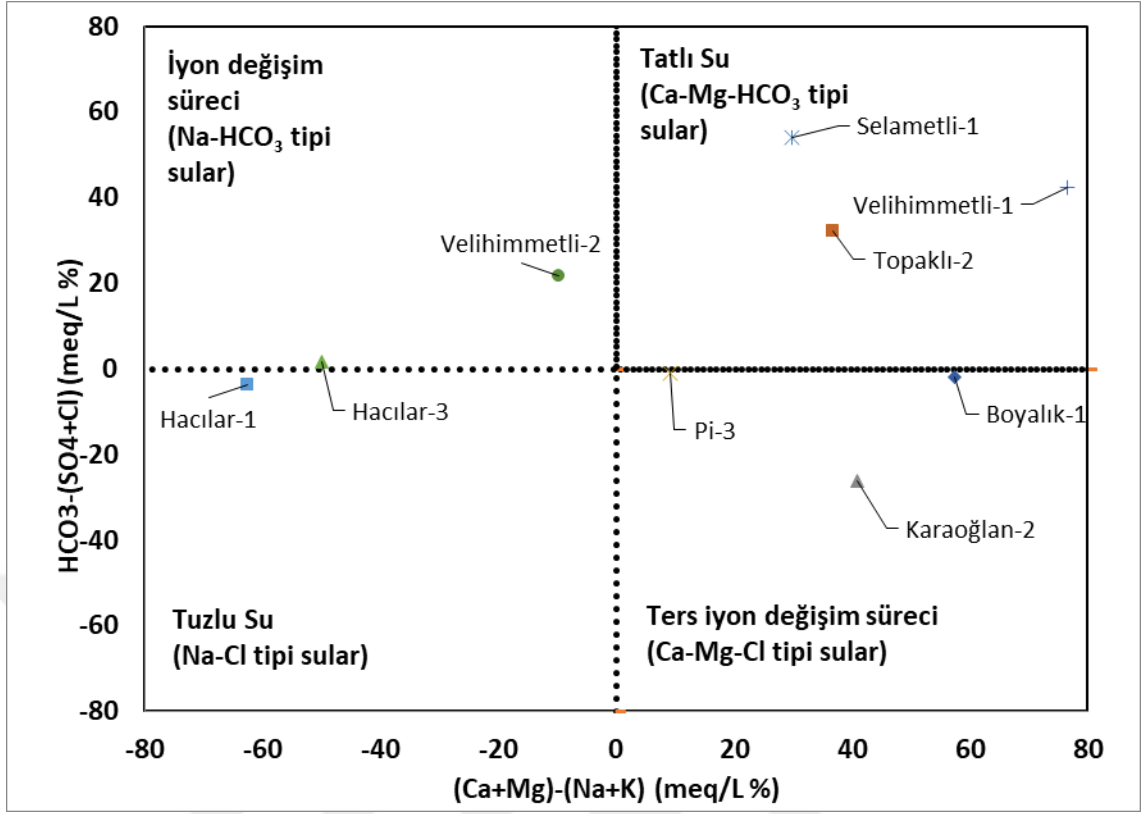
Şekil 6.15’te Chadha diyagramı üzerinde kurak dönem örneklemesine ait yeraltı suyu örnekleri görülmektedir. Bu diyagrama göre, Na-HCO₃ tipi sular grubuna dâhil olan örnek bulunmamaktadır. Karaoğlan-2 örneği, Karaoğlan Mahallesi Muhtarına ait olan 94 metre derinliğe sahip olan yeraltı suyu kuyusundan alınmıştır. Kuyu sahibi 94 metrelik derinliğin devamında kalın bir kil tabakasının var olduğu bilgisini vermiştir. Bu kuyu suyu Chadha Diyagramı’nda Ca-Mg-Cl tipi sular sınıfında çıkmıştır. Ayrıca diğer yeraltı sularına nispeten bu kuyuda yüksek nitrat içeriği bulunmaktadır. Bu durum ilk arazi çalışmasından alınan örneğin analiz sonuçları incelendiğinde fark edilmiştir. Haziran 2022’de yapılan yağışlı dönem örneklemesinde kuyu sahibi ile bu durum paylaşılmıştır ve kuyunun yakınından bir kanalizasyon borusu geçtiği öğrenilmiştir. Burada burada meydana gelmiş olan bir sızıntısının yeraltı suyuna karışması durumu muhtemeldir. Bu nedenle kuyu suyu sadece bahçe sulama işleminde kullanılmaktadır. Yağlıpınar-1 kuyusu tuzlu su tipinde yer alsa da Ca-Mg-Cl tipi su karakterine de yaklaşmış durumdadır.



