



SEYFE GÖLÜ SULAK ALAN HAVZASINDAKİ SU KAYNAKLARININ DURAYLI İZOTOP İÇERİKLERİNİN İNCELENMESİ

Cansu YURTERİ*

Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Hidrojeoloji, Döteryum, Oksijen-18, Seyfe Gölü Havzası, Sulak Alan.</i>	Duraylı izotop teknikleri hidrojeolojik süreçlerin anlaşılmasında ve hidrodinamik yapının kavramsallaştırılmasında önemli katkılar sağlamaktadır. Bu çalışmada Seyfe Gölü havzasındaki su kaynaklarının geçirdikleri fiziksel ve kimyasal süreçlerin açıklanması amacıyla duraylı izotop içerikleri değerlendirilmiştir. Çalışma alanı Kırşehir ilinin kuzeydoğusunda yer alan 1447 km ² 'lik yüzey drenaj alanına sahip Seyfe Gölü havzasını kapsamaktadır. Havza içerisinde Paleozoyik yaşlı Kırşehir Masifi metamorfik serileri, Senozoyik yaşlı örtü birimler ve Kuvaterner yaşlı alüvyon birimler yüzelemektedir. Paleozoyik yaşlı Kırşehir Masifinin Bozçaldağ Formasyonu'nu temsil eden mermer ve kireçtaşı seviyelerinin kırıklı ve çatlaklı zonları akifer özelliği göstermektedir. Eylül 2019 ve Aralık 2019'da havza drenaj alanında yer alan kaynaklardan, sığ kuyulardan ve drenaj kanalından Oksijen-18 ve Döteryum analizleri için örneklemeler yapılmıştır. Çalışma alanındaki su noktalarının $\delta^{18}O$ değerleri ‰-11.97 ile ‰-3.29 VSMOW arasında; δ^2H değerleri ise ‰ -80.88 ile ‰-27.61 VSMOW arasında değişmektedir. Havzanın kuzeybatısında metamorfik birimlerden beslendiği düşünülen su kaynaklarının beslenme alanları diğer su kaynaklarına göre daha yüksek kotlarda bulunmaktadır. Göl alanına ve drenaj kanallarına yakın olan bazı su noktalarında ise buharlaşma etkisi görülmektedir.

INVESTIGATION OF STABLE ISOTOPE CONTENTS OF WATER RESOURCES IN SEYFE LAKE WETLAND BASIN

Keywords	Abstract
<i>Hydrogeology, Deuterium, Oxygen-18, Seyfe Lake Basin, Wetland.</i>	Stable isotopes techniques make a significant contributions to the understanding of hydrogeological processes and the conceptualization of the hydrodynamic structure. In order to explain the physical and chemical processes regarding the water resources of Seyfe Lake basin, results of stable isotope analysis of the waters are evaluated in the study. The study area covers the entire basin of Seyfe Lake basin which has a catchment area of 1447 km ² and is located northeast of Kırşehir. Paleozoic Kırşehir Massif metamorphic series, Cenozoic cover units and Quaternary alluvial units are exposed in the basin. The fractured and faulted zones of the marble and limestone levels representing the Bozçaldağ Formation of the Paleozoic Kırşehir Massif show aquifer characteristics. In September 2019 and December 2019, water samples from springs, shallow wells and drainage channel were collected in the catchment area for Oxygen-18 and Deuterium isotope analysis. In the study area; $\delta^{18}O$ value of the water samples varies between ‰-11.97 and ‰ -3.29 VSMOW; and δ^2H value changes between ‰ -80.88 and ‰ -27.61 VSMOW. The recharge area of the springs thought to be recharged from the outcrops of the metamorphic units are located at northwest of the basin and higher in altitude than the other water resources. Some of the sampling points near the lake area and the drainage channels exhibit isotopic enrichment due to evaporation.

Alıntı / Cite

Yurteri, C., (2020). Seyfe Gölü Sulak Alan Havzasındaki Su Kaynaklarının Duraylı İzotop İçeriklerinin İncelenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(3), 883-903.

* İlgili yazar / Corresponding author : cyurteri@hacettepe.edu.tr, +90-312-297-77-00 /169

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
C.Yurteri, 0000-0002-4944-0168	Başvuru Tarihi / Submission Date	15.07.2020
	Revizyon Tarihi / Revision Date	08.09.2020
	Kabul Tarihi / Accepted Date	11.09.2020
	Yayın Tarihi / Published Date	24.09.2020

1. Giriş (Introduction)

Günümüzde su kaynaklarına duyulan ihtiyaç gittikçe artmaktadır. Buna karşılık doğal (iklimsel) ve antropojenik (kuyularla aşırı yeraltısuyu çekimi, kirlilik vb.) nedenlerle su kaynaklarındaki azalmanın devam ettiği görülmektedir. Ülkemizde artan su ihtiyacının karşılanmasında sulak alanlar önemli su kütleleri olarak yer tutmaktadır. Sulak alanlardaki su kaynakları potansiyelinin değerlendirilmesi için gerçekleştirilecek hidrojeolojik çalışmaların, sulak alanın bağlı olduğu havza ölçeğinde gerçekleştirilmesi uygun olacaktır.

Hidrojeolojide duraylı izotop uygulamaları, havza ölçekli gerçekleştirilen çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca yeraltı ve yerüstü su kaynaklarının etkin korunması ve sürdürülebilirliği için sistemin mevcut hidrodinamik yapısının tanımlanmasında duraylı izotop tekniklerinden yararlanılmaktadır.

Duraylı (Oksijen-18, Döteryum) izotoplar hidrolojik çevrim içerisinde ölçülebilir miktarlarda yer almaktadırlar (Clark ve Fritz, 1997). Dolayısıyla suyun iyi birer izleyicileridirler ve ayrıntılı bilgiler sağlamaktadırlar (Gat ve Gonfiantini, 1981). Bu tür izotoplar akiferlerin beslenme alanlarının belirlenmesi, farklı kökenli suların ayırt edilmesi, geçirilen kimyasal ve fiziksel süreçlerin belirlenmesi ve yeraltısuyu-yüzeysuyu ilişkisi ile ilgili değerlendirmelere olanak sağlamaktadırlar (Gat ve Gonfiantini, 1981). Ayrıca kavramsal hidrojeolojik modellerin oluşturulmasında yaygın bir şekilde kullanılan yardımcı tekniklerdir.

Bu çalışmada, Türkiye'nin önemli sulak alan havzalarından biri olan Seyfe Gölü havzasındaki su kaynaklarının duraylı izotop içerikleri incelenmiştir. Bu kapsamda havzadaki su noktalarının beslenme alanı yükseltilerinin hesaplanması, farklı kökenli suların ayırt edilmesi ve geçirilen hidrojeolojik süreçlerin açıklanmasına yönelik değerlendirmeler araştırmanın amacını oluşturmaktadır.

Literatürde; çalışma alanında havza ölçeğinde izotop hidrojeolojisine yönelik sınırlı sayıda çalışma mevcuttur. Bilimsel yazın araştırmasına göre araştırma konusuyla ilgili çalışmalara; (Ünsal, 1999; Çelik vd., 2008) örnekler verilebilir.

Çalışmada giriş bölümünden sonra alandaki bilimsel yazın araştırması sonuçları verilecek, havzada uygulanan materyal ve yöntem açıklandıktan sonra araştırma bulguları sunulacaktır. En son olarak sonuç ve tartışma kısmı ile çalışma tamamlanacaktır.

2. Bilimsel Yazın Araştırması (Literature Survey)

Geçmişten günümüze kadar çalışma alanı ve yakın çevresinin jeolojik, hidrojeolojik, hidrolojik ve jeomorfolojik yapısının tanımlanmasına yönelik çeşitli disiplinlerde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Literatürde yer alan çalışmalar, çalışma yılı sırasına göre verilmiştir.

Erguvanlı (1957), "Kırşehir Kuzeyinde Seyfe Ovasının Hidrojeolojik Etüdü" isimli çalışmasında Seyfe ovasında jeolojik ve hidrojeolojik çalışmalar yürütmüştür. Bu kapsamda Seyfe Ovasının kuzeybatı-güneydoğu uzanımlı kapalı bir havza olduğu, havza drenaj alanının 1538 km² olarak hesaplandığı ve bütün akışın ovanın en düşük kotu olan Seyfe Gölü'ne doğru yönlendiği belirtilmiştir.

Önhon (1969), "Seyfe Ovası Kristalize Kalker Sahasının Karst Etüdü ve Seyfe Kaynağının Geliştirilmesi" isimli çalışmasında Seyfe kaynağının geliştirilmesine yönelik çalışmalar gerçekleştirmiştir. Mart 1969 ile Nisan 1970 dönemi arasında yapılan gözlemler sonucu; Seyfe kaynağının hacmi 26*10⁶ m³/yıl olarak hesaplanmıştır. Kaynaktan yıllık 18*10⁶ m³ boşalım gerçekleştiği ve yıllık 8*10⁶ m³ suyun rezervde kaldığı belirtilmiştir.

DSİ (1975), "Kırşehir Seyfe Ovası Planlama Kademesi Jeofizik Rezistivite Etüd Raporu" isimli çalışmada Seyfe ovasında jeofizik çalışmaları yapılmıştır. Yapılan çalışmada en önemli kırık hatlarının Seyfe-Eskidoğanlı uzanımlı faylar ile Boztepe-Çimeli yönündeki faylar olduğu belirtilmiştir. Boztepe-Çimeli fayının doğuya doğru olan devam eden kesiminin Yazıkınık-Kızıldağyeniyapan-Büyükburunağıl'a kadar uzandığı belirtilmiştir.

DSİ (1979), "Kırşehir-Seyfe Ovası Hidrojeolojik Etüd Raporu" isimli çalışmada Seyfe ovasının genel hidrolojik ve hidrojeolojik özellikleri açıklanmış, Seyfe ovasındaki akiferlerin beslenme-boşalım ilişkileri ile yeraltısuyunun

miktar ve kalitesi ortaya konulmaya çalışılmıştır. Yıllık beslenme miktarı 11×10^6 m³/yıl olarak hesaplanmıştır. Bu miktarın %70'i emniyetli verim alınarak, emniyetli verim 8×10^6 m³/yıl olarak hesaplanmıştır.

Yiğitbaşıoğlu (1993), "Seyfe Gölü ve çevresinin jeomorfolojisi" konulu doktora tez çalışmasında; Seyfe Gölü'nün geniş, sığ ve tuzlu bir göl olduğu, göl ve çevresinin yarıkurak iklim özelliklere sahip olduğu, gölün başlıca beslenmesinin kaynak suları ve dipten beslenme yoluyla olduğu belirtilmiştir.

Ünsal (1999), "Seyfe Ovası kaynaklarının kimyasal ve izotopik bileşenleri ve kökeni" isimli çalışmasında Seyfe ovasındaki yeraltısularının jeokimyasal ve izotopik özellikleri ile kökensel araştırılması gerçekleştirilmiştir. Yapılan incelemeler ile yeraltısularının geçiş sürelerinin trityum değerlerine göre; 1-3 yıl arasında değiştiği ve yeraltısularının genellikle Bozçaldağ Formasyonundaki kireçtaşı birimlerinden beslendiği belirtilmiştir.

Sayhan (2000), "Seyfe Havzasının Jeomorfolojisi (Kırşehir)" isimli çalışmasında alanla ilgili jeolojik ve jeomorfolojik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalar ile Seyfe havzasının kapalı bir havza olduğu, dışarıya akışın mevcut olmadığı, bölgede yarı-kurak iklim şartlarının egemen olduğu, alandaki morfolojik yapıların iklim koşulları ile uyumlu olarak geliştiği ve bölgenin tipik bir yarı-kurak bir bölge topografyasına sahip olduğu belirtilmiştir.

Sayhan (2001), "Seyfe Gölü Eski Seviyelerinin Kuvaterner Jeomorfolojisi Açısından Etüdü" isimli çalışmasında, son 24.000 yılda Seyfe Gölü'nde önemli seviye değişimleri olduğunu; Eski Seyfe Gölü'ndeki su seviyesi değişimlerine bağlı olarak Seyfe Havzası'nın dış drenajdan koptuğunu, serin, nemli dönemlerde gölün su seviyesinin yükseldiğini, sıcak-kurak dönemlerde gölün su seviyesinin düştüğünü ve göl seviyesinin 1110 metrede olduğu belirtilmiştir.

DSİ (2004), "Seyfe Ovası Hidrojeolojik Revize Etüt Raporu" isimli çalışmada 1979 yılında hazırlanan "Kırşehir-Seyfe Ovası Hidrojeolojik Etüt Raporu'nun revize edilmesi amacıyla, Seyfe Ovasında 2001-2003 yılları arasında arazi çalışmaları yapılmıştır. Yapılan incelemeler ile, Seyfe kapalı havzasının yüzey suyu drenaj alanı 1430 km² ve akifer alanı 150 km² olarak belirlenmiştir. Havza boşalımının Seyfe Gölü'ne doğru olduğu belirlenmiştir. Ovada açılmış olan kuyuların statik su seviyeleri, 1 ile 57 m; kuyu verimleri 10 ile 40 l/s ; özgül debileri 1 ile 10 l/s/m; hidrolik iletkenlik katsayısının ise 140 ile 4700 m³/gün/m arasında değiştiği belirtilmiştir.

Tüfenkçi (2005), "Seyfe Kaynağı ve Dolayının (Kırşehir) Hidrojeoloji İncelemesi" konulu yüksek lisans tez çalışmasında Kırşehir-Seyfe kaynağı ve çevresindeki yeraltı sularının fasiyesleri, fasiyeslerin birbirleriyle ilişkileri ve kalitesi belirlenmiş, geleceğe yönelik su kullanımı ile ilgili tahminlerde bulunulmuştur. Bölgede yapılan çalışmalar kapsamında Paleozoyik yaşlı Bozçaldağ Formasyonu içerisindeki mermer birimlerin yeraltı suyu taşıyan birimler olduğu, suların Ca-HCO₃ ve Ca-Mg-HCO₃ fasiyesindeki sular olduğu belirtilmiştir.

Yılmaz ve Reis (2008), "Seyfe Gölü'nün Zamansal Değişiminin Uzaktan Algılama Tekniği ile İzlenmesi" isimli çalışmalarında, Seyfe Gölü ve çevresinde zamana bağlı olarak meydana gelen su yüzey alanındaki değişimler incelenmiştir. Bu kapsamda göldeki 1975-2001 yılları arasındaki zamansal değişimin, meteorolojik verilerle de karşılaştırılması sonucunda gölün su yüzey alanının 1975 yılı Ağustos ayında 2021,3 Ha, 1987 yılı Haziran ayında 6562,6 Ha ve 2001 yılı Mayıs ayında 2182,7 Ha olarak hesaplanmıştır. Gölün su rezervinde zamana bağlı bir azalmanın gerçekleştiği belirtilmiştir.

Çelik vd (2008), "Seyfe Gölü (Kırşehir-Türkiye) Havzası'nın Su Kalitesi ve Kirlilik Değerlendirilmesi" isimli çalışmalarında Seyfe Gölü Havzasında yer alan yüzey ve yeraltısuları ile ilgili hidrojeokimyasal ve izotopik değerlendirmeler yapılmıştır. Yapılan değerlendirmelere göre; çalışma alanındaki yeraltısularını temsil eden su noktalarının Küresel Meteorik Su Doğrusu üzerinde yer aldığı, bu suların meteorik kökenli olduğu, sığ kuyulardan ve drenaj kanallarından örneklenen sularda ise buharlaşma etkisinin görüldüğü belirtilmiştir.

MTA (2009), "Kırşehir-Mucur-Seyfe Gölü Havzası Maden Jeolojisi Raporu" isimli çalışmada Seyfe Gölü çevresindeki çökellerde, su bölüm hattı içerisinde kalan jeolojik birimlerde ve göl alanında incelemeler gerçekleştirilmiştir. Yapılan araştırmalar ile göl suyundaki sodyum ve klorür iyon değerlerinin yüksek düzeylerde, sülfat ve potasyum içeriklerinin de önemli miktarlarda olduğu belirtilmiştir.

Kıymaz vd (2011), "Standartlaştırılmış Yağış İndeksi ile Seyfe Gölünün Kuraklık Dönemlerinin Belirlenmesi" isimli çalışmalarında Seyfe Gölü'nün geçmiş yıllarda düşen yağış miktarına bağlı olarak meteorolojik kuraklık incelenmiştir. Bu kapsamda, Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI) yöntemi kullanılarak dönemsel kuraklık değerlerinin birbirlerinden farklı olduğu belirlenmiş, bu değerlerin Kırşehir ilinin gelecek yıllarda su stresini arttıracakları belirtilmiştir. Bu kapsamda gerekli kuraklık önlemlerinin alınmasının önemli olacağı vurgulanmıştır.

Çiftçi (2013), "Seyfe Gölü Havzası'nda (Kırşehir) Doğal Ortam-Yeraltısuyu İlişkisi" isimli yüksek lisans tez çalışmasında; Türkiye'nin 12 sulak alanından biri olan Seyfe Gölü ve çevresinin doğal ortam özellikleri ve hidrojeolojik özellikleri incelenmiştir. Seyfe Gölü alanının çeşitli noktalarından örneklenen su noktalarının pH değerlerinin 8 ile 9.13 arasında değiştiği ve suların bazı özellikler gösterdiği belirtilmiştir.

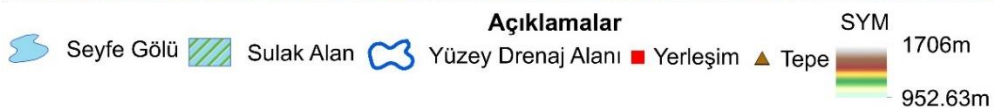
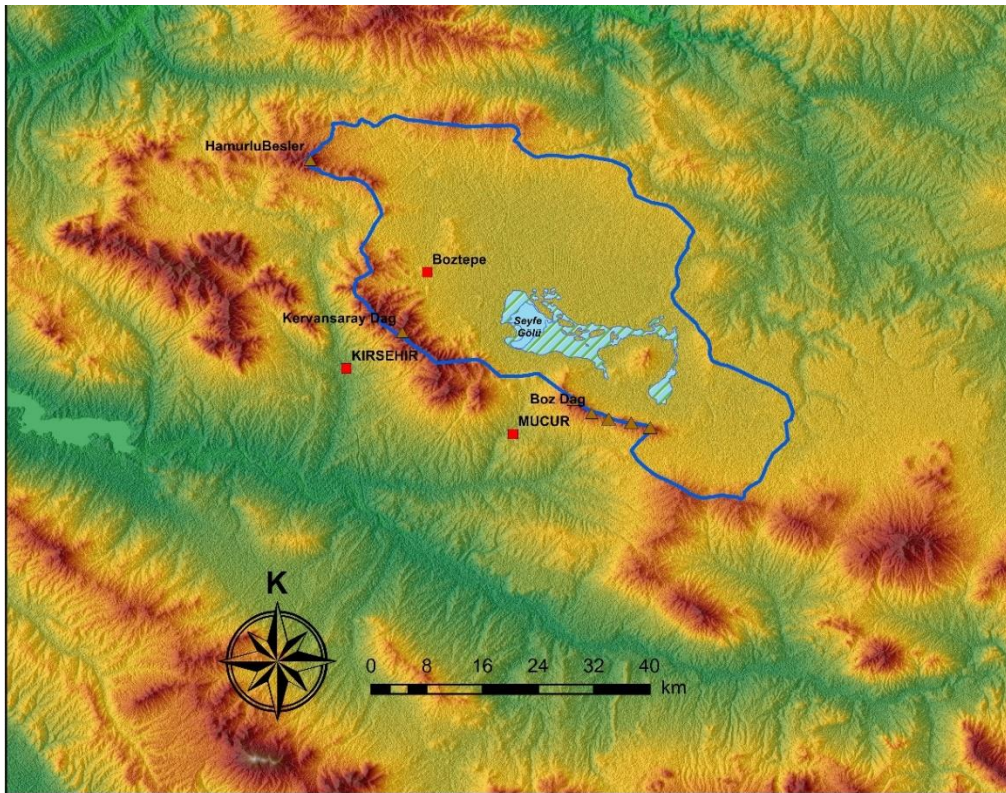
Kıymaz ve Karadavut (2014), "Seyfe Gölü Havzasında yer alan Kuyuların Sularının Sulama Suyu Kalitesi Açısından Değerlendirilmesi" isimli çalışmalarında Seyfe Gölü Havzasında yer alan su kuyularından 2008-2009 yıllarının Haziran ve Eylül dönemlerinde örneklemeler gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada; örneklenen yeraltısularının sulama suyu kalitesi açısından izin verilen değerlerden daha yüksek olması nedeniyle sulama suyu olarak kullanılmadığı tespit edilmiştir.

Literatürde çalışma alanında duraylı izotop hidrojeolojisi kullanılarak havza ölçeğinde izotopik karakterizasyona yönelik çok az sayıda çalışmanın olduğu görülmektedir. Ayrıca literatürde havza ölçeğinde duraylı izotop tekniklerinden yararlanarak su kaynaklarının izotop içeriklerinin oransal değişimi ve beslenme alanı yükseltisi hesaplamaya yönelik bir çalışma yapılmamıştır. Dolayısıyla bu çalışmada Türkiye'nin önemli sulak alan havzalarından biri olan Seyfe Gölü sulak alan havzasındaki su noktalarının izotop içeriklerinin oransal değişimi, beslenme alanı yükselti hesaplamaları, farklı kökenli suların ayırtilmesi ile geçirilen fiziksel ve kimyasal süreçleri açıklamaya yönelik değerlendirmeler yapılmıştır.

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

3.1. Çalışma Alanı (Study Area)

Kızılırmak Havzası'nın alt havzalarından biri olan Seyfe Gölü Havzası, ortalama deniz seviyesinden 1110 metre yükseklikte kapalı bir havzadır. Çalışma alanının kuzeybatısı, güneybatısı ve batısı yüksek dağlar ve tepelerle, doğu tarafı ise alanın batısına göre yükseltileri fazla olmayan tepelerle çevrilidir. Yükseltilerin 950 m ile 1706 m kotları arasında değiştiği havzada; inceleme alanı içerisindeki en önemli yükseltileri Hamurlubeşler Tepe, Bozdağ, Ayırdağ ve Kervansaray Dağ oluşturmaktadır. Havzaya ismini veren Seyfe Gölü; Kırşehir ili sınırları içerisinde Kırşehir'in doğusunda 39°11'-39°14' Kuzey enlemleri ile 34°22'- 34°30' Doğu boylamları arasında yer almaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası (Location map of the study area)

Havzanın uzanımı kuzeybatı güneydoğu yönündedir. İnceleme alanında genellikle yazların sıcak ve kurak, kışların soğuk geçtiği karasal iklim koşulları hakimdir. Gece ile gündüz, yaz ile kış arasındaki sıcaklık farkları yüksektir. Çalışma alanına en yakın istasyon olan Kırşehir Meteoroloji Gözlem İstasyonu'nun (MGİ) verilerine göre 1930-2019 yılları arasında yıllık ortalama yağış miktarı 384.5 mm, yıllık ortalama sıcaklık ise 11.51 °C'dir. Bölgede aylık en düşük ortalama sıcaklık -0.22 °C ile Ocak ayında; aylık en yüksek ortalama sıcaklık ise 23.09 °C ile Temmuz ayında ölçülmüştür. Havzada 1996-2019 yılları arasında hakim rüzgar yönü Kuzeydir.

3.2. Örneklem ve Analiz Yöntemi (Sampling and Analysis Method)

Seyfe Gölü havzası yüzey drenaj alanı içerisinde yer alan yerüstü ve yeraltı su kaynaklarının kökenlerinin belirlenmesi, havzadaki akiferlerin beslenme alanı yükseltilerinin hesaplanması, farklı kökenli suların ayırtılması ile su-kayaç etkileşimi gibi hidrojeolojik süreçleri açıklamak amacıyla duraylı izotop örneklem çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Eylül 2019 ve Aralık 2019 dönemlerinde Seyfe Gölü havzasının yüzey drenaj alanı içerisinde belirlenen 40 su noktasından (kaynaklar, kuyular, dere ve kar) yerinde ölçüm ve duraylı izotop örneklemeleri gerçekleştirilmiştir.

Çalışma alanındaki su noktalarının beslenme ve boşalım ilişkilerinin yorumlanması için yüzey drenaj alanında yer alan doğal kaynak boşalımları örneklem noktası olarak tercih edilmiştir. Bu kaynakların boşalım noktalarına yakın veya litolojik birimleri doğrudan boşaltıyor olması göz önünde bulundurulmuştur. Ayrıca örneklem noktaları havzadaki jeolojik birimleri temsil edecek şekilde seçilmiştir. Kuyu örneklemelerinde ise kuyulardaki filtrelenmiş kısımların farklı akifer birimleri temsil ediyor olmasına dikkat edilmiştir.

Yapılan yerinde ölçümlerde suların pH, sıcaklık (T), özgül elektriksel iletkenlik (ÖEİ-25°C/μS-cm) ve çözülmüş oksijen (ÇO) gibi fizikokimyasal özellikleri Hanna marka taşınabilir çok parametrelili su kalitesi ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Duraylı izotop örneklem çalışmaları arazide yerinde gerçekleştirilmiş ve su örnekleri 60 ml' lik polietilen şişeler içerisine hava kalmayacak şekilde alınarak serin yerde muhafaza edilmiş ve laboratuvara ulaştırılmıştır.

Havza ölçeğinde örneklenen yerüstü ve yeraltı su kaynaklarının duraylı izotop analizleri Hacettepe Üniversitesi Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi (UKAM) Duraylı İzotop Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Örneklerin duraylı izotop içerikleri Los Gatos Research (LGR) Liquid Isotopic Water Analyzer cihazı kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz sonuçları Viyana Standart Ortalama Okyanus Suyu (VSMOW) ölçeğine göre normalize edilmiştir. Döteryum ve Oksijen-18 izotoplarının oranı Standart Ortalama Okyanus suyundan binde sapma (δ) olarak verilmiştir. δ¹⁸O ve δ²H analizlerinin ortalama hata payı ²H için ±‰ 0,41-0.59 VSMOW; ¹⁸O için ±‰ 0.07-0.08 VSMOW düzeyindedir.

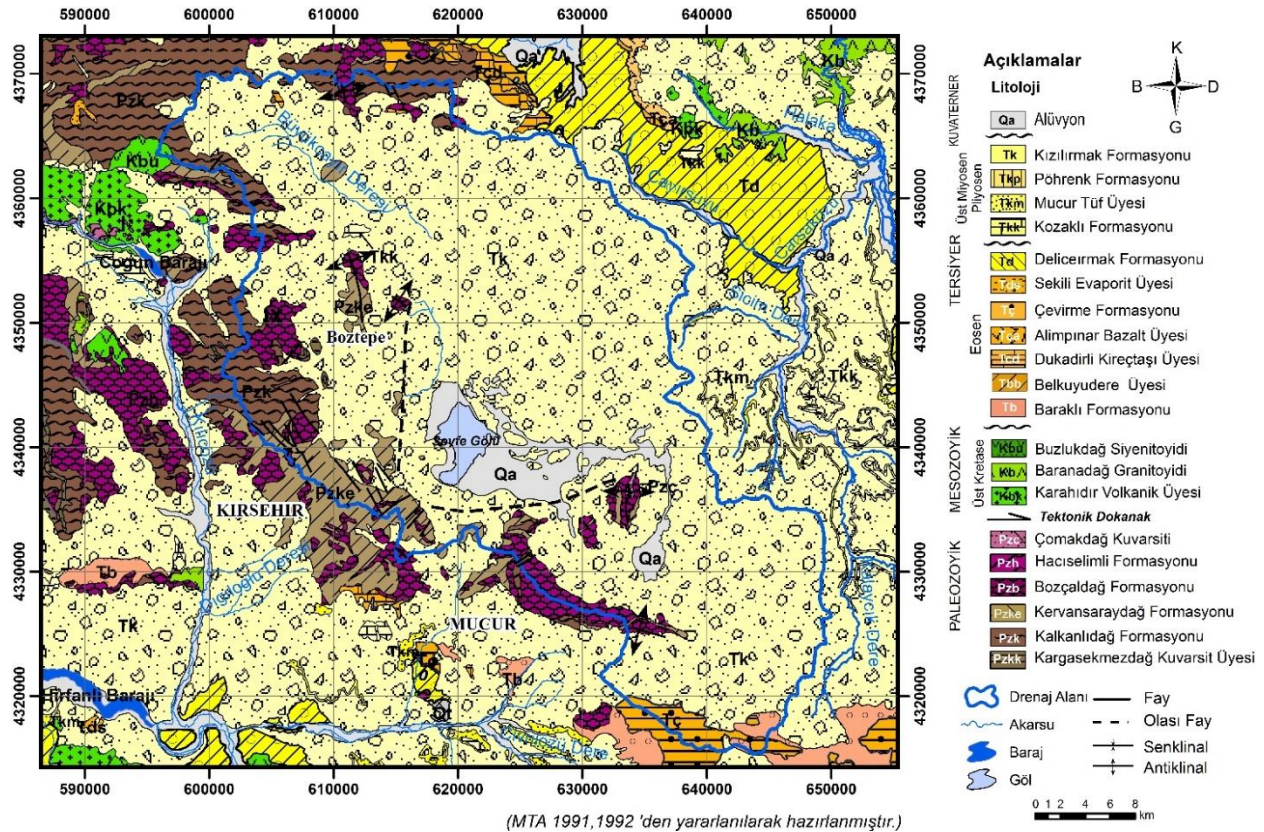
4. Araştırma Bulguları (Research Findings)

4.1. Çalışma Alanının Jeolojisi (Geological Outline of the Study Area)

Çalışma alanının jeolojisi Seyfe Gölü havzası yüzey drenaj alanı içerisinde yüzeyleyen litolojik birimler temel alınarak incelenmiştir. Buna göre havzada Paleozoyik yaşlı Kırşehir Masifi metamorfileri, Üst Eosen ve Miyosen-Pliyosen yaşlı sedimanter birimler ile Kuvaterner yaşlı alüvyon birimler yüzeylemektedir. Çalışma alanının jeolojisi ve litolojik birimlerin stratigrafisi geçmişte yapılan jeolojik haritalama çalışmaları (MTA, 1991; MTA, 1992) temel alınarak verilmiştir (Şekil 2).