Şekil 6.15 Mogan Gölü Havzası'nda belirlenen yeraltı suyu kuyusu ve köy çeşmelerine ait kurak dönem örnekleri Chadha Diyaqramı

Şekil 6.15 ve şekil 6.16 incelendiğinde iki farklı örnekleme döneminde Topaklı-2 kuyu suyu kimyasında ciddi bir değişiklik olmamıştır, bu örnek her iki dönemde de Ca-Mg-HCO₃ tipi tatlı su sınıfında yer almıştır. Karaoğlan-2 kuyusunun yağışlı dönemde, kurak döneme nazaran iyon içeriği bakımından artış olduğu görülmüştür. Her iki dönemde alınan yeraltı suyu için ters iyon değişiminin etkili olduğu belirlenmiş ve böylece Ca-Mg-Cl tipi sular grubuna dâhil olmuştur.

191 metrelik derinliğe sahip olan yeraltı suyu kuyusundan alınan Hacılar-1 örneği tuzlu su grubuna dâhil olmuştur. Yağışlı dönemde alınan su örnekleri arasında sadece Velihimmetli-2 örneğinin Na-HCO₃ tipi sulardan olduğu görülmektedir. Bu su örneği 60 metrelik derinliği olan yeraltı suyu kuyusundan alınmıştır. Kuyu şahsa ait olup, sulama amacıyla kullanılmaktadır.



Şekil 6.16 Mogan Gölü Havzası'nda belirlenen yeraltı suyu kuyusu ve köy çeşmelerine ait yağışlı dönem örnekleri Chadha Diyagramı

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında Mogan Gölü Havzası su kaynaklarının izotopik imzalarının belirlenmesi, suların kökeninin, farklı proseslerin (buharlaşma, su-kayaç etkileşimi vb.) suların izotopik özellikleri üzerindeki etkisinin ortaya konması amaçlanmıştır. Bu amaçla oksijen ve hidrojen elementlerinin kararlı izotopları ($\delta^{18}\text{O}$, δD) kullanılmıştır. Duraylı izotoplar içerisinde su molekülüne ait izotopların küresel su döngüsü süreçlerinin belirlenmesi (yeraltı suyu sirkülasyonu, göl hidrolojisi, yüzey sularından evaporasyon) ve paleoiklimsel rekonstrüksiyonlardaki iz sürücü niteliğindeki kullanımları yaygın kabul görmektedir. Tez çalışması kapsamında su molekülünün kararlı izotop içeriğinin değerlendirilmesinde su döngüsü, bu değerlendirmenin ana çıkış noktasıdır. Tez çalışması kapsamında yapılan tüm çalışmalar ile varılan sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

1) Tez çalışması kapsamında yağışlı ve kurak dönemde Mogan Gölü'nde tek noktadan ve iki farklı derinlikten alınan örneklerin majör anyon-kasyon değerlerine bakıldığında, Mogan Gölü için derinliğe bağlı olarak su kimyasında önemli bir değişiklik olmadığı görülmüştür. Yüzey noktasından alınan su örneğinde diğer majör anyon-kasyonlara nispeten Cl^- değerinin daha yüksek çıktığı görülmüştür. Bu durumun nedeni olarak, yüzeydeki buharlaşmanın daha fazla olması gösterilmiştir.