Çalışma alanının temelini litostatigrafik olarak Paleozoyik yaşlı Kalkanlıdağ, Kervansaraydağ ve Bozçaldağ Formasyonları oluşturmaktadır. Havzada metamorfik temelin tabanı görülmezken metamorfik temel kalınlığı 1000 m ile 2000 m arasında değişmektedir (MTA, 2009).

Kırşehir Masifinin alt seviyelerini oluşturan Kalkanlıdağ Formasyonu magmatik kökenli kayaların metamorfizmasıyla oluşmuştur. Birim amfibolit şist, kuvarsit şist, biyotit-muskovit şist, kalk şist, granitik gnays, gözlü gnays ve biyotit-muskovit gnaysdan oluşmaktadır (MTA, 2009). Formasyon Seyfe Gölü havzasının batı ve kuzeybatısında geniş yüzlekler vermektedir. Bu birim Paleozoyik yaşlı Kervansaraydağ Formasyonu ve Bozçaldağ Formasyonu tarafından üzerlenmektedir (MTA, 1991). Birim üste doğru Kervansaraydağ Formasyonu ile geçişlidir (MTA, 1991). Kervansaraydağ Formasyonu; biyotit-muskovit şist, piroksen şist, amfibol şist ve daha az miktarda klorit şist, talk şist, gnays ile mermer bant ve mercerlerinden oluşmaktadır (DSİ, 2004). Kıvrımlanma ve yapraklanmanın oldukça iyi geliştiği formasyon, havza batısında Boztepe yakınlarında yüzlekler vermektedir. Birim kendisini üzerleyen Bozçaldağ Formasyonu ile düşey ve yanal yönde geçişlidir (DSİ, 2004).



Şekil 2. Çalışma alanı ve yakın çevresinin jeoloji haritası (Geological map of the study area and its surroundings)

Bozçaldağ Formasyonu ise masif yapılı, kırıklı-çatlaklı, iri kristalli, şeker dokulu, gri beyaz renkli orta-kalın tabakalı mermerlerden oluşmaktadır (MTA, 2009). Birim Seyfe Gölü havzasının güneyinde ve kuzeyinde Göllü, Çimeli, Boztepe, Karacaören, Gümüşkümbet köylerinde parçalı bloklar halinde kristalize kireçtaşları ile mermer seviyelerden oluşan yüzlekler vermektedir. Paleozoyik metamorfik temeli oluşturan Kalkanlıdağ, Kervansaraydağ ve Bozçaldağ Formasyonları; Tersiyer yaşlı sedimanter birimler tarafından açılal uyumsuzlukla üzerlenmektedir (MTA, 2009).

Tersiyer yaşlı birimler havzada Üst Eosen ve Miyosen-Pliyosen yaşlı birimler ile temsil edilmekte ve geniş bir alanda yüzeylenmektedirler. Havzada Üst Eosen; Baraklı Formasyonu ve Çevirme Formasyonu ile temsil edilmektedir. Baraklı Formasyonu havzanın güneydoğusunda İlice köyü yakınlarında çok sınırlı bir alanda yüzeyleyen, kırmızı kahve renkli tutturulmamış, gevşek kumtaşı, çakıtaşı ve çamurtaşlarından oluşmaktadır (Seymen, 1982). Birim üste doğru Çevirme Formasyonu ile yanıl ve düşey yönde geçişlidir. Birim kalınlığı 100 m ile 700 m arasında değişmektedir (MTA, 2009). Çevirme Formasyonu ise çakıtaşı, kumtaşı, silttaşı, çamurtaşı, kiltası ve marn birimlerinden oluşmaktadır (DSİ, 2004). Bu birim Seyfe Gölü havzasının güneydoğusunda Yeniyağan köyü yakınlarında yüzlek vermektedir. Birim kalınlığı 200 m ile 250 m arasında değişmektedir (DSİ, 2004).

Çevirme ve Baraklı Formasyonlarının üzerine Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı Kızılırmak Formasyonu açılal uyumsuzlukla gelmektedir. Kızılırmak Formasyonu havza içerisinde çok geniş bir topografyada yüzeylenmekte ve Paleozoyik temeli örtmektedir. Birim kızıl renkli çakıtaşı, kumtaşı, çamurtaşı, kiltası, marn, gölsel kireçtaşı ve jips seviyelerinin araldanmasından oluşmaktadır (DSİ, 1979).

Kızılırmak Formasyonu ise havzada en genç birim olan Kuvaterner yaşlı alüvyon birimler tarafından uyumsuzlukla örtülmektedir (MTA, 1991). Alüvyon birimler Seyfe köyü doğusunda ve Horla-Badıllı mevkiinde kumlu killi alüvyon ve çamurtaşlarıyla temsil edilmektedir. Birim kalınlığı 10 m ile 15 m arasında değişmektedir (DSİ, 1979).

4.2. Çalışma Alanının Hidrojeolojisi (Hydrogeological Outline of the Study Area)

Seyfe Gölü havzasındaki jeolojik birimlerin hidrojeolojik özellikleri belirlenmiş ve çalışma alanının hidrojeoloji haritası hazırlanmıştır (Şekil 3). Alanda yüzeyleyen litolojik birimler; suyu taşıma ve iletme özelliklerine göre geçirimli, geçirimsiz ve yarıgeçirimli birimler olarak üç ayrı grupta ayırılmış ve haritalanmıştır. Çalışma alanında yüzeyleyen hidrostratigrafik birimler aşağıda ayrıntılı olarak verilmiştir.

4.2.1. Geçirimli Birimler (Permeable Units)

Kırşehir Masifi serileri içerisinde yer alan mermer seviyeler ve kristalen kireçtaşları havzadaki tektonik süreçlerin etkisi ile kırıklı ve çatlaklı bir yapı kazanmıştır. Dolayısıyla ikincil gözeneklilik kazanmış Paleozoyik yaşlı mermer seviyelerin kırıklı, çatlaklı zonları yeraltısuyunu taşıması ve iletmesi nedeniyle akifer özelliği göstermektedir. Mermer birimler havzanın kuzeyinde, batısında ve güneyinde yüzeyde görülmektedir. Havza içerisinde kristalize kireçtaşı ve mermer akiferinin kalınlığı değişmektedir.

Havzada açılan DSİ kuyularının litolojik logları incelendiğinde; mermer ve kristalize kireçtaşı akiferinin kalınlığı Malya bölgesinde açılan kuyularda 26 m ile 68 m arasında, Boztepe bölgesinde açılan kuyularda 40 m ile 43 m arasında, Karacaören bölgesinde açılan kuyularda 40 m, Eskidoğanlı bölgesinde açılan kuyularda 78 m ile 80 m arasında, Yenidoğanlı bölgesinde açılan kuyuda 60 m, Kızıldağyeniyapan bölgesinde açılan kuyuda 150 m, Göllü bölgesinde açılan kuyuda ise 100 m'dir (DSİ, 2004).

Paleozoyik yaşlı mermer ve kristalize kireçtaşları birimlerinde açılan kuyuların debileri 11.67 l/s ile 94.4 l/s, iletimlilik değerleri 32 ile 4699 m²/gün, özgül debileri ise 1.4 ile 45.8 l/s/m arasında değişmektedir (DSİ, 2004). Havzanın Malya bölgesinde açılan 10766, 10768 ve 14219B numaralı DSİ kuyularının debileri havzanın diğer bölgelerindeki mermer ve kireçtaşı birimlerinde açılmış kuyulara göre daha yüksek verime sahiptir. Ortalama kuyu debileri ise 80 l/s ile 94.4 l/s arasında değişmektedir (DSİ, 2004). Havzadaki bazı kuyularda ise mermer seviyeler içerisinde şist bantları geçilmiştir. Mermer, şist ardalımalı kuyularda ise kuyu verimlerinin daha düşük olduğu belirtilmiştir (DSİ, 2004).

Havzada Seyfe Gölü ve çevresinde yer alan ince kum, çakıl ve killerden oluşan, kalınlığı 10 m ile 15 m arasında değişen alüvyon birimler yer almaktadır. Havzada alüvyon birimlerin kalınlığının ve yayılımının fazla olduğu, bölge halkının keson kuyularla su alabildiği kesimlerde birincil gözeneklilik yüksek olup; birim geçirimli özelliktedir (Şekil 3). Ancak birimin kil içeren seviyelerinin kalınlaştığı kesimlerinin geçirimsiz özellikte olduğu düşünülmektedir.

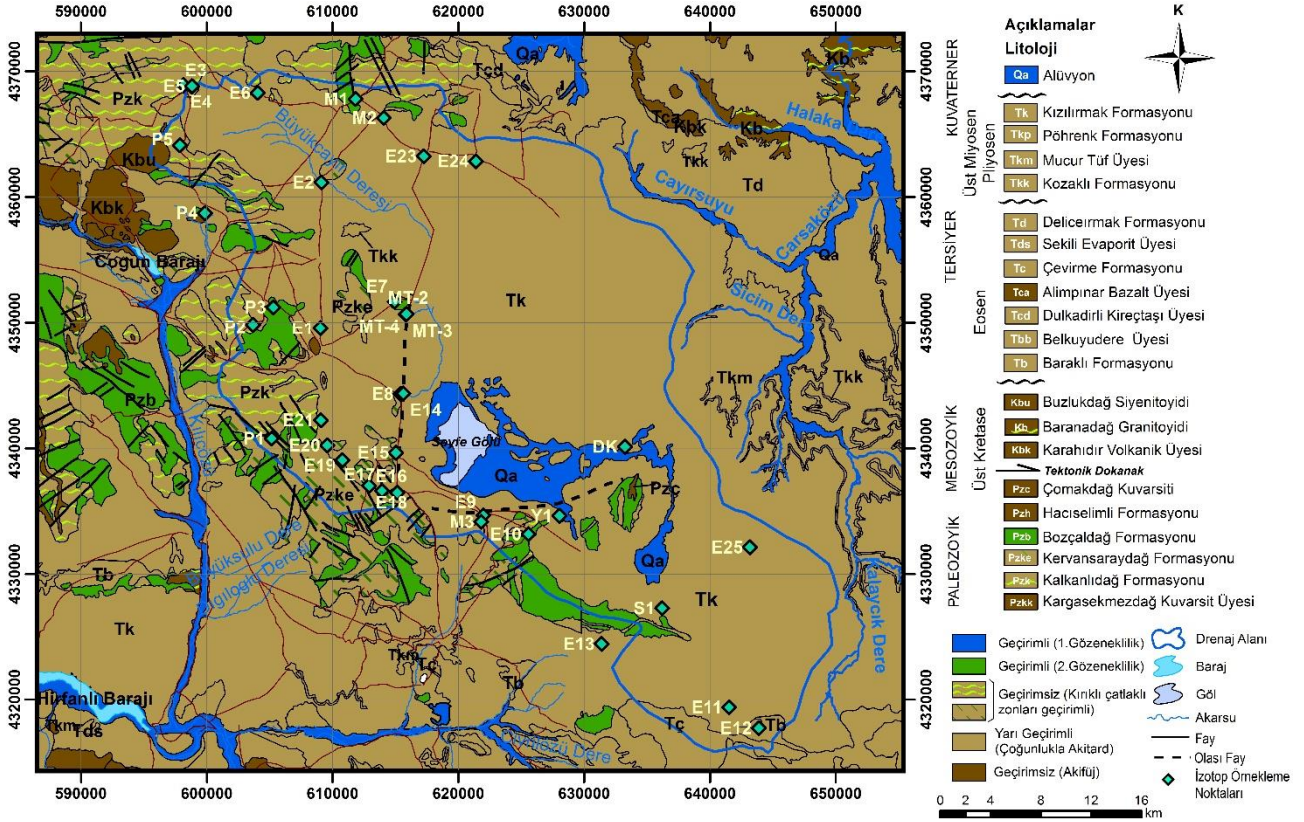
Seyfe Göl alanı kapalı bir havza içerisinde bulunmaktadır. Havza genelinde yeraltısuyu akım yönü Seyfe Gölü'ne doğrudur. Göl alanına yakın kesimlerde açılan 858, 860, 861 ve 4093 numaralı kuyuların litolojik logları incelendiğinde; göl tabanında hidrojeolojik açıdan geçirimsiz Neojen yaşlı killi, marnlı ve çamurtaşı katmanlarından oluşan seviyelerin yer aldığı görülmektedir. Ayrıca kuyu debilerinin 0.4 l/s ile 2.4 l/s arasında değiştiği ve verimin düşük olduğu belirtilmiştir (DSİ, 2004). Dolayısıyla Seyfe Gölü tabanından yeraltısuyuna sızmanın gerçekleşmediği veya ihmal edilebilecek düzeyde olduğu düşünülmektedir.