2) Mogan Gölü ve gölü besleyen dereler için $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ arasındaki ilişkiye göre çalışma kapsamında alınan bazı örneklerin Ankara Meteorik Su Doğrusu'ndan sapma gösterdiği ve buharlaşma etkisi altında olduğu belirlenmiştir. Havadaki neme bağlı olan buharlaşma doğrusu eğimi bu çalışma için 5 olarak belirlenmiştir. Bu eğimin Ankara için belirlenen ortalama bağıl nem ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Buharlaşma etkisi, beklendiği üzere, Mogan Gölü'nden alınan örneklerde maksimum düzeydedir. Gölden üç farklı zamanda alınmış örneklerin farklı oranlarda buharlaşmaya uğradığı belirlenmiştir. Mogan Gölü'nün yanı sıra Çölova Deresi'nden ve Sukesen Deresi'nin Mogan Gölü'ne giriş yaptığı noktada kurak dönemde alınan örneklerin de kısmi buharlaşma etkisinde olduğu ortaya konmuştur. Tez çalışması kapsamında alınan yağış örneklerinin izotopik imzaları ile yüzey sularının izotopik imzaları karşılaştırıldığında,

Mogan Gölü ve bu gölü besleyen derelerin daha çok Şubat-Mart aylarında meydana gelen yağışlardan beslendiği belirlenmiştir.

3) Yeraltı suyu kuyularından alınan kimyasal analiz sonuçlarına göre Pi-1 ve Topaklı-2 kuyularının derin bir termal sistemi temsil ettiği sonucuna varılmıştır. Derin dolaşıma sahip Pi-1 kuyusunda yüksek anyon-kasyon içeriği görülmüştür. Karaoğlan-2 kuyusunda belirlenen yüksek nitrat içeriği için kanalizasyon karışmasından şüphelenilmiş ve yağışlı dönem arazisine gidildiğinde bu durum kuyu sahibi ile istişare edilip doğrulanmıştır.

4) Tez çalışması kapsamında kurulan yağış toplama istasyonundan bir yıl boyunca (Haziran 2021 ve Haziran 2022 arasında) alınan yağış örneklerinin izotop içerikleri zamana bağlı olarak değişiklik göstermiştir. Hava sıcaklığına bağlı olarak gerçekleşen izotopik fakirleşme Aralık 2021 ve Ocak 2022’de kar yağışı şeklinde gerçekleşen yağış örneklerinde belirgindir. Gölbaşı istasyonundan alınan yağış örneklerinin izotopik içerikleri IAEA/ GNIP istasyonunda uzun yıllar (1964-2016) alınmış örneklerin aylık ortalama $\delta^{18}\text{O}$ ve δD içerikleri ve d fazlalıkları ile uyumludur.

5) Kurak ve yağışlı dönemler için Topaklı Mahallesi, Culuk Mahallesi civarındaki çeşmeler ve Karagedik Mahallesi çeşmelerinden alınan örneklerin buharlaşma etkisi altında olduğu belirlenmiştir. Bu örnekler için buharlaşmanın nedeninin örneklemenin doğrudan kaynağın çıkış noktasından yapılamamış olması ile ilişkili olabileceği düşünülmüştür.

6) Hacılar-1Y ve Elektrokent-K yeraltı suyu noktaları, tez çalışması kapsamında örneklenmiş en derin kuyulardır. Kuyu logu incelendiğinde sondaj çalışması esnasında şist ve grovak birimlerinin kesildiği görülmektedir. Arslan (2008) tarafından Kazan Trona sahasında gerçekleştirilen çalışmalarda, bölgedeki paleo suların varlığından bahsedilmiştir. Bahsi geçen bu paleo suların kararlı izotop içerikleri ile oluşturulan meteorik su doğrusunun döteryum fazlalığı 8,6 olarak bulunmuştur. Arslan (2008) bu çalışmasında, Pleyistosen döneminden Holosen dönemine geçerken yağışın döteryum fazlalık değerinde yaklaşık olarak +2 permil kadar değişim meydana geldiğini ortaya koymuştur.

7) Rozanski (1985)'e benzer şekilde, Arslan (2008)'da çalışması kapsamında elde ettiği sınırlı veri ile akiferleri besleyen yağmur sularını getiren su buharı kaynaklarının Pleyistosen dönemindeki durumu ile ilgili geniş kapsamlı yorum yapılamayacağını belirtmiştir. Buradan hareketle, benzer şekilde bu tez çalışması kapsamında kısıtlı verilerin yeterli olmayacağı ve yeraltı suyu yaşlandırma çalışmalarının yapılarak o dönemki su buharının daha detaylı yorumlanabileceği sonucuna varılmıştır.