4.2.2. Yarıgeçirimli Birimler (Semipermeable Units)

Çalışma alanında Kızılırmak Formasyonu'nun geçirimsizliği değişkenlik göstermektedir. Kuyu logları incelendiğinde; birimde açılan kuyuların verimlerinin havzanın doğusunda ve batısında değiştiği görülmektedir. Kızılırmak Formasyonunda açılan sondaj kuyularının bir kısmından oldukça düşük verimler (0.2-0.6 l/s) elde edilirken; bazılarında ise görece daha yüksek verimler (2.5-3.4 l/s) alınabildiği görülmektedir. Kuyuların özgül debileri ise 0.01 l/s/m ile 0.2 l/s/m arasında değişmektedir (DSİ, 1979; DSİ, 2004). Düşük verim alınan kuyular genellikle havzanın doğusunda yer almaktadır. Bu kuyularda Kızılırmak Formasyonu'nun killi, siltli ve marnlı seviyeleri kesilmektedir. Formasyonun kireçtaşı, kumtaşı, çakıltası seviyelerinin kesilmekte olduğu kuyulardan ise görece daha yüksek verimler alınabilmektedir (DSİ, 2004). Dolayısıyla havzada geniş bir topografyaya yayılmış olan Tersiyer yaşlı birimlerin kumtaşı-çakıltası ile killi kireçtaşı seviyeleri yarı geçirimli (akitard) özelliktedir (Şekil 3).

4.2.3. Geçirimsiz Birimler (Impermeable Units)

Çalışma alanındaki Paleozoyik yaşlı Kırşehir masifi metamorfik serilerine ait şist, kuvarsit, gnays ve amfibol şist gibi metamorfik kayalar ile yüzey drenaj alanı içerisinde sınırlı bir alanda yüzeyleyen Mesozoyik yaşlı granit, siyenit, granodiyorit gibi magmatik kayaların kırıklı çatlaklı olmayan zonları yeraltısuyu taşıması ve iletmemesi nedeniyle geçirimsiz (akifüj) özellik göstermektedir (Şekil 3).



Şekil 3. Çalışma alanının hidrojeoloji haritası ve örnekleme noktaları (Hydrogeological map of the study area and the sampling points)

4.3. Seyfe Gölü Havzasındaki Su Kaynaklarının Duraylı İzotop İçerikleri (Stable Isotope Contents of the Water Resources in the Seyfe Lake Basin)

Eylül 2019 dönemi duraylı izotop analiz sonuçlarına göre örneklerin ortalama Oksijen-18 ($\delta^{18}\text{O}$) ve Döteryum ($\delta^2\text{H}$) içerikleri sırasıyla -10.04 VSMOW (‰) ve -71.54 VSMOW (‰) olarak ölçülmüştür. Eylül ayı izotop örnekleme noktasının en düşük Oksijen-18 ($\delta^{18}\text{O}$) içeriği -11.97 VSMOW (‰) ile Paleozoyik yaşlı birimleri temsil eden P1 su noktası; en yüksek Oksijen-18 ($\delta^{18}\text{O}$) içeriği ise -0.86 VSMOW (‰) değeri ile drenaj kanalını temsil eden DK su noktasıdır (Tablo 1).

Tablo 1. Çalışma alanında örnekleme su noktalarının duraylı izotop içerikleri, Eylül-2019 (Stable isotope contents of the water samples in the study area, September-2019)

EYLÜL 2019	$\delta^2\text{H}$ (PERMİL)	$\delta^{18}\text{O}$ (PERMİL)	YÜKSELTİ (M)
Minumum	-80.88	-11.97	1108
Maksimum	-27.61	-0.86	1370
Ortalama	-71.54	-10.04	1187

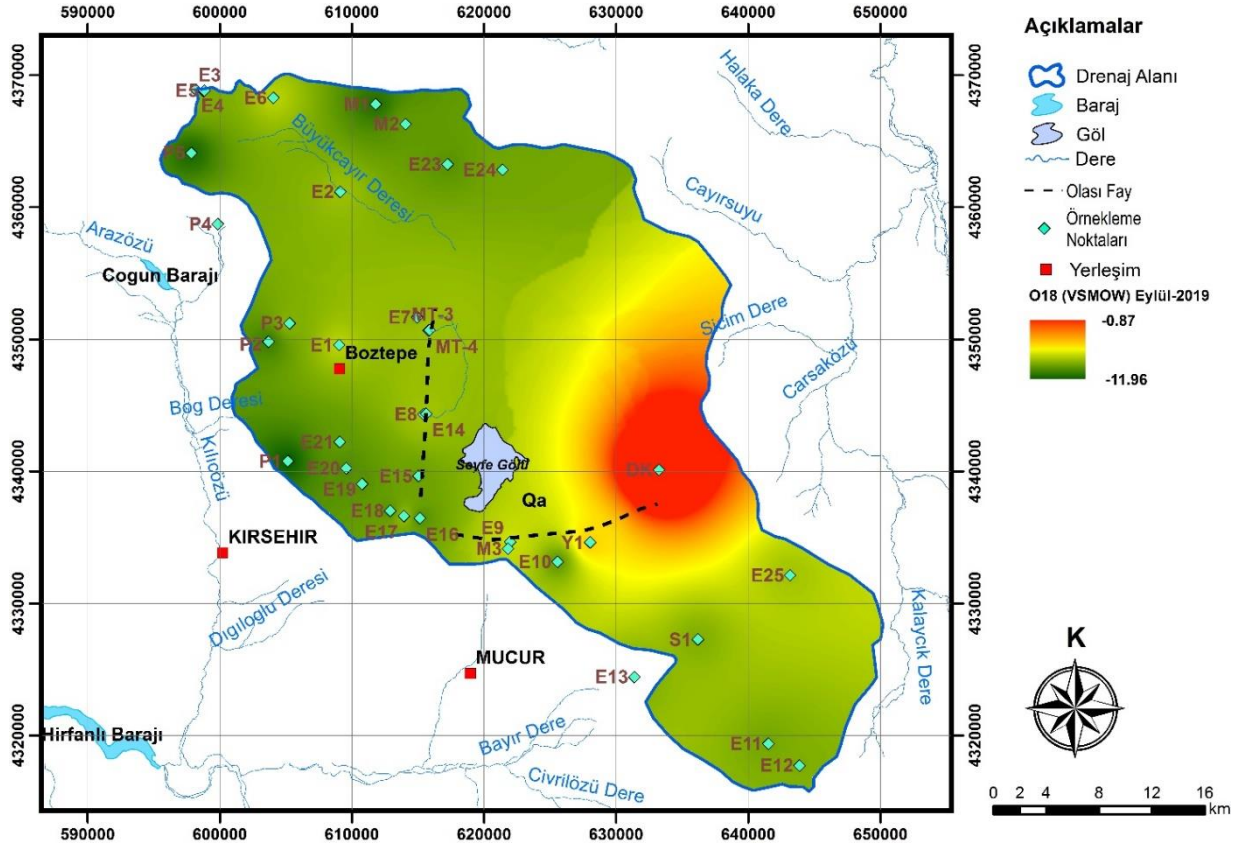
En yüksek Döteryum ($\delta^2\text{H}$) içeriği ise -27.61 VSMOW ile (‰) DK su noktası; en düşük Döteryum ($\delta^2\text{H}$) içeriği ise -80.88 VSMOW (‰) ile havzanın kuzeybatısındaki Paleozoyik yaşlı şist birimlerini temsil eden Hamurlubeşler yerleşim yerindeki P5 su noktasıdır (Tablo 1).

DK ve Y1 örnekleri açık yüzeyden sürekli buharlaşma etkisi altında kalan su noktalarıdır. Y1 su noktası -8.03 $\delta^{18}\text{O}$ (VSMOW ‰) içeriğine; DK su noktası ise -0.86 $\delta^{18}\text{O}$ (VSMOW ‰) içeriğine sahiptir (Şekil 4).

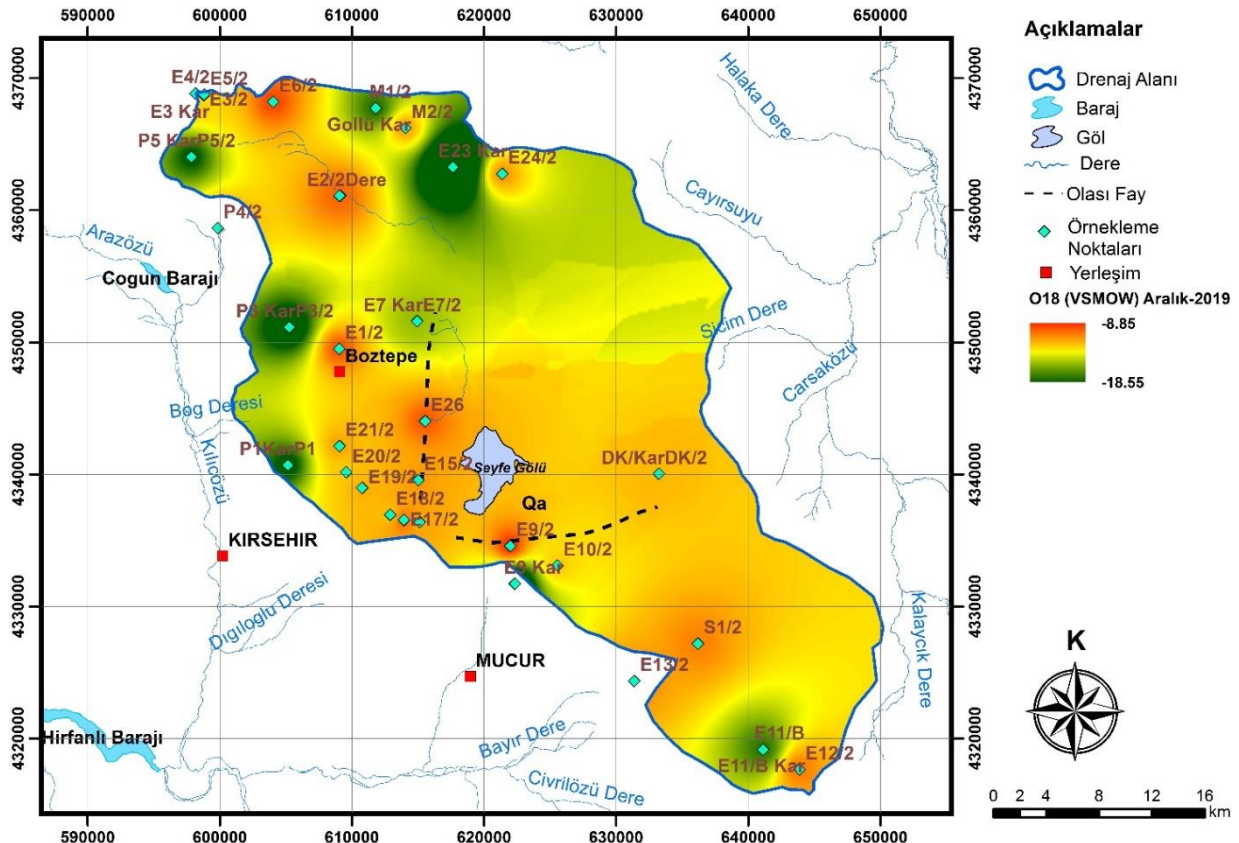
Aralık 2019 dönemi duraylı izotop analiz sonuçlarına göre örneklerin ortalama Oksijen-18 ($\delta^{18}\text{O}$) ve Döteryum ($\delta^2\text{H}$) içerikleri ise sırasıyla -11.42 VSMOW (‰) ve -82.64 VSMOW (‰) olarak ölçülmüştür. Aralık ayı izotop örnekleme noktasının en düşük Oksijen-18 ($\delta^{18}\text{O}$) içeriği -20.32 VSMOW (‰) ile alanın batısındaki Çimeli yerleşim yerinden örnekleme yapılan P3 kar noktası; en yüksek Oksijen-18 ($\delta^{18}\text{O}$) içeriği ise -3.29 VSMOW (‰) değeri ile drenaj kanalını temsil eden DK su noktasıdır (Şekil 5).

En yüksek Döteryum ($\delta^2\text{H}$) içeriği -42.89 VSMOW ile (‰) DK su noktası; en düşük Döteryum ($\delta^2\text{H}$) içeriği ise -

154.92 VSMOW (‰) ile havzanın batısındaki Paleozoyik yaşlı mermer seviyelerin yer aldığı Çimeli yerleşim yerinden örnekleme yapılan P3 kar noktasıdır (Tablo 2).



Şekil 4. Havzada örneklenen su noktalarının Oksijen-18 dağılımı, Eylül-2019) (Spatial distribution of Oxygen-18 values of the water samples in the basin, September-2019)



Şekil 5 Havzada örneklenen su noktalarının Oksijen-18 dağılımı, Aralık-2019) (Spatial distribution of Oxygen-18 values of the water samples in the basin, December-2019)

Tablo 2. Çalışma alanında örneklenen su noktalarının duraylı izotop içerikleri-Aralık 2019 (Stable isotope contents of the water samples in the study area-December 2019)

ARALIK 2019	$\delta^2\text{H}$ (PERMİL)	$\delta^{18}\text{O}$ (PERMİL)	YÜKSELTİ (M)
Minimum	-154.92	-20.32	1108
Maksimum	-42.89	-3.29	1390
Ortalama	-82.64	-11.42	1208

4.4. Oksijen 18-Döteryum İlişkisi (Relationship between Oxygen 18-Deuterium)

İzotop hidrojeolojisi çalışmalarında meteorik suların duraylı izotop (Oksijen-18, Döteryum) içerikleri; enlem, sıcaklık, deniz seviyesinden yükseklik ve mevsimsel etkilere bağlı olarak değişmektedir (Gat ve Gonfiantini, 1981). Yağışa kaynak oluşturan su buharının duraylı izotop içeriği; sıcaklık düştükçe, düşük kotlardan yüksek kotlara çıkıldıkça ve düşük enlemlerden yüksek enlemlere doğru gittikçe negatifleşmektedir (Gat ve Gonfiantini, 1981). Yine mevsimsel olarak kış yağışları yaz yağışlarına göre daha fakir izotop içeriğine sahiptir (Clark ve Fritz, 1997).

Çalışma alanında örneklenen su noktalarının birbirlerinden oldukça farklı izotop içeriklerine sahip oldukları belirlenmiştir. Havzada örneklenen su noktalarının $\delta^{18}\text{O}$ değerleri incelendiğinde; genellikle yükseklik arttıkça, izotop içeriklerinin negatifleştiği görülmektedir.

Örnekleme noktalarının çalışma alanı içerisindeki konumları, Eylül 2019 ve Aralık 2019 dönemlerinde yerinde ölçüm ve duraylı izotop analiz sonuçları sırasıyla Şekil 3, Şekil 4, Şekil 5, Tablo 3, Tablo 4, Tablo 5 ve Tablo 6'da verilmiştir. Havza ölçeğinde izotop örnekleme yapılan su noktalarının Eylül 2019 ve Aralık 2019 dönemlerindeki Oksijen-18 ve Döteryum içerikleri şekiller üzerinde her iki dönem için gösterilmiştir (Şekil 6 ve Şekil 7).

Bu çalışmada yerel meteorik su doğrularını belirlemeye yönelik şekilde (kar örneklemleri haricinde) dönemsel yağış örneklerinin izotop analizleri gerçekleştirilememiştir. Havzadaki arazi çalışmalarının devam etmesi nedeniyle yağış örneklemleri yapıldıkça yağışların duraylı izotop analizleri gerçekleştirilecektir.

2019 Eylül ve 2019 Aralık dönemlerinin analiz sonuçları değerlendirildiğinde; örneklenen su noktalarının farklı meteorik doğrular üzerinde kümelendikleri görülmektedir. Havzada örneklenen su noktalarının; Küresel Meteorik Su Doğrusu dışında; yaklaşık olarak döteryum fazlası +15 ve +5 olan iki farklı meteorik doğru üzerinde yer aldıkları görülmektedir (Şekil 6 ve Şekil 7).

Eylül 2019 döneminde örneklenen E14, MT-3, MT-1, P4, E7, S1, E12, E13, E5, E11, E15, E10 ve E23 su noktaları ise döteryum fazlası +10 olan Küresel Meteorik Su Doğrusu (KMSD) üzerinde yer almaktadır. Küresel Meteorik Su Doğrusu dünyadaki çeşitli yağış istasyonlarından elde edilen yağışların duraylı izotop içeriklerine göre belirlenmiştir (Craig, 1961). Bu verilere göre global ölçekte, eğimi 8 döteryum fazlası +10 olan lineer bir ilişki ile temsil edilen su doğrusu belirlenmiştir (Craig, 1961). Bu örneklerden yeraltısuyunu temsil eden su noktaları Yenidoğanlı bölgesindeki MT-1 ve MT-3 kuyuları ile Seyfe köyündeki E15 kuyusudur. Havzadaki eğimi 8 olan doğru üzerinde kümelenen bu su noktaları meteorik kökenli yağışlardan beslenmektedir. Ayrıca çalışma alanında Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı birimlerden çıkış yapan su noktalarının çoğunluğunun Küresel Meteorik Su Doğrusu üzerinde yer aldıkları görülmektedir.

DK ve Y1 su noktaları ise açık yüzeyden sürekli buharlaşma etkisi altında kalan su kütleleri olmaları nedeniyle Küresel Meteorik Su Doğrusundan sapma gösterip, eğimi yaklaşık olarak 5 olan buharlaşma eğrisi üzerinde yer almaktadır. Genellikle buharlaşma doğrusunun eğimi 4 ile 6 arasında değişmektedir (Clark ve Fritz, 1997). Buharlaşma doğrusunun eğimini buharlaşmanın olduğu andaki bağıl nem düzeyi, sıcaklık gibi faktörler belirlemekle birlikte, bağıl nem miktarı arttıkça doğrunun eğimi artmaktadır (Clark ve Fritz, 1997). Bağıl nem içeriğinin %25'den az olması durumunda buharlaşma doğrusunun eğimi 4'e yakın, bağıl nem içeriğinin %25 ile %75 arasında değişmesi durumunda ise doğrunun eğiminin 4 ile 5 arasında değişebileceği belirtilmektedir (Clark ve Fritz, 1997). Kırşehir Meteoroloji İstasyonu verilerine göre 1970'ten günümüze kadar ölçülmüş bağıl nem miktarı %60'tır. Dolayısıyla çalışma alanındaki DK ve Y1 örneklerinin üzerinde buldukları buharlaşma doğrusunun eğimi ile havza yakınlarında ölçülen bağıl nem içeriği uyumlu bir ilişki göstermektedir.

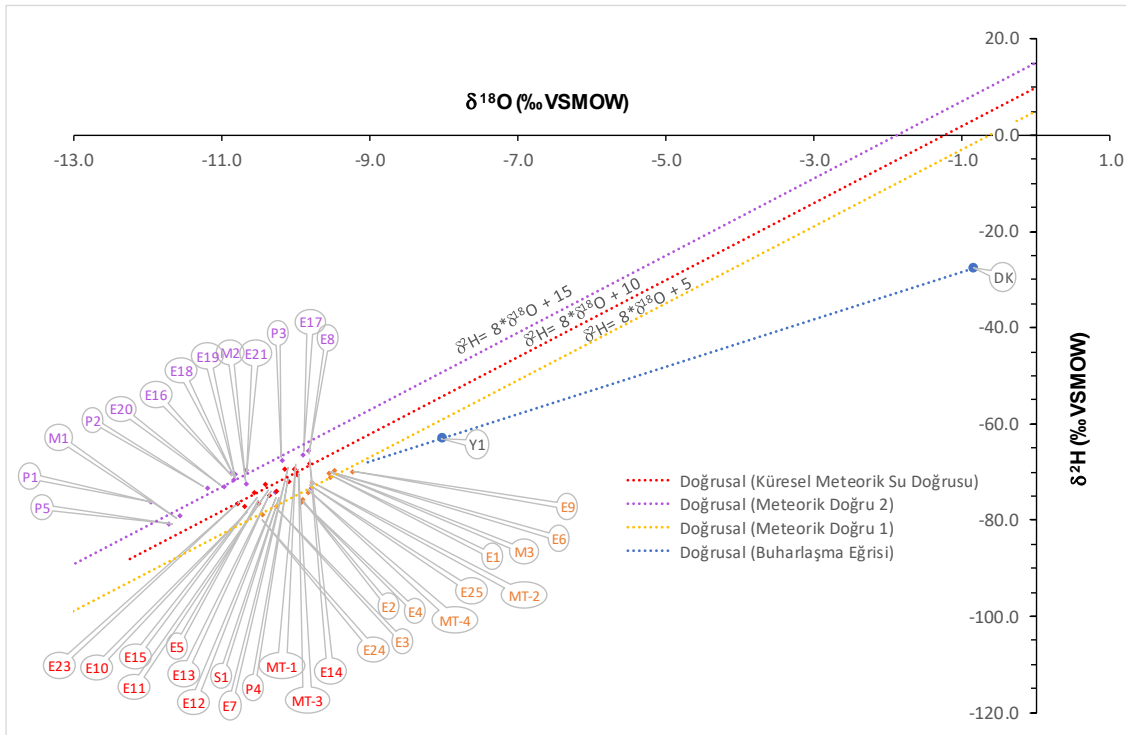
Havzada her iki dönemde de bazı su noktaları ise döteryum fazlası +5 olan meteorik doğru üzerinde yer almaktadır. Döteryum fazlası değerindeki azalmanın nedenini inceleyen çalışmalar değerlendirildiğinde; kurak yarı kurak iklim bölgelerinde bu duruma yol açan etkinin "bulut altı buharlaşması" olabileceği belirtilmektedir. Bulut altı buharlaşma etkisi; bulut tabanının altından düşen yağışın havada tekrar tekrar buharlaşmaya uğraması ve izotopik farklılaşması ile açıklanmaktadır. Bu sürecin yağışın ağır izotoplarca zenginleşmesine neden olduğu ve

düşük döteryum fazlası değerler göstermesi ile sonuçlandığı belirtilmektedir. (Froehlich vd., 2002; Gat, 2005; Peng vd., 2007; Delattre vd., 2015; Salamalikis vd., 2016; Bershaw, 2018).

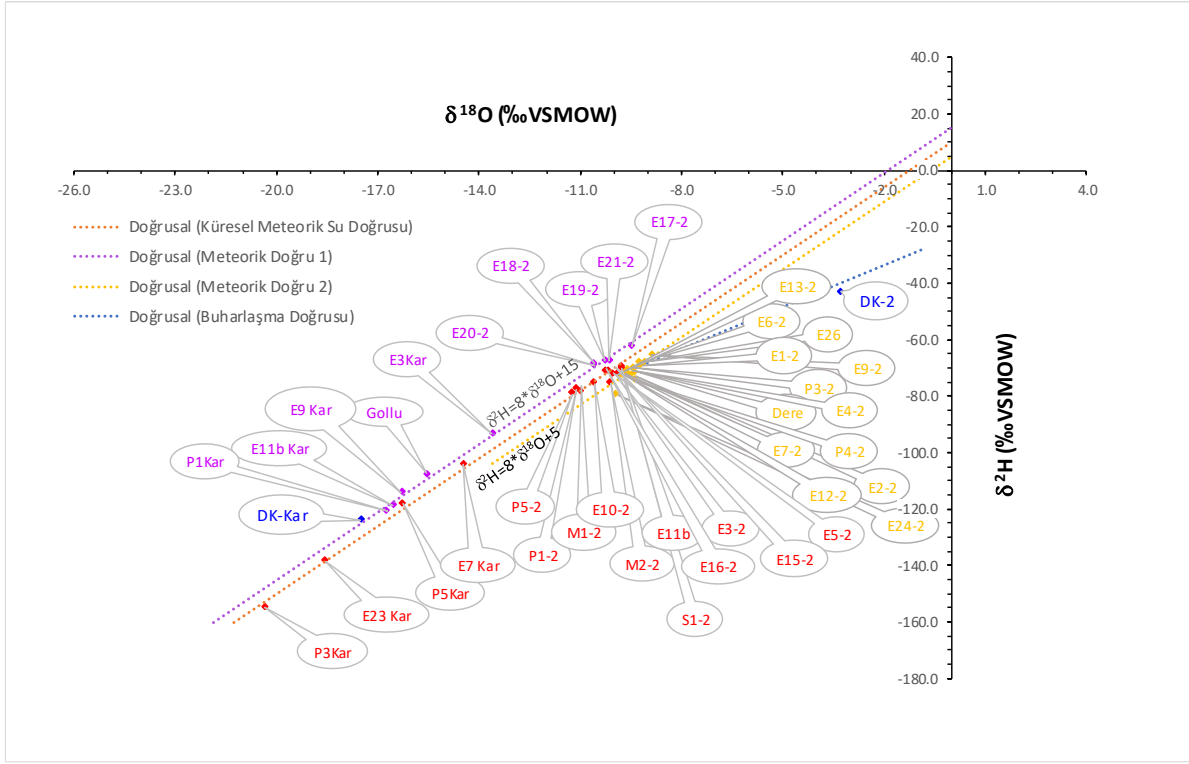
Dolayısıyla Seyfe Gölü havzasındaki bazı su noktalarının düşük döteryum fazlası değerleri; gerek havzanın kurak iklim koşullarında olması; gerekse yağışın düşerken havada tekrar tekrar buharlaşmaya uğraması ve ağır izotoplarca zenginleşmesi gibi süreçlerin etkisi altında olabileceğini düşündürmektedir. Bununla birlikte döteryum fazlalığındaki değişime neden olan süreçlerin kapsamlı olarak açıklanabilmesi için; havza için temsil edici yağış örneklemelerinin gerçekleştirilmesi ve yorumların analizlerle desteklenmesi gerekmektedir.

Her iki dönemde de havzada metamorfik birimleri temsil eden su noktaları (E8, E17, P3, E21, M2, E19, E18, E16, E20, P2, M1, P1, P5) döteryum fazlası 15 olan doğru üzerinde yer almaktadır. Döteryum fazlası değerler havzada örneklenen su noktaları için $Df = \delta^2H - 8 * \delta^{18}O$ eşitliğinden (Dansgaard, 1964) hesaplanmıştır. Döteryum fazlası değerler yağışı oluşturan buharlaşmanın kökenine işaret etmektedir (Gat vd., 1994). Ayrıca bu değerleri buharlaşma yüzeyinin sıcaklığı, rüzgar hızı ve nem içeriği miktarı gibi faktörler kontrol etmektedir (Froehlich vd., 2002). Döteryum fazlası yüksek değerler denizel kökenli yağışları gösterirken, döteryum fazlası düşük değerler karasal kökenli yağışları göstermektedir (Clark ve Fritz, 1997). Aynı yağış rejiminden etkilenen suların döteryum fazlası değerleri birbirlerine yakın değerler göstermektedir (Froehlich vd., 2002). Buna göre havzadaki su kaynaklarının farklı hatlar üzerinde kümelenmeleri nedeniyle alanda farklı kökenli yağış rejimlerinin hakim olabileceği düşünülmektedir. Dolayısıyla aynı meteorik su doğrusu üzerinde bulunan su noktalarının benzer kökenli yağışlardan beslendikleri, farklı hatlara düşen su kaynaklarının ise farklı yağış rejimleriyle temsil edildikleri düşünülmektedir. Eylül-2019 ve Aralık-2019 analiz sonuçları değerlendirildiğinde havza batısını temsil eden meteorik doğrunun $\delta^2H = 8 * \delta^{18}O + 15$ şeklinde yazılabileceği düşünülmektedir. Ayrıca diğer örneklemeye noktalarına göre daha yüksek döteryum fazlasına sahip olunması, havza batı-kuzeybatısının; doğusuna göre daha farklı bir topografya, iklim koşulları veya farklı bir yağış rejimi ile temsil edildiğini düşündürmektedir. Bu durum havza batısının denizel kökenli yağışların etkisinde olduğu, buharlaşmanın hızlı ve ortamdaki nem düzeyinin düşük olduğunu göstermektedir.