8) Bu çalışma kapsamında kot-¹⁸O ilişkisinin ortaya konulabilmesi için çalışılmıştır. Alanda yağışı temsil edebilecek özellikte kaynak tespit edilememiştir ama örneklenebilen kaynaklar 1000 m ile 1250 m arasındaki kotlarda boşalım yapmaktadır. Yine de, köy çeşmelerinde artan boşalım yüksekliği ile $\delta^{18}\text{O}$ içeriğinde bir fakirleşme olduğu ortaya konmuştur. Hem bu çalışma ile elde edilmiş hem de Apaydın (2004)'e göre hesaplanmış olan beslenme yükseklikleri kaynakların çoğu için anlamlı sonuç vermiştir. Bu sonuçlara göre Selametli-1 ve Boyalık-2 kaynaklarının beslenme yüksekliği 1300 m'den fazladır.

9) Yeraltı suyu kuyuları için yapılan beslenme yüksekliği hesaplamalarına göre havzada en fazla beslenme yüksekliğine sahip örnekler Hacılar Mahallesi'nde bulunan Elektrokent'teki bir derin kuyu (1800 m) ve yine Hacılar Mahallesi'nde bulunan Merkez Kent sitesindeki bir diğer kuyu (1900 m) olarak belirlenmiştir. Havzada günümüz topografyasına göre en yüksek kot yaklaşık 1700 m olduğu için bu örneklerin günümüzden daha soğuk bir ortamda beslendiği sonucu çıkarılmıştır. Bunun yanı sıra, bu su örneklerinin günümüz meteorik su doğrusu ile uyumlu olmadığı ortaya konmuştur.

Sahada yapılan tüm çalışmalar Mogan Gölü Havzası gibi eşsiz bir ekosisteme sahip bölgenin antropojenik kaynaklı kirlilik ile tehdit altında olduğunu ortaya koymuştur. Bunun yanı sıra, bölgede farklı dolaşım süresine sahip yeraltı sularının bulunduğu göz önüne alınarak yeraltı sularının sürdürülebilir bir şekilde kullanımı için planlamalar yapılması gerekmektedir. Halkın güncel beslenme olmayan bölgelerde çekilen yeraltı suları ile yeraltı suyu madenciliği yapıldığı konusunda uyarılması ve bilinçlendirilmesi yerinde olacaktır.

KAYNAKLAR

- Akyürek, B., Bilginer, E., Akbaş, B. 1982. Ankara-Elmadag-Kalecik Dolayının Jeolojisi. Ankara: Maden Tetkik ve Arama Müdürlüğü.
- Altinel, M. 2012. Modeling Of Water Level In Mogan Lake (Ankara) Using Gis And Regression Analysis. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Anonim. https://www.nufusu.com/ilce/golbasi_ankara-nufusu Erişim tarihi: 13.02.2023
- Anonim. <https://www.goller.gen.tr/golbasi.html> Erişim Tarihi: 13.02.2023
- Anonim. acikders.ankara.edu.tr Erişim Tarihi: 13.02.2023
- Anonymous. 2006. Web sitesi: <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/su-dongusu-water-cycle-turkish> Erişim Tarihi: 15.02.2023
- Apaydın, A. 2004. Çalıkoba-Karadoruk Akifer Sisteminin (Beypazarı Batısı-Ankara) Beslenme Koşullarının Araştırılması. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Appelo, C.A.J., Postman, D. Geochemistry, Groundwater and Pollution, 2nd Edition, A.A. Balkema, 2010.
- APHA, AWWA, WPFC, Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater (17th Edition), American Public Health Association, Washington, USA, 1989.
- Arslan, Ş. 2008. Investigation Of The Recharge And Discharge Mechanisms Of A Complex Aquifer System By Using Environmental Isotopes And Noble Gases. Doktora Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Atıcı vd., 2014., “Türkiye Jeoloji Haritaları Ankara -J29 Paftası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Avşar, Ö., Avşar, U., Arslan, Ş., Kurtuluş, B., Niedermann, S., Güleç, N., 2017. Subaqueous hot springs in Köyceğiz Lake, Dalyan Channel and Fethiye-Göcek Bay (SW Turkey): Locations, chemistry and origins. Journal of Volcanology and Geothermal Research 345, 81-97.
- Brooks, R., Gibson, J., JeanBirks, S., Weber, M., Rodecap, K. ve Stoddard, J. 2014. Stable Isotope Estimates Of Evaporation: Inflow And Water Residence Time For Lakes Across The United States As A Tool For National Lake Water Quality Assessments. Wiley Journal, 59(6), 2014,2150–2165.
- Clark, I., ve Fritz, P. 1997, Environmental Isotopes in Hydrogeology, Lewis Publishers, CRC Press, Florida, p 328.
- Craig, H. 1961, Isotopic Variations in Meteoric Waters, Science, 133, 1702-1703.
- ÇSB 2020. Gölbaşı (Ankara) Özel Çevre Koruma Bölgesi 1/50.000 Ölçekli Çevre Düzeni Planı Değişikliği Plan Açıklama Raporu. Ankara. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı.