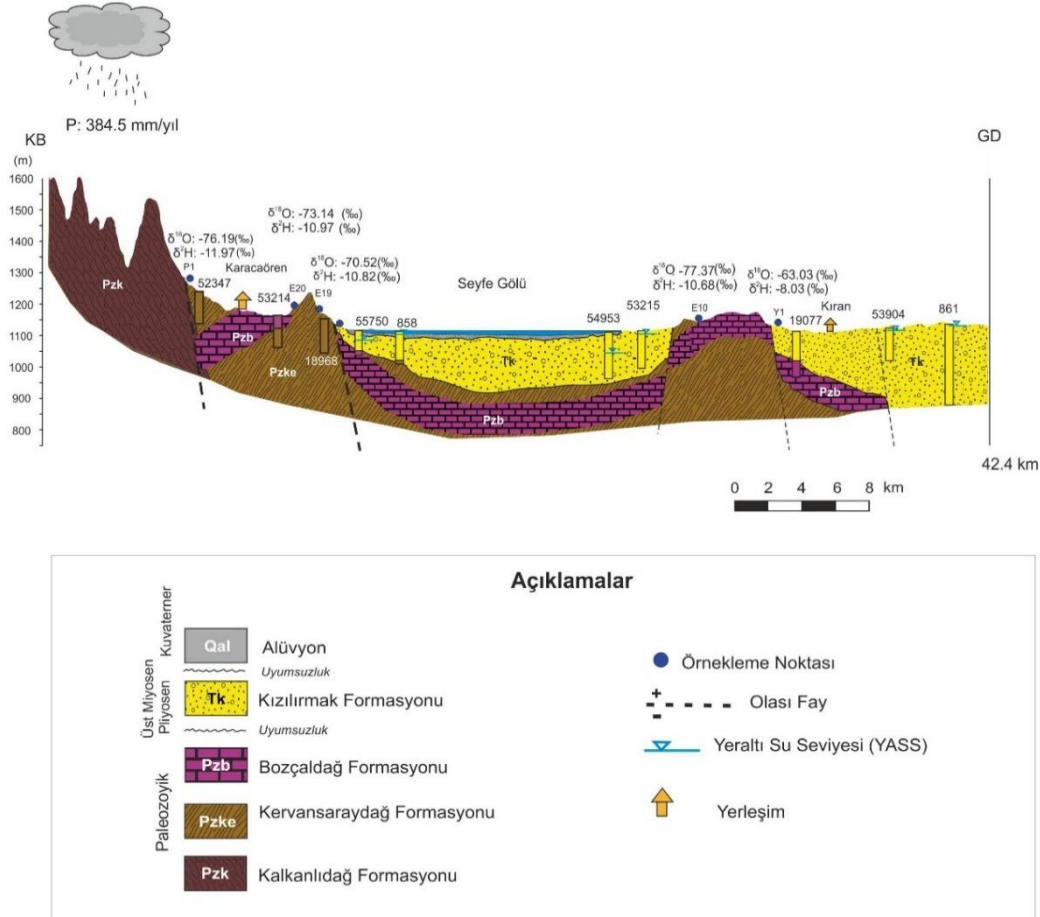
Çalışma alanındaki döteryum fazlası +15 ve +15'e yakınsayan değerlere sahip su noktaları genellikle havzanın batı-kuzeybatısında yer almaktadır. Döteryum fazlası +15 olan doğru üzerinde yer alan P1, P5 ve M1 kaynakları ise havzanın en yüksek kotlarını temsil etmektedir. Bu kaynaklar diğer su noktalarına göre daha yüksek kotlarda yer almaktadır ve yükseltiye bağlı olarak $\delta^{18}O$ içerikleri daha negatiftir (Şekil 6, Şekil 7). Dolayısıyla bu su noktalarının beslenme alanı yükseltileri diğer su noktalarına göre daha yüksektir. Ayrıca havzanın doğusundan batı-kuzeybatısına doğru akım yolu boyunca yükseltinin artmasıyla birlikte su noktalarının Oksijen-18 ve Döteryum içeriklerinin negatifleştiği görülmektedir (Şekil 8).



Şekil 6. Havzadaki su noktalarının $\delta^{18}O$ ve δ^2H grafiği, Eylül-2019 (Plot of stable isotope contents ($\delta^{18}O$ ve δ^2H) of the water samples in the basin, September-2019)



Şekil 7. Havzadaki su noktalarının $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ grafiği, Aralık-2019 (Plot of stable isotope contents ($\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$) of the water samples in the basin, December-2019)



Şekil 8. Havzanın KB-GD hattında şematik izotopik değişim (Schematic representation of the change in stable isotope contents from NW to SE of the basin)

Tablo 3. Seyfe Gölü havzasındaki örnekleme noktalarının yerinde ölçümleri, Eylül 2019 (Insitu measurements of the water samples in the Seyfe Lake basin, September 2019)

ÖRNEK NO	X	Y	YÜKSELTİ (m)	T	pH	ÖEİ ²⁵ (µS/cm)
P1	605156	4340698	1370	15.7	8.02	410
P2	603666	4349747	1240	17.6	7.32	710
P3	605284	4351136	1220	15.8	7.84	370
P4	599847	4358648	1190	16.2	7.52	810
P5	597851	4364038	1328	15.9	7.39	550
E1	609035	4349498	1155	19.4	7.86	460
E2	609110	4361089	1144	18.2	7.51	910
E3	598788	4368698	1260	14.8	7.58	720
E4	598155	4368843	1230	18.3	7.65	630
E5	598819	4368745	1265	16.4	7.73	720
E6	604037	4368211	1228	19.9	7.65	680
M1	611807	4367723	1285	14.5	7.79	640
M2	614056	4366218	1215	15.3	7.55	760
E7	614936	4351591	1142	20.7	7.86	690
E8	615409	4344250	1120	20.3	7.74	640
E9	621977	4334584	1121	17.4	7.84	540
M3	621810	4334070	1127	16.3	7.78	550
E10	625560	4333087	1200	17.6	7.77	780
Y1	628030	4334549	1119	19.9	8.05	1330
S1	636184	4327195	1142	21.2	7.2	3400
E11	641503	4319309	1187	16.3	7.93	660
E12	643866	4317658	1228	14.5	7.73	690
E13	631372	4324354	1204	19.5	7.96	670
E14	615615	4344289	1118	20.5	7.8	640
E15	615029	4339571	1131	16.2	8.25	740
E16	615133	4336386	1188	18	7.78	750
E17	613930	4336540	1194	17.2	7.85	820
E18	612891	4336936	1238	17.6	7.48	870
E19	610775	4338976	1216	18.4	7.74	510
E20	609570	4340156	1215	17.8	7.71	540
E21	609065	4342152	1200	17.3	7.81	530
MT-1	615820	4350596	1133	15.9	7.62	1730
MT-2	615813	4350581	1114	16.1	7.54	2010
MT-3	615790	4350582	1120	16.3	7.54	2000
MT-4	615869	4350611	1116	15.8	7.52	2340
E23	617234	4363173	1163	17.5	7.85	690
E24	621376	4362765	1176	16.3	7.15	1460
E25	643158	4332052	1126	15.2	7.84	950
DK	633231	4340043	1108	19.7	8.65	30500

Tablo 4. Seyfe Gölü havzasındaki örneklenen su noktalarının duraylı izotop içerikleri, Eylül 2019 (Stable isotope contents of the water samples in Seyfe Lake basin, September 2019)

ÖRNEK NO	$\delta^2\text{H}$ (‰VSMOW)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰VSMOW)	DÖTERYUM FAZLASI (DF)	YÜKSELTİ (m)	YERLEŞİM
P1	-76.19	-11.37	14.8	1370	Boztepe yolu
P2	-73.39	-11.2	16.2	1240	Çimeli
P3	-67.54	-10.19	14.0	1220	Çimeli
P4	-72.23	-10.09	8.5	1190	Kırkpınar
P5	-80.88	-11.72	12.9	1328	Hamurlu Besler
E1	-71.13	-9.53	5.1	1155	Külhüyük
E2	-76.54	-9.91	2.7	1144	Harmanaltı
E3	-77.17	-10.25	4.8	1260	Yukarı Hamurlu
E4	-76	-9.89	3.1	1230	Yukarı Hamurlu
E5	-76.65	-10.5	7.3	1265	Yukarı Hamurlu
E6	-70.33	-9.55	6.1	1228	Kartalkaya
M1	-79.12	-11.56	13.4	1285	Göllü
M2	-72.53	-10.67	12.8	1215	Uzunpınar
E7	-69.67	-10.13	11.4	1142	Yenidoğanlı
E8	-65.66	-9.83	13.0	1120	Eskidoğanlı
E9	-70.04	-9.23	3.8	1121	Yazıkınık
M3	-69.76	-9.46	5.9	1127	Yazıkınık
E10	-77.37	-10.68	8.1	1200	Budak
Y1	-63.03	-8.03	1.2	1119	Geyicek
S1	-74.24	-10.25	7.8	1142	Büyükburunağıl
E11	-72.63	-10.39	10.5	1187	İlice
E12	-74.19	-10.28	8.1	1228	Avuç
E13	-74.95	-10.35	7.8	1204	Obruk
E14	-68.47	-9.81	10.0	1118	Eskidoğanlı
E15	-74.35	-10.54	10.0	1131	Seyfe
E16	-70.24	-10.88	16.8	1188	Gümüşkumbet
E17	-66.45	-9.9	12.8	1194	Dalakçı
E18	-71.75	-10.83	14.9	1238	Dalakçı
E19	-70.52	-10.82	16.0	1216	Karacaören
E20	-73.14	-10.97	14.6	1215	Karacaören
E21	-69.69	-10.66	15.6	1200	Karacaören
MT-1	-69.57	-10	10.4	1133	Yenidoğanlı
MT-2	-72.5	-9.77	5.7	1114	Yenidoğanlı
MT-3	-70.72	-9.97	9.0	1120	Yenidoğanlı
MT-4	-74.33	-9.82	4.2	1116	Yenidoğanlı
E23	-76.79	-10.77	9.4	1163	H.Öksüz kale
E24	-79.14	-10.43	4.3	1176	Üçkuyu Köyü
E25	-73.35	-9.79	5.0	1126	Hasanlar
DK	-27.61	-0.86	-20.73	1108	Drenaj Kanalı
Minumum	-80.88	-11.97	-20.7	1108	
Maksimum	-27.61	-0.86	16.8	1370	
Ort.Hata Payı	0.41	0.07			

Tablo 5. Seyfe Gölü havzasındaki su noktalarının yerinde ölçüm değerleri, Aralık 2019 (Insitu measurements of the water samples in the Seyfe Lake basin, December 2019)

ÖRNEK NO	X	Y	YÜKSELTİ (m)	T	pH	ÖEİ 25° (µS/cm)
P1/2	605156	4340698	1370	9.1	7.65	291
P1 Kar	605156	4340698	1390	-	*6.86	*62
P3/2	605284	4351136	1220	10.06	7.43	405
P3 Kar	605284	4351136	1220	-	*7.11	*52
P4/2	599847	4358648	1190	12.97	7.56	598
P5/2	597851	4364038	1328	11.95	7.25	406
P5 Kar	597851	4364038	1328	-	*7.18	*47
E1/2	609035	4349498	1155	4.05	6.38	412
E2/2	609110	4361089	1144	8.62	7.44	642
Dere	609058	4361074	1145	2.01	8.39	825
E3/2	598788	4368698	1260	12.37	7.65	515
E3 Kar	598788	4368698	1260	-	*7.34	*32
E4/2	598155	4368843	1230	8.73	7.43	446
E5/2	598819	4368745	1265	10.96	7.50	531
E6/2	604037	4368211	1228	12.37	7.65	515
M1/2	611807	4367723	1285	12.05	7.65	580
Göllü Kar	611807	4367723	1285	-	*7.06	*38
M2/2	614056	4366218	1215	12.21	7.47	538
E7/2	614936	4351591	1142	5.86	7.60	1029
E7 Kar	614931	4351599	1142	-	*6.83	*182
E9/2	621977	4334584	1121	10.57	7.56	396
E9 Kar	622321	4331721	1168	-	*7.17	*40
E10/2	625560	4333087	1200	6.27	7.67	514
S1/2	636184	4327195	1142	4.3	7.20	2733
E11/B Kar	641133	4319169	1188	-	*7.25	*47
E11/B	641133	4319169	1188	8.71	7.35	634
E12/2	643866	4317658	1228	11.38	7.57	503
E13/2	631372	4324354	1204	8.74	7.79	498
E15/2	615029	4339571	1131	15.02	7.87	541
E16/2	615133	4336386	1188	6.45	8.27	527
E17/2	613930	4336540	1194	6.03	7.67	587
E18/2	612891	4336936	1238	6.66	7.28	644
E19/2	610775	4338976	1216	6.46	7.63	356
E20/2	609570	4340156	1215	6.58	7.22	402
E21/2	609065	4342152	1200	9.53	7.32	390
E23 Kar	617638	4363257	1183	-	*6.94	*45
E24/2	621376	4362765	1176	13.66	7.09	1050
E26	615533	4344035	1120	8.66	7.57	452
DK/2	633231	4340043	1108	4.13	8.61	29850
DK/Kar	633231	4340043	1108	-	*8.02	*65

(*Labda ölçülmüştür.)

Tablo 6. Seyfe Gölü havzasında örneklenen su noktalarının duraylı izotop içerikleri, Aralık 2019 (Stable isotope contents of the water samples in Seyfe Lake basin, December 2019)

ÖRNEK NO	$\delta^2\text{H}$ (‰VSMOW)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰VSMOW)	DÖTERYUM FAZLASI (DF)	YÜKSELTİ (m)	YERLEŞİM
P1/2	-77.42	-11.1	11.4	1370	Boztepe
P1 Kar	-120.7	-16.72	13.1	1390	Boztepe
P3/2	-70.12	-9.44	5.4	1220	Çimeli
P3Kar	-154.92	-20.32	7.6	1220	Çimeli Kar
P4/2	-74.25	-9.4	1.0	1190	Kırkpınar
P5/2	-79.01	-11.26	11.1	1328	Hamurlu Besler
P5 Kar	-118	-16.26	12.1	1328	Hamurlu Besler
E1/2	-69.03	-9.23	4.8	1155	Külhüyük
E2/2	-72.75	-9.5	3.3	1144	Harmanaltı
Dere	-71.56	-9.38	3.5	1145	Kepir Dere
E3/2	-72.27	-9.89	6.9	1260	Yukarı Hamurlu
E3Kar	-93.27	-13.59	15.5	1260	Yukarı Hamurlu
E4/2	-70.56	-9.59	6.2	1230	Yukarı Hamurlu
E5/2	-71.19	-10.15	10.0	1265	Yukarı Hamurlu
E6/2	-67.78	-9.1	5.0	1228	Kartalkaya
M1/2	-78.05	-10.98	9.8	1285	Göllü
Göllü Kar	-107.9	-15.55	16.5	1285	Göllü Kar
M2/2	-75.07	-10.11	5.8	1215	Uzunpınar
E7/2	-71.88	-9.62	5.1	1142	Yenidoğanlı
E7 Kar	-103.97	-14.46	11.7	1142	Yenidoğanlı Kar
E9/2	-65.33	-8.85	5.5	1121	Yazıkınık
E9 Kar	-113.83	-16.28	16.4	1168	Yazıkınık Kar
E10/2	-75.15	-10.58	9.5	1200	Budak
S1/2	-69.51	-9.78	8.7	1142	Büyükburunağıl
E11b Kar	-118.62	-16.53	13.6	1188	İlice
E11b	-70.09	-9.79	8.2	1188	İlice/b
E12/2	-71.52	-9.68	5.9	1228	Avuç
E13/2	-72.74	-9.83	5.9	1204	Obruk
E15/2	-71.83	-10.03	8.4	1131	Seyfe
E16/2	-70.77	-10.26	11.3	1188	Gümüşkümbet
E17/2	-62.03	-9.47	13.7	1194	Dalakçı
E18/2	-68.3	-10.59	16.4	1238	Dalakçı
E19/2	-67.25	-10.27	14.9	1216	Karacaören
E20/2	-68.97	-10.59	15.8	1215	Karacaören
E21/2	-67.55	-10.14	13.6	1200	Karacaören
E23 Kar	-138.45	-18.56	10.0	1183	Hatunoğlu
E24/2	-79.16	-9.96	0.5	1176	Üçkuyu Köyü
E26	-68.15	-9.28	6.1	1120	Eskidoğanlı
DK/2	-42.89	-3.29	-16.6	1108	Drenaj kanalı
DK/Kar	-123.98	-17.47	15.78	1108	Drenaj kanalı
Minimum	-154.92	-20.32	-16.57	1108	
Maksimum	-42.89	-3.29	16.50	1390	
Ort. Hata Payı	0.59	0.08			

4.5. Oksijen-18 Beslenme Alanı Yükseltisi İlişkisi (Relationship Between Oxygen18 and Recharge Elevation)

İzotop hidrolojisi çalışmalarında havza ölçeğinde çeşitli su noktalarından gerçekleştirilen örneklemelerde kaynakların, yeraltısularının hangi yükseltilerden beslendiği ve yükselti ile duraylı izotop içeriklerinin nasıl değiştiğinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Bu süreçlerin belirlenmesinde Oksijen-18 duraylı izotopundan yararlanılmaktadır.

Yağıştan itibaren beslenme gerçekleştiği sonra, suyun akifer içerisindeki hareketi sırasında sıcaklıkta belirgin bir değişim olmadığı sürece duraylı Oksijen-18 izotopu içeriğinde bir farklılaşma görülmediği belirtilmektedir (Dansgaard, 1964). Dolayısıyla bu durumda boşalım noktasında örneklenen suyun duraylı oksijen izotopu içeriği beslenme koşullarındaki izotop içeriğini yansıtmaktadır. Bu nedenle bu çalışma kapsamında örneklenen su noktalarının beslenme alanı yükseltisi hesaplamalarında Oksijen-18 izotopu kullanılmıştır.

Bu çalışma kapsamında yağış verilerinin yetersiz olması nedeniyle Oksijen-18'in yükselti ile değişim oranı,

mevsimsel örneklenen kaynak çıkışları dikkate alınarak belirlenmiştir.

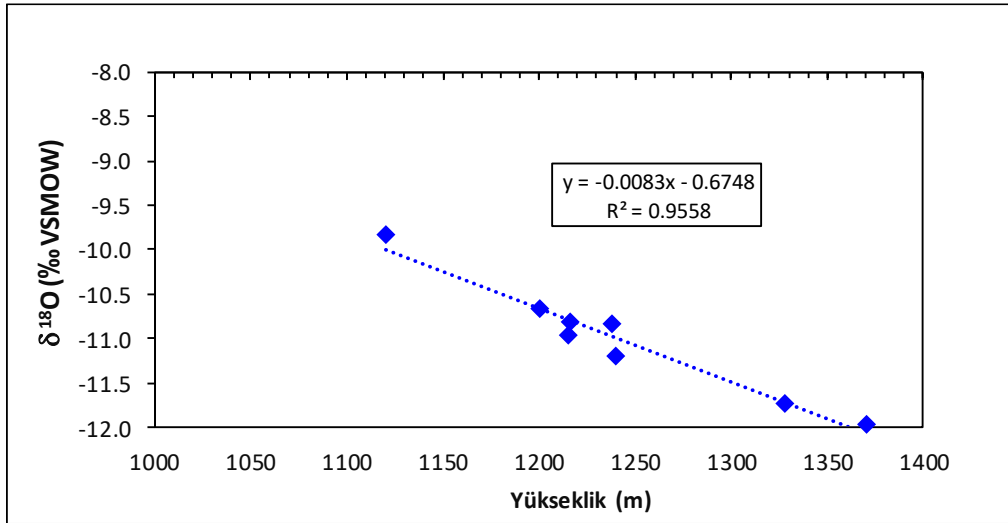
Genellikle yapılan çalışmalarda her 100 m'lik yükselti artışına, Oksijen-18 içeriğindeki fakirleşme miktarı ‰ 0.15 ile ‰ 0.50 arasında değişmektedir. Döteryum içeriğindeki fakirleşme ise ‰1.0 ile ‰ 4.0 arasındadır (Clark ve Fritz, 1997).

Havzadaki örneklerin gruplandırılması için eğimi 8 olan Küresel Meteorik Su Doğrusu temel alınmıştır. Buna göre farklı meteorik doğrular üzerinde kümelenmeler olduğu görülmüştür. Bu nedenle örneklerin beslenme alanı hesaplamalarında çeşitli gruplar belirlenmiştir. 1. grup için havzanın batısında +15 döteryum fazlası doğru üzerinde kümelenen, düşük debili akış yapan, metamorfik birimlerden çıkış yapan ve düşük elektriksel iletkenlik değerine sahip (P1, P2, P5, E8, E18, E19, E20 ve E21) su noktaları seçilmiştir (Şekil 9). Bu su noktaları ile yükseltiye karşılık Oksijen-18 ve Döteryum değişimini ifade eden regresyon eşitlikleri türetilmiştir. Havza genelinde Oksijen-18 izotopu ile türetilen regresyon eşitlikleri kaynak çıkış kotu ile beslenme alanı yükseltisi açısından daha anlamlı bir ilişki sunmuştur.

Havzanın batısı için Oksijen-18 ve Döteryum yükseklik ilişkilerine göre türetilen regresyon eşitlikleri aşağıda verilmiştir (Eşitlik 1 ve Eşitlik 2).

$$\delta^{18}\text{O} = -0.0083 * \text{Yükseklik}(h) - 0.6748 \quad (R^2=0.96) \quad (1)$$

$$\delta^2\text{H} = -0.0522 * \text{Yükseklik}(h) - 7.9125 \quad (R^2=0.79) \quad (2)$$

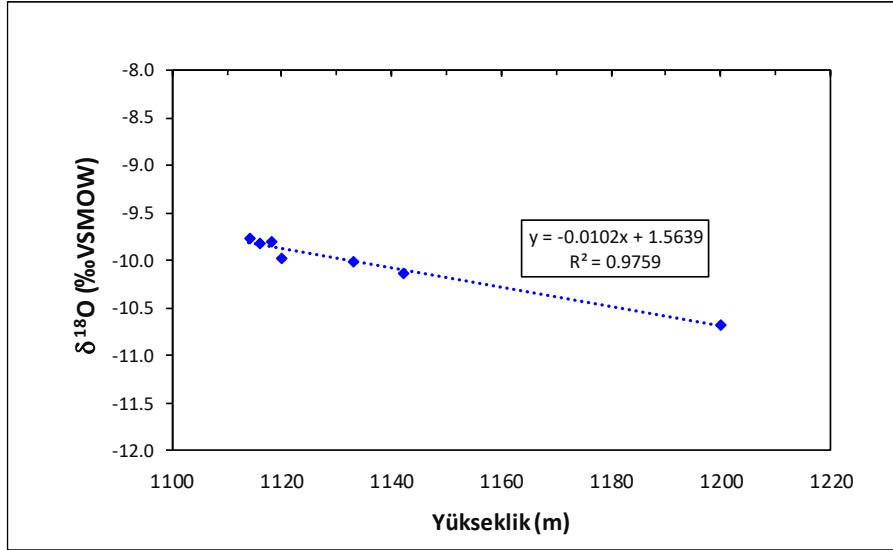


Şekil 9. Havzanın batısı için yükseklik-Oksijen-18 ilişkisi (Relationship between elevation and Oxygen18 for the western part of the basin)

Buna göre havzanın batısını temsil eden regresyon eşitliğine göre her 100 m'lik yükseklik artışına bağlı olarak ¹⁸O içeriğindeki azalmanın ‰ 0.8; ²H içeriğindeki azalmanın ise ‰ 5.2 oranında olduğu hesaplanmıştır. Havzanın batısında yer alan su kaynakları için türetilen Oksijen 18- yükseklik ilişkili regresyon eşitlikleri ile hesaplanan beslenme alanı yükselti hesaplamalarına göre; kaynakların, havzanın batı-güneybatı hattını sınırlandıran Kervansaray Dağları'nın 1200 m ile 1350 m arasında değişen yükseltilerinden beslenebilecekleri belirlenmiştir.

Çalışma alanı içerisinde Yenidoğanlı-Eskidoğanlı-Seyfe-Gümüşkumbet-Budak köylerinden geçen K-G uzanımlı olası gömülü fay hattının bulunduğu ve Seyfe Gölü havzasını besleyen ana kaynakların (Seyfe, Horla, Yenidoğanlı) fay hattı boyunca sıralandıkları literatürdeki çalışmalarda (DSİ, 1979; DSİ, 2004; MTA, 2009) belirtilmiştir. Bu kapsamda gerçekleştirilen arazi çalışmalarında 2. grup olarak K-G hattını temsil ettiği düşünülen E7, E10, E14, MT-1, MT-2, MT-3 ve MT-4 su noktaları seçilmiş ve örneklenmiştir. Bu su noktaları kuzey güney hattı boyunca yüzeyleşmişlerdir. Havzanın kuzey-güney bölümü için seçilen su noktaları ile türetilen Oksijen-18 yükseklik değişimini ifade eden regresyon eşitliği aşağıda verilmiştir (Eşitlik 3).

$$\delta^{18}\text{O} = -0.0102 * \text{Yükseklik}(h) + 1.5639 \quad (R^2=0.98) \quad (3)$$



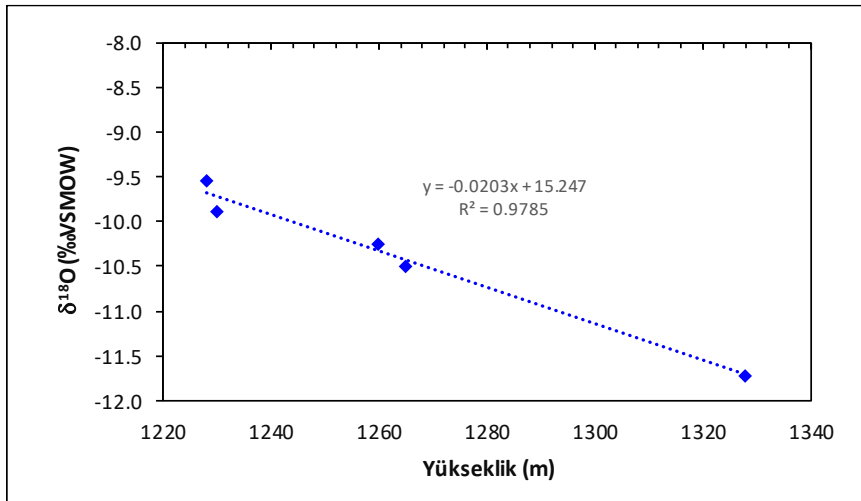
Şekil 10. Havzanın orta kesimi için yükseklik-Oksijen-18 ilişkisi (Relationship between elevation-Oxygen-18 for the middle section of the basin)

Buna göre havzanın orta kesimlerini temsil eden regresyon eşitliğine göre her 100 m' lik kot artışına bağlı olarak $\delta^{18}\text{O}$ içeriğindeki azalmanın ‰ 1.02 olduğu hesaplanmıştır (Şekil 10). Bu kaynakların ortalama beslenme alanı yükselteleri ise 1111 m ile 1197 m arasında değişmektedir.

Havzanın en yüksek yeri olan kuzeybatı bölümündeki (Hamurlubeşler ve Yukarı Homurlu) kaynak çıkışlarını temsil eden 3. grup ise E3, E4, E5, E6 ve P5 su noktaları olarak seçilmiştir. Kaynakların Oksijen-18 ile yükseltiyeye bağlı değişimini ifade eden regresyon eşitlikleri aşağıda verilmiştir (Eşitlik 4 ve Eşitlik 5).

$$\delta^{18}\text{O} = -0.0203 * \text{Yükseklik (h)} + 15.247 \quad (R^2 = 0.98) \quad (4)$$

$$\delta^2\text{H} = -0.0786 * \text{Yükseklik(h)} + 22.938 \quad (R^2 = 0.79) \quad (5)$$



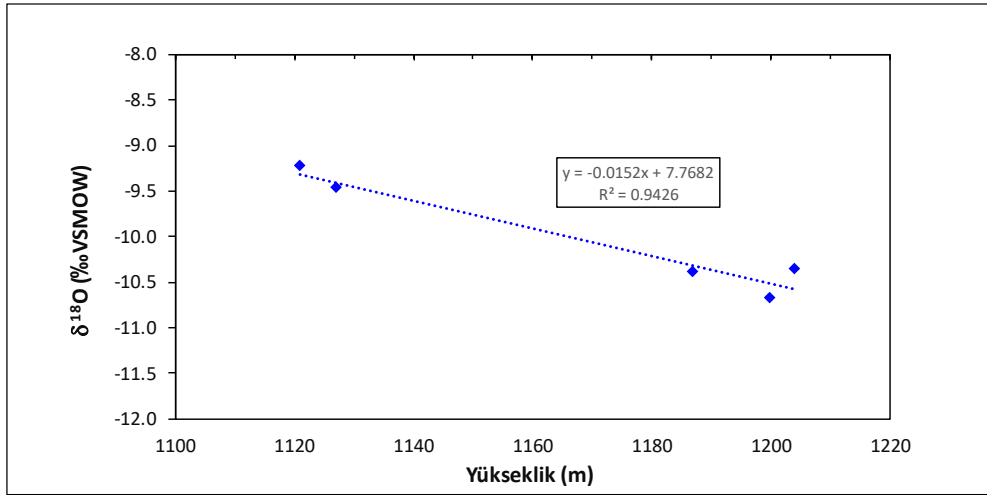
Şekil 11. Havzanın kuzeybatısı için yükseklik-Oksijen-18 ilişkisi (Relationship between elevation-Oxygen-18 for the northwestern part of the basin)

Bu örneklerin Oksijen-18 içerikleri ile yükseltiyeye bağlı değişimleri incelendiğinde her 100 m' lik kot artışına bağlı olarak $\delta^{18}\text{O}$ içeriğindeki azalmanın ‰ 2.03 olduğu; ^2H içeriğindeki azalmanın ise ‰ 7.86 oranında olduğu hesaplanmıştır (Şekil 11). Bu kaynakların ortalama beslenme alanı yükselteleri ise 1222 m ile 1327 m arasında değişmektedir.