- Dansgaard, W. 1964. Stable Isotopes in Precipitation. *Tellus*, 16: 436-468.
- Dişli, E. 2007. Eymir–Mogan Gölleri Arasında Yeraltısuyu Akım Ve Kütle Taşınım Modeli. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Dostbil, M. 2010. Mogan Gölünde Su Ve Sedimentte Ağır Metal Düzeylerinin Tespiti; Sazan (*Cyprinus Carpio*) Ve Kadife (*Tinca Tinca*) Balık Dokuları Üzerine Etkilerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- DSİ 2007. Mogan Ve Eymir Gölleri Havzası (Ankara) Hidrojeolojik Etüt Raporu. Ankara: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü 5. Bölge Müdürlüğü.
- DSİ 2020. Sakarya Havzaları Ankara Güneyi Havzası Hidrojeolojik Etüt Raporu. Ankara: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltıları Dairesi Başkanlığı.
- Freeze, R. A. ve Cherry, J. A. 1979. Groundwater. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, Vol. 7632, 604.
- Friedman, I. 1953. Deuterium Content Of Natural waters And Other Substances. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 4, pp. 89-103.
- Gonfiantini, R. 1986. Environmental Isotopes in Lake Studies. In P. Fritz, & J.-Ch. Fontes (Eds.), *Handbook of Environmental Isotope Geochemistry* (pp. 113-168). Amsterdam: Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-42225-5.50008-5>.
- Hayes, J.M. 2004. An Introduction to Isotopic Calculations., Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, MA 0223.
- IAEA. http://www.naweb.iaea.org/napc/ih/documents/global_cycle/vol%20II/cht_ii_04.pdf Erişim tarihi: 04.06.2023
- Kapan, C. 2011. Mogan Gölü (Ankara) Kirlilik İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- MGM www.mgm.gov.tr Erişim Tarihi: 13.02.2023
- Özaydın, V. 1997. Stable Isotope Mass Balance Method to Find the Water Budget of a Lake. Doktora Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Özcan, Z. 2016. Evaluation Of The Best Management Practices To Control Agricultural Diffuse Pollution In Lake Mogan Watershed With SWAT Model. Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Özyurt, N.N., Temel Dilaver, A., Aydın, B., Bayarı, C.S. 2019, Türkiye yağışlarının izotop içeriklerinin değerlendirilmesi, DSİ Teknik Bülteni, 134, 17-25.
- Tezcan, L. 2002. Hidrolojik Çalışmalarda Kullanılan Yeni İzotoplar ve Kullanım Alanları. Adana: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü.
- Tokçaeer, M. 2023. Batı Anadolu'daki bazı jeotermal alanların termal akışkanlarında bor izotop oranları ve borun kökeni. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi 38, 1361-1374.

- Yağbasan, Ö. 2007. Modeling Of Mogan And Eymir Lakes Aquifer System. Doktora Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- Yağbasan, Ö., ve Yazıcıgil, H. 2011, Assessing the impact change on Mogan and Eymir Lakes levels in Central Turkey, Environmental Earth Sciences , 83-96 (2012).
- Yedek, Ö. 2019. Mogan Gölü (Ankara) Güneyinde Biriken Gölsel Tortulların İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Yurtseven, E. 2006. Mogan Ve Eymir (Ankara) Gölleri Arasındaki Hidrojeolojik Birimlerin Nitrat Ve Fosfat Kirleticili Taşınım Parametrelerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Yurtsever, Y., Gat, J.R. 1981. Stable Isotope Hydrology, Technical Report Series No:210, IAEA, Vienna.
- Qian, H., Wu, J., Zhou, Y., ve Li, P. 2014. Stable oxygen and hydrogen isotopes as indicators of lake water recharge and evaporation in the lakes of the Yinchuan Plain, Hydrological Processes 28, 3554-3562.

EKLER

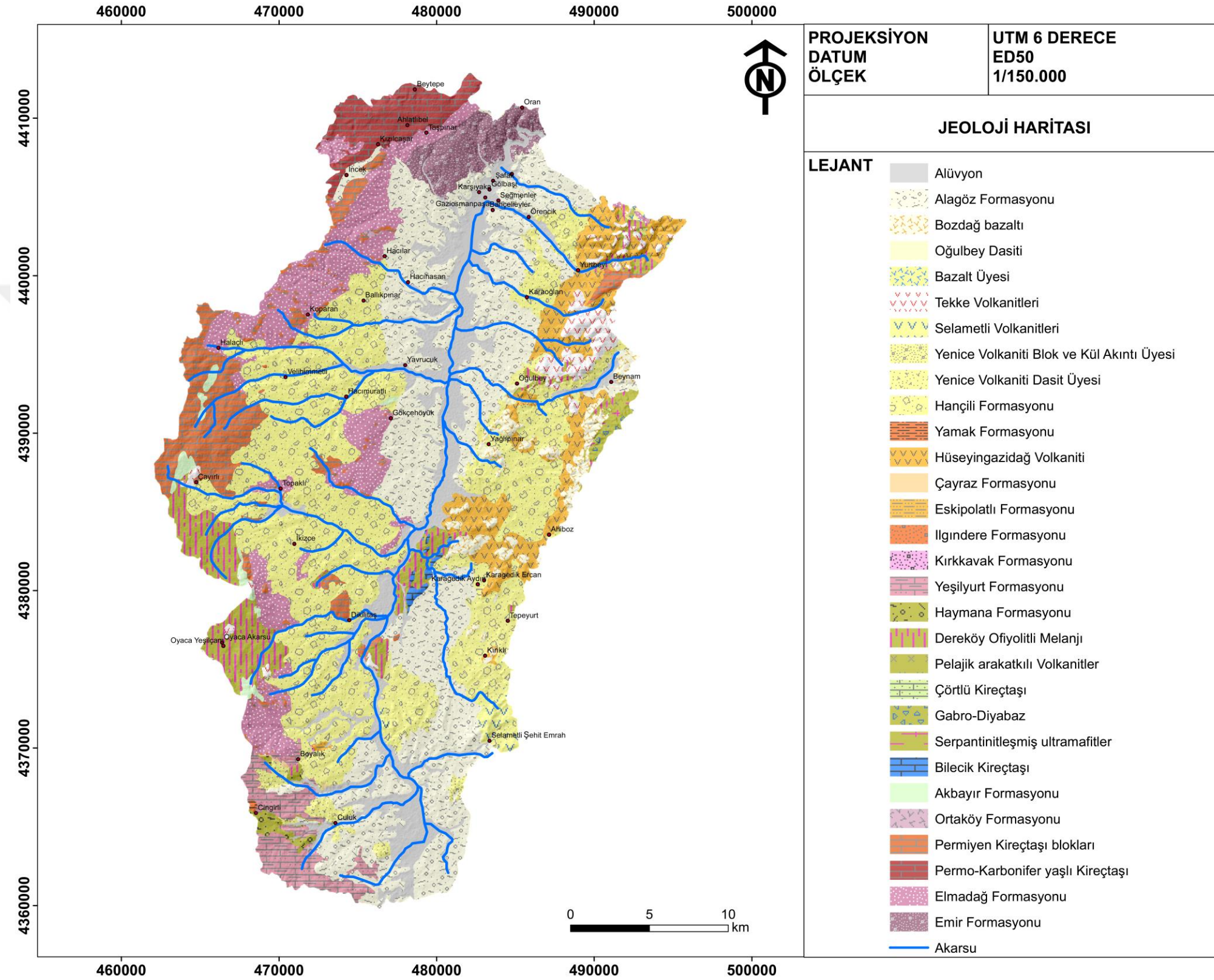
EK-1 Jeoloji Haritası

EK-2 Hidrojeoloji Haritası

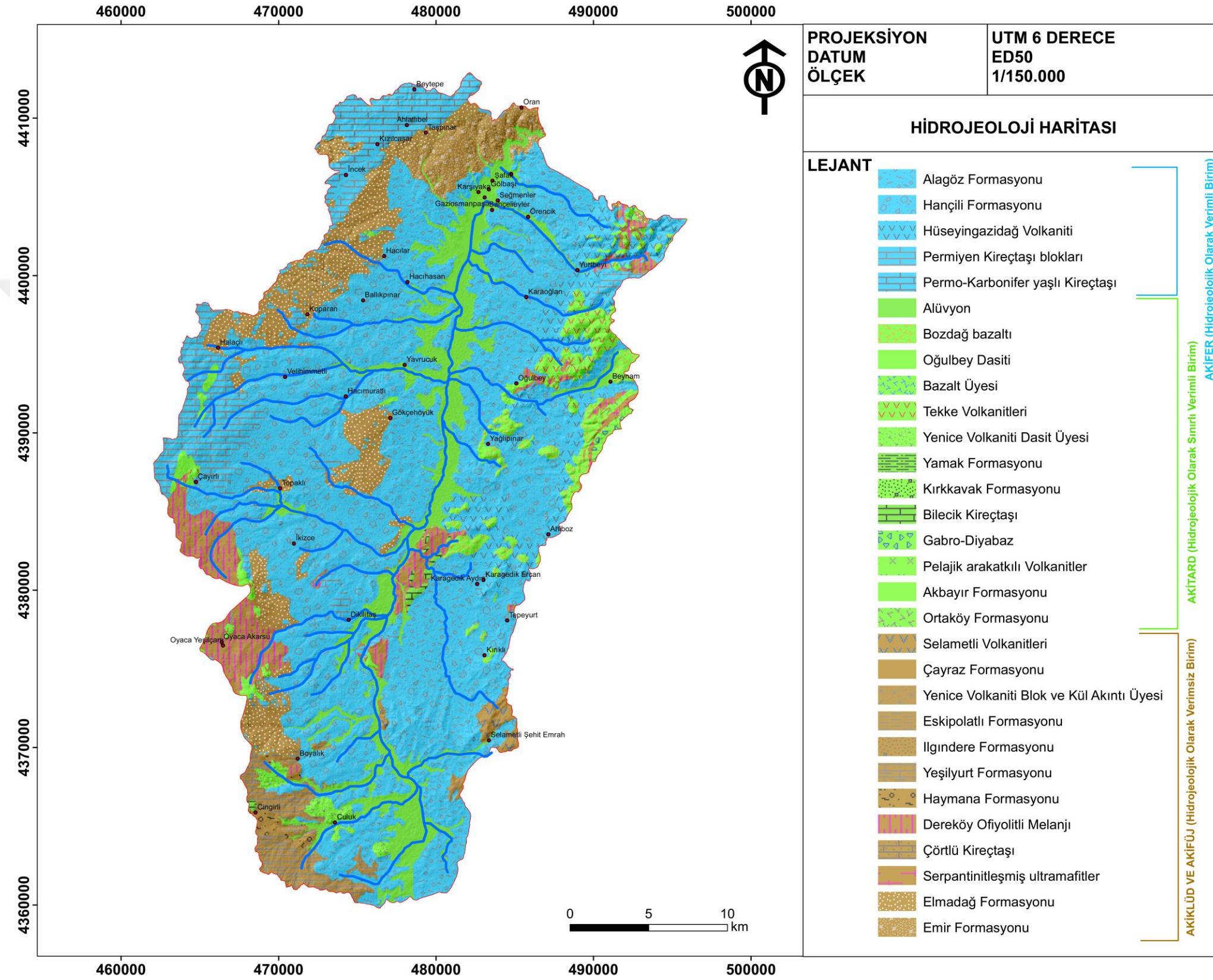
EK-3 Hidroloji Haritası



EK 1 Jeoloji Haritası



EK 2 Hidrojeoloji Haritası



EK 3 Hidroloji Haritası