Havzanın güney-güneybatı kesimindeki kaynak çıkışlarını temsil eden 4. grup ise E9, E10, E11, E13 ve M3 su noktalarıdır. Bu hattı temsil eden su kaynakları için regresyon eşitlikleri türetilmiştir (Eşitlik 6 ve Eşitlik 7).

$$\delta^{18}\text{O} = -0.0152 * \text{Yükseklik(h)} + 7.7682 \quad (R^2=0.94) \quad (6)$$

$$\delta^2\text{H} = -0.0722 * \text{Yükseklik(h)} + 11.417 \quad (R^2=0.81) \quad (7)$$



Şekil 12. Havzanın güneyi için yükseklik-Oksijen-18 ilişkisi (Relationship between elevation-Oxygen-18 for the southern part of the basin)

Bu örneklerin Oksijen-18 içerikleri ile yükseltiye bağlı değişimleri incelendiğinde ise her 100 m' lik kot artışına bağlı olarak ¹⁸O içeriğindeki azalmanın ‰ 1.5 olduğu; ²H içeriğindeki azalmanın ise ‰ 7.22 oranında olduğu hesaplanmıştır (Şekil 12). Bu kaynaklar için ortalama beslenme alanı yükseltisi; havzanın güneybatısını sınırlayan Bozdağlar'ın 1119 m ile 1208 m arasında değişen yükseklikleri olarak belirlenmiştir.

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışmada 1447 km²'lik Seyfe Gölü sulak alanı havzasındaki su kaynaklarının duraylı izotop içerikleri incelenmiştir. Havza ölçeğinde yüzey drenaj alanı içerisinde yer alan su noktalarından 2019 Eylül ve 2019 Aralık dönemlerinde izotop örneklemeleri gerçekleştirilmiştir. Örneklenen su noktalarının havza içerisindeki izotop içeriklerinin oransal değişimi, beslenme alanı yükseltilerinin hesaplanması, farklı kökenli suların ayırtlanması ve hidrojeolojik süreçlerin açıklanmasına yönelik değerlendirmeler yapılmıştır.

Havzada yüzeyleyen jeolojik birimler suyu taşıma ve iletme özellikleri göre geçirimli, yarıgeçirimli ve geçirimsiz birimler olarak sınıflandırılmıştır. İkincil gözeneklilik kazanmış Paleozoyik yaşlı mermer birimlerin kırıklı ve çatlaklı seviyeleri akifer özelliği göstermektedir.

Duraylı izotop içeriklerine göre su örnekleri 3 farklı şekilde kümelenmişlerdir. Havzanın batısındaki Paleozoyik yaşlı şistler, kristalen kireçtaşları ve mermer birimleri temsil eden su noktaları ile kar örneklerinin çoğunluğu her iki dönemde de döteryum fazlası +15 olan doğru üzerinde dizilmişlerdir. Diğer iki meteorik doğruya göre döteryum fazlası daha yüksek olan +15 doğrusu havzanın batısını temsil etmektedir. Dolayısıyla Seyfe Gölü havzasının batı kısmını temsil eden meteorik su doğrusunun +15 döteryum fazlasıyla $\delta^2\text{H} = 8 * \delta^{18}\text{O} + 15$ şeklinde olabileceği düşünülmektedir. Bu durum havza batısının denizel kökenli yağışların etkisinde olduğunu, buharlaşmanın hızlı ve ortamdaki nem düzeyinin düşük olduğunu göstermektedir.

Havzanın batı-kuzeybatısındaki Paleozoyik metamorfik birimleri temsil eden kaynakların ¹⁸O içerikleri, diğer su noktalarına göre daha negatif oldukları için beslenimlerinin daha yüksek kotlardan gerçekleştiği hesaplanmıştır.

Kış yağışlarını temsil eden kar örneklemeleri, döteryum fazlası+15 olan yerel meteorik su doğrusu üzerinde, bir kısmı ise Küresel Meteorik Su Doğrusu üzerinde yer almaktadırlar. Kar yağışlarını temsil eden örneklerin Oksijen-18 ve Döteryum içeriklerinin daha negatif olduğu, diğer su noktalarına göre meteorik eğrilerin alt kısımlarında kış yağışlarını temsil eden bölgede yer aldıkları görülmektedir.

DK ve Y1 su noktaları ise açık yüzeyden sürekli buharlaşma etkisi altında kalan, eğimi 5 olan buharlaşma doğrusu üzerinde kalan su noktalarıdır. DK ve Y1 örneklerinin üzerinde buldukları buharlaşma doğrusunun eğimi ile havza yakınlarında ölçülen bağıl nem içeriği uyumlu bir ilişki göstermektedir.

Havzadaki bir grup kaynaklar ise döteryum fazlası +5 olan meteorik doğru üzerinde yer almaktadır. Düşük döteryum fazlası değerlerin havzanın gerek kurak iklim koşullarında olması; gerekse düşen yağışın tekrar tekrar

buharlaşmaya uğraması ve ağır izotoplarca zenginleşmesi şeklinde olabileceği düşünülmektedir. Yine havzadaki bu kaynakların döteryum fazlası değerlerinin düşük olması karasal ortamda gerçekleşen yağışı oluşturan buharlaşmanın yavaş, ortamdaki nem içeriğinin ise yüksek olduğuna işaret etmektedir.

Çalışma alanındaki duraylı izotop içerikleri incelendiğinde; havzanın doğusundan batı-kuzeybatısına doğru akım yolu boyunca yükseltinin artmasıyla birlikte su noktalarının Oksijen-18 ve Döteryum içeriklerinin negatifleştiği görülmektedir.

Yeraltısularını temsil eden Yenidoğanlı bölgesindeki MT-1 ve MT-3 kuyuları ile Seyfe köyü yakınlarındaki E15 kuyusu benzer (meteorik) kökenli yağışlardan beslenen, buharlaşma etkisi görülmeyen ve Küresel Meteorik Su Doğrusu üzerinde kümelenen su noktalarıdır.

Havzanın kuzeybatısından, güneydoğusuna doğru gidildikçe her 100 metrede yükseltiye bağlı Oksijen-18 içeriğinin değiştiği belirlenmiştir. Havzanın kuzeybatısında her 100 metre için bu değer ‰ 2.03, batısında ‰ 0.08; havza ortalarında 1.03; güneybatısında ise ‰ 1.5 olarak hesaplanmıştır.

Gerçekleştirilen çalışmada Seyfe Gölü havzasındaki hidrojeolojik süreçlerin anlaşılması ve hidrodinamik yapının kavramsallaştırılmasına yardımcı olacak duraylı izotop tekniklerinden yararlanılmıştır. Bu kapsamda kavramsallaştırma çalışmaları için hidrostratigrafik birimlerin beslenme alanları ile su noktalarının yükseltiye bağlı olarak duraylı izotop içeriklerindeki değişimlerin belirlenmesi oldukça önemlidir. Bu amaçla havzadaki su noktalarının farklı mevsimsel dönemlerde izotop içeriklerindeki değişimlerinin belirlenebilmesi için yağış, kaynak, kanal ve kuyulardan örneklemelere devam edilmesi gerekmektedir. Ayrıca havza için bu çalışma kapsamında gerçekleştirilemeyen trityum analizlerinin ileriki dönemlerde gerçekleştirilmesi planlanmaktadır. Dolayısıyla çevresel (duraylı ve duraysız) izotop içeriklerinin birlikte değerlendirilmesi ile çalışmanın geliştirilebileceği düşünülmektedir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Çalışma yazarın doktora tez çalışmasının bir bölümünü oluşturmaktadır. Yazar Hacettepe Üniversitesi Uluslararası Karst Uygulama ve Araştırma Merkezi Duraylı İzotop Laboratuvarında gerçekleştirilen duraylı izotop analizleri ve makale yazımı sırasındaki öneri ve görüşleri için Dr. Öğr. Üyesi Türker Kurttaş'a teşekkür eder. Ayrıca makale metninin son halini almasındaki katkılarından dolayı editör ve hakemlere teşekkür eder.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the author.

Kaynaklar (References)

- Bershaw, J., 2018. Controls on Deuterium Excess across Asia. *Geosciences*, 8, (7), 257.
- Clark, I., Fritz, P., 1997. *Environmental Isotopes in Hydrogeology*. Second Edition, Lewis Publisher.
- Craig, H., 1961. Isotopic Variations in Meteoric Waters. *Science*, 133, 1702-1703.
- Çelik, M., Ünsal, N., Tüfenkçi, O., Bolat, S., 2008. Assessment of Water Quality and Pollution of the Lake Seyfe basin, Kırşehir, Turkey. *Environmental Geology*, (55), 559-569.
- Çiftçi, E., 2013. Seyfe Gölü Havzası'nda (Kırşehir) Doğal Ortam-Yeraltısuyu ilişkisi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- Dansgaard, W., 1964. Stable Isotopes in Precipitation. *Tellus*, 16, 436-469.
- Delattre, H., Vallet-Coulomb, C., and Sonzogni, C., 2015. Deuterium Excess in the Atmospheric Water Vapour of a Mediterranean Coastal Wetland: Regional vs. Local Signatures. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 15, 10167-10181.
- DSİ., 1975. Kırşehir Seyfe Ovası Planlama Kademesi Jeofizik Rezistivite Etüd Raporu. Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltı Suları Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- DSİ., 1979. Kırşehir Seyfe Ovası Hidrojeolojik Etüd Raporu. Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltı Suları Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- DSİ., 2004. Seyfe Ovası Hidrojeolojik Revize Etüd Raporu. Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltı Suları Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Erguvanlı, K., 1957. Kırşehir Kuzeyinde Seyfe Ovasının Hidrojeolojik Etüd Raporu. Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltı Suları Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Froehlich, K., Gibson, J., Aggarwal, P., 2002. Deuterium Excess in Precipitation and its Climatological Significance. *Journal of Geophysical Research, Atmospheres*, 23p.
- Gat, J. R., Gonfiantini, R., 1981. *Stable Isotope Hydrology. Deuterium and Oxygen-18 in the Water Cycle*. IAEA, Technical Report Series No. 210, 337pp. Alba, E., Dorronsoro, B., 2005. The Exploration/Exploitation Tradeoff in Dynamic Cellular Genetic Algorithms. *IEEE, Transactions on Evolutionary Computation*, (9), 26-142.
- Gat, J.R., Bowser, C.J., Kendall, C., 1994. The Contribution of Evaporation from the Great Lakes to the Continental Atmosphere: Estimate Based on Stable Isotope Data. *Geophysical Research Letter*, 21, (7), 557-560.

- Gat J.R., 2005. Some Classical Concepts of Isotope Hydrology. In: Aggarwal P.K., Gat J.R., Froehlich K.F. (eds) *Isotopes in the Water Cycle*. Springer, Dordrecht.
- Kıymaz, S., Asar, M., Güneş, V., 2011. Standartlaştırılmış Yağış İndeksi ile Seyfe Gölü'nün Kuraklık Dönemlerinin Belirlenmesi, *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 91-102.
- Kıymaz, S., Karadavut, U., 2014. Seyfe Gölü Havzasında Yer Alan Kuyuların Sularının Sulama Suyu Kalitesi Açısından Değerlendirilmesi. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, Cilt 30, Sayı 1, 21-31.
- MTA., 1991. 1/100000 Ölçekli Açınsama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi No: 34 Kırşehir G-18 Paftası ve açıklaması, Ankara, Türkiye, 12s.
- MTA., 1992. 1/100000 Ölçekli Açınsama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi No:34 Yozgat G-19 Paftası ve açıklaması, Ankara, Türkiye, 16s.
- MTA., 2009. Kırşehir-Mucur-Seyfe Gölü Havzası Maden Jeolojisi Raporu. Ankara.
- Önhon, E., 1969. Seyfe Ovası Kristalize Kalker Sahasının Karst Etüdü ve Seyfe Kaynağının Geliştirilmesi Raporu. Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltı Suları Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Peng, H., B. Mayer., S. Harris., H. Krouse., 2007. The Influence of Below-Cloud Secondary Effects on the Stable Isotope Composition of Hydrogen and Oxygen in Precipitation at Calgary, Alberta, Canada. *Tellus*, 59B, 698-704.
- Salamalikis, V., A. A. Argiriou., E. Dotsika., 2016. Isotopic Modeling of the Sub-Cloud Evaporation Effect in Precipitation. *Science of the Total Environment*, 544, 1059-1072.
- Sayhan, H., 2000. Seyfe Havzasının Jeomorfolojisi (Kırşehir). *Gazi Üniversitesi Kırşehir Eğitim Fakültesi Dergisi*, Sayı 1, 1-12.
- Sayhan, H., 2001. Seyfe Gölü Eski Seviyelerinin Kuvaterner Jeomorfolojisi Açısından Etüdü. *Gazi Üniversitesi Kırşehir Eğitim Fakültesi Dergisi*, Cilt 2, Sayı 2, 55-73.
- Seymen, İ., 1982. Kaman dolayında Kırşehir masifinin jeolojisi. Doçentlik Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Tüfenkçi, O.O., 2005. Seyfe Kaynağı ve Dolayının (Kırşehir) Hidrojeoloji incelemesi. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara.
- Ünsal, N., 1999. Seyfe Ovası Kaynaklarının Kimyasal ve İzotopik Bileşenleri ve Kökeni. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 295-308.
- Yılmaz, H.M., Reis, S., 2008. Seyfe Gölü'nün Zamansal Değişiminin Uzaktan Algılama Tekniği ile İzlenmesi. *Hydrological Processes*, 448-4454.
- Yiğitbaşıoğlu, H., 1993. Seyfe Gölü ve Çevresinin Jeomorfolojisi. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara.