

HİDRO'2025

ULUSAL HİDROJEOLojİ VE

SU KAYNAKLARI

SEMPOZYUMU

NATIONAL SYMPOSIUM ON HYDROGEOLOGY AND
WATER RESOURCES

BİLDİRİLER KİTABI

Yazılı Kanyon Tabiat Parkı

Eğirdir Gölü

Gölcük Tabiat Parkı

Kovada Gölü



22-24 Mayıs 2025
Süleyman Demirel Üniversitesi
Isparta



HİDRO'2025
ULUSAL HİDROJEOLOJİ VE SU
KAYNAKLARI SEMPOZYUMU

HİDRO'2025
NATIONAL SYMPOSIUM ON
HYDROGEOLOGY AND WATER RESOURCES

22-24 Mayıs 2025
ISPARTA

BİLDİRİLER KİTABI

Düzenleyen

Süleyman Demirel Üniversitesi
Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi
Jeoloji Mühendisliği Bölümü

ve

Hidrojeoloji Mühendisleri ve Su Kaynakları Araştırma Derneği

ÖNSÖZ

Günümüzde su kaynakları, kentleşme, sanayileşme ve hızla artan nüfusun yanı sıra iklim değişikliğinin etkisiyle ciddi tehditler altındadır. Kalite bozulmaları ve özellikle son yıllarda daha da belirginleşen yüzey ve yeraltı sularındaki miktarsal azalmalar, suyun sürdürülebilir yönetimi konusunda yetersiz kaldığımızı açıkça ortaya koymaktadır. Bu durum, su kaynaklarının yalnızca bir çevresel değer değil, aynı zamanda sosyal, ekonomik ve ekolojik sistemlerle doğrudan ilişkili stratejik bir unsur olduğunu gözler önüne sermektedir.

HİDRO'2025, Hidrojeoloji Mühendisleri ve Su Kaynakları Araştırmaları Derneği (HİDRODER) önderliğinde başlatılan sempozyum serisinin üçüncüsüdür. İlk sempozyum, HİDRODER ile Hacettepe Üniversitesi Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi-HÜ UKAM işbirliği ile 27-29 Eylül 2018 tarihleri arasında Hacettepe Üniversitesi'nde gerçekleştirilmiştir. İkinci sempozyum olan HİDRO'2023-Ulusal Hidrojeoloji ve Su Kaynakları Sempozyumu, "Prof. Dr. Remzi DİLEK Anısına" Karadeniz Teknik Üniversitesi ev sahipliğinde düzenlenmiştir. HİDRO'2025 Süleyman Demirel Üniversitesi ev sahipliğinde ve HİDRODER işbirliği ile gerçekleştirilmiştir.

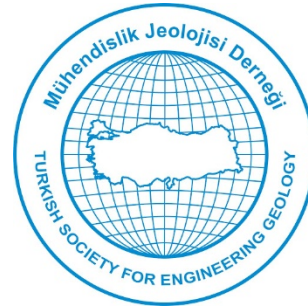
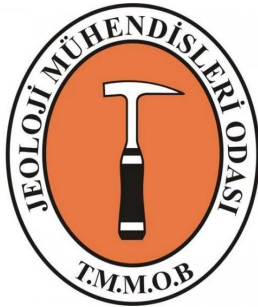
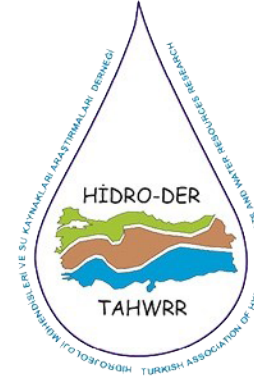
Bu çerçevede düzenlediğimiz sempozyum, su kaynaklarının korunması, etkin yönetimi ve bilimsel yaklaşımlarla desteklenmiş sürdürülebilir kullanımının sağlanmasına katkıda bulunmayı amaçlamaktadır. Farklı disiplinlerden araştırmacıların ve uygulayıcıların bir araya gelerek bilgi ve deneyimlerini paylaşacakları bu ortamın, hem mevcut sorunlara ışık tutacağına hem de geleceğe yönelik çözüm önerileri sunacağına inanıyoruz.

Sempozyumumuzda 21 kamu kurum ve özel kuruluşlar ile 18 üniversitenin ilgili bölümlerinden katılımcılar 52 bildiri sunmuştur. Katkı sunan tüm bilim insanlarına, kurum ve kuruluşlara teşekkür eder, sempozyumun verimli ve ufuk açıcı geçmesini dileriz.

Düzenleme Kurulu Adına

Prof. Dr. Ayşen DAVRAZ

DESTEKLEYEN KURUM VE KURULUŞLAR



SEMPOZYUM SPONSORLARIMIZA İÇTEN TEŞEKKÜRLERİMİZİ SUNARIZ

ALTIN SPONSORLAR



GÜMÜŞ SPONSORLAR



BRONZ SPONSORLAR



DESTEKLEYEN FİRMALAR



HİDRO'2025
ULUSAL HİDROJEOLJİ VE SU KAYNAKLARI SEMPOZYUMU
22-24 MAYIS 2025
ISPARTA

Sempozyum Onursal Başkanı
Prof. Dr. Mehmet SALTAN
Süleyman Demirel Üniversitesi Rektörü

Sempozyum Başkanı
Prof. Dr. Ayşen DAVRAZ
Süleyman Demirel Üniversitesi- HİDRODER

Sempozyum Sekreteri
Doç. Dr. Fatma AKSEVER
Süleyman Demirel Üniversitesi

Düzenleme Kurulu

Prof. Dr. Şehnaz ŞENER (Süleyman Demirel Üniversitesi-HİDRODER)
Doç. Dr. Erhan ŞENER (Süleyman Demirel Üniversitesi)
Dr. Selma DEMER (Süleyman Demirel Üniversitesi)
Dr. Öğrt. Üyesi Kubilay UYSAL (Süleyman Demirel Üniversitesi)
Ümit MEMİŞ (Süleyman Demirel Üniversitesi)
Mert TOKLU (DSİ Genel Müdürlüğü Yeraltısuları Dairesi Bşk.-HİDRODER)
Yarkın ÜNLÜOĞLU (Hidrowell Müh. ve Müş. Ltd. Şti.-HİDRODER)
Murat Ozan OZDAYI (Preus Danışmanlık Müh. Ltd. Şti.-HİDRODER)
Aydın Emre AYAN (Fugro Sial Yerbilimleri Müh. Ltd. Şti.-HİDRODER)
Göksu CEBE (Geo Sondaj Makine İmalat Ltd. Şti.-HİDRODER)
Osman ERKAN (Devlet Su İşleri 18. Bölge Müdürlüğü)

Bilim Kurulu

Alper BABA (İYTE)
Arzu FIRAT ERSOY (KTU)
Ayberk KAYA (RTEÜ)
Ayla BOZDAĞ (KTÜN)
Bedri KURTULUŞ (MSKÜ)
Celalettin ŞİMŞEK (DEÜ)
Fatma GÜLTEKİN (KTÜ)
Gültekin TARCAN (DEÜ)
Hafzullah AKSOY (İTÜ)
Halim MUTLU (AÜ)
Harun AYDIN (HÜ)
Koray K. YILMAZ (ODTÜ)
Mehmet EKMEKÇİ (HÜ)
Mehmet ÇELİK (AÜ)
Mustafa AFŞİN (ASÜ)
Okan FISTIKOĞLU (DEÜ)
Orhan GÜNDÜZ (DEÜ)
Özgür AVŞAR (MSKÜ)
Özlem ÖZTEKİN OKAN (FÜ)
Remzi KARAGÜZEL
Şaziye BOZDAĞ (ÇÜ)
Şebnem ARSLAN (AÜ)
Şükran AÇIKEL (HÜ)
Tuğbanur ÖZEN BALABAN (İKÇÜ)

İÇİNDEKİLER

Özet metin bildiriler

Girdev Polyesinin (Muğla) Kazanpınarı Karst Kaynağına Beslenme Katkısının Hesaplanması <i>Ç. Erdal, M. Ekmekçi</i>	1
İzmit Körfezi ile Sapanca Gölü Arasındaki Taneli Akifere ait (Alüvyon) YAS Akım Modellemesi <i>M. Erdoğan Topçuoğlu, R. Karagüzel</i>	3
Simav (Kütahya) Ovasında Alüvyon Akifer ile Yüzey Suyu Etkileşimin Sayısal Modelleme ile Değerlendirilmesi <i>Y. Akpınar, C. Şimşek</i>	4
Boğazlıyan (Yozgat) Jeotermal ve Soğuk Su Kaynaklarının Hidrojeokimyasal ve İzotopik Özelliklerinin İncelenmesi <i>E. Aydemir Polat, Ş. Şener</i>	5
Karstik Bir Havzadaki Yağış-Akış Karakteristiklerinin Farklı Modellerle Karşılaştırmalı Değerlendirilmesi <i>K. Özdemir Çallı, S. Çetinkaya, F. Kaya, Y. Taşcı Akcan, N.O. Şanlı</i>	6
Pınarbaşı Kaynaklarının (Kahramanmaraş) Hidrojeokimyasal İncelemesi <i>İ. Özlek, Ö. Öztekin Okan</i>	7
Kırşehir Masifi Şistlerinde Hidrolik Parametrelerin Kuyu Testleri ile Belirlenmesi <i>Ş. Açıkel, M. Ekmekçi, İ. Cihan, D. Tayyar</i>	8
1950'lerden Günümüze Eğirdir Gölü Üzerindeki Antropolojik Etmenlerin Yol Açtığı Ekolojik Sorunların Göl Yönetimi Açısından Değerlendirilmesi <i>İ. Gülle, Ş. Şener, F. Küçük, Ö. Erdoğan, N.L. Çiçek, S.S. Güçlü, E. Şener, F. Kılçık, M. Tunç</i>	9
Adalarda Yeraltısuyu Beslenmesinin Önemi: Bozcaada (Türkiye) Örneği <i>Ö.Y. Türkseven, R.M. Cuevas, O. Gündüz, A. Baba</i>	10
Su ile İlgili Sorunların Çözümünde 5N1K Yaklaşımı ve Öneriler <i>H. Aksoy, Y. Çavuş</i>	12
Eğirdir Gölü için Su Bütçesi Projeksiyon Çalışmaları ve Kısa/Orta Vadeli Çözüm Önerileri <i>M. Doğan, C. Şimşek, A. Özgenç Aksoy, Y. Yaşır</i>	13
Malatya Metamorfikleri'nden Beslenen Karstik Kaynakların Hidrojeoloji İncelemesi <i>S. Çelik, Ö. Öztekin Okan</i>	14
Yalvaç-Gelendost (Türkiye) Havzası Yeraltısuyunun Hidrojeokimyasal Özellikleri ve Sağlık Risk Değerlendirmesi <i>B. Batur, A. Davraz</i>	15
Deniz Suyu Girişimi Önlenmesi Suni Besleme Projesi Balıkesir Altınova <i>Ö.D. Alıç, İ. Sevim</i>	16
ERA5 Reanaliz Veri Seti ve Uzun Kısa Süreli Bellek Modelleri İle Nehir Akımlarının Yeniden Oluşturulması <i>İ. Ünlütürk, A. Ercan</i>	17
Eğirdir Gölü Hidrodinamik Modellemesine Esas Sıcaklık ve İletkenlik Parametrelerinin Analizi <i>Y. Yaşır, M. Doğan, A. Özgenç Aksoy</i>	18
Erkenez (Kahramanmaraş) Mevkii Yeraltısularının Hidrojeokimyasal İncelemesi <i>Ş. Güneş, Y. Uras</i>	19

Su Yapılarının Hidrolojik Havza Üzerindeki Etkisinin SWAT Modeli Kullanılarak Araştırılması	
<i>E. Arslan Karadavut, T. Kurttaş</i>	20
Muğla Yatağan Bahçeyaka-Bayır İçme Suyu Kuyuları ve Kaynaklarının Hidrojeokimyasal Karakterizasyonu: İlk Sonuçlar	
<i>A. Emin, M. İşlek, Ö. Yurttaş</i>	21
Silvan Barajı Göl Alanı Jeoteknik ve Hidrojeolojik Araştırmaları	
<i>A. Koçbay, H. Meydan, E. Öztürk, A.E. Usul, O. Şimşek, T. Duman, A.E. Ayan</i>	22
Konya Sarayönü Beşgöz Kaynaklarının İlk Kavramsal Modelinin Oluşturulması	
<i>N. Erdoğan, Ş. Açıkel</i>	23
Yönetilen Akifer Beslemesi (MAR) Uygulamalarının Önündeki Engellerin Sürdürülebilirlik Bakış Açısıyla Değerlendirilmesi	
<i>P. Spor, K. Bayhan, Ö. Ekmekçioğlu</i>	24
Kentsel Alanlarda Yeraltısuyu İzleme: İzmir-Bornova Örneği	
<i>A.A. Erdem, A. Baba</i>	25
Fırat-Dicle Havzasında Kuraklık Eğilimleri: 1940-2024 Arası Kuraklık İndeksi Analizi	
<i>H.H. Yıldırım, A. Ercan</i>	26
Kula – Selendi (Manisa) Bölgesinin Hidrojeolojik ve Hidrojeokimyasal İncelenmesi: Termal ve Mineralli Suların İnsan Sağlığına Etkisi	
<i>A. Küçüksümbül, G. Tarcan</i>	27
Ambalajlı Suların Hidrojeokimyasal Parametrelerinde İklimin Olası Etkisi	
<i>Ü. Memiş, S. Demer</i>	28
Burdur Gölü Batısında Tarımsal Faaliyetlerde Kullanılan Yeraltısularının Hidrojeokimyası ve Kullanım Özellikleri	
<i>S. Demer</i>	29
Eğirdir Gölü’nde Yaşayan Tıbbi Sülük (Hirudo verbana Carena, 1820) Populasyonlarındaki Değişimin Belirlenmesi	
<i>A. Eryılmaz, M. Ceylan</i>	30
Asit Maden Drenajından Etkilenen Yağlıdere Çayı’nda (Espiye-Giresun) Nadir Toprak Elementlerinin Davranışı	
<i>E. Hatipoğlu Temizel, F. Gültekin</i>	31
Fırat-Dicle Havzasında İklim Değişikliğinin Yağış ve Sıcaklıklar Üzerindeki Etkilerinin bir Bölgesel İklim Modeli ile Ön Değerlendirmesi	
<i>A. Ercan, H.H. Yıldırım, O. Alawi, S.P. Zafer, I. Ünlütürk</i>	32
Matematiksel Yöntemler Kullanılarak Sanmatenga Bölgesinin Yeraltı Suyundaki Sodyum Adsorpsiyon Oranının (SAR) Tahmini	
<i>M. Konare, A. Traore, I. E. Zoma</i>	33
Burdur Gölü ve Yeraltı Suyu Etkileşimlerinin İklimsel ve Antropojenik Etkenler Altında İncelenmesi	
<i>H. Kılıç-Germeç, H. Yazıcıgil</i>	34
Sürdürülebilir Madencilik İçin Su Yönetimi	
<i>H. Kılıç-Germeç, H. Yazıcıgil</i>	35
Batı Akdeniz Havzası Hidrolojik Kuraklıkların Şiddet ve Sürelerinin Belirlenmesi	
<i>E.D. Taylan, T. Baykal, Ö. Terzi, H.Ş. Ögütücü</i>	36
Meriç-Ergene Havzası’nda Hidrojeolojik Karakterizasyon ve Kavramsal Model Çalışmaları	
<i>Ç. Argunhan Atalay, A.E. Ayan, A. Aydın Sürel, M. Ekmekçi, B. Parlamlı, B. Akyürek,</i>	

<i>M. İşlek, E. Kabadayı, T.Y. Duman, H.Ç. Yavuz, S. Yüzereroğlu, M. Toklu</i>	38
Manavgat Nehri karstik yeraltısuyu boşalımının modellenmesi	
<i>A.M. Çetin, A.K. Yahşi, Onur Can, S.S. Çallı, M. Çelik</i>	39
Karstik Yeraltısuyu Modellemesi: Güncel Yaklaşımlar ve Gelecek Yönelimleri	
<i>S.S. Çallı, K.Ö. Çallı, M. Çelik</i>	40
Avrupa-Akdeniz Karst Kuşağı İçin Büyük Ölçekli Karstik Kaynak Boşalım Veri Seti Oluşturulması	
<i>A.K. Yahşi, A.M. Çetin, Onur Can, S.S. Çallı, M. Çelik</i>	41
Kızılırmak Nehir Havzası Yeraltısularının Çevresel İzotop Karakteristikleri	
<i>N. Tüfekçi-Avşar, M. Ekmekçi, A. Aydın Sürel, B. Parlamlı, B. Akyürek, M. İşlek, A.E. Ayan, S. Yüzereroğlu, M. Toklu</i>	42
Türkiye’deki NaCl Tipindeki Jeotermal Akışkanların Cl-Br Oranları Kullanılarak Kökenlerinin Belirlenmesi	
<i>İ.N. Güner, A.K. Birinci</i>	43
Beyşehir Gölü (Türkiye) yüzey sularında su kalitesi ve ağır metal verilerinin CBS ve su kalitesi indeksleri ile değerlendirilmesi	
<i>C. Bulut, V. Yegen, E. Şener, D. Fidan, İ. Özdal</i>	44
Kovada Gölü (Isparta, Türkiye) yüzey sularında su kalitesi ve ağır metal verilerinin CBS ve su kalitesi indeksleri ile değerlendirilmesi	
<i>C. Bulut, E. Şener, D. Fidan, C. Cevher</i>	45
Köprüören Havzası’nda (Kütahya) Tarımsal Sulama Amaçlı Yeraltısuyu Kullanımının Belirlenmesi	
<i>A. Salad Mohamed, Ş. Arslan</i>	46
Aktif Fay Zonları Üzerindeki Jeotermal Sahalarda Hidrojeokimyasal Olarak Deprem İzleme ve Tahmininde Makine Öğrenmesi Uygulamaları	
<i>T. Özen Balaban, F. Tut Hakkıdır</i>	47
Eğirdir Gölü (Isparta) Dip Çamur Temizliğine Yönelik Gerçekleştirilen Fizibilite Çalışmasına ait Bulgular	
<i>H.A. Uçan, B. Oktar, Ş. Şener, E. Şener, İ. Gülle, Ö. Erdoğan, M. Beyhan, Ç. Balkaya, O. Çakmak, M.Ç. Bayrak, A. Ünsal</i>	48
HES ve Barajların Göksu Irmağının Fizikokimyasal Özellikleri Üzerindeki Etkileri	
<i>G. Şavran, Ş. Şener, F. Küçük</i>	51
Havşari-Zerban (Çelikhan-Adıyaman) Karst Sisteminin Hidrojeolojik Karakterizasyonu	
<i>M.O. Özdayı, H. Aydın</i>	52
Uzayda Su Kaynaklarının Keşfi ve Sürekliliğinin Yerküre Dışı Hidrojeoloji ile Uzayda Su Ürünleri Yetiştiriciliği Arasındaki İlişki Üzerinden İncelenmesi	
<i>A. B. Mutaş</i>	53
Tatlı ve Tuzlu Su Ortamlarında A Sınıfı Tava Buharlaştırma Değerlerinin Karşılaştırılması: Van Gölü Örneği	
<i>M.C. Baybora, H. Aydın</i>	54
Açık Ocak Madeni Sahasında Yeraltısuyu Beslenme Süreçlerinin İzotop Analizleri ve Fizikokimyasal Ölçümler ile Değerlendirilmesi	
<i>B.C. Doğan, M.O. Özdayı</i>	56
Eğirdir Gölü Havzasında İklim Değişikliği Projeksiyonları	
<i>E. Şener, A. Davraz</i>	57

Tam metin bildiriler

İzmit Körfezi ile Sapanca Gölü Arasındaki Taneli Akifere ait (Alüvyon) YAS Akım Modellemesi	
<i>M. Erdoğan Topçuoğlu, R. Karagüzel</i>	58
Pınarbaşı Kaynaklarının (Kahramanmaraş) Hidrojeokimyasal İncelemesi	
<i>İ. Özlek, Ö. Öztekin Okan</i>	67
Su ile İlgili Sorunların Çözümünde 5N1K Yaklaşımı ve Öneriler	
<i>H. Aksoy, Y. Çavuş</i>	74
Eğirdir Gölü için Su Bütçesi Projeksiyon Çalışmaları ve Kısa/Orta Vadeli Çözüm Önerileri	
<i>M. Doğan, C. Şimşek, A. Özgenç Aksoy, Y. Yaşır</i>	79
Malatya Metamorfitleri'nden Beslenen Karstik Kaynakların Hidrojeoloji İncelemesi	
<i>S. Çelik, Ö. Öztekin Okan</i>	83
Eğirdir Gölü Hidrodinamik Modellemesine Esas Sıcaklık ve İletkenlik Parametrelerinin Analizi	
<i>Y. Yaşır, M. Doğan, A. Özgenç Aksoy</i>	91
Yönetilen Akifer Beslemesi (MAR) Uygulamalarının Önündeki Engellerin Sürdürülebilirlik Bakış Açısıyla Değerlendirilmesi	
<i>P. Spor, K. Bayhan, Ö. Ekmekçioğlu</i>	98
Kızılırmak Nehir Havzası Yeraltısularının Çevresel İzotop Karakteristikleri	
<i>N. Tüfekçi-Avşar, M. Ekmekçi, A. Aydın Sürel, B. Parlamlı, B. Akyürek, M. İşlek, A.E. Ayan, S. Yüzereroğlu, M. Toklu</i>	106
Türkiye'deki NaCl Tipindeki Jeotermal Akışkanların Cl-Br Oranları Kullanılarak Kökenlerinin Belirlenmesi	
<i>İ.N. Güner, A.K. Birinci</i>	114

ÖZET METİN BİLDİRİLER

Girdev Polyesinin (Muğla) Kazanpınarı Karst Kaynağına Beslenme Katkısının Hesaplanması

Assessment of Groundwater Contribution of the Girdev Polje (Muğla) to the Kazanpınarı Karst Spring

Çiğdem ERDAL^{1*}, Mehmet EKMEKÇİ²

¹ DSİ Yeraltı Suları Dairesi Başkanlığı, Mustafa Kemal Mahallesi, Anadolu Bulvarı, No: 9
06530 Çankaya, Ankara

² Uluslararası Karst Su Kaynakları Araştırma Merkezi, (UKAM), Beytepe, Ankara
(*cerdal@dsi.gov.tr)

ÖZET: Girdev Gölü, Fethiye İlçesi Seki Havzasında Kazanpınarı kaynaklarının 15 km güneybatısında 1730 m kotunda, 44.2 km² alana sahip olan Girdev polyesi içerisinde yer almaktadır. Sürekli göllenmenin gözlemlendiği polyeyi besleyen karstik kaynakların yanı sıra polye tabanında göl sularını tahliye eden üç adet düden bulunmaktadır. Yapılan izleme deneyleri ile düdenlerden kaybolan suyun bir kısmının Kazanpınarı karst kaynağını beslediği anlaşılmıştır. Yağışlı dönemlerde göllenen polyenin su altında kalan kısmı ortalama 4.5 km²'lik bir alan kaplamaktadır. 2006 yılında polye tabanında sürekli göl oluşumunu sağlamak amacıyla polyenin kuzey bölümüne yaklaşık bir metre yüksekliğinde bir sedde inşa edilmiştir. Sedde öncesi polyede su sadece Mart-Haziran ayları arasında bulunmaktayken, diğer aylarda polye kurumaktadır. 2006 yılında düdenlerin önüne sedde inşasıyla polyede sürekli göl oluşumu sağlanmış, ancak aynı zamanda düdenler kanalıyla Kazanpınarı karst kaynaklarının beslenmesine katkıda bulunan su kaçışında da azalmaya neden olunmuştur. Polyeyi çevreleyen karbonatlı kayaç kütlesine düşen yağış suları büyük oranda süzülerek göle yeraltı suyu akışı şeklinde ulaşmaktadır. Polyenin sedde sonrasında Kazanpınarı karst kaynaklarına beslenme katkısındaki değişim, su bütçesi yaklaşımıyla hesaplanmıştır. Hesaplama, göl su seviyesinin ölçüldüğü 2018-2023 yılları için gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, polye kot-alan-hacim eğrisi, seviye kayıtları ve yağış kütle dengesi hesabında en kritik öneme sahip bileşenler olmuştur. Yapılan çalışma, Girdev polyesinin karstik alanlarda gözlenen polyelerin genel karakteristiğine uygun bir hidrolik davranış gösterdiğini ortaya koymuştur. Kütle dengesi hesabında bütçenin ilkbahar aylarında pozitif, kurak dönemlerde ise negatif olduğu ortaya konmuştur. Yüksek su seviyesi dönemi olan ilkbahar aylarında göl seviyesinin beklenenden daha yüksek bir değer alması polyede gözlenen kaynaklar yoluyla yeraltı suyu katkısının; diğer aylarda ise göl seviyesinin beklenen değerden daha düşük değer alması ise düdenlerle su kaçığının bir göstergesi olarak değerlendirilmiştir. Yapılan hesaplama sonucunda sedde ile çevrelenmeyen düdenlerden yıllık ortalama 3.92 hm³ suyu Kazanpınarı karst kaynağını beslediği belirlenmiştir. Sedde öncesi Devlet Su İşleri tarafından yapılan hesaplamalarda düdenlerden kaçan su miktarının 8 ile 15 hm³ dolayında olduğu belirtilmiştir. Buna göre, sedde ile Kazanpınarı karst kaynaklarının beslenmesinde yaklaşık üçte ikilik bir oranda azalmaya neden olduğu anlaşılmaktadır. Bu örnekle, karstik sistemlerde, doğal ve/veya insan kaynaklı etkilerin sistem üzerinde yaratabileceği değişimlerin dikkate alınmasının önemi vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Girdev Gölü, su bütçesi, karst kaynağı, düden, su kaçığı, polye

ABSTRACT: Girdev Lake is located within the Girdev polje in the Seki Basin of Fethiye District, 15 km southwest of the Kazanpınarı springs, at an elevation of 1730 m and covering an area of 44.2 km². In addition to the karstic springs that feed the polje, there are three sinkholes at the bottom of the polje that drain the lake waters. Dye-tracing tests have revealed that some of the water sunk into these sinkholes contributes to the Kazanpınarı karst spring through solutional channels. During rainy periods, the submerged portion of the polje covers an average area of 4.5 km². In 2006, an embankment approximately one meter high was built in the northern section of the polje to ensure the continuous formation of a lake at the bottom. Before the embankment, water was present in the polje only between March and June, while the polje would dry out in other months. With the construction of the embankment in 2006, a continuous lake was formed in the polje; however, this also led to a decrease in water loss through the sinkholes, which contribute to the flow of Kazanpınarı karst springs. Rainwater falling on the surrounding carbonate rock mass largely reaches the lake as groundwater flow. Changes in the groundwater contribution of the polje to the Kazanpınarı karst springs after the construction of the

embankment were calculated using a water budget approach. The calculations were conducted for the years 2018-2023, during which lake water levels were recorded. In this context, the elevation-area-volume curve of the polje, level records, and rainfall were the critical components of the mass balance. The study revealed that Girdev polje exhibits hydraulic behavior consistent with the general characteristics of poljes observed in karst areas. The water balance calculation indicated that the budget was positive during spring months and negative during dry periods. During the high water level season in spring, the lake level was higher than expected due to groundwater contributions through the springs; and conversely, in other months, the lake level was lower than anticipated by water budget analysis, indicating water loss through the sinkholes. As a result of the calculations, it was concluded that an average of 3.92 hm³ of water from the sinkholes those not enclosed by the embankment contributes to the Kazanpınar karst spring annually. According to previous calculations by the State Water Works, the amount of water lost from the sinkholes before the embankment was between 8 and 15 hm³. Thus, it can be inferred that the embankment has led to approximately a two-thirds reduction in the contribution to the Kazanpınar karst springs. This example emphasizes the importance of considering the changes that natural and/or human-induced effects can have on karst systems.

Keywords: *Girdev lake, water budget, karst spring, sinkhole, water loss, polje.*

İzmit Körfezi ile Sapanca Gölü Arasındaki Taneli Akifere ait (Alüvyon) YAS Akım Modellemesi

Groundwater Flow Modeling of Granular Aquifers (Alluvium) Between Izmit Bay and Sapanca Lake

Meral ERDOĞAN TOPÇUOĞLU^{1*}, Remzi KARAGÜZEL²

^{1*}DSİ 2.Bölge Müdürlüğü, Yeraltısuları Şube Müdürlüğü, Bornova-İzmir

²İTÜ Maden Fakültesi Jeoloji Müh. Bölümü, Maslak-İstanbul

(*erdoganmer@itu.edu.tr)

ÖZET: Bu çalışmada; İzmit Havzasındaki 195 km²'lik bir alana sahip taneli akifer için optimum yönetim planı geliştirmek amacıyla 3-boyutlu sonlu farklar yöntemi ile yeraltısuları akım modeli geliştirilmiştir. İnceleme alanında akifer, kalınlığı yaklaşık 300 m'ye ulaşan eski ve yeni alüvyonlardan oluşmaktadır. Söz konusu alanda yeraltısuyu akımının belirlenmesi için MODFLOW 2000 programını baz alan IMOD yazılımı kullanılmıştır. Bu program için jeolojik-hidrojeolojik veriler, yağış ve buharlaşma miktarları, akiferin beslenme miktarı, rasat kuyularındaki yeraltısuyu seviyeleri, işletme ve şahıs kuyularının çekim debileri kullanılmıştır. Yeraltısuyu akım modelinde akifer sisteminin sınır koşulları için, model alanının doğusunda yer alan Sapanca Gölü (30 m) ve batısında bulunan İzmit Körfezi (0 m) sabit seviyeli hidrolik yük olarak tanımlanmıştır. Model alanındaki rasat kuyularından ölçülmüş olan yeraltısuyu seviye değerleri kullanılarak, modelin kalibrasyonu yapılmıştır. Model sonuçlarına göre İzmit Körfezi ile Sapanca Gölü arasında bir yeraltısuyu ayırım çizgisinin olduğu gözlenmiştir. Senaryo 4 ve Senaryo 5'te çekim miktarındaki % 100-150 kat artış sonucunda ayırım çizgisinin yok olduğu ve yeraltısuyu akışının Sapanca Gölünden İzmit Körfezine doğru olacağı öngörülmektedir. Hesaplanan ve gözlenen su seviyeleri arasında her ne kadar bazı farklılıklar olsa da model kabul edilebilir niteliktedir.

Anahtar Kelimeler: İzmit Körfezi, Sapanca Gölü, taneli akifer, YAS akım modellemesi.

ABSTRACT: This study aims to develop an optimal management plan for a granular aquifer covering an area of 195 km² in the İzmit Basin. A 3D finite difference groundwater flow model has been developed using the MODFLOW 2000 program, specifically with the IMOD software, to assess the groundwater flow in the study area. The aquifer in the region consists of both old and new alluvial deposits, with a thickness of approximately 300 meters. Geological-hydrogeological data, rainfall and evaporation amounts, aquifer recharge rates, groundwater levels from observation wells, and abstraction rates from operating and person's wells were used as input parameters for the model. In the groundwater flow model, the boundary conditions for the aquifer system were defined using the Sapanca Lake (30 m) to the east and the İzmit Bay (0 m) to the west as constant head boundaries. The model was calibrated using groundwater level measurements from the observation wells within the model area. According to the model results, a noticeable groundwater divide was observed between İzmit Bay and Sapanca Lake. In Scenarios 4 and 5, where abstraction rates increased by 100-150%, the groundwater divide disappeared, and the flow direction shifted from Sapanca Lake towards İzmit Bay. Although there were some discrepancies between the calculated and observed groundwater levels, the model is considered acceptable and provides valuable insights into the groundwater flow dynamics of the region. Overall, while some differences exist between the modeled and observed water levels, the model is sufficiently reliable and offers essential information for the sustainable management and optimal use of groundwater resources in the İzmit Basin.

Keywords: İzmit Bay, Sapanca Lake, granular aquifer, groundwater flow modeling.

Simav (Kütahya) Ovasında Alüvyon Akifer ile Yüzey Suyu Etkileşimin Sayısal Modelleme ile Değerlendirilmesi

Evaluation of the Interaction between Alluvial Aquifer and Surface Water in Simav (Kütahya) Plain with Numerical Modeling

Yağmur AKPINAR^{1,*}, Celalettin ŞİMŞEK²

¹ Fen Bilimleri Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi, Tınaztepe Yerleşkesi, Pk:35390 Buca-İzmir

² Fen Bilimleri Enstitüsü Jeotermal Enerji ABD, Dokuz Eylül Üniversitesi, Tınaztepe Yerleşkesi, Pk:35390 Buca-İzmir

(*yamurakpinar@gmail.com)

ÖZET: Ege bölgesinin iç kesimlerinde yer alan Simav ovası, doğu batı doğrultulu fay sistemleri ile oluşan graben alana sahiptir. Simav Ovası'nda en önemli yeraltısuyu bulunduran birim serbest akifer özelliğindeki alüvyonlardır. Bölgede yeraltısuyu kış aylarında yükselerek eski Simav Gölü'nde toplanmakta ve gölün çevresinde küçük ölçekli bir gölcük oluşturmaktadır. Çalışma alanında akar durumdaki Simav Çayı ile yeraltısuyu etkileşimin değerlendirilmesi için sayısal modelleme çalışmaları yapılmıştır. Kararlı akım modelleme çalışmasında yıllık 13 hm³'lük bir yeraltısuyu dolaşımı bulunmaktadır. Bu suyun %43'ü yağış suları ile beslenirken, %33'ü ise Simav Çayından beslenmektedir. Alüvyon akifer ile Simav Çayı etkileşimine bakıldığında, Simav Ovasının doğusunda Simav Çayı yeraltısuyunu beslerken, batısında ise yeraltısuyu Simav Çayını beslemektedir. Yapılan uzun yıllar simülasyonunda ise yeraltısuyu beslenimin % 62'si Simav Çayından gerçekleşmektedir. Kararlı akım koşullarında çalıştırılan modelde, bölgede aşırı çekim olması durumunda yeraltısuyunun nehirde beslenimi artmaktadır. Bu durum doğrudan nehirdeki suyun akışına bağlıdır. İleriki dönemlerde iklimsel değişiklik nedeni ile Simav Çayı'ndaki akış değişikliği yeraltı suyu seviyesini etkileyecektir.

Anahtar Kelimeler: Yüzey suyu-yeraltı suyu etkileşimi, Simav grabeni, sayısal modelleme

ABSTRACT: The Simav plain, located in the inner parts of the Aegean region, has a graben area formed by fault systems in the east-west direction. The most important groundwater-bearing unit in the Simav Plain is the unconfined alluvium aquifer. In the region, groundwater level rises in the winter months and forms small-scale ponds in the old Simav Lake and its surroundings. Numerical modeling studies were carried out to evaluate the groundwater interaction with the flowing Simav Stream in the study area. In the steady flow modeling study, there is an annual groundwater circulation of 13 hm³. 43% of this water is recharge by precipitation water, while 33% is recharge by the Simav Stream. When the interaction of the alluvial aquifer and the Simav Stream is examined, while the Simav Stream recharges the groundwater in the east of the Simav Plain, the groundwater discharges the Simav Stream in the west. In the long-term simulation, 62% of the groundwater recharge occurs from the Simav Stream. In the model run under steady flow conditions, groundwater recharge from the river increases because of excessive groundwater discharges in the region. This situation is directly dependent on the flow of water in the river. In the future, the flow change in Simav Stream due to climatic change will affect the groundwater level.

Keywords: Surface water-groundwater interaction, Simav Graben, numerical modeling

Boğazlıyan (Yozgat) Jeotermal ve Soğuk Su Kaynaklarının Hidrojeokimyasal ve İzotopik Özelliklerinin İncelenmesi

Investigation of the Hydrogeochemical and Isotopic Characteristics of Geothermal and Cold Water Resources in Boğazlıyan (Yozgat)

Eda AYDEMİR POLAT^{1*}, Şehnaz ŞENER¹

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi,
Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Isparta
(*edaaydmr@gmail.com)

ÖZET: Türkiye'nin jeotermal potansiyeli, sürdürülebilir ve çevre dostu özellikleriyle modern enerji ihtiyaçlarını karşılamakta olup, İç Anadolu Bölgesi'ndeki Boğazlıyan (Yozgat) jeotermal sahası bu potansiyelin dikkat çekici örneklerinden biridir. Bu çalışmada, Boğazlıyan'daki termal ve soğuk su kaynaklarının hidrojeokimyasal ve izotopik özellikleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Termal sular, Piper diyagramına göre NaCl ve Ca-Mg-HCO₃ su tipleriyle karakterize edilmiş ve rezervuar sıcaklıkları silis jeotermometreleriyle 79-86,5 °C aralığında hesaplanmıştır. Giggenbach diyagramı termal suların tam dengeye ulaşmamış, ham sular bölgesinde kaldığını göstermektedir. $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ izotop değerleri, termal suların meteoroik kökenli olduğunu, Trityum değerleri ise jeotermal suların yaklaşık 30- 40 yıllık bir dolaşım süresine sahip olduğunu göstermektedir. Boğazlıyan jeotermal sahasındaki soğuk su kaynaklarının Ca⁺², Mg⁺² ve Na⁺ iyonları bakımından zengin oldukları belirlenmiştir. Mineral doygunluk indeksleri hesaplanarak, soğuk suların termal sistemlerle potansiyel etkileşimleri değerlendirilmiştir. Bu çalışma, seracılık ve termal turizm alanında önemli bir potansiyeli olan Boğazlıyan jeotermal kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı ve geliştirilmesi için temel bir bilimsel altyapı sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Hidrojeokimya, izotop, jeotermal, Boğazlıyan

ABSTRACT: Turkey's geothermal potential, with its sustainable and environmentally friendly attributes, addresses modern energy demands, and the Boğazlıyan (Yozgat) geothermal field in the Central Anatolia Region stands as a notable example of this potential. In this study, the hydrogeochemical and isotopic characteristics of the thermal and cold water resources in Boğazlıyan were analyzed in detail. According to the Piper diagram, the thermal waters are characterized by NaCl and Ca-Mg-HCO₃ water types, with reservoir temperatures calculated in the range of 79–86.5°C using silica geothermometers. The Giggenbach diagram indicates that the thermal waters remain in the immature water region and have not reached full equilibrium. The $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$ isotopic values show that the thermal waters are of meteoric origin, while tritium values indicate a circulation time of approximately 30–40 years for the geothermal waters. The cold water resources in the Boğazlıyan geothermal field were found to be rich in Ca⁺², Mg⁺² and Na⁺ ions. By calculating mineral saturation indices, potential interactions between cold waters and thermal systems were evaluated. This study provides a fundamental scientific basis for the sustainable utilization and development of the Boğazlıyan geothermal resources, which hold significant potential for greenhouse agriculture and thermal tourism.

Keywords: Hydrogeochemistry, isotope, geothermal, Boğazlıyan

Karstik Bir Havzadaki Yağış-Akış Karakteristiklerinin Farklı Modellerle Karşılaştırmalı Değerlendirilmesi

A Model Intercomparsion Research in Assessing the Rainfall-Runoff Characteristics of a Karstic Watershed

K. ÖZDEMİR ÇALLI^{1*}, S. ÇETİNKAYA², F. KAYA², Y. TAŞCI AKCAN²,
N.O. ŞANLI²

¹Dresden Teknik Üniversitesi (TU-Dresden), Yeraltı Suları Yönetimi Enstitüsü

²Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, İzleme Kalite ve Bilgi Sistemi Dairesi

(*kuebra.oezdemir_calli@tu-dresden.de)

ÖZET: Yağış-akış modellerinin temel rolü, hidro(jeo)lojik bir sistemin karakteristiklerini gerçekçi şekilde temsil etmektir. Ancak, sistemlerin fiziksel karmaşıklığını benzeştirmedeki matematiksel kısıtlar modellerin sistem gerçeklerini yansıtmalarını yetersiz kılmaktadır. Pek çok model arasından ilgilenilen sistem için “en uygun” modelin seçilmesi model sonuçlarının güvenilirliği ile mevcut belirsizliklerin değerlendirilmesi için elzemdir. Bu nedenle, modeller arası karşılaştırma çalışmaları hidro(jeo)lojik sistemlerin baskın hidrolojik karakteristiklerinin ortaya konulması ve sonuçların güvenilir analizi için kritiktir. Bu çalışmada amaç, farklı yapısal özellikteki modellerin sonuçlar üzerindeki etkilerinin analizi ile sistemin hidrolojik davranışını değerlendirmektir. Bu amaçla, ülkemizin su kaynakları karakteristikleri ve veri varlığı gözetilerek geliştirilmiş yerli bir yazılım olan HİDROTÜRK Model platformunda yer alan Temez ve GR2M modelleri ile ilave iki hidrolojik model (ABCD ve HydMOD) karstik bir havzanın hidrolojik değişkenlerini tahmin etme yetenekleri açısından karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda, model kalibrasyonu için $NSE \geq 0.5$ olarak kabul edilebilir olarak değerlendirilmiş ve çalışma sonunda model uygulamalarında havza karakteristiklerine uygun model seçiminin önemi vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Karstik su kaynakları, hidrolojik model, modeller arası karşılaştırma, model güvenilirliği

ABSTRACT: The role of rainfall-runoff models is to realistically represent the hydro(geo)logical system's characteristics. However, mathematical constraints to simulate the system's physical complexity make the models inadequate in reflecting the system's realities. Selection of the “most appropriate” model from a plethora is also essential to ensure the model's reliability, whereas relying on the predictions of a single model might lead to bias in the model evaluation. For that, model intercomparison studies are critical to reveal the dominant characteristics of hydro(geo)logical systems. This study therefore assesses the system's hydrological behavior based on the outcomes of the different hydrological models. Temez and GR2M in the HİDROTÜRK Modelling platform- a national software developed for the water resources' characteristics based on data availability in Türkiye -were compared to two hydrological models with different complexity (ABCD and HydMOD). All models are applied to a karstic watershed while $NSE \geq 0.5$ was considered acceptable for each calibration. The study emphasizes the importance of model selection in hydrological modeling studies.

Keywords: Karstic water resources, hydrological model, model intercomparison, model realism

Pınarbaşı Kaynaklarının (Kahramanmaraş) Hidrojeokimyasal İncelemesi

Hydrogeochemical Investigation of Pınarbaşı Springs (Kahramanmaraş)

İsmail ÖZLEK¹, Özlem ÖZTEKİN OKAN^{2*}

¹Devlet Su İşleri 20. Bölge Müdürlüğü, 46080, Kahramanmaraş

^{2*}Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 23119, Elazığ

(*ooztekin@firat.edu.tr)

ÖZET: Bu çalışmada Kahramanmaraş ili Dulkadiroğlu ilçesi sınırları içinde bulunan Pınarbaşı kaynaklarının hidrojeokimyasal özellikleri incelenmiştir. Çalışmanın amacı, Eosen yaşlı kireçtaşları ve killi kireçtaşlarından beslenen Pınarbaşı karstik kaynaklarının kimyasal bileşiminin çeşitli diyagramlar yardımıyla yorumlayıp, içme ve tarımsal sulama amaçlı kullanım kalitelerini belirlemektir. Bu amaçla, Nisan-Mayıs (2024) aylarında toplam 7 adet su örneği (kuyu ve kaynaklardan) alınarak majör anyon ve kation, ağır metal ve bakteriyolojik analizleri yapılmıştır. Su örnekleri alınırken suların pH, elektriksel iletkenlik (Eİ) ve sıcaklık (T) değerleri yerinde ölçülmüştür. İncelenen suların Eİ, pH ve T değerleri sırasıyla; 152-476 µs/cm, 7,4-8,4 ve 14,2-16 °C arasında değişmektedir. Karstik akiferden beslenen yeraltı suları Ca-Mg-HCO₃ fasiyesindedir. Suların ağır metal konsantrasyonları genel olarak İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik'te belirtilen sınır değerlerin altında olup içme suyu amaçlı tüketime uygundur. İncelenen suların NO₃ içerikleri <5- 9,20 mg/l arasındadır. Bakteriyolojik olarak iki su örneğinde *Streptococcus Feacallis* ve koliform bakteri (*E-Coli*) belirlenmiş olup bunların antropojenik kökenli olduğu düşünülmektedir. Sulama suyu açısından incelenen suların Sodyum Adsorpsiyon oranı (SAR) 0,04-0,32 aralığında olup çok iyi, sodyum yüzdesi 0,012-0,125 aralığında olup çok iyi, geçirgenlik indeksi (PI) 51,32-84,94 aralığında olup uygun, magnezyum tehlike değeri (MH) 37,97-75,89 aralığında olup 5 örnekte uygun olmayan, Kelly oranı (KR) 0,01-0,134 aralığında olup uygun olmayan, potansiyel tuzluluk (PS) 0,183-0,186 aralığında olup çok iyi grubunda yer almaktadır.

Anahtar Kelimeler: Pınarbaşı kaynakları, içme suyu kalitesi, sulama suyu, hidrojeokimya, Kahramanmaraş

ABSTRACT: The hydrogeochemical properties of Pınarbaşı springs located in Dulkadiroğlu district of Kahramanmaraş province were investigated in the present study. The aim of the study is to interpret the chemical composition of Pınarbaşı karstic springs fed from the Eocene limestones and clayey limestones with the help of various diagrams and to determine their usability for drinking and agricultural irrigation purposes. For this purpose, 7 water samples (from wells and sources) were taken in April-May (2024) and major anion and cation, heavy metal and bacteriological analyses were performed. While taking water samples, pH, electrical conductivity (EC) and temperature (T) values of the waters were measured in situ. EC, pH and T values of the investigated waters vary between 152-476 µs/cm, 7.4-8.4 and 14.2-16 °C, respectively. Groundwater fed from the karstic aquifer is in the Ca-Mg-HCO₃ facies. The heavy metal concentrations of the waters are below the limit values specified in the Regulation on Waters Intended for Human Consumption and are suitable for drinking purposes. The NO₃ contents of the investigated waters are between <5 and 9.20 mg/l. Bacteriologically, *Streptococcus Feacallis* and coliform bacteria (*E-Coli*) were determined in two water samples and they are thought to be of anthropogenic origin. In terms of irrigation water, the waters are classified in very good, very good, suitable, not suitable in 5 samples, not suitable, very good groups according to sodium adsorption ratio (SAR) between 0.04 and 0.32; sodium percentage between 0.012 and 0.125, permeability index (PI) between 51.32 and 84.94, magnesium hazard value (MH) between 37.97 and 75.89, Kelly ratio (KR) between 0.01 and 0.134, and potential salinity (PS) between 0.183 and 0.186, respectively.

Keywords: Pınarbaşı resources, drinking water quality, irrigation water, hydrogeochemistry, Kahramanmaraş

Kırşehir Masifi Şistlerinde Hidrolik Parametrelerin Kuyu Testleri ile Belirlenmesi

Assessment of Hydraulic Parameters of Schists of Kırşehir Massif by Well Tests

Şükran AÇIKEL^{1,2*}, Mehmet EKMEKÇİ^{1,2}, İsmail CİHAN³, Doğukan TAYYAR^{1,2}

¹Hacettepe Üniversitesi, Hidrojeoloji Mühendisliği Programı, Beytepe-Ankara-Türkiye

² Hacettepe Üniversitesi Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi, Beytepe-Ankara-Türkiye

³Demir Export A.Ş., Ankara-Türkiye

(*sukransahbudak@yahoo.com)

ÖZET: Litolojik birimlerin hidrolik karakterizasyonu, özellikle maden hidrojeolojisi çalışmalarının en önemli bileşenlerinin başında gelmektedir. Basınçlı su testleri ve slug testleri, düşük geçirgenliğe sahip kayaların hidrolik karakterizasyonunda en yaygın uygulanan yöntemler arasındadır. Çalışmada bu iki yöntem, Kırşehir Masifinin şist birimlerinde uygulanmıştır. Basınçlı su testlerinin sonuçları, hidrolik iletkenlik değerinin 10^{-7} m/s ile 10^{-10} m/s arasında ve değişkenlik katsayısının %250'den büyük olduğunu; geçirgenliğin derinliğe göre azaldığını ortaya koymuştur. Slug testlerinden elde edilen verilerle, şistlere ait özgül depolamanın 10^{-5} ile 10^{-7} arasında, hidrolik iletkenlik değerinin ise 10^{-7} m/s ile 10^{-9} m/s arasında değiştiği görülmüş, özgül depolama ve hidrolik iletkenliğin değişkenlik katsayıları sırasıyla %202 ve %270 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, yapısal bir hat üzerinde bulunan bir kuyuda pompa testi yapılmış, yapısal unsurun hidrojeolojik karakteri ortaya konmuştur. Bu sonuçlar, şistlerin hidrolik karakterizasyonunda farklı yöntemlerin uygulanmasının önemini ortaya koymuş, bu yaklaşımın, farklı yöntemlerden elde edilen sonuçları karşılaştırmak ve kaya kütlelerinin farklı yönleri hakkında bilgi edinmek için yararlı olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Basınçlı su testi, slug test, hidrolik iletkenlik, özgül depolama, maden hidrojeolojisi.

ABSTRACT: Hydraulic characterization of lithological units is one of the most important components of mining hydrogeology studies. Water pressure tests and slug tests are among the most commonly applied methods in the hydraulic characterizaion of low permeability rocks. These two methods were applied in the metamorphic units of Kırşehir Massif. The results of water pressure tests carried out in wells at a depth of 300 meters showed that the hydraulic conductivity values were between 10^{-7} m/s and 10^{-10} m/s and the coefficient of variation was greater than 250%, it has been revealed that the change in permeability with depth decreases significantly. With the data obtained from slug tests, specific storage and hydraulic conductivity values of metamorphic units were determined. The specific storage was found to vary between 10^{-5} and 10^{-7} , while the hydraulic conductivity values vary between 10^{-7} m/s and 10^{-9} m/s. The coefficients of variation of the specific storage and the hydraulic conductivity obtained from slug tests are calculated as 202% and 270% respectively. These results demonstrated the importance of applying different methods in the hydraulic characterization of schists, showing that this approach is a useful approach for comparing results obtained from different methods and gaining information about different aspects of the rock mass.

Keywords: Water pressure test, slug test, hydraulic conductivity, specific storage, mining hydrogeology.

1950'lerden Günümüze Eğirdir Gölü Üzerindeki Antropolojik Etmenlerin Yol Açtığı Ekolojik Sorunların Göl Yönetimi Açısından Değerlendirilmesi

Evaluation of the Ecological Problems in terms of Lake Management Caused by Anthropogenic Factors on Lake Eğirdir from the 1950s to the Present

İskender GÜLLE^{1,*}, Şehnaz ŞENER², Fahrettin KÜÇÜK³, Ömer ERDOĞAN⁴,
N. Lerzan ÇİÇEK³, S. Serkan GÜÇLÜ³, Erhan ŞENER², Füsün KILÇIK⁵,
Meryem TUNÇ⁶

¹Burdur Mehmet Akif Ersoy Üni. Fen Edebiyat Fakültesi, Burdur

²Süleyman Demirel Üni. Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Isparta

³Isparta Uygulamalı Bilimler Üni. Eğirdir Su ürünleri Fakültesi, Isparta

⁴Isparta Uygulamalı Bilimler Üni., Yalvaç Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Isparta

⁵Süleyman Demirel Üni. Su Enstitüsü, Isparta

⁶Süleyman Demirel Üni., Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta

(*igulle@mehmetakif.edu.tr)

ÖZET: 1950'li yıllardan günümüze kadar olan süreçte Eğirdir Gölü'nde ve havzasında gerçekleşen başlıca antropolojik etmenlerin göl ekosistemi üzerinde yaratmış olduğu doğrudan ve dolaylı etkilerinin yansımaları neticesinde yönetimsel açıdan yapılan veya yapılamayan uygulamaların değerlendirilmesinin amaçlandığı bu çalışmada, Eğirdir Gölü'nün bilinen kısa tarihi kilometre taşlarıyla özetlenmiştir. Eğirdir Gölü ekosisteminde ilk insani müdahale 1955'de yabancı bir tür olan Sudak'ın (*Sander lucioperca*) kasten aşılması ile başlamış olup, günümüze kadar devam eden yabancı tür girişlerinin biyota üzerinde önemli etkileri görülmüştür. Bu havzada 1970'li yıllardan sonra başlayan yoğun meyvecilik tarımının neden olduğu nütriyent yüklemesi sonucunda sualtı makrofit biyomasında görülen yoğun artışı, ötrofikasyon göstergesi olan siyanobakteri çoğalmaları takip etmiştir. 2018'den buyana su seviyesindeki düşme eğilimiyle oldukça sığlaşan gölün su kalitesi değerleri, ekosistem göstergeleri ve sosyo-ekonomik yararları antropolojik baskıların artarak devam etmesi nedeniyle gün geçtikçe kötüye doğru meyletmektedir. Eğirdir Gölü Havzası'nda son 70 yıllık süreçte gelişen antropolojik gelişmeler irdelediğinde; uygulanan yönetimsel kararların (veya kararsızlığın) bilimsel ölçütler bağlamında sonuca etki edecek bir sulak alan yönetim başarısından büyük oranda uzak olduğu gölde yaşanan durumlar itibarıyla görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Tatlısu gölü, sulak alan, ötrofikasyon, limno-ekoloji, biyoçeşitlilik

ABSTRACT: In this study, which aims to evaluate the direct and indirect effects of the main anthropological factors occurring in Lake Eğirdir and its basin on the lake ecosystem from the 1950s to the present, the implementations that were or were not implemented from a managerial perspective are summarized in terms of the known short history milestones of Lake Eğirdir. The first human intervention in the Lake Eğirdir ecosystem began in 1955 with the deliberate introduction of an alien species, the pike perch (*Sander lucioperca*), and the introduction of alien species has had significant effects on the biota, continuing until today. In this basin, the intense increase in the underwater macrophyte biomass as a result of nutrient loading caused by intensive orchard farming that started after the 1970s was followed by cyanobacteria proliferation, as an indicator of eutrophication. The water quality, ecosystem indicators and socio-economic benefits of the lake, which has become shallower due to the decrease in water levels since 2018, are gradually deteriorating due to increasing anthropological pressures. When the anthropological developments in the Lake Eğirdir Basin in the last 70 years are examined, it is seen that the implemented administrative decisions (or indecision) are largely far from a wetland management success that will affect the outcome in the context of scientific criteria.

Keywords: Freshwater lake, wetland, eutrophication, limno-ecology, biodiversity.

Adalarda Yeraltısuyu Beslenmesinin Önemi: Bozcaada (Türkiye) Örneği

The Importance of Groundwater Recharge on Islands: The Case of Bozcaada (Türkiye)

Özge Yaren TÜRKSEVEN¹, Raquel Marijuan CUEVAS², Orhan GÜNDÜZ³,
Alper BABA¹

¹Uluslararası Su Kaynakları Bölümü, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, 35430, Urla, İzmir, Türkiye

²CARTIF, Parque Tecnológico de Boecillo, parcela 205, CP: 47151, Boecillo (Valladolid), Spain

³Çevre Mühendisliği Bölümü, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, 35430, Urla, İzmir, Türkiye

(*ozgeturkseven@iyte.edu.tr)

ÖZET: İklim değişikliği, su kaynakları üzerinde hem doğrudan hem de dolaylı etkileriyle küresel ölçekte giderek artan bir tehdit oluşturmaktadır. Artan sıcaklıklar, değişen yağış rejimleri ve su döngüsündeki bozulmalar, özellikle sınırlı su kaynaklarına sahip bölgelerde su yönetimini daha karmaşık hale getirmektedir. Bu etkiler, kentleşme, sanayileşme ve nüfus artışının oluşturduğu baskılarla birleşerek su kaynaklarının kalitesinde bozulmalara ve hem yüzey hem de yeraltısularında miktar azalmasına neden olmaktadır. İklim değişikliğinin, özellikle Akdeniz adalarında yeraltısuyuna olan olumsuz etkileri giderek artmaktadır. Sınırlı su kaynakları ve iklim değişikliğine karşı yüksek duyarlılığı nedeniyle Bozcaada, bu sorunların yoğun bir şekilde hissedildiği bölgelerden biridir. Bozcaada, su kaynakları bakımından anakaraya bağımlı olup sürekli akan bir yüzey suyuna sahip değildir. İklim değişikliğinin yol açtığı yağış rejimindeki düzensizlikler, su arzını olumsuz etkilemektedir. Özellikle yaz aylarında artan turizm faaliyetleri, su talebini önemli ölçüde arttırarak su kaynakları üzerindeki baskıyı daha da büyötmektedir. Bu çalışmada, Bozcaada'nın yeraltısuyu beslenmesine ilişkin yapılan araştırmalar incelenmiştir. Alanda, jeolojik yapıların hidrolojik özelliklerini belirlemek amacıyla, daha önce açılmış kuyuların yanı sıra 12 adet araştırma amaçlı kuyu açılmıştır. Bu kuyularda pompa testleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen verilere dayanarak Hydrus-1D programı kullanılarak alanda beslenme senaryoları oluşturulmuştur. Elde edilen veriler, buharlaşma miktarının yağış miktarından yaklaşık üç kat fazla olduğunu ve doğal beslenme miktarının yetersiz kaldığını göstermektedir. Bu doğrultuda, özellikle Bozcaada'da iyileştirme çalışmaları geliştirilmiş ve uygulanmaya başlanmıştır. Bozcaada örneği, iklim değişikliğinin etkilerine uyum sağlamak ve su kaynaklarını korumak için geliştirilen uygulamaların diğer adalar için de önemli bir model sunabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Yeraltısuyu beslenmesi, Hydrus-1D, sürdürülebilir su kaynakları yönetimi, iklim değişikliği, Bozcaada

Teşekkür: Bu çalışma, NATMED isimli Ufuk Avrupa tarafından desteklenmektedir.

ABSTRACT: Climate change poses an increasingly significant global threat due to its direct and indirect effects on water resources. Rising temperatures, changing precipitation patterns and disruptions to the water cycle are making water management more difficult, especially in regions with limited water resources. These effects, combined with the pressures of urbanization, industrialization and population growth, are leading to a deterioration in water quality and a reduction in the quantity of surface and groundwater. The negative effects of climate change on groundwater are particularly pronounced on the Mediterranean islands. Bozcaada, with its limited water resources and high sensitivity to the effects of climate change, is one of the places where these challenges are particularly felt. The island is dependent on connections to the mainland for water resources and has no continuous surface water flow. Irregularities in rainfall patterns caused by climate change have a negative impact on the water supply. Increasing tourism activities in the summer months significantly increase the demand for water, which further increases the pressure on water resources. This study examines the groundwater recharge studies of Bozcaada. In order to determine the hydrological characteristics of the geological structures in the area, 12 exploratory wells were drilled in addition to the existing wells. A series of pumping tests were carried out in these wells and the data obtained was used to develop recharge scenarios for the area using the Hydrus-1D program. The findings revealed that the evaporation rate is approximately three times higher than the precipitation rate, and natural recharge

is insufficient. Consequently, improvement efforts have been developed and implemented, particularly in Bozcaada. The case of Bozcaada shows that the practices developed to adapt to the effects of climate change and protect water resources can serve as a valuable model for other islands.

Keywords: *Groundwater recharge, Hydrus-1D, sustainable water resource management, climate change,*

Acknowledgments: *This study is formulated as a part of the NATMed Project funded by the PRIMA Programme of the European Union through Grant Agreement No 2221.*

Su ile İlgili Sorunların Çözümünde 5N1K Yaklaşımı ve Öneriler

5W1H Approach in Water-related Problems and Suggestions

Hafzullah AKSOY^{1,*}, Yonca ÇAVUŞ²

¹ İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul

² İstanbul Beykent Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul
(*haksoy@itu.edu.tr)

ÖZET: Su ile ilgili sorunlar, artan su talebi ile eskiye göre daha sık yaşanmakta ve zaman ve mekanda değişkenlik göstermektedir. Karmaşık olmalarından dolayı bu sorunların yalnız mühendislik çözümleri ile giderilmesi olanaksızdır. Sorunun giderilmesinde Ne, Neden, Nerede, Ne Zaman, Nasıl ve Kim sorularına yanıt arayan 5N1K yaklaşımının kullanılması önerilebilir. Su ile ilgili herhangi bir mühendislik sorunu (Ne), doğal veya insan kaynaklı olarak ortaya çıkabilir (Neden). Bu sorun insanı, çevreyi ve ekonomiyi (Kim) etkiler. Her bölgenin su ile ilgili sorunu farklıdır (Nerede) ve zamanla değişkendir (Ne Zaman). Soruna çözüm, sadece nicel mühendislik teknikleri ile değil aynı zamanda nitel metodolojiler de kullanılarak araştırma ve uygulamadan katılımcılarla disiplinler arası bir işbirliği içinde aranmalıdır (Nasıl). Burada su ile ilgili sorunların çözümü için araştırma, uygulama ve karar verici mekanizmaların toplum ile etkileşimini esas alan öneriler sunulacaktır.

Anahtar Kelimeler: 5N1K, araştırma, karar verici, toplum, uygulama.

ABSTRACT: Water-related problems are experienced more frequently than before with increasing water demand. Due to their complexity, it is not possible to solve these problems with the sole use of engineering techniques. To overcome any water-related problem, it might be recommended to use the 5W1H approach, which seeks answers to the questions What, Why, Where, When, Who and How. Water-related engineering problems (What) can arise from natural factors or anthropocene (Why) to affect the human, environment and economy (Who). Water-related problems are region-specific (Where) and variable over time (When). Solution to the problem should be sought through an interdisciplinary collaboration by using not only quantitative engineering techniques but also qualitative methodologies (How). Here, suggestions based on the interaction of research, practice and decision-making mechanisms with society in solving water-related problems will be presented.

Keywords: 5W1H, research, decision, society, practice.

Eğirdir Gölü için Su Bütçesi Projeksiyon Çalışmaları ve Kısa/Orta Vadeli Çözüm Önerileri

Water Budget Projection Studies and Short/Mid Term Solution Proposals for Lake Eğirdir

Mustafa DOĞAN^{1,*}, Celalettin ŞİMŞEK², Ayşegül ÖZGENÇ AKSOY¹, Yusuf YAŞIR³

¹Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hidrolik Anabilim Dalı, DEÜ Merkez Yerleşkesi, 35390 Buca/İZMİR

²Dokuz Eylül Üniversitesi, Torbalı Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, Geoteknik Programı, 7 Eylül Mah. 5562 Sokak No:9, Torbalı Kampüsü, 35860 Torbalı/İZMİR

³Fen Bilimleri Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi, DEÜ Merkez Yerleşkesi, 35390 Buca/İZMİR
(*mustafa.dogan@deu.edu.tr)

ÖZET: Ülkemizin en önemli tatlı su kaynaklarından biri olan Eğirdir Gölü, özellikle son yıllarda kuraklık ve kirlilik tehdidi altındadır. Gölün uzun yıllardır süre gelen döngüsel su seviye değişimleri, son yıllarda etkisi daha çok hissedilen iklim değişikliği ve bununla birlikte sulama-kullanma suyu baskıları nedeniyle bir düşüş eğilimine girmiştir. 1 Aralık 2024 itibari ile Eğirdir Gölü, su seviyelerinin düzenli kaydedildiği 1953 yılından günümüze en düşük kotuna ulaşmıştır. Bu değer 2012 yılında yürürlüğe giren ve 2024 yılı temmuz ayında yeniden düzenlenen Eğirdir Gölü Özel Hükümlerinde belirtilen minimum su kotu olan 914.74 m değerinin de altındadır. Göl su bütçesine esas ölçülmüş parametreler incelendiğinde, su bütçesindeki çıktıların temelini buharlaşma kayıplarının oluşturduğu görülmektedir. Bununla birlikte, girdilerdeki en önemli pay ise yağışlarıdır. Su bütçesindeki girdi ve çıktıların uzun dönemde olası değişim oranlarına bağlı olarak gelecek projeksiyonları yapılmıştır. Bununla birlikte, göldeki su seviyesi düşüşüne karşın öncelikli olarak acil ve adaptif çözümler ile sonrasında uygulanacak orta vadeli çözümler, öneriler şeklinde sıralanmıştır.

Anahtar kelimeler: Eğirdir gölü, su bütçesi, projeksiyon, çözüm önerileri.

ABSTRACT: Eğirdir Lake, one of the most important freshwater sources in our country, is particularly threatened by drought and pollution in recent years. The cyclical water level changes that have been ongoing for many years have shown a declining trend due to climate change, which has become more pronounced in recent years, along with irrigation and usage water pressures. As of December 1, 2024, Eğirdir Lake has reached its lowest level since 1953, when water levels began to be regularly recorded. This level is also below the minimum water level of 914.74 meters specified in the Eğirdir Lake Special Provisions, which came into effect in 2012 and were revised in July 2024. When examining the measured parameters that form the basis of the lake's water budget, it is seen that evaporation losses constitute the main component of the outputs in the water budget. However, the most significant share of the inputs is from precipitation. Future projections have been made based on the possible long-term change rates of the inputs and outputs in the water budget. In response to the decline in the lake's water level, urgent and adaptive solutions are prioritized, followed by medium-term solutions to be implemented subsequently.

Keywords: Eğirdir Lake, water budget, projection, solution proposals.

Malatya Metamorfikleri'nden Beslenen Karstik Kaynakların Hidrojeoloji İncelemesi

Hydrogeological Investigation of Karstic Springs Fed from Malatya Metamorphics

Safa ÇELİK¹, Özlem ÖZTEKİN OKAN^{2*}

¹Malatya Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü (MASKİ), 44900, Malatya

²Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 23119, Elazığ

(*ooztekin@firat.edu.tr)

ÖZET: Çalışma kapsamında Devoniyen-Jura yaşlı Malatya Metamorfikleri'ne ait rekristalize kireçtaşlarından beslenen kaynakların düzenli debi ölçümleri yapılarak boşalım katsayıları hesaplanıp yorumlanmıştır. Çalışma sahasında, 4 çeşme ve 2 kaynak suyunda Aralık (2021) – Aralık (2022) tarihleri arasında ayda iki kez olmak üzere debi, pH, elektriksel iletkenlik ve sıcaklıklar ölçülmüştür. İncelenen suların pH değerleri 7.87-8.76, sıcaklık değerleri 7.8-19.4 °C, elektriksel iletkenlik değerleri ise 204.3-526.00 µS/cm arasındadır. Kaynakların yıllık ortalama debi değerleri 0.37 Lt/sn ile 153.52 Lt/sn, boşalım katsayıları ise 0.008 gün⁻¹ ile 0.038 gün⁻¹ arasındadır. Hesaplanan boşalım katsayılarına göre kaynaklar, önce karstik erime kanallarında türbülans akımla, sonra ince çatlak ve gözeneklerde laminar akımla hareket etmektedir. Yağışlı dönemde düşük EC değerleri, yağışların etkisiyle yeraltı sularında meydana gelen seyrelmenin, kurak dönemde yüksek EC değerleri ise artan su-kayaç etkileşiminin sonucudur. İncelenen kaynakların elektriksel iletkenlik ve sıcaklık verileri arasında doğru orantı gözlemlenirken, bu iki parametrenin debi ile ters orantılı olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Karstik kaynak, boşalım katsayısı, hidrojeoloji, Malatya, yeraltı suları

ABSTRACT: The discharge coefficients of the karstic springs fed from recrystallized limestones of Devonian-Jurassic aged Malatya Metamorphites were calculated and evaluated due to the periodically measured discharge rates of the springs. The flow rates, pH, electrical conductivity and temperatures of 6 water points, 4 fountains and 2 spring waters, were measured twice a month for a period of one year between December (2021) and December (2022). The pH, temperature, and electrical conductivity values of the springs were varied between 7.87 and 8.76, between 7.8 and 19.4 °C, and between 204.3 and 526.00 µS/cm, respectively. The annual average discharge rates of the springs are between 0.37 Lt/s and 153.52 Lt/s, and the calculated discharge coefficients are between 0.008 day⁻¹ and 0.038 day⁻¹. In the real regime period of the springs, it was determined that the springs first showed turbulent flow in large karstic channels and then laminar flow through thin cracks and pores in limestone aquifer. Lower EC values in the rainy period are the result of the dilution in groundwater due to the effect of precipitation and higher EC values in the dry period are the result of the increased water-rock interaction. A linear relationship was determined between electrical conductivity and temperature whereas these two parameters are inversely proportional to the flow rates of the investigated springs.

Keywords: Karstic spring, discharge coefficient, hydrogeology, Malatya, groundwater

Yalvaç-Gelendost (Türkiye) Havzası Yeraltısuyunun Hidrojeokimyasal Özellikleri ve Sağlık Risk Değerlendirmesi

Hydrogeochemistry Characteristics of Groundwater and Health Risk Assessment in Yalvaç-Gelendost Basin (Turkey)

Burcu BATUR^{1*}, Ayşen DAVRAZ¹

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Isparta/Türkiye
(*burcubatur777@gmail.com)

ÖZET: Bu çalışmada, Türkiye'nin güneybatısında Göller Bölgesi içerisinde bulunan Yalvaç-Gelendost Havzası yeraltısularının hidrojeokimyasal özellikleri incelenmiştir. Çalışma alanında içme ve kullanma suyu yeraltısuyundan temin edilmektedir. Havzada bulunan yeraltısuları Ca-Mg-HCO₃, Mg-Ca-HCO₃ ve Ca-HCO₃'lı sular sınıfındadır. Sulara Ca²⁺ ve HCO₃⁻ iyonları baskın olup akifer ortamın alüvyon ile kireçtaşı ve kumtaşı gibi kayalar olabileceği tespit edilmiştir. Çalışmada, yeraltısuyu kimyasını denetleyen temel faktörün kaya-su etkileşimi olduğu ve silikat ayrışmasının majör ayrışma süreci olduğu belirlenmiştir. Yeraltısuyu örneklerinin fizikokimyasal parametreleri, majör iyon, iz element ve azot türevleri analiz sonuçları incelenmiştir. Bu parametreler içme suyu standartları ile karşılaştırılmış ve bazı örneklerin As ve F içeriklerinin sınır değerlerin üzerinde olduğu görülmüştür. Yeraltısuyu örneklerinin analiz sonuçları dikkate alınarak sağlık açısından olumsuz etki yapabilecek As, NO₃ ve F parametreleri için sağlık risk değerlendirme yapılmıştır. Yetişkin bireyler için iki örneğin içme suyu olarak kullanımda sağlık riski oluşturabileceği ve As elementi için dermal yolla maruziyette kanser riski oluşabileceği tespit edilmiştir. Çocuk bireylerde ise içme suyu ve dermal yolla kullanımda sağlık riski olmadığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Sağlık risk, hidrojeoloji, hidrojeokimya, su kalitesi, Yalvaç-Gelendost.

ABSTRACT: In this study, hydrogeochemical properties of groundwater in Yalvaç-Gelendost Basin located in the Lakes Region in the southwest of Turkey were investigated. Drinking and utility water is supplied from groundwater in the study area. Groundwater in the basin is in the Ca-Mg-HCO₃, Mg-Ca-HCO₃ and Ca-HCO₃ water classes. It was determined that Ca²⁺ and HCO₃⁻ ions are dominant and the aquifer environment may be alluvium and rocks such as limestone and sandstone. In the study, it was determined that the main factor controlling groundwater chemistry is rock-water interaction and silicate disintegration is the major disintegration process. The physicochemical parameters of groundwater samples, major ion, trace element and nitrogen derivative analysis results were investigated. These parameters were compared with drinking water standards and it was observed that As and F contents of some samples were above the limit values. Considering the analysis results of groundwater samples, health risk assessment was made for As, NO₃ and F parameters that may have negative effects on health. It has been determined that two samples may pose a health risk for adult individuals when used as drinking water and may pose a cancer risk when exposed to the As element dermally. It has been observed that there is no health risk for children when used as drinking water or dermally.

Keywords: Health risk, hydrogeology, hydrogeochemistry, water quality, Yalvaç-Gelendost.

Deniz Suyu Girişimi Önlenmesi Suni Besleme Projesi/ Balıkesir Altınova

Artificial Feeding Project for Preventing Sea Water Intrusion/Balıkesir Altınova

Özgür Devrim ALIÇ^{1*}, İsmail SEVİM²

^{1*}Devlet Su İşleri 25. Bölge Müdürlüğü, Çayırhisar Mahallesi İzmir Yolu Üzeri Bigadiç Kavşağı PK:10050
Altıeylül/BALIKESİR

²Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Mustafa Kemal Mahallesi Anadolu Bulvarı No:9 PK:06530
Çankaya/ANKARA
(*devrimalic@gmail.com)

ÖZET: Bu çalışma ülkemizin önemli turizm beldelerinden biri olan Balıkesir ili Ayvalık ilçesinde yağışların azalması, yeraltı suyu kullanımının artması, tuzlu su girişimi nedeniyle düşen yeraltı suyu seviyesinin yükseltilmesi, yeraltı suyunun miktar ve kalitesinin artırılması amacıyla gerçekleştirilmiştir. Yağışlı dönemde Madra Barajı Sulamasından hidrantlar aracılığı ile alınan suyun yeraltına süzülmesi ile sahil bölgesinde yer alan Altınova akiferinin beslenimi sağlanabilecektir. Yeraltı suyu besleniminin artması ile yeraltı su seviyesi yükselecek ve deniz suyu girişimi azaltılarak bu bölgede yeraltı suyunun miktar ve kalite olarak iyileşmesi ile birlikte 1,5-2 hm³ yıl fayda sağlanacaktır.

Anahtar Kelimeler: Suni besleme, akifer, tuzlu su girişimi, yeraltı suyu beslenimi

ABSTRACT: This study was carried out in Ayvalık district of Balıkesir province, one of the important tourism resorts of our country, with the aim of decreasing precipitation, increasing groundwater use, increasing the groundwater level that has decreased due to saltwater intrusion, and increasing the quantity and quality of groundwater. During the rainy season, the water taken from Madra Dam irrigation through hydrants will be filtered into the underground, thus providing recharge to the Altınova aquifer located in the coastal region. With the increase in groundwater recharge, the groundwater level will rise, and seawater intrusion will be reduced, and 1.5-2 hm³ years of benefit will be provided by improving the quantity and quality of groundwater in this region.

Keywords: Artificial recharge, aquifer, saltwater intrusion, groundwater recharge

ERA5 Reanaliz Veri Seti ve Uzun Kısa Süreli Bellek Modelleri ile Nehir Akımlarının Yeniden Oluşturulması

*Reconstruction of River Flows by ERA5 Reanalysis Dataset and
Long Short-Term Memory Models*

İsmail ÜNLÜTÜRK^{1*}, Ali ERCAN¹

¹Orta Doğu Teknik Üniversitesi
(*ismailnlturk@gmail.com)

ÖZET: Uzun vadeli ve sürekliliği olan nehir akım verileri, su kaynakları yönetimi, taşkın ve kuraklık analizi, hidrolik altyapıların tasarımı ve yönetimi, iklim değişikliği araştırmaları ve nehir akışlarının tahmin edilmesi için gerekli olmasına rağmen, dünya çapında sınırlı nehir akım verisi bulunmaktadır. Kompleks hidrolojik süreçlerden dolayı akım verilerini yeniden oluşturmak oldukça zordur. İklim reanalizi veri setleri, geçmişteki hava durumu ve iklimin şu anda mümkün olan en eksiksiz resmini sunmaktadır. Son zamanlarda derin öğrenme, hidroloji ve iklim araştırmaları da dahil olmak üzere çeşitli alanlarında büyük başarı göstermiştir. Bu çerçevede, bu çalışmanın kapsamı, ERA5 Reanaliz iklim veri setini girdi olarak kullanan bir Uzun Kısa Süreli Bellek (LSTM) modeli ile tarihsel günlük ve aylık nehir akımlarını yeniden oluşturmak için bir metodoloji geliştirmektir. Hem günlük hem de aylık istatistiksel sonuçlar ve grafikler incelendiğinde ise modellenen her istasyon için hem kalibrasyon sürecinde hem de validasyon sürecinde tatmin edici çıktılar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yeniden yapılandırma, nehir akımı, LSTM, ERA5 iklim reanalizi, derin öğrenme

ABSTRACT: Although long-term and continuous river flow data is necessary for water resources management, flood and drought analysis, design and management of hydraulic infrastructures, climate change research, and predicting river flows, there are limited river flow data around the world. Reconstructing river flow data is very difficult due to complex hydrological processes. Climate Reanalysis datasets provide the most complete picture currently possible of past weather and climate. Recently, deep learning has shown great success in various fields including hydrology and climate research. Within the above framework, the scope of this study is to develop a methodology to reconstruct historical daily and monthly river flows by a Long Short-Term Memory (LSTM) model, utilizing the ERA5 Reanalysis climate dataset as inputs. When both daily and monthly statistics and graphs are examined, satisfactory outputs were obtained both in the calibration and validation process for each modeled station.

Keywords: Reconstruction, river flow, LSTM, ERA5 climate reanalysis, deep learning

Eğirdir Gölü Hidrodinamik Modellemesine Esas Sıcaklık ve İletkenlik Parametrelerinin Analizi

Analysis of Temperature and Conductivity Parameters Essential for Hydrodynamic Modeling of Eğirdir Lake

Yusuf YAŞIR^{1*}, Mustafa DOĞAN², Ayşegül ÖZGENÇ AKSOY²

¹ Fen Bilimleri Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi, DEÜ Merkez Yerleşkesi, 35390 Buca/İZMİR

²Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hidrolik Anabilim Dalı, DEÜ Merkez Yerleşkesi, 35390 Buca/İZMİR

(* yasir.yusuf@ogr.deu.edu.tr)

ÖZET: İklim değişikliğinin neden olduğu kuraklık tehdidi ve insan faaliyetleri, su kaynaklarının yok olma tehlikesiyle karşı karşıya kalmasına yol açmaktadır. Bu nedenle, önemli su kaynaklarından biri olan göller üzerine yapılan çalışmalar büyük önem taşımaktadır. Türkiye'nin ikinci büyük tatlı su gölü olan Eğirdir Gölü de bu tehlikeyle karşı karşıya olup, su seviyesinde belirgin bir azalma gözlemlenmektedir. Bu çalışmada, Eğirdir Gölü'nün hidrodinamik modellemesi ve su bütçesi çalışmalarına temel oluşturması amacıyla, gölün farklı derinliklerinde ve bölgelerinde sıcaklık ve iletkenlik parametresi dağılımı incelenmiştir. Çalışma kapsamında gölün farklı noktalarında, yerinde arazi ölçümleri (sıcaklık, su kolonu yüksekliği ve iletkenlik) gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümler, gölün tamamını kapsayacak şekilde gerçekleştirilmiş, her bir ölçüm noktasında dalgıç adı verilen ölçüm cihazı kullanılmış ve veriler "Diver Office" yazılımı ile bilgisayara aktarılmıştır. Çalışma sonucunda, göldeki iletkenlik değerlerinin 0.32 ila 0.45 mS/cm arasında değiştiği ve sıcaklığın derinlikle birlikte azaldığı görülmüştür. Bu bulgular, Eğirdir Gölü için bütüncül bir hidrodinamik model kurulması ve uzun dönem meteorolojik ve limnolojik veriler ile çalıştırılması için kullanılacaktır.

Anahtar kelimeler: Eğirdir gölü, hidrodinamik model, sıcaklık, iletkenlik, "Diver Office" yazılımı

ABSTRACT: The threat of drought caused by climate change and human activities is leading to the potential disappearance of water resources. Therefore, studies on lakes, one of the important water sources, are of great significance. Lake Eğirdir, Turkey's second-largest freshwater lake, is also facing this threat, with a noticeable decrease in water levels. In this study, the distribution of temperature and conductivity parameters at different depths and regions of the lake was investigated to serve as a basis for the hydrodynamic modeling and water budget studies of Lake Eğirdir. Field measurements (temperature, water column height, and conductivity) were conducted at various points in the lake. These measurements were carried out to cover the entire lake, using a measurement device called a diver at each measurement point, and the data were transferred to a computer using "Diver Office" software. As a result of the study, it was observed that conductivity values in the lake ranged from 0.32 to 0.45 mS/cm, and temperature decreased with depth. These findings will be used to establish a comprehensive hydrodynamic model for Lake Eğirdir and run it with long-term meteorological and limnological data.

Keywords: Eğirdir Lake, hydrodynamic model, temperature, conductivity, "Diver Office" software

Erkenez (Kahramanmaraş) Mevkii Yeraltısularının Hidrojeokimyasal İncelemesi

Hydrogeochemical Investigation of Groundwater in the Erkenek(Kahramanmaraş) Region

Şeyda GÜNEŞ¹, Yusuf URAS^{2*}

¹Devlet Su İşleri 20. Bölge Müdürlüğü,46080, Kahramanmaraş

^{2*}Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 46100, Kahramanmaraş

(*yuras@ksu.edu.tr)

ÖZET: Bu çalışmada, Erkenek (Kahramanmaraş) mevkisinin yeraltısularının hidrojeokimyasal ve izotop jeokimyası özellikleri incelenmiştir. Çalışma kapsamında, 6 Şubat (Pazarcık) depremlerinin verdiği hasar sonucu enkaz döküm sahası olarak da kullanılan havzanın yeraltısuyu kalitesi parametrelerinin izlenmesi, kalite düzeylerinin belirlenmesi ve kuyulardan içme-sulama maksatlı sağlanan yeraltı suyunun mevcut kullanıma uygun olup olmadığının tespiti amaçlanmıştır. Çalışma alanı Kuvaterner yaşlı alüvyon, Kretase yaşlı Koçali karmaşığı ve Besni formasyonu içerisinde yer almaktadır. 2024 yılı içerisinde, yağışlı ve kurak dönemlerde 3 adet noktadan (derin kuyu) su örneği alınmıştır. Numune alınan derin kuyular üzerinde kimyasal ve ağır metal analizleri yapılmıştır. Su örnekleri alınırken suların pH, elektriksel iletkenlik (EC) ve sıcaklık (T) değerleri yerinde ölçülmüştür. EC, pH ve T değerleri sırasıyla; 438-634µs/cm,7,8-8,5 ve 14,6-18,8°C arasında değişmektedir. NO₃ değerleri 2.81-39,5 mg/l arasında değişmektedir. Suların metal konsantrasyonları genel olarak İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik'te belirtilen sınır değerlerin altında olup içme amaçlı tüketime uygundur. Sulama suyu açısından incelenen suların Sodyum Adsorpsiyon oranı (SAR) 0,18-0,27 aralığında olup mükemmel grupta yer almaktadır.

Anahtar Kelimeler: Erkenek, içme suyu kalitesi, sulama suyu, hidrojeokimya, izotop jeokimyası

ABSTRACT: In this study, the hydrogeochemical and isotopic geochemistry characteristics of groundwater in the Erkenek (Kahramanmaraş) region were investigated. The study aimed to monitor the groundwater quality parameters in the basin, which was also used as a debris dumping site due to the damage caused by the 6 February (Pazarcık) earthquakes, to determine the quality levels, and to assess whether the groundwater extracted from wells for drinking and irrigation purposes is suitable for current use. The study area is located within Quaternary-aged alluvium, Cretaceous-aged Koçali mélange, and the Besni formation. In 2024, water samples were collected from three points (deep wells) during both wet and dry periods. Chemical and heavy metal analyses were conducted on the collected deep well samples. During water sampling, the pH, electrical conductivity (EC), and temperature (T) values of the water were measured on-site. The EC, pH, and T values ranged from 438-634 µS/cm, 7.8-8.5, and 14.6-18.8 °C, respectively. The NO₃ values varied between 2.81-39.5 mg/L. The metal concentrations of the waters were generally below the limit values specified in the Regulation on Water Intended for Human Consumption and were deemed suitable for drinking purposes. Regarding irrigation water, the Sodium Adsorption Ratio (SAR) ranged between 0.18-0.27, placing the waters in excellent category.

Keywords: Erkenek, drinking water quality, irrigation water, hydrogeochemistry, isotopic geochemistry.

Su Yapılarının Hidrolojik Havza Üzerindeki Etkisinin SWAT Modeli Kullanılarak Araştırılması

Determining the Impact of Water Structures on the Hydrological Basin Using the SWAT Model

Emine ARSLAN KARADAVUT^{1*}, Türker KURTTAŞ¹

¹Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Beytepe/Ankara
(*emine.arslan319@gmail.com)

ÖZET: 2014 yılında işletmeye alınan Büğdüz Göletinin Büğdüz Alt Havzasındaki hidrolojik döngüye etkisi ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bu kapsamda insan kaynaklı faaliyetlerin ve iklim değişikliğinin etkilerini değerlendirmek için son yıllarda sıklıkla kullanılan SWAT (Soil and Water Assessment Tool) hidrolojik modeli kullanılmıştır. Göletin bulunmadığı dönemi temsil eden 2005-2013 yılları için ilk model kurulmuştur. Bu modelde 2005-2006 yılları warm-up, 2007-2010 yılları kalibrasyon ve 2011-2013 yılları validasyon işlemleri yapılarak havza parametreleri elde edilmiştir. Parametrelerin istatistiksel olarak model performans değerleri kalibrasyon işlemi sonucunda $R^2=0,88$, $NSE=0,88$; validasyon işlemi sonucunda $R^2=0,72$, $NSE=0,32$ olarak hesaplanmıştır. 2014-2018 yıllarında Büğdüz Göletinin bulunduğu ve bulunmadığı dönemler için iki farklı senaryo oluşturulmuş ve depolamadaki değişimler sırasıyla $7,578 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ ve $9,246 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ olarak hesaplanmıştır. Havzada en fazla su kaybını buharlaşma ve terleme ile olduğu tespit edilmiştir. Göletin bulunduğu dönemde yıllık $1,44 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ daha fazla su kaybı gerçekleşmiştir.

Anahtar Kelimeler: SWAT, hidrolojik model, Büğdüz havzası

ABSTRACT: The aim was to investigate the impact of the Büğdüz Pond, which was commissioned in 2014, on the hydrological cycle of the Büğdüz Sub-Basin. To achieve this, the SWAT (Soil and Water Assessment Tool) hydrological model, which has been frequently used in recent years to assess the effects of anthropogenic activities and climate change, was employed. The initial model was developed for the period 2005-2013, representing the time before the pond existed. In this model, the years 2005-2006 were used for the warm-up phase, 2007-2010 for calibration, and 2011-2013 for validation, resulting in the determination of basin parameters. The statistical model performance values for the parameters were calculated as $R^2 = 0.88$ and $NSE = 0.88$ for the calibration phase, and $R^2 = 0.72$ and $NSE = 0.32$ for the validation phase. Two different scenarios were developed for the period 2014-2018, representing the presence and absence of the Büğdüz Pond. The changes in water storage were calculated as $7.578 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$ and $9.246 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$, respectively. The highest water loss in the basin was calculated to occur through evaporation and transpiration. During the period when the pond existed, an additional water loss of $1.44 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{year}$ was observed.

Keywords: SWAT, hydrological model, Büğdüz sub-basin

Muğla Yatağan Bahçeyaka-Bayır İçme Suyu Kuyuları ve Kaynaklarının Hidrojeokimyasal Karakterizasyonu: İlk Sonuçlar

Hydrogeochemical Characterization of Muğla Yatağan Bahçeyaka-Bayır Drinking Water Wells and Springs: Preliminary Results

Ahmet EMİN^{1*}, Merve İŞLEK¹, Özay YURTTAŞ²

¹DSİ Genel Müdürlüğü Yeraltısuları Dairesi Başkanlığı, Ankara

² DSİ 21. Bölge Müdürlüğü, Aydın

(*ahmetemin@dsi.gov.tr)

ÖZET: Bu çalışmada, Muğla ili, Yatağan ilçesi, Bahçeyaka ve Bayır çevresinde yer alan, Muğla ili ve Yatağan ilçesi ile 40 yerleşim alanının içme suyu ihtiyacını karşılayan kuyu ve kaynakların hidrojeokimyasal özellikleri araştırılmıştır. Çalışma alanında belirlenen kuyu ve kaynaklardan alınan su örnekleri üzerinde yaklaşık bir yıllık süre boyunca belirli periyotlarda kimyasal analizler gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, bu kaynakların koruma alanlarının belirlenmesi kapsamında elde edilen ilksel yeraltısu kimyasal analiz sonuçları kullanılarak hidrojeokimyasal değerlendirmeler yapılmıştır. Elde edilen verilerin hidrojeokimyasal değerlendirmeleri ile çalışma alanının hidrojeokimyasal karakteristiklerinin ortaya konulacaktır. Hidrojeokimyasal karakterizasyon çalışmaları hidrojeolojik kavramsal modelin geliştirilmesinde ve içme suyu ihtiyacının karşılayan kuyu ve kaynakların koruma alanları belirlenmesinde önemli rol oynayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Hidrojeokimyasal karakterizasyon, yeraltısu koruma alanları

ABSTRACT: In this study, the hydrogeochemical properties of wells and springs located in the vicinity of Muğla province, Yatağan district, Bahçeyaka and Bayır, which meet the drinking water needs of Muğla province and Yatağan district and 40 settlement areas, were investigated. Chemical analyses were carried out on water samples taken from wells and springs determined in the study area at certain periods for a period of approximately one year. In the study, hydrogeochemical evaluations were made using the primary groundwater chemical analysis results obtained within the scope of determining the protection areas of these resources. The hydrogeochemical evaluations of the obtained data will reveal the hydrogeochemical characteristics of the study area. Hydrogeochemical characterization studies will play an important role in the development of the hydrogeological conceptual model and in determining the protection areas of wells and springs meeting the drinking water needs.

Keywords: Hydrogeochemical characterization, groundwater protection zones

Silvan Barajı Göl Alanı Jeoteknik ve Hidrojeolojik Araştırmaları

Geotechnical and Hydrogeological Investigations in Silvan Dam Lake Area

**Ayhan KOÇBAY^{1*}, Harun MEYDAN¹, Erol ÖZTÜRK¹, Arif Emre USUL¹,
Orhan ŞİMŞEK², Tamer DUMAN², Aydın Emre AYAN²**

¹DSİ Genel Müdürlüğü, Jeoteknik Hizmetler Dairesi Başkanlığı, Ankara

²Fugro Sial, Besa Kule İş Merkezi, Ankara

(*akocbay@dsi.gov.tr)

ÖZET: Silvan Barajı ve HES projesinde, su tutulma aşamasından sonra göl alanından yan vadilere su kaçaklarının olup olmayacağına yönelik jeolojik, jeoteknik ve hidrojeolojik çalışmalar yapılmıştır. Bu süreçte baraj gövdesi ile göl alanı sağ ve sol sahilindeki olası kaçak güzergahlarına yönelik olarak Gercüş, Midyat, Germik, Silvan ve Lice formasyonlarında 13 bin metreden fazla karotlu sondaj ve BST deneyleri yapılmıştır. Yapılan tüm çalışmalara ait veriler kullanılarak öncelikle 3 boyutlu jeolojik ve hidrojeolojik model çıkartılmış, çok sayıda jeolojik kesit üzerinde birimlerin jeoteknik ve hidrojeolojik özellikleri kullanılarak su kaçağı olabilecek güzergâhlarda hesaplamalar ve değerlendirmeler yapılmıştır. Buna göre, 10 yıllık bir zaman diliminde Zori vadisinde 1095nci günde birim kesitte ortalama 0,099 l/s, 3650nci günde ise 0,11 l/s bir sızıntı olacağı belirlenmiş olup bunun gerek baraj gövdesi gerekse göl alanında tutulacak su miktarına bağlı olarak herhangi bir sorun oluşturmayacağı ortaya konulmuştur. Ayrıca, bu çalışmalardan elde edilen verilerle enjeksiyon perdesi gözden geçirilmiş ve gerekli revizyonlar yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Baraj göl alanı su kaçakları, Silvan Barajı, hidrojeolojik etüt, enjeksiyon

ABSTRACT: In the Silvan Dam and HEPP (Hydroelectric Power Plant) Project, geological, geotechnical, and hydrogeological studies were conducted to determine the potential for water leakage from the lake area into the side valleys after the water retention phase. During these investigations, over 13,000 meters of core drilling and BST tests were carried out within the Gecüş, Midyat, Germik, Silvan and Lice formations to identify potential leakage routes in the dam body and on the right and left shores of the lake area. Using data from all studies, a 3D geological and hydrogeological model was created, and calculations and evaluations were performed on potential water leakage routes based on the geotechnical and hydrological properties of the units across multiple geological sections. It was determined that, over a 10-years period, the Zori Valleys would experience an average leakage of 0.099 l/s on the 1,095th day and 0.11 l/s on the 3,650th day. This level of leakage was found to pose no risk to the dam body or lake area in relation to the amount of water being retained. Additionally, the injection curtain was re-evaluated using the newly obtained data, and necessary revisions were implemented to ensure optimal performance.

Keywords: Dam lake area water leakage, Silvan Dam, hydrogeological survey, injection curtain

Konya Sarayönü Beşgöz Kaynaklarının İlkkel Kavramsal Modelinin Oluşturulması

Creation of the Primary Conceptual Model of Konya Sarayonu Beşgöz Springs

Nami ERDOĞAN^{*1}, Şükran AÇIKEL²

¹ DSİ Genel Müdürlüğü, Yeraltısu Dairesi Başkanlığı, Ankara

² Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara

(*namierdogan@dsi.gov.tr)

ÖZET: Kaynaklar nehir, göl, sulak alanlar gibi birçok bölgenin ana unsurudur. Kaynaklara bağımlı sistemlerin sürdürülebilir yönetimi, kaynak hidrojeolojik sisteminin yeterli düzeyde anlaşılmasını gerektirir. Beşgöz kaynakları, yeraltısu seviyelerinin önemli ölçüde düştüğü Konya'da önemli bir su noktasıdır. Kaynağın topoğrafik drenaj alanı yaklaşık 92 km² olup, kaynak boşalım noktası kireçtaşı, kil-marn ardalanmasından oluşan İnsuyu Formasyonu üzerinde bulunmaktadır. Kaynağın drenaj alanı içerisinde bulunan Karbonifer yaşlı kireçtaşlarında Büyükzengi, Bakırpınar mevkieinde farklı kaynak boşalımları bulunmaktadır. 2005-2011 yılları arasındaki verilere göre kaynağın ortalama debisi 530 lt/sn'dir. Düzenli debi verilerinin bulunduğu yıllar için çekilme katsayıları hesaplandığında, kaynağın çekilme katsayısında yıllara göre farklılıklar olduğu görülmektedir. "Sakarya Havzası Hidrojeolojik Etüt Çalışmaları" kapsamında dört dönem (iki yağışlı iki kurak) olmak su numuneleri alınmıştır. Geçmiş dönemde yapılan jeofizik çalışmaları incelenerek, eksik görülen bölgelerde jeofizik çalışmaları gerçekleştirilmiş ve karbonifer yaşlı kireçtaşlarının kalınlık ile sınırlarının tespit edilmesine çalışılmıştır. Elde edilen veriler ışığında, Beşgöz kaynaklarının ve etraftaki kaynakların aynı dönemde düzenli debi ölçümlerinin yapılması, Beşgöz kaynaklarının oluşturduğu gölde batimetri çalışması ile gölün hacminin belirlenmesi, gölden seviye ölçümünün yapılması, gölden yapılan çekim miktarlarının belirlenmesi çalışmalarının gerçekleştirilmesi durumunda kaynağın güncel debisi doğru olarak belirlenebilecektir. Ayrıca, Beşgöz kaynakları ve civarında bulunan Büyükzengi ve Bakırpınarı kaynaklarının beslenme sistemi anlaşılabilir. Bu kaynakların etkileşimde oldukları sulak alanların korunması ve yönetilmesi bu şekilde sağlanabilir.

Anahtar Kelimeler: Konya, Beşgöz kaynakları, yeraltısu, sulak alan.

ABSTRACT: Springs are the main elements of many regions such as rivers, lakes and wetlands. Sustainable management of systems dependent on springs requires adequate understanding of the spring hydrogeological system. Beşgöz springs are an important water point in Konya, where groundwater levels have significantly decreased. The topographic drainage area of the spring is approximately 92 km² and the spring discharge point is located on the İnsuyu Formation, which consists of limestone, clay-marl alternation. There are different spring discharges in the Carboniferous limestones located in the drainage area of the spring at Büyükzengi and Bakırpınar locations. According to the data between 2005-2011, the average flow rate of the spring is 530 lt/s. When the withdrawal coefficients are calculated for the years with regular flow data, it is seen that there are differences in the withdrawal coefficient of the spring according to the years. Water samples were taken in four periods (two rainy and two dry) within the scope of the "Sakarya Basin Hydrogeological Survey Studies". By examining the geophysical studies conducted in the past, geophysical studies were carried out in the regions where it was deemed insufficient and an attempt was made to determine the thickness and boundaries of the carboniferous limestones. In the light of the data obtained, if regular flow measurements of the Beşgöz springs and the surrounding sources were carried out in the same period, the volume of the lake formed by the Beşgöz springs was determined by bathymetry studies, the level measurement from the lake was carried out, and studies were carried out to determine the withdrawal amounts from the lake, the current flow rate of the source could be determined accurately. In addition, the feeding system of the Büyükzengi and Bakırpınarı springs located in the Beşgöz springs and their vicinity could be understood. The protection and management of the wetlands that these sources interact with could be ensured in this way.

Keywords: Konya, Beşgöz springs, groundwater, wetland.

Yönetilen Akifer Beslemesi (MAR) Uygulamalarının Önündeki Engellerin Sürdürülebilirlik Bakış Açısıyla Değerlendirilmesi

Evaluation of Barriers to Managed Aquifer Recharge (MAR) Applications with a Sustainability Framework

Pınar SPOR^{1,*}, Kayhan BAYHAN², Ömer EKMEKÇİOĞLU³

¹ Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü

² İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

³ İstanbul Teknik Üniversitesi, Afet Yönetimi Enstitüsü

(*kucuk.pinar@beun.edu.tr)

ÖZET: Bu çalışmada yönetilen akifer beslemesi (MAR) uygulamaları önündeki engeller sürdürülebilirlik çerçevesi içerisinde çok kriterli karar verme (ÇKKV) yaklaşımı ile değerlendirilmiştir. MAR, su kaynaklarının korunması ve yeraltı suyu seviyelerinin dengelenmesi açısından önemli bir yöntem olsa da birçok faktör özellikle ekonomik, çevresel ve sosyal faktörler bu yöntemin uygulanabilirliğini kısıtlamaktadır. ÇKKV ile yapılan analizler MAR adaptasyonunun önündeki engellerin daha kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesini yardımcı olmaktadır. Bu çalışmada, literatür taramasıyla belirlenen 15 temel engel Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar, MAR uygulamalarında en büyük engelin yüksek başlangıç maliyetleri ve finansal belirsizlikler olduğunu göstermektedir. Çevresel açıdan ise iklim değişikliği ve hidrojeolojik belirsizlikler MAR uygulamalarının etkinliğini azaltan faktörlerdendir. Sosyal boyutta ise kamu farkındalığının düşük olması ve topluluk katılımının sınırlı olması önemli engeller olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca, MAR yatırımlarının sürdürülebilirliğini sağlamak için finansal teşviklerin artırılması, teknik güvenilirliğin güçlendirilmesi ve toplumsal farkındalığın artırılması gerektiği vurgulanmıştır. Bu kapsamlı analiz, su yönetimi politikalarına katkı sağlayacak öneriler sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yönetilen akifer beslemesi, sürdürülebilirlik, AHP, yeraltı suyu, su yönetimi

ABSTRACT: This study evaluates the barriers faced by Managed Aquifer Recharge (MAR) applications through a sustainability framework using Multi-Criteria Decision Making (MCDM) techniques. MAR is a crucial method for conserving water resources and balancing groundwater levels; however, several factors, particularly economic, environmental, and social aspects, limit its feasibility. In this study, 15 key barriers identified through a literature review were assessed using the Analytic Hierarchy Process (AHP). The results indicate that the most significant barrier to MAR implementation is the high initial investment costs and financial uncertainties. From an environmental perspective, climate change and hydrogeological uncertainties reduce the effectiveness of MAR. Regarding the social dimension, low public awareness and limited community engagement emerge as critical challenges. This study highlights the necessity of increasing financial incentives, enhancing technical reliability, and raising public awareness to ensure the sustainability of MAR investments. This comprehensive analysis offers recommendations that contribute to water management policies.

Keywords: Managed aquifer recharge, sustainability, AHP, groundwater, water management

Kentsel Alanlarda Yeraltı Suyu İzleme: İzmir-Bornova Örneği

Groundwater Monitoring in Urban Areas: İzmir-Bornova Example

Ahmet Adnan ERDEM^{1*}, Alper BABA¹

¹*İzmir Institute of Technology, Department of International Water Resources, Urla, İzmir, Türkiye*
(*ahmeterdem@iyte.edu.tr)

ÖZET: Nüfusun, endüstriyel süreçlerin ve kentleşmenin hızla artması, kentsel yeraltı suyuna ciddi bir stres yüklemiştir. Bu kaynağın kalitesinde ve kontrolünde sürdürülebilirlik, iyi işleyen herhangi bir su kaynağı yönetiminin temel bileşenleridir. Ancak son yıllarda aşırı kullanım, dağınık veya noktasal kirlilik ve iklim değişikliğiyle ilgili tehditler ortaya çıkmıştır. Bu nedenle, yeraltı suyunun izlenmesinde etkili yöntemler, şehirlerde suyun iyi yönetimine yönelik önemli araçlardan birini oluşturmuştur. Bu çalışmanın odak noktası, geleneksel ve modern yaklaşımların bütünleştirilmesi ile kentsel alan yeraltı suyu izlemesinde benimsenen metodolojiler ve teknolojilerdir. Yeraltı suyu seviyesinin ölçülmesi, hidrojeokimyasal analiz ve piezometrik haritalama gibi geleneksel yöntemler vazgeçilmezdir. Çalışma, sonuçları, entegre izleme sistemlerinin kirlilik kaynaklarının tespiti, şarj ve deşarj alanlarının yönetimi ve kentleşme nedeniyle uzun vadeli etkilerin tahmininde son derece önemli olduğunu kanıtlamaktadır. Çalışmada ayrıca kentsel alanlardaki yeraltı suyu izleme çalışmalarının durumuna odaklanılmakta ve hızla büyüyen bir kentte su kaynakları tabanının sürdürülebilirliği için disiplinlerarası bir yaklaşım kullanılarak yenilikçi teknolojiler önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Su kaynakları yönetimi, kentsel su yönetimi, sünger kent modeli, iklim değişikliği, su verimliliği

ABSTRACT: The rapid increase in population, industrial processes and urbanization has placed serious stress on urban groundwater. Sustainability in the quality and control of this resource are essential components of any well-functioning water resource management. However, in recent years, threats related to overexploitation, scattered or point pollution and climate change have emerged. Therefore, effective methods for monitoring groundwater have become one of the important tools for good water management in cities. The focus of this study is on the methodologies and technologies adopted in urban groundwater monitoring by integrating traditional and modern approaches. Traditional methods such as groundwater level measurement, hydrogeochemical analysis and piezometric mapping are indispensable. The results of the study prove that integrated monitoring systems are extremely important in detecting pollution sources, managing recharge and discharge areas and predicting long-term impacts due to urbanization. The study also focuses on the status of groundwater monitoring studies in urban areas and proposes innovative technologies using an interdisciplinary approach for the sustainability of water resources base in a rapidly growing city.

Keywords: Water resources management, urban water management, sponge city model, climate change, water efficiency

Fırat-Dicle Havzasında Kuraklık Eğilimleri: 1940-2024 Arası Kuraklık İndeksi Analizi

*Drought Trends in the Euphrates-Tigris Basin: Drought Index Analysis
between 1940 and 2024*

Hasan Hüseyin YILDIRIM^{1*}, Ali ERCAN¹

¹Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Müh. Bölümü Hidrolik Anabilim Dalı
(*vilhasan@metu.edu.tr)

ÖZET: Yağış ve potansiyel evapotranspirasyon arasındaki oran olarak tanımlanan kuraklık indeksi, bir bölgedeki kuraklık şiddetinin önemli bir göstergesidir. Güneydoğu Türkiye’de yer alan Fırat-Dicle bölgesi, kuraklığa karşı özellikle hassastır. Bu çalışma, bölgedeki kuraklaşma sürecini değerlendirmek amacıyla kuraklık indekslerini hesaplamaktadır. 1940 ile 2024 yılları arasındaki üç farklı zaman dilimi için kuraklık indeksi haritaları oluşturularak, kuraklık şiddetindeki zamansal değişimler ve eğilimler ortaya konmuştur. Elde edilen sonuçlar, bölgenin hidrolojik dengesinde uzun vadeli değişimlere ışık tutmakta ve devam eden kuraklaşma sürecinin anlaşılmasına katkı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kuraklaşma, Fırat-Dicle havzası, hidrolojik denge

ABSTRACT: The drought index, defined as the ratio between rainfall and potential evapotranspiration, serves as a key indicator of drought severity in a given region. The Euphrates-Tigris region, located in southeastern Turkey, is particularly vulnerable to drought. This study calculates drought indices to assess the progression of aridification in the region. Drought index maps were generated for three distinct time periods between 1940 and 2024, highlighting temporal variations and trends in drought severity. The results provide insight into long-term changes in the region's hydrological balance and contribute to understanding the ongoing aridification process.

Keywords: Aridification, Euphrates-Tigris basin, hydrological balance

Kula – Selendi (Manisa) Bölgesinin Hidrojeolojik ve Hidrojeokimyasal İncelenmesi: Termal ve Mineralli Suların İnsan Sağlığına Etkisi

Hydrogeological and Hydrogeochemical Assessment of Kula – Selendi (Manisa) Region: Impact of Thermal and Mineral Waters on Human Health

Anıl KÜÇÜKSÜMBÜL^{1*}, Gültekin TARCAN¹

¹Dokuz Eylül Üniversitesi
(*anil.kucuksumbul@deu.edu.tr)

ÖZET: Bu çalışma, Gediz Grabeni kuzeyinde yer alan Kula-Selendi yöresinin hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal incelenmesini içermektedir. İnceleme alanı ve çevresindeki jeolojik yapının temelinde Menderes Masifi'ne ait kayalar yer almaktadır. Üst Kretase yaşlı Vezirler Melanjı, jeotermal kökenli akışkanın yüzeyletiği birimdir. Bölgede yer alan Neojen yaşlı birimler ise yüksek çözünmüş madde içeren ortotermal sular barındırmaktadır. Gediz Nehri boyunca birçok noktadan mineralli sular yüzeilenmekte olup nehri beslemektedir. Yerinde yapılan analizler göstermektedir ki; suların elektriksel iletkenlik değeri aralığı 394 µS/cm ile 6260 µS/cm, sıcaklığı 11,0 °C ile 47,8 °C ve pH değeri 6,23 ile 8,31 arasında değişmektedir. Analiz amaçlı 5'i jeotermal kökenli su olmak üzere toplam 27 adet yeraltı suyundan örneklemeler yapılmıştır. 16 kaynak suyu ve 11 kuyu suyuna ek olarak, 3 adet yüzey suyu örneklemesinin majör ve minör iyonları ile toplam alfa – beta radyoaktivitesi analiz edilmiştir. Termal ve mineralli sularda sağlık sorunu oluşturabilecek çözünmüş eser elementler bor, florür, lityum ve stronsiyum olarak belirlenmiştir. İlgili elementlerin içme yoluyla ve dermal alımla yaratabileceği kanserojen olan ve olmayan sağlık riskleri hesaplanmıştır. Suların tavsiye edilen değerlerin çok üzerinde içerdiği lityum, bor ve beta radyoaktivitesi nedeniyle insan sağlığını olumsuz etkileyebileceği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hidrojeoloji, insan sağlığı risk değerlendirmesi, jeotermal akışkan, kanser, su kimyası

ABSTRACT: This study involves the hydrogeological and hydrogeochemical assessment of the Kula-Selendi region, which is located in the north of the Gediz Graben. The rocks belonging to Menderes Massif constitute the basis of the geological structure in the study area and its surroundings. Upper Cretaceous Vezirler Melange is the unit where the geothermal fluid surfaces. Neogene units in the region contain orthothermal waters with high dissolved solids. Mineral waters surface from many points along the Gediz River and feed the river. On-site analyses show that the electrical conductivity value of the waters varies between 394 µS/cm and 6260 µS/cm, the temperature varies between 11.0 °C and 47.8 °C and the pH value varies between 6.23 and 8.31. A total of 27 groundwater samples were taken for analysis purposes, 5 of which were geothermal waters. In addition to 16 spring waters and 11 well waters, 3 surface water samples were analyzed for major ions, minor ions and gross alpha- gross beta radioactivity. Dissolved trace elements that may cause health problems in thermal and mineral waters were determined as boron, fluoride, lithium and strontium. The carcinogenic and non-carcinogenic health risks that the relevant elements may create through drinking and dermal intake were calculated. It has been determined that lithium, boron and beta radioactivity found in water well above the recommended levels may adversely affect human health.

Keywords: Cancer, geothermal fluid, hydrogeology, human health risk assessment, water chemistry

Ambalajlı Suların Hidrojeokimyasal Parametrelerinde İklimin Olası Etkisi

The Possible Impact of Climate on Hydrogeochemical Parameters of Packaged Waters

Ümit MEMİŞ^{1*}, Selma DEMER¹

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Isparta
(*umitmemis@sdu.edu.tr)

ÖZET: Son yıllarda dünyada önemli bir gündem konusu olan küresel ısınmaya bağlı iklim değişikliği, su kaynaklarını önemli oranda etkilemektedir. 2011 yılında Isparta ilinde satışa sunulan 19 adet ambalajlı su markası varken, bazılarının kapatılması, bazılarının ise farklı bir üreticiye devredilmesi nedeniyle 2024 yılında Isparta’da bu su markalarından satışı devam eden 9 adedi bulunmaktadır. 2011-2023 yılları arasındaki sıcaklık ve yağış verileri ortalaması, uzun yıllar (1991-2020) sıcaklık ve yağış verileri ortalaması ile karşılaştırıldığında sıcaklığın +0,6 °C ve yağışın +21,8 mm arttığı hesaplanmıştır. Yağış miktarı, uzun yıllar ortalamasının üzerinde olmasına rağmen, yağış rejimindeki düzensizlik nedeniyle yağışın su kaynaklarının doğal beslenimi üzerinde etkisi sınırlı kalmıştır. Hidrojeokimyasal analiz sonuçları da 2024 yılında 2011 yılına göre farklılık göstermiştir. EC, Ca, Mg, Na, K, Cl, NO₃, SO₄, HCO₃ parametrelerindeki bu artış, ambalajlı suların kaynaklarının da iklim değişikliğinden etkilendiğini düşündürmektedir.

Anahtar Kelimeler: Ambalajlı su, şişelenmiş su, su kalitesi, iklim değişikliği

ABSTRACT: In recent years, climate change due to global warming, which has become a significant global issue, has substantially affected water resources. While 19 different bottled water brands were available for sale in Isparta in 2011, due to some being closed and others being transferred to another producer, only 9 of these brands continue to be sold in Isparta in 2024. When the average temperature and precipitation data from 2011-2023 are compared with the long-term (1991-2020) average temperature and precipitation data, it has been calculated that the temperature increased by +0.6°C and precipitation by +21.8 mm. Although the amount of precipitation is above the long-term average, the impact of precipitation on the natural recharge of water resources has been limited due to the irregularities in the precipitation regime. The hydrogeochemical analysis results in 2024 also showed differences compared to 2011. This increase in parameters such as EC, Ca, Mg, Na, K, Cl, NO₃, SO₄, and HCO₃ suggests that the springs of bottled water are also affected by climate change.

Keywords: Packaged water, bottled water, water quality, climate change

Burdur Gölü Batısında Tarımsal Faaliyetlerde Kullanılan Yeraltısularının Hidrojeokimyası ve Kullanım Özellikleri

Hydrogeochemistry and Usage Characteristics of Groundwater Used in Agricultural Activities in the West of Burdur Lake

Selma DEMER^{1*}

*¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Isparta
(*selmademer@sdu.edu.tr)*

ÖZET: Bu çalışmada, Burdur yerleşim alanı kuzeyinde tarımsal faaliyetlerin sürdürüldüğü bölgede yeraltısularının sulamaya uygunluğu EC, TDS, TH, %Na, SAR, RSC, PI, MR, KR ve PS kalite indeksleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışma alanındaki yeraltısularının çoğu EC, TDS, TH, %Na, SAR, RSC, PI, MR, KR ve PS değerleri açısından sulama amacıyla güvenli aralıkta yer almaktadır. Bu Yeraltısuyu örneklerinin 8 adedi, C3-S1 sınıfında (yüksek tuzluluk/düşük sodyum) yer alırken, bir adet yeraltısuyu örneği ise C3-S3 (yüksek sodyum/yüksek tuzluluk) sular sınıfındadır. Burdur Gölü suyu ise çok yüksek tuzluluk/çok yüksek sodyum içeren C4S4 su sınıfına girmekte olup bu nedenle sulama için kullanıma uygun değildir. Sulama suyu tuzluluğu bitki gelişmesini doğrudan veya dolaylı olarak etkilediği için yüksek tuzluluk ve Na içeriği olan yeraltısularının sulama amacıyla kullanımında tuza dayanıklı ürünler yetiştirilmesi öncelikli olmalıdır. Sulama suyu kalitesinin ve kirliliğinin düzenli olarak izlenmesi, uygun sulama yönetim planının geliştirilmesinde ve sulamada yeraltısuyunun sürdürülebilir kullanımında önem taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yeraltısuyu, sulama suyu kalitesi, sulama suyu kalite indeksi, Burdur Gölü

ABSTRACT: In this study, the suitability of groundwater for irrigation in the agricultural areas located north of the Burdur settlement area was evaluated using EC, TDS, TH, %Na, SAR, RSC, PI, MR, KR, and PS quality indices. Most of the groundwater in the study area falls within the safe range for irrigation in terms of EC, TDS, TH, %Na, SAR, RSC, PI, MR, KR, and PS values. Eight groundwater samples are classified as C3-S1 (high salinity/low sodium), while one is classified as C3-S3 (high sodium/high salinity). The Burdur Lake water falls into the C4S4 water class, which contains very high salinity/very high sodium, and is therefore unsuitable for irrigation. Since the salinity of irrigation water directly or indirectly affects plant growth, it is essential to prioritize the cultivation of salt-tolerant crops when using groundwater with high salinity and Na content for irrigation. Regular monitoring of irrigation water quality and pollution is crucial for developing an appropriate irrigation management plan and ensuring the sustainable use of groundwater for irrigation.

Keywords: Groundwater, irrigation water quality, irrigation water quality index, Burdur Lake

Eğirdir Gölü'nde Yaşayan Tıbbi Sülük (*Hirudo verbana* Carena, 1820) Popülasyonlarındaki Değişimin Belirlenmesi

*Determination of Changes in Medicinal Leech (*Hirudo verbana* Carena, 1820) Populations in Lake Eğirdir*

Ayşe ERYILMAZ^{1,*}, Mustafa CEYLAN²

¹Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Doğu Kampüsü, Çünür-Isparta

²Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi, Doğu Kampüsü, Çünür-Isparta
(*eryilmaza479@gmail.com)

ÖZET: Bu çalışma ile gerek küresel iklim değişikliği gerekse artan sülük talebinin Eğirdir Gölü'ndeki tıbbi sülük popülasyonlarında oluşturduğu değişimin 2013 verileri ile karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda 2023'te mevsimsel olarak Eğirdir Gölü çevresi sulak alanlarda sülük örnekleme gerçekleştirilmiştir. Sadece ilkbahar ve yaz aylarında sülük örneklenebilmiştir. Sülüklerin vücut ağırlığı, vücut boyu ve kondisyon faktörü değerleri sırasıyla $1,77 \pm 0,39$ g, $5,9 \pm 0,5$ cm ve $0,701 \pm 0,069$ olarak belirlenmiştir. 2013'te 53 ± 71 sülük/toplayıcı/saat olan sülük av verimliliği 2023'te keskin bir düşüşle 2 ± 1 sülük/toplayıcı/saat seviyesine gerilemiştir. 2013'te 917,58 m olan gölün su kotunun 2023'te 914,86 m'ye düşmesi sığ yapılı tıbbi sülük habitatlarının yarı karasal ortama dönüşmesine, birçoğunun kurummasına ve bu nedenle sülük popülasyonlarının bu alanlarda zayıflamasına neden olmuştur. Tıbbi sülük gibi hassas habitatlarda yaşayan organizmaların sürdürülebilir yönetiminde su kaynaklarının doğru kullanımı hayati düzeyde önem taşımaktadır. Bu tür habitatların korunmasını amaçlayan yaklaşımların yönetim planlarında öncelikli hale getirilmesi yararlı olacaktır. Bu çalışma TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı kapsamında desteklenmiştir.

Anahtar Kelimeler: İklim değişikliği, sülük av verimliliği, su kotu, habitat, koruma.

ABSTRACT: This study aimed to compare the changes in medicinal leech populations in Lake Eğirdir caused by both global climate change and increasing leech demand with 2013 data. In this context, leech sampling was carried out seasonally in the wetlands around Lake Eğirdir in 2023. Leeches could be sampled only in spring and summer. The body weight, body length and condition factor values of the leeches were determined as 1.77 ± 0.39 g, 5.9 ± 0.5 cm and 0.701 ± 0.069 , respectively. Leech catch efficiency, which was 53 ± 71 leeches/collector/hour in 2013, decreased sharply to 2 ± 1 leech/collector/hour in 2023. The decrease in the lake water level from 917.58 m in 2013 to 914.86 m in 2023 has caused shallow medicinal leech habitats to turn into semi-terrestrial environments, many of them to dry out and therefore leech populations to weaken in these areas. Proper use of water resources is of vital importance in the sustainable management of organisms living in sensitive habitats such as medicinal leeches. It would be useful to prioritize approaches aimed at protecting such habitats in management plans. This study was supported by the TÜBİTAK 2209-A University Students Research Projects Support Programme.

Keywords: Climate change, leech catch efficiency, water level, habitat, protection.

Asit Maden Drenajından Etkilenen Yağlıdere Çayı'nda (Espiye-Giresun) Nadir Toprak Elementlerinin Davranışı

*Behavior of Rare Earth Elements in Yağlıdere Stream (Espiye-Giresun)
Affected by Acid Mine Drainage*

Esra HATİPOĞLU TEMİZEL^{1*}, Fatma GÜLTEKİN¹

¹Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Trabzon
(*esrahatipoglu@ktu.edu.tr)

ÖZET: Büyük bir kısmı doğal bitki örtüsünden oluşan Yağlıdere Çayı (Espiye-Giresun) Havzası'nda küçük ölçekli tarım, sanayi ve kentsel+kırsal yerleşim alanları bulunmaktadır. Havzanın önemli bir özelliği ise geçmişte işletilmiş metal sülfid içerikli maden sahalarının bulunmasıdır. Piritçe zengin dasitik tüfler, breşler ve maden atıklarının su-kayaç etkileşimine açık olduğu sahada kayalarındaki sülfidli minerallerin su ve oksijenle reaksiyonu sonucu asidik maden drenajları (AMD) oluşmuştur. Bu drenajlardan üç tanesi Yağlıdere Çayını beslemektedir. Sahada sülfürlerin kararsızlığı ile oluşan AMD'ler yüzey sularında asitliği artırarak diğer kirleticilerin yanı sıra çevreye potansiyel toksik elementler (örneğin nadir toprak elementleri (NTE)) ve sülfat salmaktadır. Bu çalışmada, AMD'den etkilenen Yağlıdere Çayı Havzası yerüstü sularında NTE konsantrasyonlarının mekânsal ve zamansal davranışlarını araştırmak amaçlanmıştır. Havzada seçilen 10 noktadan 4 kez örnekleme yapılarak fizikokimyasal özellikler belirlenmiştir. Analizler suların akış aşağısında asidik, akış yukarısına doğru bazik özellik kazandığını (ortalama pH 2.43-7.97) göstermiştir. Yerüstü sularının elektriksel iletkenlik (EC) değerleri ortalama 99.54-2200 $\mu\text{S}/\text{cm}$, toplam çözünmüş madde (TDS) miktarları ortalama 64.03-1239.25 mg/L arasında değişir. Sulara hakim anyon Ca^{2+} iken hakim katyonları HCO_3^- ve SO_4^{2-} oluşturur. Yerüstü sularında NTE ve SO_4 konsantrasyonları pH değerleri ile ters, TDS değerleri ile doğru orantılı olarak değişmektedir. NTE türleştirme hesaplamaları AMD için sülfat komplekslerinin baskın olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Nadir toprak elementleri, asit maden drenajı, Yağlıdere Çayı

ABSTRACT: There are small-scale agricultural, industrial and urban+rural settlements in the Yağlıdere Stream (Espiye-Giresun) Basin, which is mostly composed of natural vegetation. An important feature of the basin is the presence of mining sites containing metal sulfide that were operated in the past. In the area where pyrite-rich dacitic tuffs, breccias and mine wastes are open to water-rock interaction, acidic mine drainages (AMD) were formed as a result of the reaction of sulfide minerals in the rocks with water and oxygen. Three of these drainages feed the Yağlıdere Stream. AMDs formed as a result of the instability of sulfides at the site increase the acidity of surface waters, releasing potentially toxic elements (e.g. rare earth elements (REEs)) and sulfate, among other pollutants, into the environment. The aim of this study was to investigate the spatial and temporal behavior of REE concentrations in surface waters of the AMD-affected Yağlıdere Stream Basin. Physicochemical characteristics were determined by sampling 4 times from 10 selected points in the basin. Analyses showed that the waters were acidic downstream and basic upstream (mean pH 2.43-7.97). Electrical conductivity (EC) values of the surface waters ranged between 99.54-2200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ and total dissolved substance (TDS) values ranged between 64.03-1239.25 mg/L. The dominant anion in the water is Ca^{2+} while the dominant cations are HCO_3^- and SO_4^{2-} . NTE and SO_4 concentrations in surface waters vary inversely with pH values and directly with TDS values. NTE speciation calculations showed that sulfate complexes are dominant for AMD.

Keywords: Rare earth elements, acid mine drainage, Yağlıdere Stream

Fırat-Dicle Havzasında İklim Değişikliğinin Yağış ve Sıcaklıklar Üzerindeki Etkilerinin bir Bölgesel İklim Modeli ile Ön Değerlendirmesi

Preliminary Assessment of the Effects of Climate Change on Precipitation and Temperature in the Euphrates-Tigris Basin by a Regional Climate Model

Ali ERCAN¹, Hasan Hüseyin YILDIRIM¹, Osama ALAWI¹,
Sevgi Pınar ZAFER¹, İsmail ÜNLÜTÜRK¹

¹Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Müh. Bölümü, Ankara
(*ercanali@metu.edu.tr)

ÖZET: Bu çalışmada, Fırat-Dicle Havzası için Hava Araştırma ve Tahmin (WRF) modeline dayalı bir Bölgesel İklim Modeli geliştirilerek, çoklu değişkenler için yüksek çözünürlüklü atmosferik çıktılar dinamik olarak aşağı ölçeklendirilmiştir. Bu çalışmadaki dinamik ölçek küçültme, CMIP6 güdümlü Küresel İklim Modellerinden (GCM'ler) ve Paylaşılan Sosyoekonomik Yollara (SSP'ler) dayalı gelecek emisyon senaryolarından türetilmiştir. Bu yaklaşım, topografya, arazi kullanımı ve arazi örtüsü gibi faktörlerden etkilenen yerel dinamikleri hesaba katarken yağış ve sıcaklıktaki değişimleri etkili bir şekilde yakalamaktadır. Bu çalışmada, hem tarihsel koşullara (1980-2000) hem de gelecek projeksiyonlarına (2020-2040) odaklanılarak Fırat-Dicle Havzası'na uygulanan dinamik aşağı ölçeklendirmeden elde edilen ön bulgular sunulacaktır.

Anahtar Kelimeler: CMIP6, paylaşılan sosyoekonomik yollar, küresel iklim modelleri, dinamik ölçek küçültme, yağış ve sıcaklık eğilimleri

ABSTRACT: In this study, a Regional Climate Model based on the Weather Research and Forecasting (WRF) model was developed for the Euphrates-Tigris Basin to dynamically downscale high-resolution atmospheric outputs for multiple variables. Dynamical downscaling in this study is derived from CMIP6-driven Global Climate Models (GCMs) and future emission scenarios based on Shared Socioeconomic Pathways (SSPs). This approach effectively captures variations in precipitation and temperature while accounting for local dynamics influenced by factors such as topography, land use, and land cover. The study presents preliminary findings from dynamical downscaling applied to the Euphrates-Tigris Basin, focusing on both historical conditions (1980–2000) and future projections (2020–2040).

Keywords: CMIP6, shared socioeconomic pathways (SSPs), global climate models (GCMs), dynamical downscaling, precipitation and temperature trends

Matematiksel Yöntemler Kullanılarak Sanmatenga Bölgesinin Yeraltısuyundaki Sodyum Adsorpsiyon Oranının (SAR) Tahmini

Prediction of Sodium Adsorption Ratio (SAR) in Groundwater of Sanmatenga Province Using Mathematical Methods

Mahamadou KONARE^{1*}, Adama TRAORE², Isabelle Eulodie ZOMA³

¹Laboratoire Sciences et Technologie (LaST), Unité de Formation et de Recherche en Sciences et Technique (UFR ST), Université Thomas SANKARA (UTS), 12 BP 417 Ouagadougou 12, Burkina Faso

²Laboratoire Société Mobilité Environnement, Département de Sociologie, Université Joseph KI-ZERBO (UJKZ), Ouagadougou, Burkina Faso

³Laboratoire Géosciences et Environnement, Département de Géologie, UFR/SVT Université Joseph KI-ZERBO (UJKZ), Ouagadougou, Burkina Faso

ÖZET: Bu çalışma, özellikle tarımsal sulama için su kalitesinin önemli bir göstergesi olan SAR (Sodyum Adsorpsiyon Oranı) tahmin edebilen akıllı modellerin geliştirilmesini amaçlamaktadır. Çalışma, nüfusunun yarısından fazlası için tarımın hayati önem taşıdığı Sanmatenga Bölgesi'ne odaklanmaktadır. Veriler, 2013 yılında yapılan yeraltı suyu analizlerinden elde edilmiştir ve SAR tahmin kabiliyetlerini değerlendirmek için iki modelleme yaklaşımı kullanılmıştır: Çoklu Doğrusal Regresyon (ÇDR) ve Yapay Sinir Ağları (YSA). Modellerin performansı, doğruluk ve güvenilirliklerini değerlendirmek için korelasyon katsayısı ve hata oranları kullanılarak ölçülmüştür. Sonuçlar, bölgedeki yeraltısularının SAR açısından mükemmel kalitede olduğunu ve bu durumun yerel tarımsal uygulamalar için faydalı olduğunu göstermektedir. Her iki teknik de etkili olmasına rağmen, Yapay Sinir Ağları, özellikle verilerdeki karmaşık doğrusal olmayan ilişkileri yakalama yetenekleri nedeniyle daha yüksek doğruluk sergilemiştir. Bu çalışma, su kalitesini değerlendirmek için ileri düzey modelleme yöntemlerinin önemini vurgulamakta ve YSAs'nin yeraltısuyu kaynaklarının yönetiminin optimize edilmesindeki potansiyelini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: SAR, Sanmatenga bölgesi, yeraltı suyu, YSA, ÇDR.

ABSTRACT: This study aims to develop intelligent models capable of predicting the SAR (Sodium Adsorption Ratio), a crucial indicator of water quality, particularly for agricultural irrigation. It focuses on the Sanmatenga province, a region where agriculture is essential for more than half of the population. The data comes from groundwater analyses collected in 2013 and were processed using two modeling approaches: Multiple Linear Regression (MLR) and Artificial Neural Networks (ANN), to assess their ability to predict the SAR. The performance of the models was measured using the correlation coefficient and error rates, which help evaluate their precision and reliability.

The results show that the groundwater in the region is of excellent quality in terms of SAR, which is favourable for local agricultural practices. Although both techniques are effective, Artificial Neural Networks demonstrated greater accuracy, particularly due to their ability to capture the complex nonlinear relationships in the data. This study emphasizes the importance of advanced modeling methods for evaluating water quality and highlights the potential of ANNs in optimizing the management of groundwater resources

Keywords: SAR, Sanmatenga province, groundwater, ANN, MLR.

Burdur Gölü ve Yeraltı Suyu Etkileşimlerinin İklimsel ve Antropojenik Etkenler Altında İncelenmesi

Investigation of Burdur Lake and Groundwater Interactions Under Climatic and Anthropogenic Drivers

Hatice KILIÇ-GERMEÇ^{1*}, Hasan YAZICIGİL¹

¹Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Çankaya, 06800 Ankara
(*hakilic@metu.edu.tr)

ÖZET: Su kaynakları yönetimi açısından kritik öneme sahip bir Ramsar alanı olan Burdur Gölü'nün su seviyesinde, 1970'lerden bu yana yaklaşık 17 metrelik bir azalma gözlemlenmiştir. Bu durum, iklimsel değişimlerin ve insan kaynaklı faaliyetlerin eş zamanlı etkileriyle ilişkilendirilmektedir. Bu çalışmada, MODFLOW tabanlı üç boyutlu bir sayısal yeraltısuyu akım modeli ve göl paketi kullanılarak, göl ve yeraltısuyu etkileşimleri niceliksel olarak analiz edilmiş ve göl seviyesindeki azalmanın nedenleri ve sonuçlarının belirlenmesi hedeflenmiştir. Model, geçmiş (1969-1971) ve güncel (2014-2016) koşullar altında başarıyla kalibre edilmiştir. Ardından, geleceğe yönelik senaryolar, CORDEX Bölgesel İklim Modellerinin RCP 4.5 ve RCP 8.5 projeksiyonları kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu senaryolarda, iklim değişikliği, aşırı yeraltı suyu pompajı ve gölü besleyen akarsular üzerindeki rezervuarların etkileri incelenmiştir. Sonuçlar, Burdur Gölü seviyelerinin antropojenik değişimlere karşı daha hassas olduğunu ve özellikle gölü besleyen yüzey suyu akışlarındaki düşüşlerin, gelecekteki göl seviyesi azalmasının başlıca nedeni olabileceğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, iklim değişikliğinin, göl üzerinde ek stres yaratarak antropojenik faaliyetlerin olumsuz etkilerini daha da şiddetlendirme potansiyeline sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu bulgular, Burdur Gölü ve havzası için sürdürülebilir bir göl yönetimi stratejisinin geliştirilmesinin gerekliliğini vurgulamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Burdur Gölü, göl-yeraltısuyu etkileşimi, yeraltısuyu akım modeli, iklim değişimi, antropojenik faaliyetler.

ABSTRACT: Burdur Lake, a Ramsar site of critical importance for water resources management, has experienced a significant water level decline of approximately 17 meters since the 1970s. This decline is associated with the interactive effects of climatic variations and human activities. This study employed a MODFLOW-based three-dimensional numerical groundwater flow model coupled with a lake package to quantitatively evaluate the interactions between the lake and groundwater to identify the causes and consequences of the observed lake-level decline. The model was successfully calibrated under past (1969–1971) and recent (2014–2016) conditions. Subsequently, future scenarios were evaluated using the RCP 4.5 and RCP 8.5 projections from the CORDEX Regional Climate Models. These scenarios examined the impacts of climate change, excessive groundwater pumping, and reservoirs constructed on streams feeding the lake. The results reveal that Burdur Lake levels are more sensitive to anthropogenic changes, particularly the reductions in surface water inflows, identified as the primary drivers of future water level declines. Furthermore, climate change is projected to exacerbate the situation by placing additional hydrological stress on the lake system and amplifying the adverse effects of human activities. These findings underscore the necessity of developing a sustainable lake management strategy for Burdur Lake and its basin to mitigate the ongoing and potential future impacts.

Keywords: Burdur Lake, lake-groundwater interactions, groundwater flow model, climate variation, anthropogenic activities.

Sürdürülebilir Madencilik İçin Su Yönetimi

Water Management for Sustainable Mining

Hatice KILIÇ-GERMEÇ^{1*}, Hasan YAZICIGİL¹

¹Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Çankaya, 06800 Ankara
(*hakilic@metu.edu.tr)

ÖZET: Yeraltı ve yerüstü madenciliği, hidrojeolojik ortamı etkileyen ve bu ortamdan en fazla etkilenen önemli faaliyet grupları içerisinde yer almaktadır. Madencilik faaliyetlerinin yürütülebilmesi için su, vazgeçilmez bir unsur olup daha çok flotasyon-cevher zenginleştirme, taşınım ve atık yönetimi, toz bastırma ve diğer gereksinimler için kullanılmaktadır. Diğer taraftan madencilik faaliyetleri su ile etkileşim içerisinde. Madencilik faaliyetlerinden kaynaklanan suyun doğaya deşarj edilmesi, su kıtlığı yaşanan bölgelerde diğer kullanıcılarla kaynak rekabetine yol açması, suyun sebep olduğu şev duraysızlığı gibi sorunlar nedeniyle altyapı ve tesislerin yenilmesi, ve su kalitesi – Asit Kaya Drenajı (AKD) problemleri, bu etkileşimden doğan önemli çevresel ve teknik sorunlar arasında yer almaktadır. Bu tür sorunlar, suyun hem çevresel hem de operasyonel açıdan madencilik faaliyetlerinin başarısında kritik bir role sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Dolayısıyla sürdürülebilir bir madencilik için öncelikle suyun iyi yönetilmesi gerekmektedir. Su yönetimi açısından madencilik faaliyetleri diğer endüstriyel faaliyetlerden farklıdır. Bu faaliyetlerin arama ve fizibilite, planlama ve inşaat, işletme ve madencilik sonrası-kapama dönemleri olup çevre ile etkileşimleri uzun yılları veya yüzyılları kapsamaktadır. Bu farklı dönemlerde su ile ilgili problemler de değişebilmektedir. Bu çalışmada, madencilik faaliyetleri özünde farklı aşamalarda karşılaşılan su sorunları, bu sorunlara bağlı gelişen problemler ve çözüm önerileri sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Su yönetimi, sürdürülebilir madencilik, maden su balansı, atık yönetimi.

ABSTRACT: Underground and surface mining stand out as the most significant activities affecting the hydrogeological media and are the most impacted by this medium. As an essential input for mining operations, water is the primary medium for mineral separation and processing, transporting ore and waste, tailings management, dust suppression, and other needs. On the other hand, mining operations interact continuously with water. The discharge of water resulting from mining operations into the environment, competition with other users in areas experiencing water scarcity, the failure of infrastructure and facilities due to slope instability induced by water, and water quality issues such as Acid Rock drainage (ARD), are among the most significant environmental and technical challenges arising from this interaction. These issues demonstrate the critical role of water in the success of mining activities, both environmentally and operationally. Hence, water has to be managed properly for sustainable mining. Mining activities differ from other industrial activities with respect to water management. The activities related to mining involve various stages such as exploration and feasibility, planning and construction, operations, and closure, each of which interacts with the environment over years or even centuries. Water-related problems may differ across these stages. This paper presents various water-related issues faced in different stages, the resulting problems, and proposed solutions to overcome these challenges.

Keywords: Water management, sustainable mining, mine water balance, waste management.

Batı Akdeniz Havzası Hidrolojik Kuraklıkların Şiddet ve Sürelerinin Belirlenmesi

*Determination of the Severity and Duration of Hydrological Droughts in the Western
Mediterranean Basin*

Emine Dilek TAYLAN^{*1}, Tahsin BAYKAL², Özlem TERZİ³, H. Ş. ÖĞÜTCÜ⁴

¹ Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi İnşaat Müh. Bölümü Isparta

² Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Kırıkkale

³ Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Isparta

⁴ Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta
(*dilektaylan@sdu.edu.tr)

ÖZET: Kuraklık, dünya genelinde su kaynakları üzerinde ciddi etkiler yaratan önemli bir hidrolojik afettir. Tarım, enerji üretimi, içme suyu temini ve ekosistemler gibi çeşitli alanlarda olumsuz etkiler gösteren kuraklıklar hem ekonomik hem de sosyal açıdan büyük kayıplara yol açmaktadır. Bu durum, kuraklığın şiddeti, süresi ve mekânsal dağılımını belirlemenin önemini artırmaktadır. Bu çalışmada, Batı Akdeniz Havzası'ndaki hidrolojik kuraklıkların şiddet ve sürelerinin bulunması amaçlanmıştır. Bunun için havza içerisinde yer alan Başgöz Deresi-Çatallar, Eşen Çayı-Kavaklıdere, Dalaman Deresi-Suçatı, Dalaman Deresi-Akköprü, Eşen Deresi-Kınık ve Karaçay-Kayadibi akım gözlem istasyonlarının 1978-2011 yılları arasındaki aylık toplam akarsu akımları kullanılmıştır. Çalışmada ilk olarak 3-, 6-, 9- ve 12 aylık periyotlardaki akım kuraklık indisleri (Akım Kuraklık Indisi, AKİ) hesaplanmıştır. Daha sonra hesaplanan 3-, 6-, 9- ve 12 aylık SDI değerlerinin şiddet ve süreleri Run Teorisi ile belirlenmiştir. Kuraklık şiddetleri incelendiğinde, Dalaman Çayı- Suçatı, Karaçay- Kayadibi ve Eşen Çayı- Kınık istasyonlarında özellikle 9- ve 12 aylık periyotlarda ciddi bir artış gözlemlenmiştir. Dalaman Çayı-Suçatı istasyonunda kuraklık şiddeti 3 aylık periyotta 76.43 iken 12 aylık periyotta 110.76'ya yükselmiştir. Benzer şekilde Karaçay- Kayadibi istasyonunda 6 aylık periyottan sonra kuraklık şiddeti 96.88'den 110.25'e çıkmaktadır. Bu durum, uzun vadeli kuraklıkların bu bölgelerde daha büyük bir sorun haline geldiğini göstermektedir. Kuraklık süreleri incelendiğindeyse, özellikle Karaçay- Kayadibi istasyonunda 6 aylık periyottan itibaren kuraklık süreleri 108-109 aya ulaşmaktadır. Dalaman Çayı-Suçatı istasyonunda ise 9- ve 12 aylık periyotlarda 119 ay ile en uzun kuraklık yaşanmıştır. Dalaman Çayı- Suçatı, Karaçay- Kayadibi ve Eşen Çayı- Kınık istasyonları uzun vadede kuraklık açısından daha riskli bölgeler olarak öne çıkmaktadır. 3 ve 6 aylık periyotlarda kuraklık şiddeti genellikle daha düşük seviyelerde seyretse de 9 ve 12 aylık periyotlarda belirgin artışlar gözlemlenmektedir. Bu durum, uzun süreli kuraklık olaylarının daha yıkıcı olabileceğini göstermektedir. Bu nedenle, kuraklık yönetimi ve su kaynaklarının korunması için özellikle 9-12 aylık periyotlara odaklanılması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Hidrolojik kuraklık, akım kuraklık indisi (AKİ), Run teorisi, Batı Akdeniz Havzası.

ABSTRACT: Drought is a major hydrological disaster that has serious effects on water resources worldwide. Droughts, which have negative effects on various areas such as agriculture, energy production, drinking water supply and ecosystems, cause great losses in both economic and social terms. This situation increases the importance of determining the severity, duration and spatial distribution of drought. This study aims to determine the severity and duration of hydrological droughts in the Western Mediterranean Basin. For this purpose, the monthly total streamflows of Başgöz Creek-Çatallar, Eşen Creek-Kavaklıdere, Dalaman Creek-Suçatı, Dalaman Creek-Akköprü, Eşen Creek-Kınık and Karaçay-Kayadibi streamflow gauge stations located in the basin between 1978-2011 were used. In the study, firstly, the streamflow drought indices (Streamflow Drought Index, SDI) were calculated for 3-, 6-, 9- and 12-month periods. Then, the severities and durations of the calculated 3-, 6-, 9- and 12-month SDI values were determined by Run Theory. When the drought severities were examined, a significant increase was observed especially in the 9- and 12-month periods at Dalaman Stream-Suçatı, Karaçay-Kayadibi and Eşen Stream-Kınık stations. While the drought severity at Dalaman Stream-Suçatı station was 76.43 in the 3-month period, it increased to 110.76 in the 12-month period. Similarly, the drought severity at Karaçay-Kayadibi station increased from 96.88 to 110.25 after the 6-month

period. This shows that long-term droughts have become a bigger problem in these regions. When the drought durations were examined, especially at Karaçay-Kayadibi station, drought durations reached 108-109 months starting from the 6-month period. The Dalaman Stream-Suçatı station experienced the longest drought with 119 months in 9- and 12-month periods. Dalaman Stream-Suçatı, Karaçay-Kayadibi and Eşen Stream-Kınık stations stand out as regions at higher risk in terms of drought in the long term. Although drought severity is generally lower in 3- and 6-month periods, significant increases are observed in 9- and 12-month periods. This situation shows that long-term drought events can be more destructive. Therefore, it is necessary to focus especially on 9- and 12-month periods for drought management and protection of water resources.

Keywords: *Hydrological drought, streamflow drought index (SDI), Run theory, Western Mediterranean Basin.*

Meriç-Ergene Havzası'nda Hidrojeolojik Karakterizasyon ve Kavramsal Model Çalışmaları

Hydrogeological Characterization and Conceptual Model Studies in Meriç-Ergene River Basin

Çidem ARGUNHAN ATALAY¹, Aydın Emre AYAN¹, Ayça AYDIN SÜREL¹,
Mehmet EKMEKÇİ², Berfin PARLAMİŞ¹, Batuhan AKYÜREK¹, Merve İŞLEK³,
Elçin KABADAYI³, Tamer Y. DUMAN¹, H. Çağrı YAVUZ¹,
Salim YÜZEREROĞLU¹, Mert TOKLU³

¹ Fugro Sial

² Hacettepe Üniversitesi, Hidrojeoloji Mühendisliği Bölümü

³ Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü

(*c.atalay@fugro.com)

ÖZET: Bu çalışmada, Türkiye'nin önemli sınır ötesi havzalarından Meriç-Ergene Havzası'nın hidrojeolojik özellikleri incelenmiş ve yeraltısuyu durumu değerlendirilmiştir. Havza, detaylı inceleme için hidrolojik bölümlere ayrılmış ve 1/25.000 ölçekli jeolojik haritalama yapılmıştır. Hidrojeolojik değerlendirmeler sonucunda, havzada Soğucak Kireçtaşları lokal akifer, Kuvaterner alüvyonlar ve Çorlu formasyonu ana akiferler olarak tanımlanmıştır. Kavramsal model çalışmaları kapsamında uzun dönem seviye rasatlarının olduğu kuyulardaki düşüm trendleri, hidrojeokimyasal analiz sonuçları, izotop sonuçları, yeraltısuyu seviyeleri, havzanın jeolojisi ve havzadaki yapısal unsurlar birlikte değerlendirilmiştir. Kavramsal model çalışmaları neticesinde, Çorlu akiferi, Batı ve Doğu olmak üzere iki farklı sistem olarak belirlenmiştir. Thornthwaite-Mather yöntemi kullanılarak yapılan yeraltısuyu bütçe hesaplamalarına göre, hem Ergene hem de Meriç Alt Havzalarındaki birçok akiferde yeraltısuyu çekimlerinin emniyetli rezervleri ve toplam beslenimi aştığı tespit edilmiştir. Bu nedenle, gelecekteki su tahsislerinin planlanmasında akifer bazlı emniyetli verim hesaplamalarının yanı sıra, ekosistemlere olan etkiler de göz önünde bulundurulmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Hidrojeolojik kavramsal model, hidrojeolojik karakterizasyon, Meriç-Ergene Havzası, yeraltısuyu bütçesi hesaplamaları

ABSTRACT: In this study, the hydrogeological characteristics of the Meriç-Ergene Basin, one of Turkey's significant transboundary basins, was defined and its groundwater status was evaluated. The basin was divided into hydrological sections for detailed investigation, and geological mapping was conducted at a 1/25,000 scale. Through hydrogeological assessments, Soğucak Limestones were identified as local aquifers, while Quaternary alluviums and Çorlu formation were designated as main aquifers in the basin. Within the scope of conceptual model studies, drawdown trends in wells with long-term level observations, hydrogeochemical analysis results, isotope results, groundwater levels, basin geology, and structural elements were evaluated collectively. As a result of conceptual model studies, the Çorlu aquifer was characterized as two distinct systems: Western and Eastern. According to groundwater budget calculations using the Thornthwaite-Mather method, it was determined that groundwater withdrawals in many aquifers in both Ergene and Meriç Sub-basins exceeded safe reserves and total recharge. Therefore, in planning future water allocations, ecosystem impacts should be considered alongside aquifer-based safe yield calculations..

Keywords: Hydrogeological conceptual model, hydrogeological characterization, Meriç-Ergene River Basin, groundwater budget calculations.

Manavgat Nehri Karstik Yeraltısuyu Boşalımının Modellenmesi

Modeling the Karst Groundwater Discharge of Manavgat River

**Arda Melih ÇETİN^{1*}, Ahmet Kemal YAHŞİ¹, Onur CAN¹,
Selim Süleyman ÇALLI¹, Mehmet ÇELİK¹**

¹Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü 06830, Gölbaşı, Ankara, Türkiye
(*cetinardamelih@gmail.com)

ÖZET: Manavgat nehri Akdeniz’e boşalım yapan Antalya Havzasında bulunan önemli bir su kaynağıdır. Manavgat nehrinin karstik yeraltısularından beslendiği bilinmekle birlikte beslenme alanının sınırları tam olarak kestirilebilmiş değildir. Nehir üzerinde bulunan Devlet Su İşlerine ait akım gözlem istasyonlarından özellikle Şahapköprü ve Sinanhoca istasyonları arasında akarsu debisinde çok ciddi bir artış gözlenmektedir. Bu çalışma kapsamında Sinanhoca ve Şahapköprü istasyonları arasında gözlenen akım değerlerinin arasındaki fark karstik yeraltısuyundan beslenme olarak kabul edilmiş olup kavramsal karst hidrolojik modeli KarstMod kullanılarak modellenmiştir. Modelde girdi verisi olarak EU Copernicus ERA5 Land veri tabanından elde edilmiş olan 9 km alansal çözünürlüğe ve saatlik zamansal çözünürlüğe sahip olan “Günlük toplam yağış” ve “Günlük ortalama hava sıcaklığı” verileri kullanılmıştır. Temelde su dengesini sağlamayı hedefleyen modelin çıktılarından birisi de beslenme alanı optimizasyonudur. Bu modelleme çalışması neticesinde beslenme alanı optimizasyonu yapılacak ve bölge jeolojisi, jeomorfolojisi ve hidrojeolojisi dikkate alınarak beslenme alanı ortaya çıkarılacaktır. Söz konusu proje bulguları ile Manavgat ilçe nüfusunun içme suyu ihtiyacı ile Manavgat nehri karstik yeraltısuyu beslenmesi arasındaki ilişki su miktarındaki değişim ve ilçe nüfustaki değişim dikkate alınarak incelenecek, ilçe nüfusunun içme suyu tüketim maliyetinin geçmiş ve gelecek iklimsel süreçlere göre değişimi ortaya çıkarılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Manavgat nehri, karst yeraltısuyu, hidrolik model, KarstMod, ERA5Land

ABSTRACT: Manavgat river is an important water resource which is located in Antalya Basin discharging through the Mediterranean Sea. Since the river has a great amount of groundwater recharge from the Central Taurus karst aquifers, the borders of water contributing area is a continuing mystery. The difference in runoff measurements by the State Hydraulic Works of Türkiye (DSİ) between the Şahapköprü and Sinanhoca gauging stations show a great difference due to the karst springs between these two gauging stations. This study aims to model the karstic discharge by the conceptual hydrological model KarstMod with the assumption of the difference between these two stations’ runoff is emerged from the karst springs. The model input data (Daily total precipitation and Daily mean air temperature) was obtained from EU Copernicus ERA5 Land Global Reanalysis datasets with 9 km spatial and hourly temporal resolutions. The model quantifies the discharge considering the water balance concept and optimizes the water contributing area. Considering the outputs of the modelling study, the optimized water contributing area is clarified by the geological, geomorphological, and hydrogeological setup of the region. Considering the outcomes of the project, the relationship between the karst groundwater contribution of the Manavgat river and the drinking water needs of the Manavgat province will be mathematically evaluated. The drinking water need of the Manavgat province will be calculated in terms of its financial and quantitative dimensions according to change in climatic conditions.

Keywords: Manavgat river, karst groundwater, hydrological modeling, KarstMod, ERA5Land

Karstik Yeraltısuyu Modellemesi: Güncel Yaklaşımlar ve Gelecek Yönelimleri

Karstic Groundwater Modeling: Current Approaches and Future Directions

Selim Süleyman ÇALLI^{1,*}, Kübra ÖZDEMİR ÇALLI², Mehmet ÇELİK¹

¹ Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü 06830, Gölbaşı, Ankara, Türkiye

² Dresden Teknik Üniversitesi, Yeraltısuyu Yönetimi Enstitüsü, 01127, Dresden, Germany

(*scalli@ankara.edu.tr)

ÖZET: Karstik akiferler sahip oldukları beslenme (noktasal ve alansal), depolama (kanal ve matriks), dolaşım (yerel ve yaygın) ve boşalım (laminar ve türbülanslı) özellikleri bakımından heterojen yeraltısuyu sistemleri olup, hem doğal hem de doğal olmayan tehditlere karşı gözenekli akiferlere kıyasla çok hızlı tepki veren hassas ortamlardır. İklim değişikliği ve nüfus artışı gibi güncel tehditler dikkate alındığında karstik yeraltısuları üzerindeki baskının günden güne artması kaçınılmazdır. Karstik yeraltısularının sürdürülebilir kullanımı ise onların kavramsal ve sayısal modellerinin geliştirilmesi ile mümkün olmaktadır. Karstik akiferlerin sayısal modelleri ise basitten karmaşığa doğru (i) kara kutu modeller, (ii) kavramsal modeller ve (iii) fiziksel modeller olmak üzere üç farklı yaklaşıma göre oluşturulabilmektedir. Bu çalışma karstik bir akiferin sayısal hidrodinamik ve hidrokimyasal modellerinin kavramsal modelleme yaklaşımı kullanılarak nasıl oluşturulması gerektiği hususunu en temelden ele alarak açıklamıştır. Bu kapsamda veri ihtiyacı, veri toplama teknikleri, veri işleme yöntemleri, model yapısal yeterliliği ve son olarak model uygulamasının yapılması hususlarına değinilmiş olup bu hususlar mevcut çalışmalar ve gelecek yönelimleri üzerinden örneklendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Karst hidrolojisi, kavramsal modeller, hidrodinamik, hidrokimya, kirletici taşınımı.

ABSTRACT: Karstic aquifers are heterogeneous groundwater systems by means of recharge (diffuse and concentrated), storage (matrix and conduit), flow (local or regional), and discharge (laminar and turbulent) characteristics, hence giving quicker responses to both natural and artificial threats while compared to the porous aquifers. Considering the most devastating threats of climate change and increasing population, the stress on the karst groundwater is increasing inevitably. Sustainable usage of these groundwater systems could only be possible by developing the numerical models. Numerical models of the karst aquifers could be developed by using (i) black-box models, (ii) conceptual models, and (iii) physical models from simple to complicated, respectively. This study is explaining how to build a successful numerical model to a karst aquifer by using the conceptual modelling approach from the very basic concepts such as data requirements and data collection methods, data processing techniques, structural adequacy of the model, and finally the application procedures. In this context, data needs, data collection techniques, data processing methods, model structural adequacy and finally model implementation are mentioned and these issues are exemplified through current studies and future directions.

Keywords: Karst hydrology, conceptual models, hydrodynamics, hydrochemistry, solute transport.

Avrupa-Akdeniz Karst Kuşağı İçin Büyük Ölçekli Karstik Kaynak Boşalım Veri Seti Oluşturulması

Creating of a Large Scale Karst Spring Discharge Data Set for the Euro-Mediterranean Karst Region

**Ahmet Kemal YAHŞİ^{1*}, Arda Melih ÇETİN¹, Onur CAN¹,
Süleyman Selim ÇALLI¹, Mehmet ÇELİK¹**

¹Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü 06830, Gölbaşı, Ankara, Türkiye
(*ahmetkemalyahsi@outlook.com)

ÖZET: Karstik kaynaklar Akdeniz çevresindeki ülkelerde yaşayan nüfusun önemli bölümüne içme suyu sağlayan yeraltısuyu sistemleridir. Alp-Himalaya dağ kuşağının önemli bir bölümü Mesozoyik ve Senozoyik karbonatlarından oluşmakta olup, özellikle Akdeniz kuşağında çok sayıda karst akiferi bu dağlık sistemlerden beslenmektedir. İklim değişikliği sürecinde dağlık karst akiferlerinin hidrodinamiğinin değişmesi bu sistemlere bağımlı olan çevre ekosistemleri de tehdit etmektedir. İklim değişikliğinin yeraltısuları üzerindeki etkisinin öngörülebilmesi için hidrolojik modellere ihtiyaç duyulmaktadır. Hidrolojik modellerin uygulanabilmesi için alansal ve/veya zamansal çözünürlüğü yüksek kaliteli veriye ihtiyaç duyulmaktadır. Veri erişilebilirliğinde veya düzenlenmesindeki güçlükler, karst araştırmalarındaki ilerlemelere ve büyük ölçekli hidrolojik çalışmalarda karst süreçlerinin ortaya çıkarılmasında güçlük yaşanmasına neden olmaktadır. Buna dayanarak Avrupa-Akdeniz bölgesi için karstik kaynakların tespiti, anlaşılması ve iklim değişikliğinin etkilerinin ortaya konması için veri erişilebilirliğinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışma kapsamında Atlaslar, Prieneler, Apeninler, Alpler, Dinaridler, Karpatlar, Toroslar ve Zagrosları içine alan geniş bir coğrafyaya yayılmış çok sayıda karstik kaynak boşalım verisine erişilmiştir. Söz konusu bölgelerde ilgili kurumlarının açık erişiminde bulunan verilerin toplandığı tek bir kaynak akım veri seti oluşturulmuştur. Bu çalışma kapsamında derlenen veri setinin lokal veya bölgesel modelleme çalışmalarında sıkça kullanılması, karst yeraltı sularının daha verimli ve etkin yönetimini sağlaması ve uluslararası ve disiplinler arası iş birliklerini teşvik etmesi beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kaynak boşalım veri tabanı, Avrupa-Akdeniz karstı, iklim değişikliği

ABSTRACT: Karst springs are groundwater systems that provide drinking water to a significant portion of the population living in countries around the Mediterranean. A significant part of the Alpine-Himalayan mountain belt is composed of Mesozoic and Cenozoic carbonates, and many karst aquifers, especially in the Mediterranean belt, are fed by these mountainous systems. Changes in the hydrodynamics of mountainous karst aquifers during climate change threaten the surrounding ecosystems that depend on these systems. Hydrological models are needed to predict the impact of climate change on groundwater. In order to apply hydrological models, high quality data with high spatial and/or temporal resolution are needed. Difficulties in data accessibility or organisation have hampered the progress in karst research and the elucidation of karst processes in large-scale hydrological studies. Based on this, the aim was to improve data accessibility for the Euro-Mediterranean region in order to identify and understand karst resources and the impacts of climate change. Within the scope of this study, a large number of karst spring discharge data spread over a wide geographical area including the Atlas, Pienes, Apennines, Alps, Dinarids, Carpathians, Taurus and Zagros were accessed. In these regions, a spring discharge dataset has been created in which the data available in the open access of the relevant institutions are collected. It is expected that the dataset compiled within the scope of this study will be frequently used in local or regional modelling studies, provide more efficient and effective management of karst groundwater and encourage international and interdisciplinary cooperations.

Keywords: Karst spring discharge database, Euro-Mediterranean karst, climate change

Kızılırmak Nehir Havzası Yeraltısularının Çevresel İzotop Karakteristikleri

Environmental Isotope Characteristics of Groundwater in the Kızılırmak River Basin

Nesrin TÜFEKÇİ-AVŞAR^{1,*}, Mehmet EKMEKÇİ², Ayça AYDIN SÜREL¹,
Berfin PARLAMIŞ¹, Batuhan AKYÜREK¹, Merve İŞLEK³, Aydın Emre AYAN¹,
Salim YÜZEREROĞLU¹, Mert TOKLU³

¹ Fugro Sial

² Hacettepe Üniversitesi Uluslararası Karst Su Kaynakları Araştırma Merkezi

³ Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü

(*n.tufekci@fugro.com)

ÖZET: Kızılırmak Havzası'nın yıllık toplam su potansiyeli 6868.69 hm³ olup bunun %61'i yeraltısuyu, geri kalan %39'u yüzeysuyundan oluşmaktadır. Yüzeysuları meteorolojik kuraklıktan doğrudan etkilendiği için, havzadaki yeraltısuyu potansiyeli stratejik öneme sahiptir. Bu durum, havzadaki su kaynaklarının, özellikle yeraltısularının etkin yönetimini zorunlu kılmaktadır. Yeraltısuyu kaynaklarının yönetiminin temelinde yeralan hidrojeolojik kavramsallaştırma ve karakterizasyon kapsamında kurak ve yağışlı olmak üzere iki dönemde alınan yeraltısuyu örneklerinin oksijen-18, döteryum ve trityum sonuçları değerlendirilmiştir. Duraylı izotop içeriklerinin alt havza ölçeğinde dağılımı, yerel meteorik doğrusu ve döteryum fazlası değişimi, dönemler arası değişkenlik, buharlaşma etkisi ve duraylı izotop-kot ilişkisi incelenmiştir. Trityum analiz sonuçları yağışların trityum içerikleriyle ilişkilendirilerek derinlikle değişkenliği irdelenmiştir. Oksijen-18'in genelde -11‰ ile -9‰, döteryum değerlerinin ise -77‰ ve -69 ‰ aralığında yoğunlaştığı belirlenmiştir. Uç değerlerin yüksek kotlardan beslenen örnekleri veya suyun buharlaşmayla ağır izotoplar açısından zenginleşmesini temsil etmektedir. Havzada trityum değerleri 0 ile 13.8 TU arasında olup yeraltısuları geçiş süreleri, hidrojeolojik yapılara bağlı olarak 0-65 yıl arasında değişmektedir.

Anahtar Kelimeler: Hidrojeolojik kavramsallaştırma, duraylı izotop, trityum, beslenme alanı, yeraltısuyu yaşı.

ABSTRACT: The annual total water potential of the Kızılırmak Basin is 6868.69 hm³, with 61% groundwater and the remaining 39% surface water. Since surface waters are directly affected by meteorological drought, the groundwater potential in the basin has strategic importance. This situation necessitates effective management of groundwater resources in the basin. Oxygen-18, deuterium, and tritium results of groundwater samples taken during two periods, dry and wet seasons, were evaluated within the scope of hydrogeological conceptualization and characterization that forms the basis of groundwater resource management. The distribution of stable isotope contents at the sub-basin scale, local meteoric line, deuterium excess variation, inter-period variability, evaporation effect, and stable isotope-elevation relationship were examined. Tritium analysis results were evaluated in terms of depth variability by correlating with tritium contents of precipitation. Oxygen-18 values were determined to be concentrated generally between -11‰ and -9‰, while deuterium values were between -77‰ and -69‰. The extreme values represent samples recharged from high elevations or enrichment of water in heavy isotopes through evaporation. Tritium values in the basin range from 0 to 13.8 TU, and groundwater transit times vary between 0-65 years depending on the hydrogeological structures.

Keywords: Hydrogeological conceptualization, stable isotope, tritium, recharge area, groundwater age.

Türkiye'deki NaCl Tipindeki Jeotermal Akışkanların Cl-Br Oranları Kullanılarak Kökenlerinin Belirlenmesi

Determination of Origin of NaCl Type Geothermal Fluids in Türkiye by Using Cl-Br Ratios

İsmail Noyan GÜNER^{1*}, Ali Kemal BİRİNCİ¹

¹MTA Genel Müdürlüğü Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi)
(*noyan.guner@mta.gov.tr)

ÖZET: Yeraltısularının akım yönünün ve kökeninin araştırılmasında duraylı ve radyoaktif izotoplar, çözünmüş gazlar, jeokimyasal ve kirletici parametreler izleyiciler olarak kullanılmaktadır. Jeokimyasal parametrelerden halojen grubu elementler, soğuk ve jeotermal suların kökenlerinin beslenme-boşalım ve karışım süreçlerinin belirlenmesinde oldukça kullanışlıdır. Cl ve Br iyonlarının kaynakları hemen hemen aynıdır. Bu kaynaklar denizsuyu, evaporatik çökeller, atmosfer, kanalizasyon, yol tuzları, gübreler ve organik bileşiklerdir. Günümüzde dünya geneli için deniz suyundaki Cl iyonu 18980 mg/l, Br iyonu ise 65 mg/l kabul edilmiştir. Ülkemizdeki NaCl tipindeki yüksek çözünmüş madde miktarına sahip jeotermal akışkanların kökenlerinin belirlenmesinde Cl/Br oranları değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda Aydın (Germencik, Pamukören, Gümüşköy), Eskişehir (Alpu, Türkmentokat, Mihaliçcik), Ankara (Ayaş, Beypazarı, Polatlı), Akhüyük (Konya), Manisa (Alaşehir), Erzurum (Çaldıran), ve Çanakkale (Çan, Tuzla), Nevşehir, Niğde sahalarındaki jeotermal akışkanlar eski denizel kapanım sularıdır. Bu sonuca göre, ülkemizdeki jeotermal sistemler yenilenebilir değildir. Dolayısıyla, jeotermal sistemlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri değişmeden, üretim ve kullanım faaliyetleri sürdürülebilir şekilde yürütülmelidir.

Anahtar Kelimeler: Cl, Br, Cl-Br oranı, izleyici, jeotermal

ABSTRACT: The environmental tracers as stable and radioactive isotopes, dissolved gases, geochemical and pollutant parameters are useful tools for determining origin and direction flow of groundwater. The elements of halogen group in geochemical parameters is quite useful in determining the recharge-discharge and mixing processes of cold and geothermal waters and their origins. The sources of Cl and Br ions are almost the same. These sources are seawater, atmosphere, sewage, road salts, fertilizers and organic compounds. Nowadays, the average concentration of Cl and Br ions in seawater of the earth planet are accepted as 18980 mg/l and 65 mg/l respectively. Cl/Br ratios were evaluated in determining the origins of NaCl type geothermal fluids with high level dissolved solid content of in Türkiye. As a result of the evaluations, the geothermal fluids in the fields of Aydın (Germencik, Pamukören, Gümüşköy), Eskişehir (Alpu, Türkmentokat, Mihaliçcik), Ankara (Ayaş, Beypazarı, Polatlı), Akhüyük (Konya), Manisa (Alaşehir), Erzurum (Çaldıran), and Çanakkale (Çan, Tuzla), Nevşehir, Niğde are marine type of fossil connate waters. According to this result, the geothermal systems in Türkiye are not renewable. Therefore, the production and usage activities should be carried out in a sustainable manner without changing the physical and chemical properties of geothermal systems.

Keywords: Cl, Br, Cl-Br ratio, tracer, geothermal

Beyşehir Gölü (Türkiye) Yüzey Sularında Su Kalitesi ve Ağır Metal Verilerinin CBS ve Su Kalitesi İndeksleri ile Değerlendirilmesi

Evaluation of Using Water Quality Indices and GIS of Heavy Metal and Water Quality Data Surface Water Lake Beyşehir (Türkiye)

Cafer BULUT^{1*}, Vedat YEGEN¹, Erhan ŞENER², Dilek FİDAN³, İbrahim ÖZDAL¹

¹*Su Ürünleri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü-Eğirdir, Isparta, Türkiye*

²*Süleyman Demirel Üniversitesi, Uzaktan Algılama Merkezi, Isparta, Türkiye*

³*Su Ürünleri Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü-Trabzon, Türkiye*

(*caferbulut@gmail.com)

ÖZET: Beyşehir Gölü yaklaşık 650 km²'lik yüzölçümü ile ülkemizin en büyük tatlısu gölüdür. Gölde daha önce yapılan çalışmalarda gölün trofik seviyesinin 1958 ve 1984 yıllarında oligotrof, 2001 yılında ise mezotrof olduğu bildirilmiştir. Gölün değişim gösteren trofik seviyesi, gölde bir değişim sürecinin başladığını göstermektedir. Tatlısuları izleme çalışmalarında mevcut durumun tespiti için suların kalitesi izleme çalışmaları önemli yer tutmaktadır. Çalışmada Beyşehir Gölü'nde 2023 ve 2024 yılları arasında CBS görüntüleme teknikleri kullanarak mevsimsel ağır metal ve su kalitesi durumunun incelenmesi ve trofik seviyesinin güncel durumunun belirlenmesi amaçlanmıştır. Gölde 9 noktadan su kalitesi ve ağır metal örnekleri alınarak incelenmiştir. Çalışma sonucunda Beyşehir Gölü'nün ortalama trofik seviyesinin mezotrof olduğu belirlenmiştir. Ağır metal açısından en yoğun Bor (B) ve Baryum (Ba) tespit edilmiştir. Sonuç olarak küresel iklim değişikliğinin etkisini gösterdiği bu dönemlerde gölden alınan suyun gölün su kalitesi ve bütçesi üzerinde etkileri olduğu görülmüş olup; gölün korunması adına koruyucu tedbirlerin bir an önce alınması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Beyşehir Gölü, yüzey suyu, ağır metal, CBS, su kalitesi indeksi

ABSTRACT: Beyşehir Lake is the largest freshwater lake of our country with a surface area of approximately 650 km². In previous studies conducted in the lake, it was reported that the trophic level of the lake was oligotrophic in 1958 and 1984 and mesotrophic in 2001. The changing trophic level of the lake shows that a change process has started in the lake. Water quality monitoring studies have an important place in freshwater monitoring studies to determine the current situation. In this study, it was aimed to examine the seasonal heavy metal and water quality status in Beyşehir Lake between 2023 and 2024 using GIS imaging techniques and to determine the current status of the trophic level. Water quality and heavy metal samples were taken from 9 points in the lake and analysed. As a result of the study, it was determined that the average trophic level of Lake Beyşehir was mesotrophic. The most intense Boron (B) and Barium (Ba) were detected in terms of heavy metals. As a result, it has been observed that the water taken from the lake has effects on the water quality and budget of the lake during these periods when the global climate change shows its effect, and it is concluded that protective measures should be taken as soon as possible in order to protect the lake.

Keywords: Lake Beyşehir, surface water, GIS, heavy metal, water quality index

Kovada Gölü (Isparta, Türkiye) Yüzey Sularında Su Kalitesi ve Ağır Metal Verilerinin CBS ve Su Kalitesi İndeksleri ile Değerlendirilmesi

Evaluation of Using Water Quality Indices and GIS of Heavy Metal and Water Quality Data Surface Water Lake Kovada (Isparta, Türkiye)

Cafer BULUT^{1*}, Erhan ŞENER², Dilek FİDAN³, Cemal CEVHER¹

¹Su Ürünleri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü-Eğirdir, Isparta, Türkiye

²Süleyman Demirel Üniversitesi, Uzaktan Algılama Merkezi, Isparta, Türkiye

³Su Ürünleri Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü-Trabzon, Türkiye

(*caferbulut@gmail.com)

ÖZET: Kovada Gölü, jeomorfolojik yapısı ve barındırdığı doğal kaynaklarıyla bölgesel ve ulusal ölçekte önemli bir göldür. Bu nedenle Kovada Gölü ve çevresi, milli park olmasının yanı sıra 1992 yılında 1. Derece Doğal Sit alanı ilan edilmiştir. Ancak, son yıllarda gölün sürdürülebilir kullanımını ciddi boyutta tehdit eden kirlilik kaynakları sebebiyle göldeki sazlık-bataklık habitatlarında gözlenen artış dikkati çekmektedir. Suların kalitesi mevcut durumun ortaya konması adına önemli çalışmalardır. Çalışmada Kovada Gölü'nde 2023 yılında CBS görüntüleme teknikleri kullanarak mevsimsel ağır metal ve su kalitesi durumunun incelenmesi ile trofik seviyesinin güncel durumunun belirlenmesi amaçlanmıştır. Gölde 3 noktadan su kalitesi ve ağır metal örnekleri alınarak incelenmiştir. Çalışma sonucunda Kovada Gölü'nün ortalama trofik seviyesinin hiperötrof olduğu belirlenmiştir. Ağır metal açısından en yoğun Bor (B) ve Alüminyum (Al), Çinko (Zn) ve Demir (Fe) tespit edilmiş olup toksik metal seviyeleri de dikkate değer düzeylerde. Küresel iklim değişikliğinin göl üzerinde etkisini gösterdiği bu dönemlerde gölün su bütçesinde yaşanan olumsuz gelişmelerin gölün su kalitesi üzerinde negatif etkileri olduğu görülmüş olup; gölün korunması adına koruyucu tedbirlerin bir an önce alınması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Beyşehir Gölü, yüzey suyu, ağır metal, CBS, su kalitesi indeksi

ABSTRACT: Lake Kovada is a regionally and nationally important lake with its geomorphological structure and natural resources. For this reason, Kovada Lake and its surroundings were declared as a national park as well as a Grade 1 Natural Protected Area in 1992. However, in recent years, the increase in reed-swamp habitats in the lake due to pollution sources that seriously threaten the sustainable use of the lake has attracted attention. Monitoring of the water quality is an important study in order to reveal the current situation. In this study, it was aimed to examine the seasonal heavy metal and water quality status in Kovada Lake in 2023 using GIS imaging techniques and to determine the current status of the trophic level. Water quality and heavy metal samples were taken from 3 points in the lake and analysed. As a result of the study, it was determined that the average trophic level of Lake Kovada is hyper-neutrophic. In terms of heavy metals, the most intense Boron (B) and Aluminium (Al), Zinc (Zn) and Iron (Fe) were detected and toxic metal levels are also at remarkable levels. It has been observed that the negative developments in the water budget of the lake in these periods when global climate change shows its effect on the lake have negative effects on the water quality of the lake and it is concluded that protective measures should be taken as soon as possible in order to protect the lake.

Keywords: Lake Kovada, surface water, GIS, heavy metal, water quality index

Köprüören Havzası'nda (Kütahya) Tarımsal Sulama Amaçlı Yeraltısuyu Kullanımının Belirlenmesi

*Determination of Groundwater Use for Agricultural Irrigation Purposes
in Köprüören Basin (Kütahya)*

Abdulkarim Salad MOHAMED¹, Şebnem ARSLAN^{2,3 *}

¹ Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Entegre Su Yönetimi Anabilim Dalı, Dışkapı, Ankara

² Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü ve Entegre Su Yönetimi Anabilim Dalı, Ankara

³ Ankara Üniversitesi Su Yönetimi Enstitüsü, Keçiören, Ankara

(*sarslan@eng.ankara.edu.tr)

ÖZET: Bu çalışmada yoğun tarımsal faaliyetler yürütülen Köprüören Havzası'nda (Kütahya) tarımsal sulama amaçlı yeraltısuyu kullanımının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, ürün desenine uygun olarak tarımsal sulama suyu gereksinimlerinin hesaplanması için çiftçilerin beyanına dayalı oluşturulmuş Çiftçi Kayıt Sistemi (ÇKS) verileri T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü tarafından geliştirilmiş bir platform olan Sulama Yönetimi ve Bitki Su Tüketimi Hesaplama Sistemi ile değerlendirilmiş ve bölgede ekili alanlardaki her bir ürünün sulama suyu ihtiyacı farklı toprak tekstürlerine göre hesaplanmıştır. ÇKS verilerinde eksik beyan bulunabileceği olasılığı göz önüne alınarak havzadaki bitki örtüsü Mayıs-Ağustos 2024 arasında Copernicus Data Space web sitesinden elde edilen Sentinel-2A uydu görüntüleriyle hazırlanmış Normalize Edilmiş Fark Bitki İndeksi (NDVI) haritasıyla detaylı incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda, bölgede tarımsal sulama ihtiyacının büyük bir kısmının yeraltısularından karşılandığı, havzada ürün desenine göre bitkilerin ihtiyaç duyduğu su miktarının 2024 yılı için 30 hm³/yıl olduğu, uydu görüntüleri üzerinden yapılan değerlendirmelerle bu miktarın 76 hm³/yıla kadar çıkabileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Köprüören Havzası, tarımsal sulama suyu ihtiyacı, ürün deseni, normalize edilmiş fark bitki indeksi, çiftçi kayıt sistemi.

ABSTRACT: This study aims to determine the use of groundwater for agricultural irrigation in the Köprüören Basin (Kütahya), where intensive agricultural activities are carried out. For this purpose, agricultural irrigation water requirements were calculated based on the product pattern, using the Farmer Registration System (ÇKS) data, which were created based on farmers' declarations. These data were evaluated using the Irrigation Management and Crop Water Consumption Calculation System, developed by the General Directorate of Agricultural Research and Policies of the Turkish Ministry of Agriculture and Forestry. The irrigation water requirements for each crop in the cultivated areas of the region were calculated according to different soil textures. Considering the possibility of missing declarations in the ÇKS data, the vegetation in the basin was thoroughly examined with a Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) map, prepared using Sentinel-2A satellite images obtained from the Copernicus Data Space website between May and August 2024. As a result of these studies, it was determined that a significant portion of the agricultural irrigation needs in the region is met by groundwater, and the water required by the plants in the basin according to the crop pattern for the year 2024 is 30 hm³/year, whereas evaluations made using satellite images indicated that this amount could reach up to 76 hm³/year.

Keywords: Köprüören Basin, agricultural irrigation water requirement, crop pattern, normalized difference vegetation index, farmer registration system

Aktif Fay Zonları Üzerindeki Jeotermal Sahalarda Hidrojeokimyasal Olarak Deprem İzleme ve Tahmininde Makine Öğrenmesi Uygulamaları

Machine Learning Applications in Hydrogeochemical Earthquake Monitoring and Prediction in Geothermal Fields on Active Fault Zones

Tuğbanur ÖZEN BALABAN^{1,*}, Füsun TUT HAKLIDIR^{2,3}

¹ Katip Çelebi Üniversitesi, Proje Genel Koordinatörlüğü, Çiğli-İzmir

²İstanbul Bilgi Üniversitesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Eyüp-İstanbul

³Zorlu Enerji Grubu, Jeotermal Teknolojiler Arama ve İnovasyon Grubu, Levent-İstanbul

(*tugbanur.ozen.balaban@ikcu.edu.tr)

ÖZET: Ülkemiz büyük deprem kuşaklarının bulunduğu bir coğrafyada yer almaktadır. Fay zonları sıcak su kaynaklarının oluşmasına olanak sağlayacak çatlaklı rezervuar yapılarının oluşmasına ve yerin derinliklerinden yol bularak yüzeye ulaşmasına olanak sağlamaktadır. Jeotermal akışkanın depremden önce ve sonrasında fiziksel ve kimyasal özellikleri değişebilmektedir. Özellikle 6 Şubat 2023 yıkıcı depremleri ardından deprem konusunda yapılan çalışmalar çoklu disiplinli bakış açısıyla çalışılmaya başlamıştır. Bu kapsamda Balçova-Narlıdere jeotermal sisteminde deprem tahminine yönelik hidrojeokimyasal bakış açısıyla Tübitak 1002 Hızlı Destek Programı desteklenen bir proje kapsamında izleme çalışma metodolojileri ve işlenecek veriler ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Çalışma kapsamında yapay zeka teknolojisini de kullanarak, uzmanlar tarafından yıkıcı deprem oluşturabilecek fayların bulunduğu İzmir ilinde aktif fay üzerinde bulunan bir jeotermal sistemde jeotermal akışkanın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirli süreyle izlenerek, bu izlenen verilerin bir IoT ara yüzüyle alınarak, depolanması ve değerlendirilmesine olanak sağlanma koşulları incelenmesi hedeflenmiştir. Uzun dönem alınacak verilerin makine öğrenmesi algoritmaları uygulanmasıyla, jeotermal uygulamaların bulunduğu jeotermal sahalarda depremlerin önceden tahminine yönelik, kamu yararına çalışmaların artırılması hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Jeotermal, hidrojeokimya, deprem tahmin, makine öğrenmesi

ABSTRACT: Our country is located in a geography with major earthquake zones. Fault zones allow the formation of fractured reservoir structures that will allow hot water resources to form and reach the surface by finding a path from the depths of the earth. The physical and chemical properties of geothermal fluid can change before and after an earthquake. Especially after the devastating earthquakes of February 6, 2023, earthquake studies have started to be carried out with a multi-disciplinary perspective. In this context, within the scope of a project supported by Tübitak 1002 Rapid Support Program with a hydrogeochemical perspective for earthquake prediction in the Balçova-Narlıdere geothermal system, monitoring study methodologies and the architecture of the data to be processed were tried to be revealed. Within the scope of the study, by using artificial intelligence technology, it is aimed to monitor the physical and chemical properties of the geothermal fluid in a geothermal system located on an active fault in Izmir province, where faults that can cause devastating earthquakes by experts, for a certain period of time, and to examine the conditions that allow this monitored data to be received, stored and evaluated with an IoT interface. By applying machine learning algorithms to long-term data, it is aimed to increase public interest studies for the prediction of earthquakes in geothermal areas where geothermal applications are located.

Keywords: Geothermal, hydrogeochemistry, earthquake prediction, machine learning

Eğirdir Gölü (Isparta) Dip Çamur Temizliğine Yönelik Gerçekleştirilen Fizibilite Çalışmasına ait Bulgular

Findings of the Feasibility Study Conducted for Cleaning Bottom Mud in Eğirdir Lake (Isparta)

H. Abdullah UÇAN¹, Beyhan OKTAR¹, Şehnaz ŞENER^{2,3,*}, Erhan ŞENER^{2,4}, İskender GÜLLE⁵, Ömer ERDOĞAN⁶, Mehmet BEYHAN², Çağlayan BALKAYA^{2,7}, Olcay ÇAKMAK⁷, Mehmet Çağrı BAYRAK⁷, Abdullah ÜNSAL⁸

¹Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Tabiat Varlıklarını Koruma Gen. Müd., Ankara

²Süleyman Demirel Üni. Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Isparta

³Süleyman Demirel Üni. Su Enstitüsü, Isparta

⁴Süleyman Demirel Üni. Uzaktan Algılama Uygulama ve Araş. Merkezi, Isparta

⁵Burdur Mehmet Akif Ersoy Üni. Fen Edebiyat Fakültesi, Burdur

⁶Isparta Uygulamalı Bilimler Üni., Yalvaç Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Isparta

⁷Süleyman Demirel Üni. Deprem ve Jeoteknik Araştırma Merkezi, Isparta

⁸Eğirdir Belediye Başkanlığı, Isparta

(*sehnazsener@sdu.edu.tr)

ÖZET: Eğirdir Gölü dip çamurunun ve su kalitesinin mevcut durum tespiti ve dip çamuru temizleme fizibilitesi projesi Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Tabiat Varlıklarını Koruma Genel Müdürlüğü himayesinde gerçekleştirilmiştir. Proje kapsamında; Eğirdir Gölü'nü kirlüten atıksu kaynakları ile kirleticiler kaynaklar belirlenmiş ve bu doğrultuda numune yerleri tespit edilmiştir. Göl genelini temsil edecek 20 farklı lokasyondan, su kolonunun 2 farklı noktasından su örnekleri ve dip çamur örnekleri alınmış, analiz sonuçları ilgili mevzuata göre değerlendirilmiş, dip çamur örneklerinin zemin sınıfları belirlenmiştir. Sığ sismik çalışmaları ile Eğirdir Gölü'nün tabanında biriken çamur hacmi/miktarı, kalınlığı ve dağılımı belirlenmiştir. Ayrıca dip çamur taramasının yapılacağı öncelikli alanlar ve alınması gerekli çamur miktarı belirlenerek alınacak dip çamurunun geçici ön işlem ve nihai depolanması için alternatif alanlar önerilmiştir.

Yapılan çalışmada, Eğirdir Gölü'nün göl seviyesinin yaklaşık 55 yıllık bir sürede 5,23 m azaldığı belirlenmiştir. Buna göre göl yüzey alanında yaklaşık %13,75 (67,53 km²) ve göl hacminde yaklaşık %57,47 (2403,54 hm³) azalma söz konusudur. Eğirdir Gölü'nün 2020 yılına ait Batimetri haritasına göre göl taban kodu 906 m ile 916,35 m arasında değişmektedir. Göle etki eden kirleticiler kaynaklar ve kirlilik yükleri incelendiğinde, Eğirdir Gölü Havzası'nda tarımsal faaliyetlerden (gübre kullanımı) kaynaklanan kirliliğin baskın olduğu belirlenmiştir. Havzada evsel atık suların kaynaklanan kirlilik yükleri hem TN hem de TP için %1 civarında iken, yayılı kirlilikten kaynaklanan kirlilik yükleri %99 civarında olduğu belirlenmiştir. Eğirdir Gölü'nden alınan su örneklerinin fizikokimyasal analiz sonuçlarına göre gölün mevzuatta yer alan birçok parametre bakımından iyi ve orta su kalitesi sınıfında olduğu; dip çamur örneklerinin ise ağır metaller bakımından LEL konsantrasyonunu aştığı, Çözülmüş Organik Karbon açısından ise SEL ve LEL konsantrasyonlarını aştığı belirlenmiştir. Eğirdir Gölü'nün güney kesimlerini temsil eden dip çamur örneklerinin elek analizi, hidrometre ve atterberg limitlerine göre belirlenen zemin sınıfı Siltli Kum (SM)'dir. Gölün Hoyran kesimi ile orta kesimlerde Gelendost-Barla hattını temsil eden dip çamur örneklerinin zemin sınıfı ise inorganik silt (yüksek plastisiteli) (MH)'dir.

Eğirdir Gölü su kalitesinin hidrobiyolojik açıdan değerlendirildiğinde gölün trofik durumunun özellikle 2020-2024 yılları arasında geri dönüşsüz bir şekilde ötrofik duruma geçtiği görülmektedir. Gölün kısmen daha sığ ve sirkülasyonun daha az olduğu kısımlarında yoğun bir gelişim gösteren su altı bitkileri, özellikle nutrient bakımından zengin dip çamurunun ve sığlaşmanın ortak eseridir. Bitkilerin su çerisinde çok sık ve yoğun olmalarından ötürü, mikro akıntıları ve daha büyük akıntıları kesmeleri nedeniyle özellikle dip çamurunda sirkülasyon azlığı ve organik madde çürümesi görülmektedir. Bu duruma bağlı olarak oksijensiz koşulların (anaerobik) ortaya çıkması dip çamurundan salınan fosfor ve demiri arttırmakta olduğundan, bunu takiben sudaki siyanobakteri gelişiminde ani bir artış göstermektedir. Eğirdir Gölü Yüksek Ayrımlı Sığ Sismik Etüdü kapsamında Eğirdir Gölünde toplanan 213 km uzunluğundaki sığ sismik kesitler veri işlem aşamalarından sonra sismik stratigrafik prensiplere

göre yorumlanmıştır. Elde edilen verilere göre, gölün üst çökel birimlerinde ve göl tabanında deformasyon yaratan fay yapıları gözlenmiştir. Göl içerisinde toplanan sismik kesitlerden oluşturulan göl tabanı derinlik haritasına göre gölün en derin kısmı 10 m olup bu derinlik çok sınırlı bir alandır. Gölün ortalama derinliği 5 m'lerde olup kuzey kısmında bu değer ortalama 3 m'lere gerilemektedir. Bununla birlikte göldeki ortalama çamur kalınlığı 2 m'dir. Gölün güney ve güney orta kesimlerinde, kuzey tarafından ise kuzey batı ve güney doğu bölümlerinde çamur kalınlığı artmaktadır. Çalışma sahasında en üst çökeli 3 boyutlu perspektifine göre hesaplanan göl taban çamurun hacim miktarı $1070 \times 10^6 \text{ m}^3$ olarak bulunmuştur.

Eğirdir Gölü'nün dip çamur temizliğine yönelik çalışma kapsamında yapılmış olan tüm analiz ve sonuçlar birlikte değerlendirilerek göl içerisinde öncelikli olarak dip çamur temizliğinin yapılması gereken alanlar, alternatif çamur susuzlaştırma alanları ve alternatif depolama alanları arazi çalışmaları ile desteklenerek belirlenmiş ve haritalandırılmıştır. Hoyran boğazında belirlenmiş olan alan periyodik malzeme alım alanı olarak belirlenmiştir. Bu alan öncelikli olarak ilk etapta müdahale edilmesi gereken alan olup bu bölgeden belirli aralıklarla malzeme alınması gölün iki ayrı göle ayrılmasını önleyecektir. Böylece su kalitesi bakımından da göl bir bütün olarak daha iyi durumda olacaktır. Dip tarama-1 (Faz-1) ve Dip tarama-2 (Faz-2) alanları gölün güney kesimlerinde bulunmaktadır. Öncelik olarak Faz-1, daha sonrasında Faz-2 alanlarının taranması önerilmektedir. Gölün güneyinde, Çayderesi boşalım noktasından ise daimi olarak malzeme alınması önerilmektedir. Gölün bir bakıma boşalım noktası olan bu bölgede biriken rusubatin alınması göl içerisinde sedimantasyon birikimini önleyecektir. Tespit edilen her bir bölgenin alanları, bu bölgelerde sığ sismik çalışmaları ile belirlenmiş olan çamur kalınlıkları dikkate alınarak hesaplanmış bölgelere ait çamur hacim miktarlarına göre gölden toplam 29 439 568 m³ dip çamur alınması öngörülmektedir. Ayrıca göl içerisinde alınan dip çamur malzemesinin susuzlaştırma alanları ve alternatif depolama alanları arazi çalışmaları ile belirlenmiştir. Susuzlaştırma alanları olarak göl kıyısında bulunan geniş düzlük kıyı alanları önerilmiştir. Burada doğal ortamda kuruma sağlanarak süzülen göl suyunun yine göle ulaşması su kaybının önüne geçilmesi açısından uygun olacaktır. Alternatif depolama alanı-1 olarak önerilen alan rehabilitasyon aşamasında bulunan bir mermer sahası ve çevresinde olup alanın bulunmaktadır. Alternatif depolama alanı-2 olarak belirlenen alan ise ulaşım, yerleşim alanlarına uzaklık ve ekolojik açıdan bölge için en uygun alandır. Eğirdir Gölü'nde yapılması planlanan dip çamuru temizliğinin faydaları ve olası riskleri de çalışma kapsamında değerlendirilmiştir. Zaman, mekan, fiziksel koşullar, iklimsel koşullar, biyotik koşullar ve dahi uygulanan yöntemlerin başarı ve başarısızlıkta önemli rol oynayacağı bir gerçektir. Fakat Eğirdir Gölü gibi acil müdahale gerektiren sistemlerde yapılacak çalışmaların iyileşme adına ümit verici sonuçlar doğuracağı öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Eğirdir Gölü, su kalitesi, dip çamur, ekolojik rehabilitasyon

ABSTRACT: The current status determination of Eğirdir Lake bottom sludge and water quality and bottom sludge cleaning feasibility project was carried out under the auspices of the Ministry of Environment, Urbanisation and Climate Change, General Directorate of Protection of Natural Assets. Within the scope of the project; wastewater sources and pollutant sources polluting Eğirdir Lake were determined and sample locations were determined accordingly. Water samples and bottom mud samples were taken from 20 different locations to represent the lake in general and from 2 different points of the water column, the results of the analyses were evaluated according to the relevant legislation and the soil classes of the bottom mud samples were determined. The volume/quantity, thickness and distribution of mud accumulated at the bottom of Eğirdir Lake were determined by shallow seismic studies. In addition, priority areas for bottom sludge dredging and the amount of sludge to be taken were determined and alternative areas were proposed for temporary pre-treatment and final storage of the bottom sludge to be taken.

In the study, it was determined that the lake level of Eğirdir Lake decreased by 5.23 m in a period of approximately 55 years. Accordingly, there is a decrease of approximately 13.75% (67.53 km²) in the lake surface area and approximately 57.47% (2403.54 hm³) in the lake volume. According to the bathymetry map of Eğirdir Lake in 2020, the lake bottom code varies between 906 m and 916.35 m. When the pollutant sources and pollution loads affecting the lake are examined, it is determined that pollution caused by agricultural activities (fertiliser use) is dominant in the Eğirdir Lake Basin. While pollution loads from domestic wastewater in the basin are around 1% for both TN and TP, pollution loads from diffuse pollution are around 99%. According to the results of physicochemical analyses of

water samples taken from Eğirdir Lake, it was determined that the lake is in good and medium water quality class in terms of many parameters included in the legislation; bottom mud samples exceeded the LEL concentration in terms of heavy metals and exceeded the SEL and LEL concentrations in terms of Dissolved Organic Carbon. The soil class determined according to sieve analysis, hydrometer and atterberg limits of the bottom mud samples representing the southern parts of Eğirdir Lake is Silty Sand (SM). The soil class of the bottom mud samples representing the Hoyran section of the lake and the Gelendost-Barla line in the central parts of the lake is inorganic silt (high plasticity) (MH).

When the water quality of Eğirdir Lake is evaluated from a hydrobiological point of view, it is seen that the trophic state of the lake irreversibly shifted to eutrophic state especially between 2020-2024. Underwater plants, which develop intensively in the shallower and less circulated parts of the lake, are the common work of nutrient-rich bottom mud and shallowing. Due to the fact that the plants are very dense and dense in the water, there is a lack of circulation and decay of organic matter, especially in the bottom mud, due to the interruption of microcurrents and larger currents. Due to this situation, the emergence of anaerobic conditions increases the phosphorus and iron released from the bottom mud, followed by a sudden increase in the development of cyanobacteria in the water. Within the scope of the Highly Discrete Shallow Seismic Survey of Lake Eğirdir, 213 km long shallow seismic sections collected in Lake Eğirdir were interpreted according to seismic stratigraphic principles after data processing stages. According to the data obtained, fault structures causing deformation in the upper sedimentary units of the lake and the lake bottom were observed. According to the lake bottom depth map created from the seismic sections collected in the lake, the deepest part of the lake is 10 m and this depth is in a very limited area. The average depth of the lake is around 5 m and this value decreases to 3 m in the northern part. However, the average mud thickness in the lake is 2 m. The mud thickness increases in the south and south-central parts of the lake and in the north-west and south-east parts of the lake from the north side. The volume amount of the lake bottom mud calculated according to the 3D perspective of the uppermost sediment in the study area was found to be $1070 \times 10^6 \text{ m}^3$.

By evaluating all analyses and results made within the scope of the study for bottom sludge cleaning of Eğirdir Lake, the areas where bottom sludge cleaning should be carried out primarily, alternative sludge dewatering areas and alternative storage areas were determined and mapped by supporting with field studies. The area determined in the Hoyran strait has been determined as a periodic material intake area. This area is the area that needs to be intervened in the first place and periodic material intake from this area will prevent the lake from being divided into two separate lakes. Thus, the lake will be in a better condition as a whole in terms of water quality. Dredging-1 (Phase-1) and Dredging-2 (Phase-2) areas are located in the southern parts of the lake. It is recommended that Phase-1 and then Phase-2 areas should be dredged first. It is recommended to take material from Çayderesi discharge point in the south of the lake on a permanent basis. The removal of the sediment accumulated in this region, which is a discharge point of the lake in a sense, will prevent the accumulation of sedimentation in the lake. A total of $29\,439\,568 \text{ m}^3$ of bottom mud is foreseen to be taken from the lake according to the mud volume amounts of the regions calculated by taking into account the areas of each region determined and the mud thicknesses determined by shallow seismic studies in these regions. In addition, dewatering areas and alternative storage areas of the bottom sludge material taken from the lake were determined by field studies. Wide flat coastal areas on the lake shore are proposed as dewatering areas. It will be appropriate in terms of preventing water loss that the filtered lake water reaches the lake again by drying in the natural environment. The area proposed as alternative storage area-1 is located in and around a marble field in the rehabilitation phase. The area determined as alternative storage area-2 is the most suitable area for the region in terms of transportation, distance to settlement areas and ecological aspects.

The benefits and possible risks of the bottom sludge cleaning planned to be carried out in Eğirdir Lake were also evaluated within the scope of the study. It is a fact that time, space, physical conditions, climatic conditions, biotic conditions and even the methods applied will play an important role in success and failure. However, it is predicted that the studies to be carried out in systems that require urgent intervention such as Eğirdir Lake will lead to promising results for improvement.

Keywords: Eğirdir Lake, water quality, bottom mud, ecological rehabilitation

HES ve Barajların Göksu Irmağının Fizikokimyasal Özellikleri Üzerindeki Etkileri

Effects of HEPPs and Dams on the Physicochemical Properties of Göksu River

Gözde ŞAVRAN^{1,*}, Şehnaz ŞENER², Fahrettin KÜÇÜK³

¹ Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi

² Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü

³ Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi

(*gozdesavrann@gmail.com)

ÖZET: Çalışmada, Göksu Irmağı üzerindeki, özellikle hidroelektrik santraller (HES) ve barajların su kalitesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Dört mevsim boyunca yerinde yapılan ve alınan su örneklerinin analizlerde, fizikokimyasal değişkenlerde (sıcaklık, pH, EC, TDS, çözünmüş oksijen, toplam sertlik, BOİ, klorofil-a, azot ve fosfor türevleri) mevsimsel değişimler ve HES'lerin etkisiyle su kalitesinde bozulmalar gözlemlenmiştir. Özellikle yaz mevsiminde su akış hızının azalması ve durgun su ortamlarının oluşması, çözünmüş oksijen seviyelerinde düşüşe neden olmuş, fosfor ve azot türevlerindeki artışlarda ötrofikasyon riskini artırmıştır. HES ve barajların suyun doğal akışını ve fizikokimyasal özelliklerini etkileyerek akarsuyun bazı bölgelerinde ekosistem dengesini bozduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Göksu Irmağı, hidroelektrik santralleri (HES), su kalitesi, sürdürülebilir su kaynakları, ekosistem dengesi

ABSTRACT: In this study, the effects of hydroelectric power plants (HPPs) and dams on water quality in Göksu River were investigated. In the analyses of water samples taken during four seasons, seasonal changes in physicochemical variables (temperature, pH, EC, TDS, dissolved oxygen, total hardness, BOD, chlorophyll-a, nitrogen and phosphorus derivatives) and deterioration in water quality due to HEPPs were observed. Especially in the summer season, the decrease in water flow rate and the formation of stagnant water environments caused a decrease in dissolved oxygen levels, and increases in phosphorus and nitrogen derivatives increased the risk of eutrophication. It was determined that HEPPs and dams disrupted the ecosystem balance in some parts of the river by affecting the natural flow and physicochemical properties of the water.

Keywords: Goksu River, hydroelectric power plants (HPP), water quality, sustainable water resources, ecosystem balance

Havşari-Zerban (Çelikhan-Adıyaman) Karst Sisteminin Hidrojeolojik Karakterizasyonu

Hydrogeological Characterization of the Havşari-Zerban (Çelikhan-Adıyaman) Karst System

Murat Ozan ÖZDAYI^{1,*}, Harun AYDIN²

¹ Preus Danışmanlık ve Mühendislik Ltd. Şti.

² Hacettepe Üniversitesi, Hidrojeoloji Mühendisliği Programı, 06800, Beytepe, Ankara
([*ozan@preus.com.tr](mailto:ozan@preus.com.tr))

ÖZET: Türkiye'de karstik alanlar, Dünya ortalamasına (%15) kıyasla, toplam yüzey alanının yaklaşık %35'ini kapsamakta olup, ülkemizin içme-kullanım suyunun %25-30'u karstik akiferlerde sağlanırken dünya nüfusunun %25'i ise karstik ortamlarda boşalım sağlayan su kaynaklarına bağımlıdır. Bu su kaynaklarının sürdürülebilirliği, ileri derecede heterojen ve anizotrop yapı sunan karstik ortamların hidrodinamik davranışının konum ve zaman içinde incelenmesini gerektirmektedir. Bu çalışmada, Havşari-Zerban (Çelikhan-Adıyaman) Karst Sistemi'ni (HZKS) fiziksel, kimyasal ve dinamik özelliklerinin "hidrojeolojik kavramsal model" çerçevesinde ortaya konması amaçlanmıştır. HZKS, Toros Orojenik Kuşağı birimleri içinde yer alan Paleozoyik-Mesozoyik yaşlı Malatya-Pötürge Metamorfiklerine mermerlerinden oluşmaktadır. Sistemin ana boşalımını sırasıyla 0.847 m³/s ve 0.615 m³/s debi ile Havşari ve Zerban kaynakları sağlamaktadır. CaHCO₃ fasiyesinde suların drene olduğu sistemde sınır koşulları, jeolojik ve jeofizik çalışmaları ile belirlenmiş olup, sistemin besleniminde Akdeniz kökenli yağışların baskın olduğu belirlenmiştir. Su bütçesi hesaplamaları, HZKS'de yüzeysel ve yeraltı drenaj alanlarının çakışmadığını ve mevcut kaynak boşalımları için ilave drenaj alanlarına ihtiyaç duyulduğunu göstermiştir. Kaynak çekilme analizleri, HZKS'de depolama ve dolaşım özelliklerinin, iyi gelişmiş kırık-çatlak sistemleri ve kısmen karstik kanallar boyunca baskın olarak gerçekleştiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Havşari-Zerban kaynakları, karst hidrojeolojisi, hidrodinamik, kaynak çekilme analizi, Çelikhan-Adıyaman.

ABSTRACT: In Turkey, karstic areas cover approximately 35% of the total land area compared to the global average of 15%, with 25-30% of the country's domestic water supplied by karst aquifers, while 25% of the world's population depends on water resources that discharge in karst environments. The sustainability of these water resources requires the investigation of the hydrodynamic behavior of karst environments, which characterized by highly heterogeneous and anisotropic structures, over space and time. This study aims to present the physical, chemical, and dynamic properties of the Havşari-Zerban (Çelikhan-Adıyaman) Karst System (HZKS) within "hydrogeological conceptual model". HZKS consists of the marbles belonging to the Paleozoic-Mesozoic-aged Malatya-Pötürge Metamorphics, located within the units of the Taurus Orogenic Belt. The main discharges of the system are provided by the Havşari and Zerban springs, with flow rates of 0.847 m³/s and 0.615 m³/s, respectively. In the system, where waters discharge as a CaHCO₃ facies, were determined through geological and geophysical studies, and it was found that Mediterranean-origin precipitation dominates the system's recharge. Water budget calculations indicate that the surface and groundwater drainage areas don't overlap in the HZKS, and additional recharge areas required for the present spring discharges. Spring recession analyses indicate that storage and circulation characteristics in the HZKS predominantly occur along well-developed fractured systems and partially karstic channels.

Keywords: Havşari-Zerban springs, karst hydrogeology, hydrodynamics, spring recession analysis, Çelikhan-Adıyaman.

Uzayda Su Kaynaklarının Keşfi ve Sürekliliğinin Yerküre Dışı Hidrojeoloji ile Uzayda Su Ürünleri Yetiştiriciliği Arasındaki İlişki Üzerinden İncelenmesi

Exploration and Sustainability of Water Resources in Space: Examination Through the Relationship Between Extraterrestrial Hydrogeology and Space Aquaculture

Aliye Bedriye MUTAF¹

¹Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi,
Su Ürünleri Yetiştiriciliği Anabilim Dalı, Muğla, Türkiye
(aliyebedriyemutaf@gmail.com)

ÖZET: Yerküre dışı hidrojeoloji, uzay ortamında suyun varlığı, döngüsü ve kullanım potansiyelini inceleyen disiplinlerarası bir çalışma alanıdır. Özellikle, uzun süreli uzay misyonlarında ve uzay kolonizasyonları kurulma girişimlerinde, suyun varlığının araştırma yapılan sahada, seçili uzay ortamında belirlenmesi; belirlendikten sonra yalnızca içme ve kullanma amacıyla değil, aynı zamanda sürdürülebilir gıda üretimi için de değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, kayaç yapıdaki gezegenler, gezegen uyduları ile asteroitlerde su kaynaklarının belirlenmesi özelinde yürütülen araştırmalar ele alınarak buradan hareketle, kapalı devre su ürünleri yetiştiriciliği (akuakültür) sistemlerinin bu ortamlara uyarlanması üzerine tasarlanan çalışmalar ele alınmaktadır. Suyun geri kazanımı, biyolojik filtreleme, sürdürülebilir sistemler ve olağandışı koşullara dayanıklı sucul organizmaların kullanımı yaklaşımları; sürdürülebilir sucul ekosistemlerin var edilmesi özelinde değerlendirilmiştir. Bu derleme, yerküre dışı hidrojeoloji ile su ürünleri yetiştiriciliği disiplinlerinin kesişimini ele alarak, uzayda sürdürülebilir sucul canlılardan gıda üretimi ve su kaynaklarının yönetimi konularına yeni bir perspektif sunmayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yerküre dışı hidrojeoloji, uzayda su ürünleri yetiştiriciliği, yerküre dışı yaşam araştırmaları, sürdürülebilir sucul ekosistemler, astrobiyoloji.

ABSTRACT: Extraterrestrial hydrogeology is an interdisciplinary field that examines the existence, cycle, and potential utilization of water in space. Especially in long-term space missions and attempts to establish space colonization, the presence of water in the selected space environment must be determined in the research area. Once identified, it must be evaluated not only for drinking and usage but also for sustainable food production. In this context, studies on identifying water resources on rocky planets, planetary satellites, and asteroids are examined. Based on these findings, research focused on adapting closed-circuit aquaculture systems to these environments is also discussed. Water recycling, biological filtration, sustainable systems, and the use of aquatic organisms resistant to extreme conditions are evaluated in terms of creating sustainable aquatic ecosystems. This review aims to provide a new perspective on sustainable aquatic food production and water resource management in space by exploring the intersection of extraterrestrial hydrogeology and aquaculture disciplines.

Keywords: Extraterrestrial hydrogeology, aquaculture in space, extraterrestrial life research, sustainable aquatic ecosystems, astrobiology.

Tatlı ve Tuzlu Su Ortamlarında A Sınıfı Tava Buharlaştırma Değerlerinin Karşılaştırılması: Van Gölü Örneği

Comparison of Class A Pan Evaporation Rates in Freshwater and Saline Water Environments: A Case Study at Van

Mehmet Can BAYBORA¹, Harun AYDIN^{2,*}

¹ Van Ferit Melen Havalimanı, Meteoroloji Müdürlüğü, 65300, Edremit, Van

² Hacettepe Üniversitesi, Hidrojeoloji Mühendisliği Programı, 06800, Beytepe, Ankara
(*harun@hacettepe.edu.tr)

ÖZET: Hidrolojik çevrimin ana bileşenlerinden biri olan buharlaştırma, hidrolojik çalışmalarda (su bütçesi, modelleme vb.) kritik öneme sahip bir parametredir. Ancak diğer hidrolojik bileşenlere kıyasla, meteorolojik değişkenlere olan yüksek duyarlılığı nedeniyle buharlaşmanın doğrudan ölçümü uygulamada önemli zorluklar barındırmaktadır. Buharlaşma, yaygın olarak A Sınıfı buharlaştırma tavaları ile doğrudan ölçülmekte olup; hava ve su sıcaklığı, bağıl nem, rüzgar hızı, buhar basıncı, solar radyasyon ve su kalitesi gibi birçok faktöre bağlı olarak konum ve zaman içinde değişkenlik göstermektedir. Bu çalışmada, A Sınıfı buharlaştırma tavaları kullanılarak tatlı su (çeşme suyu) ve tuzlu su (Van Gölü) ortamlarında gerçekleşen buharlaştırma miktarlarının karşılaştırılması amaçlanmıştır. Gözlemler, Meteoroloji 14. Bölge (Van) Müdürlüğü rasat parkına kurulan iki buharlaştırma tavaşı ile 22 Nisan – 1 Aralık 2018 tarihleri arasında günlük olarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, Van Meteoroloji Gözlem İstasyonunda (Van MGI) gözlenen (1984–2020) meteorolojik parametreler dikkate alınarak uzun yıllar aylık ortalama tava katsayısı hesaplanmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda, Van MGI için uzun yıllar ortalama tava katsayısı 0.62 hesaplanmış olup 0.58 ile 0.66 arasında değişim göstermektedir. Tava katsayısı ile düzeltilmiş günlük ortalama buharlaştırma değerleri, doğrudan ölçülen değerlere kıyasla yaklaşık %40 daha düşük elde edilmiştir. Gözlem döneminde ortalama günlük buharlaştırma tuzlu ve tatlı su tavalarında sırası ile 2.6 mm/gün ve 2.9 mm/gün olarak hesaplanmıştır. Tuzlu suda yıllık toplam buharlaştırma miktarları 573.2 mm/yıl ve tatlı suda ise 642.1 mm/yıl elde edilmiştir. Aynı iklim koşulları altında yapılan gözlemler, tatlı su ortamında buharlaştırma miktarının tuzlu suya göre yaklaşık %12 daha fazla olduğunu göstermektedir. Ayrıca, tavalarda yaklaşık 30 gün boyunca suyun değiştirilmeden gözlemlenmesi, özgül elektriksel iletkenlikte %20 oranında artışa ve buharlaştırma miktarında %20–30 oranında azalmaya neden olmuştur. Tatlı ve tuzlu su ortamlarındaki buharlaştırma farklılıklarının belirlenmesi hem ölçüm doğruluğunun artırılmasına hem de bölgesel hidrolojik çalışmalarda buharlaştırma bileşeninin daha gerçekçi bir şekilde temsil edilmesine katkı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: A sınıfı buharlaştırma tavaşı, buharlaştırma, tava katsayısı, Van Gölü.

ABSTRACT: Evaporation, as one of the major components of the hydrological cycle, is a critical parameter in hydrological studies such as water budget assessments and modelling. However, compared to other hydrological components, the direct measurement of evaporation poses significant challenges in practice due to its high sensitivity to meteorological variables. Evaporation is commonly measured directly using Class A evaporation pans, and it varies across space and time depending on numerous factors such as air and water temperature, relative humidity, wind speed, vapor pressure, solar radiation, and water quality. In the study, it is aimed to compare the evaporation values observed in fresh (tap water) and salty water (Lake Van) environments using Class A Evaporation Pans. Observations were conducted daily between Apr. 22 and Dec. 1, 2018, using two evaporation pans installed in the observation field of the 14th Regional Directorate of Meteorology (Van). In addition, long-term monthly average pan coefficients were calculated based on meteorological parameters observed at the Van Meteorological Observation Station (Van MGI) between 1984 and 2020. As a result of the evaluations, the long-term average pan coefficient for Van MGI was calculated as 0.62, with values ranging between 0.58 and 0.66. The pan-adjusted daily average evaporation rates were found to be approximately 40% lower than directly measured values. During the observation period, the average daily evaporation was calculated as 2.6 mm/day for saline water, and 2.9 mm/day for freshwater. Annual total evaporation for saline water and freshwater was determined as 573.2 mm/y and 642.1 mm/y, respectively. These observations, conducted under the same climatic conditions, indicate that the

evaporation from freshwater is approximately 12% higher than from saline water. Furthermore, when the pan water was not replaced for about 30 days, a 20% increase in specific electrical conductivity and a 20–30% decrease in evaporation were observed. Identifying the differences in evaporation between freshwater and saline water environments contributes both to improving measurement accuracy, and to a more realistic representation of the evaporation component in regional hydrological studies.

Keywords: *Class-A evaporation pan, evaporation, pan coefficient, Lake Van.*

Açık Ocak Madeni Sahasında Yeraltısuyu Beslenme Süreçlerinin İzotop Analizleri ve Fizikokimyasal Ölçümler ile Değerlendirilmesi

Evaluation of Groundwater Recharge Processes in Open Pit Mine Site by Isotope Analysis and Physicochemical Measurements

Burak Can DOĞAN^{1*}, Murat Ozan ÖZDAYI²

¹ Acacia Maden İşletmeleri A.Ş., Kastamonu, Türkiye

² Preus Danışmanlık ve Mühendislik Ltd. Şti., Ankara, Türkiye
(*burakcan.dogan@acacia.com.tr)

ÖZET: Açık ocak madenciliği, bölgesel hidrojeoloji ve su kaynakları üzerinde önemli etkiler oluşturmaktadır. Havza genelinde topoğrafyanın etkisiyle yüzey suları fay sistemlerine yönelmekte olup bu yapısal unsurlar boyunca hareket ederek maden sahası içerisinde yer alan birimleri beslemekte ve doygun hale getirmektedir. Bu durum sahada etkin bir susuzlaştırma stratejisini zorunlu kılmaktadır. Bu kapsamda, maden sahası içerisinde pompa kuyuları ile su kontrolü sağlanmakta ve ayrıca hidrojeolojik gözlemlerin gerçekleştirilmesi amacıyla gözlem kuyuları kullanılmaktadır. Pompa ve gözlem kuyularında düzenli periyotlarda su seviyesi ve elektriksel iletkenlik (EC) ölçümleri yapılmaktadır. Çalışma kapsamında, ocak içindeki kuyulardan, sızıntı noktalarından, ocak çevresinde bulunan çeşmelerden ve havzanın memba bölgesinde yer alan diğer su kaynaklarından numuneler alınarak laboratuvar analizlerine tabi tutulmuştur. Oksijen-18 ($\delta^{18}\text{O}$), Döteryum ($\delta^2\text{H}$) ve Trityum (^3H) izotop analizleri gerçekleştirilerek su kaynaklarının yaş tayini, beslenme kotlarının belirlenmesi ve suyun güncel yağışla beslenip beslenmediği gibi önemli hidrojeolojik veriler elde edilmiştir. Kararlı izotop analizleri ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$) suyun kaynağı ve yüzey suyu-yeraltısuyu etkileşimlerini belirlemek için kullanılmıştır. Trityum analizi ise suyun yaşını ve hidrolojik yenilenme sürecini değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda, maden sahasındaki hidrojeolojik akış rejimi, yeraltısuyu beslenme mekanizmaları ve madencilik faaliyetlerinin bölgesel su kaynakları üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Sonuçlar, açık ocak madenciliği sahalarında su yönetimi ve sürdürülebilir hidrojeolojik planlama açısından önemli bilimsel katkılar sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Oksijen-18 ($\delta^{18}\text{O}$), döteryum ($\delta^2\text{H}$), trityum (^3H), izotop analizleri, fizikokimyasal değerlendirme, yeraltısuyu beslenmesi, hidrojeoloji

ABSTRACT: Open-pit mining has significant impacts on regional hydrogeology and water resources. Within the watershed, surface waters are directed towards fault systems due to the influence of topography. These structural features guide the flow of water, which in turn recharges and saturates the geological units within the mining area. This situation necessitates the implementation of an effective dewatering strategy in the field. In this context, water control is maintained through pumping wells within the mining site, and monitoring wells are also utilized for conducting hydrogeological observations. Water level and electrical conductivity (EC) measurements are regularly carried out at both pumping and observation wells. As part of the study, water samples were collected from wells inside the pit, seepage points, local springs around the mine, and other water sources located in the upstream part of the basin. These samples were analyzed in the laboratory for stable isotopes of Oxygen-18 ($\delta^{18}\text{O}$), Deuterium ($\delta^2\text{H}$), and Tritium (^3H). The isotope analyses provided critical hydrogeological information, including groundwater age determination, estimation of recharge altitudes, and evaluation of whether the water is replenished by recent precipitation. Stable isotope analyses ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$) were used to identify the origin of water and the interactions between surface water and groundwater. Tritium analysis was conducted to determine the age of the water and to assess the hydrological renewal process. Based on the obtained data, the hydrogeological flow regime, groundwater recharge mechanisms, and the impacts of mining activities on regional water resources were thoroughly examined. The results offer valuable scientific insights into water management and sustainable hydrogeological planning in open-pit mining areas.

Keywords: Oxygen-18 ($\delta^{18}\text{O}$), deuterium ($\delta^2\text{H}$), tritium (^3H), isotope analysis, physicochemical assessment, groundwater recharge, hydrogeology

Eğirdir Gölü Havzasında İklim Değişikliği Projeksiyonları

Climate Change Projections in Lake Eğirdir Basin

Erhan ŞENER,^{1,2} Ayşen DAVRAZ²

¹Süleyman Demirel Üni. Uzaktan Algılama Uygulama ve Araş. Merkezi, Isparta

²Süleyman Demirel Üni. Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Isparta

(erhansener@sdu.edu.tr)

ÖZET: Özellikle 20.yüzyılın son çeyreğinden itibaren Dünya'nın en önemli sorunlarından bir tanesi de İklim Değişikliğidir. İklim Değişikliğinin en önemli etkilerinin başında yeralan kuraklık ile mücadelenin başlıca aşamasını ise mevcut kuraklıkların iyi bir şekilde tanımlanarak gelecekte yaşanması olası kuraklıklara yönelik yaklaşımların ortaya konulması oluşturmaktadır. Bu çalışmada, Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) tarafından yayınlanan Birleştirilmiş Model Karşılaştırma Projesi Faz-6 projesi (CMIP6) kapsamında üretilen 4 farklı küresel iklim modeline ait veriler kullanılmıştır. Sözkonusu veriler kullanılarak istatistiksel ölçek küçültme yöntemleri ile Eğirdir, Yalvaç, Senirkent ve Uluborlu Meteoroloji istasyonlarına ait 2020-2100 yılları arasına ait yağış ve sıcaklık parametreleri modellenmiştir. Bu kapsamda SSP119, SSP126, SSP245, SSP370, SSP460 ve SSP585 olmak üzere 6 farklı Ortak Sosyo-Ekonomik Rota senaryosu baz alınarak yapılan analizlere göre sözkonusu senaryoların tümünde ortalama sıcaklıkların önümüzdeki yıllarda önemli miktarlarda artarken ortalama yağışların ise günümüze oranla daha da azalacağı öngörülmektedir. 2020-2100 yılları arasına ait modellenen iklimsel veriler kullanılarak Standartlaştırılmış Yağış İndeksi yöntemi ile yapılan kuraklık analizleri ile gelecekte yaşanması olası kurak ve yağışlı periyotların zamanları, şiddetleri ve süreleri belirlenmiştir. Elde edilen verilere göre önümüzdeki yıllarda çok daha şiddetli ve uzun süreli kuraklıkların yaşanabileceği öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: CMIP6, Ortak Sosyo-Ekonomik Rotalar (SSP), Kuraklık, Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYI), Eğirdir Gölü

ABSTRACT: Climate Change has become one of the most significant global issues, particularly since the last quarter of the 20th century. Combatting drought, one of the primary impacts of climate change, involves accurately defining current droughts and developing approaches to address potential future droughts. In this study, data from four different global climate models under the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6), as presented in the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) AR6 report, were used to model precipitation and temperature parameters for the period 2020-2100 Eğirdir, Yalvaç, Senirkent and Uluborlu Meteorological Stations. Six different Shared Socioeconomic Pathways (SSPs), namely SSP119, SSP126, SSP245, SSP370, SSP460, and SSP585, were considered based on different development scenarios. In all these scenarios, it is projected that average temperatures will significantly increase in the coming years, while average precipitation is expected to decrease even further compared to the present. Drought analysis was performed using the Standardized Precipitation Index (SPI) method based on the modeled climatic data for the period 2020-2100. This analysis aimed to determine the timing, intensity, and duration of potential future drought and wet periods. According to the data obtained, it is predicted that more severe and longer-term droughts may occur in the coming years.

Keywords: CMIP6, Shared Socioeconomic Pathways (SSP), Drought, Standardized Precipitation Index (SPI), Eğirdir Lake

TAM METİN BİLDİRİLER

İzmit Körfezi ile Sapanca Gölü Arasındaki Taneli Akifere ait (Alüvyon) YAS Akım Modellemesi

Groundwater Flow Modeling of Granular Aquifers (Alluvium) Between Izmit Bay and Sapanca Lake

Meral ERDOĞAN TOPÇUOĞLU^{1*}, Remzi KARAGÜZEL²

^{1*}DSİ 2.Bölge Müdürlüğü, Yeraltısuları Şube Müdürlüğü, Bornova-İzmir

²İTÜ Maden Fakültesi Jeoloji Müh. Bölümü, Maslak-İstanbul

(*erdoganmer@itu.edu.tr)

ÖZET: Bu çalışmada; İzmit Havzasındaki 195 km²'lik bir alana sahip taneli akifer için optimum yönetim planı geliştirmek amacıyla 3-boyutlu sonlu farklar yöntemi ile yeraltısuları akım modeli geliştirilmiştir. İnceleme alanında akifer, kalınlığı yaklaşık 300 m'ye ulaşan eski ve yeni alüvyonlardan oluşmaktadır. Söz konusu alanda yeraltısuyu akımının belirlenmesi için MODFLOW 2000 programını baz alan IMOD yazılımı kullanılmıştır. Bu programı için jeolojik-hidrojeolojik veriler, yağış ve buharlaşma miktarı, akiferin beslenme miktarı, rasat kuyularındaki yeraltısuyu seviyeleri, işletme ve şahıs kuyularından çekilen debi miktarları kullanılmıştır. Yeraltısuyu akım modelinde akifer sisteminin sınır koşulları için, model alanının doğusunda yer alan Sapanca Gölü (30 m) ve batısında bulunan İzmit Körfezi (0 m) sabit seviyeli hidrolik yük olarak tanımlanmıştır. Model alanındaki rasat kuyularından ölçülmüş olan yeraltısuyu seviyeleri kullanılarak modelin kalibrasyonu yapılmıştır. Model sonuçlarına göre de İzmit Körfezi ile Sapanca Gölü arasında bir yeraltısuyu ayırım çizgisinin olduğu görülmektedir. Kalibre edilen akım modeli 5 farklı üretim senaryosunda çalıştırılmıştır. Üretim kuyulardan mevcut çekim miktarının %100 (Senaryo 4) ve %150 (Senaryo 5) kat artış durumunda yeraltısuyu akımının Sapanca Gölünden İzmit Körfezine doğru olacağı anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: İzmit Körfezi, Sapanca Gölü, taneli akifer, YAS akım modellemesi.

ABSTRACT: This study aims to develop an optimal management plan for a granular aquifer covering an area of 195 km² in the İzmit Basin. A 3D finite difference groundwater flow model has been developed using the MODFLOW 2000 program, specifically with the IMOD software, to assess the groundwater flow in the study area. The aquifer in the region consists of both old and new alluvial deposits, with a thickness of approximately 300 meters. Geological-hydrogeological data, rainfall and evaporation amounts, aquifer recharge rates, groundwater levels from observation wells, and abstraction rates from operating and private wells were used as input parameters for the model. In the groundwater flow model, the boundary conditions for the aquifer system were defined using the Sapanca Lake (30 m) to the east and the İzmit Bay (0 m) to the west as fixed hydraulic head boundaries. The model was calibrated using groundwater level measurements from the observation wells within the model area. According to the model results, a noticeable groundwater divide was observed between İzmit Bay and Sapanca Lake. In Scenarios 4 and 5, where abstraction rates increased by 100-150%, the groundwater divide disappeared, and the flow direction shifted from Sapanca Lake towards İzmit Bay.

Keywords: İzmit Bay, Sapanca Lake, granular aquifer, groundwater flow modeling.

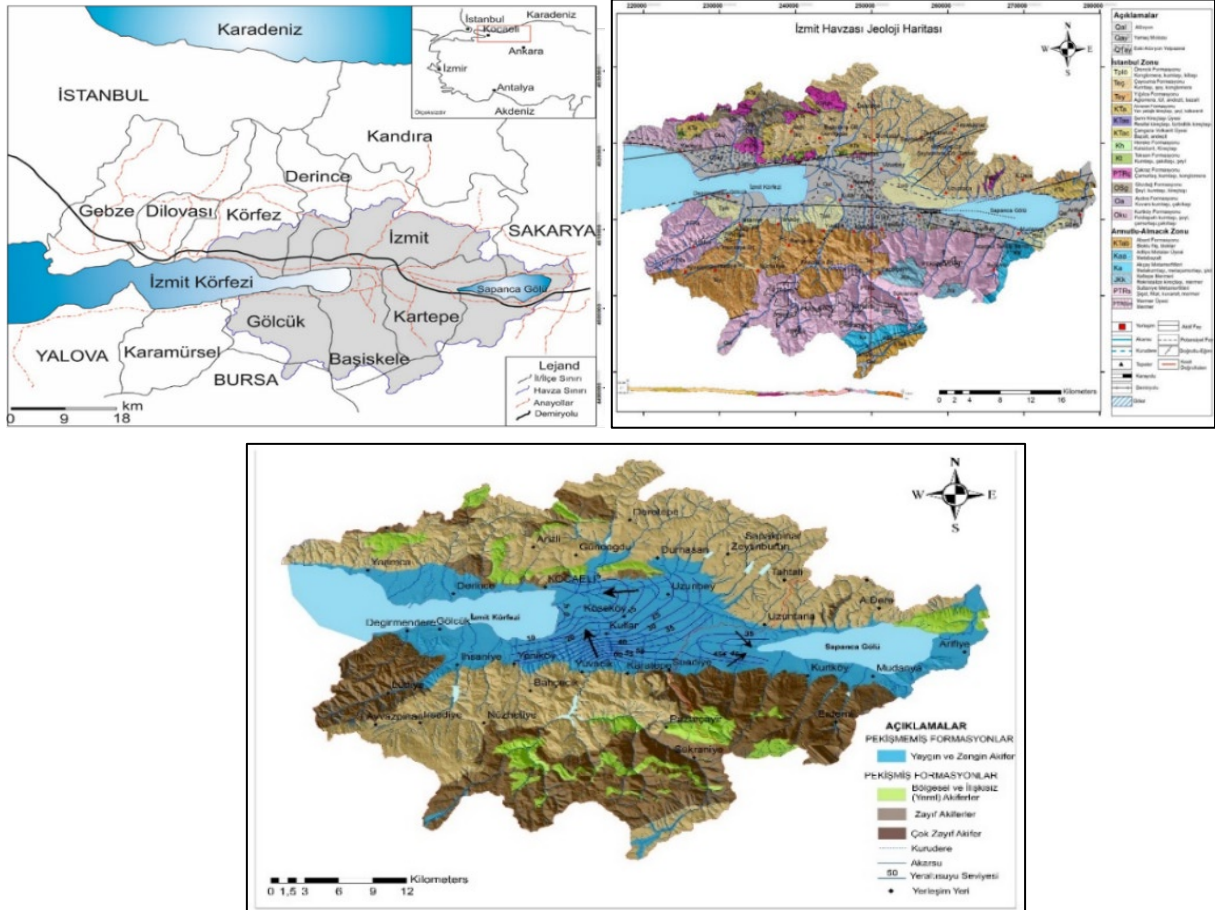
1. GİRİŞ

İzmit Havzası yaşanan hızlı nüfus artışı, yoğun tarımsal ve sanayii faaliyetleri ve iklim değişikliği sebebiyle yoğun su kullanımı ve talebinin olduğu havzalardan biridir. Bu talebin gelecek yıllarda da artması beklenmektedir. Çalışma alanının batısında tuzlusu girişimi olan İzmit Körfezi ve doğusunda içme suyu kaynağı olarak kullanılan Sapanca Gölü'nün bulunması, havzada yüzey (YÜS) ve yeraltısuyu (YAS) kaynaklarının sürdürülebilir yönetilmesini zorunlu kılmaktadır. Çalışmanın amacı böylesine zor hidrodinamik koşulların egemen olduğu İzmit Havzasında, yeraltısuyunun yönetilmesine yönelik hidrojeolojik incelemelerin yapılması ve YAS akım modelinin oluşturulmasıdır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Çalışma alanının tanıtılması

Kocaeli ilinin doğu-kuzeydoğusunda Sakarya İli, güneyinde Bursa İli, batısında, İzmit Körfezi, Marmara Denizi ve kuzeybatısında İstanbul İli, kuzeyde de Karadeniz ile çevrilidir. Kocaeli ilinin yüzölçümü 3.505 km²'dir (Şekil 1a).

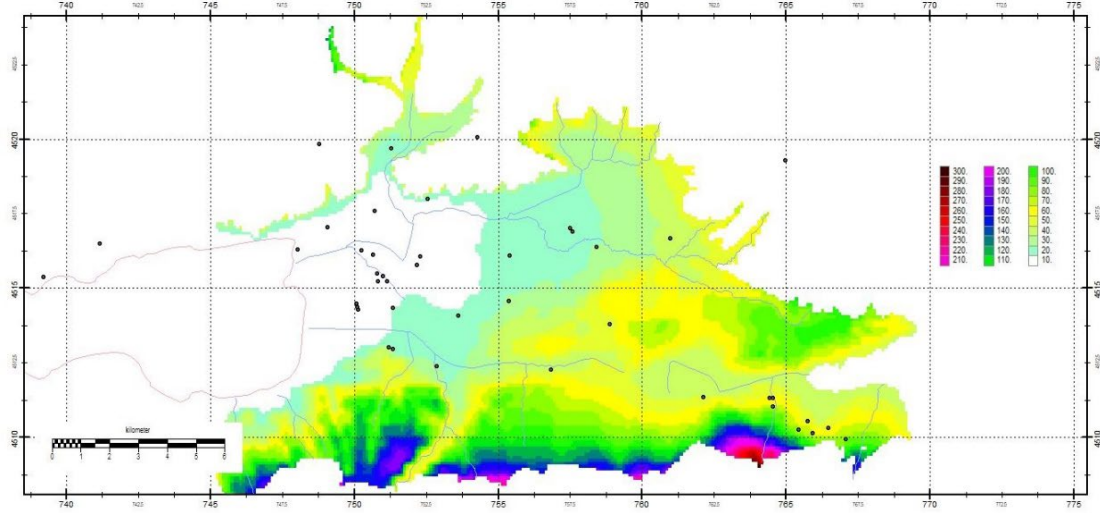


Şekil 1. İzmit havzasının konumunu gösterir harita (a), jeoloji haritası (b), hidrojeoloji haritası (c) (MTA,2005'ten değiştirilmiştir)

İzmit havzasında en önemli akifer kil, silt, kum, çakıl ve bloklardan oluşan alüvyonlardır. Alüvyonlar, Pliyosen yaşlı Örencik Formasyonu, yamaç molozu, eski Alüvyon Yelpazesi Yaygın ve Zengin Akifer olarak sınıflandırılmıştır. Pekişmiş temel kayalar; Sultaniye Metamorfitlerinin Mermer Üyesi ve Keltepe Mermeri, Hereke Formasyonu ile Akveren Formasyonu, Sermi Kireçtaşı üyesi Bölgesel-İlişkısiz (Yerel) Akiferler olarak sınıflandırılmıştır. Çaycuma Formasyonu, Yığılca Formasyonu, Teksen Formasyonu; Abant Formasyonu, Kurtköy Formasyonu, Gözdağ Formasyonu, Aydos Formasyonu genel olarak geçirimsiz özellikte olup Zayıf Akifer olarak sınıflandırılmıştır. Çakraz Formasyonu, Akveren Formasyonunun Çangaza Volkanit Üyesi, Akçay Metamorfitleri ve Adliye Metalav Üyesi, Sultaniye Metamorfitleri Çok Zayıf Akifer olarak tanımlanmıştır (Şekil 1b-1c).

2.2. Yeraltısuyu Akım Modeli

İzmit Havzasının 195 km²'lik bir alana sahip taneli akifer için sayısal yeraltısuyu akım modellemesi Hollanda DELTARES Enstitüsünde kullanılan MODFLOW 2000 programını baz alan IMOD programı kullanılarak yapılmıştır. Akiferin model alanı; 6 tabaka, 100 m x100 m boyutunda, 700 sütun, 340 satır, toplam 238000 adet hücreye bölünerek modelin grid ağı oluşturulmuştur (Şekil 2).



Şekil 2. İzmit Havzası arazi kotları ve sayısal yeraltısuyu akım modeli yapılan alan

Bu program için jeolojik-hidrojeolojik veriler, yağış ve buharlaşma miktarı, akiferin beslenme miktarı, rasat kuyularındaki yeraltısuyu seviyeleri, üretim kuyularından çekilen debi miktarları kullanılmıştır. Sınır koşulları, model alanının jeolojik ve hidrojeolojik parametrelerine göre belirlendikten sonra, IMOD ile grid ağları oluşturularak tabaka tipleri, sayıları ve model için gerekli parametreler girilmiştir. Model alanındaki rasat kuyularından ölçülmüş olan yeraltısuyu seviye değerleri kullanılarak, modelin kalibrasyonu yapılmıştır. IMOD kullanılarak akiferde yeraltısuyu akım modeli oluşturmak için gerekli olan model parametreleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. IMOD için gerekli model parametreleri ve hazırlanan model girdileri

Gerekli Model Tabakaları ve Kodları	Model Girdileri
TOP (Top Elevation) (Üst Kot)	6 Yüzey (6 Tabaka için)
BOT (Bottom Elevation) (Alt Kot)	6 Yüzey (6 Tabaka için)
BND (Boundary) (Sınır Koşullar)	Deniz (0 m) ve Sapanca gölü (30 m)
RIV (River) (Dere)	1 m anadere, 0,5 m yan kollar
WEL (Wells) (Kuyular)	Çekim miktarı (m ³ /gün)
SHD (Starting Head)	6 katman
KHV (Horizontal Permeability) (Yatay Permeabilite)	34 m/gün (1.-3.-5. Katman) 10-4 m/gün (2.-4.-6. Katman)
KVV (Vertical Permeability) (Düşey Permeabilite)	1 m/gün
RCH (Recharge) (Beslenme)	0,84 mm/yıl (Ayrışmış birim) 0,2 mm/yıl (Kil)
KVA (Vertical Anisotropy) (Düşey Anizotropi)	1 m/gün

2.2.1 Tabakaların özellikleri ve katı model

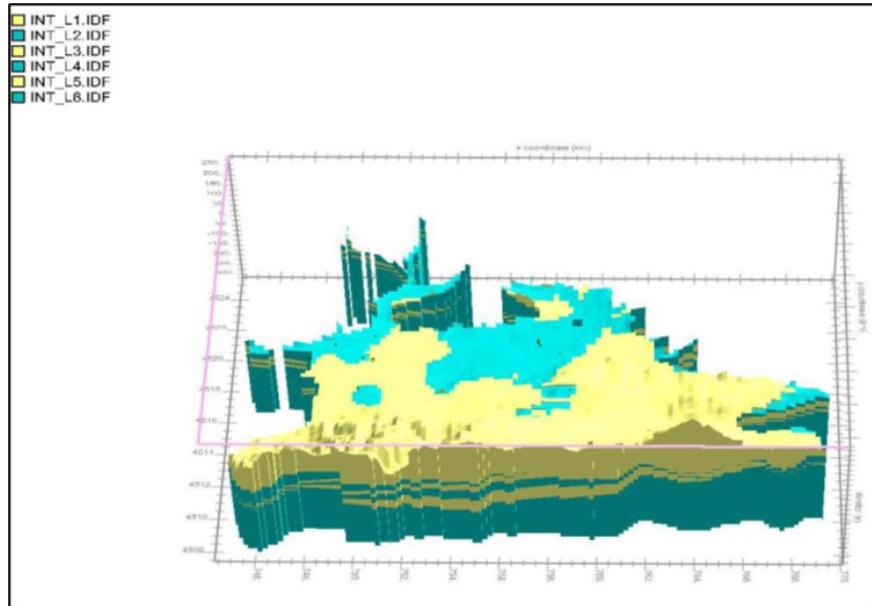
Model çalışmasında, sondaj kuyularına ait kuyu loglarındaki litolojik veriler kullanılmıştır. Modellenen alanda DSİ tarafından açılmış ve işletmede olan toplam 59 adet kuyunun sondaj loglarından yararlanılmıştır. Söz kuyusu loglara ait litolojik veriler değerlendirilerek modelin 6 katmanlı olarak

oluşturulabileceğine karar verilmiş ve modele aktarılmıştır. Her bir birim için bir kod değeri (C=kil-S=kum, çakıl) atanmıştır (Çizelge 2).

Çizelge 2. Rasat kuyularına ait litolojik veriler

X	Y	Kuyu No	H (m)	Litoloji k Birim	X	Y	Kuyu No	H (m)	Litoloji k Birim
74906	4517055	3232	8	C	7513	451435	4893	5	C
8					28	1	3		
74906	4517055	3232	-34	S	7513	451435	4893	-27	S
8					28	1	3		
74906	4517055	3232	-40	C	7513	451435	4893	-35	C
8					28	1	3		
74906	4517055	3232	-42	S	7513	451435	4893	-44	S
8					28	1	3		
74906	4517055	3232	-46	C	7513	451435	4893	-83	C
8					28	1	3		
74906	4517055	3232	-51	C	7513	451435	4893	-85	C
8					28	1	3		

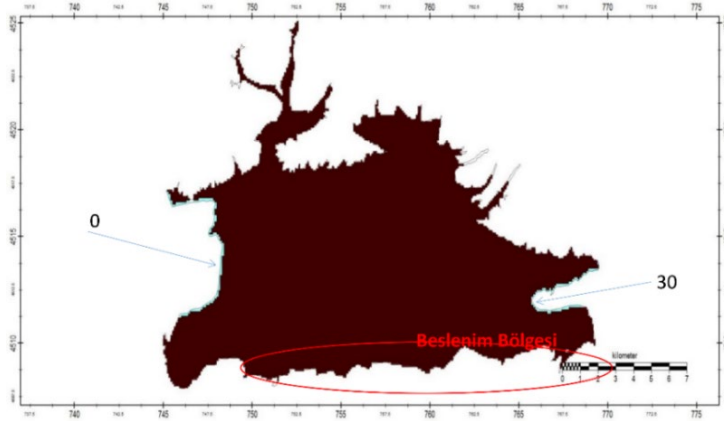
Çalışma alanında bulunan sondaj kuyuları belirlenmiş olup litolojik özellikleri göz önünde tutularak katı model 6 ayrı katmana ayrılmıştır. IMOD yardımıyla katmanların arayüzeyleri (Interfaces-TOP/BOTTOM LEVELS) oluşturulmuş, ara yüzeylerden Panel Diyagramlar ve katı model üretilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. İzmit Havzası katı modeli.

2.2.2 Sınır koşulları ve grid ağlarının oluşturulması

Yeraltı suyu akım modelinde akifer sisteminin sınır koşulları için, model alanının doğusunda yer alan Sapanca Gölü (30 m) ve batısında bulunan İzmit Körfezi (0.0 m) sabit seviyeli hidrolik yük (constant head boundary condition, yüksek plastisiteli kil CH) olarak tanımlanmıştır (Topçuoğlu, 2022). Sapanca Gölü, modeldeki aktif bölgelerin su seviyelerine bağlı olarak akiferden beslenen ya da akiferi besleyen su kaynakları olarak tanımlanmıştır. Modeldeki aktif olmayan hücreler yeraltı suyu akım denkleminde yer almamaktadır. Yeraltı suyu akım modelinde akifer sisteminin içindeki hücreler aktif hücreler, akifer sisteminin dışındaki hücreler aktif olmayan (inaktif) hücrelerdir. Şekil 4'te üç boyutlu yeraltı suyu akım simülasyonu için grid örneği verilmiştir.



Şekil 4. Model alanının IMOD ile oluşturulmuş sınır koşulları (Beyaz-görünmeyen hücreler: aktif olmayan hücreler; Mavi hücreler: sabit seviyeli sınır koşulları, Kahverengi hücreler: modelde çözüm yapılan aktif hücreler)

2.2.3 Hidrolik Parametre

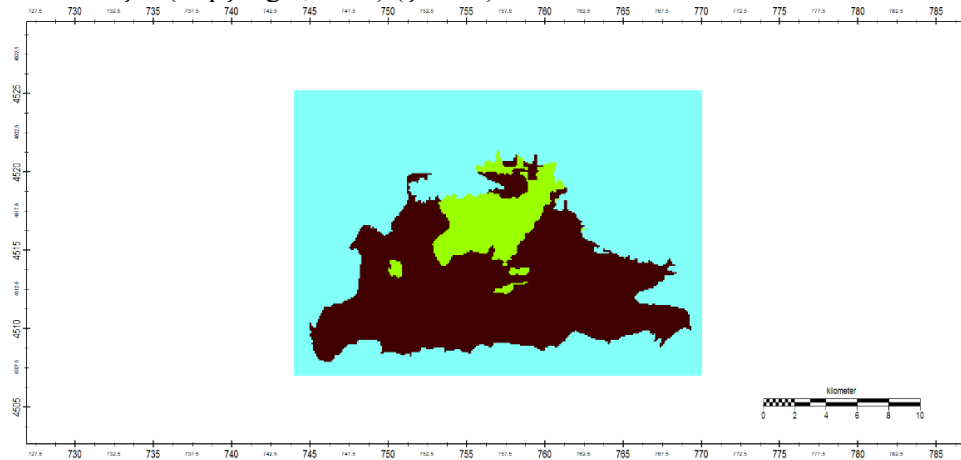
Modellenen alanda hidrojeolojik sistemi oluşturan birimlere ait hidrolik parametreler sondaj kuyularında yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen veriler ile literatür değerlerinin birlikte değerlendirilmesi ile elde edilmiştir (Çizelge 3).

Çizelge 3. IMOD’da kullanılan hidrolik iletkenlik değerleri.

Hidrolik iletkenlik	KHV (Horizontal Permeability) (Yatay Permeabilite) (m/gün)	KVV (Vertical Permeability) (Düşey Permeabilite) (m/gün)
(K1) Kum-Çakıl	34	1
(K2) Kil	10-4	1

2.2.4 Yağıştan Beslenim

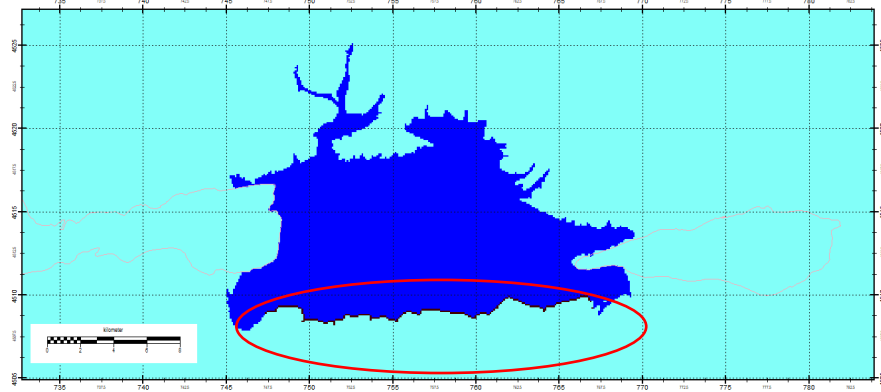
Eşyağış eğrileri yöntemi ile ARCGIS 10.3 programı kullanılarak ortalama yağış (1976-2017) model alanı için toplam 200×10^6 m³/yıl olarak hesaplanmıştır (Topçuoğlu,2022). Buna göre yaklaşık 195 km²'lik model alanı için ortalama yağış miktarı 1028 mm/yıl (2,8 mm/gün) olarak belirlenmiştir (Topçuoğlu, 2022). Net beslenim, yağıştan buharlaşma ve yüzeyel akış çıkarılarak 306,6 mm/yıl (0,84 mm/gün) olarak hesaplanmıştır. Modelde ayrıca kilin yüzeyde görüldüğü kesimlerde beslenme 0,20 mm/gün olarak alınmıştır (Topçuoğlu, 2022) (Şekil 5).



Şekil 5. Modellenen alanda yağıştan beslenme (kahverengi alan=0.84 mm/gün, yeşil alan=0.20 mm/gün, mavi alan=0 mm/gün)

2.2.5 Havza dışı (Güneyden) Beslenme

Model alanı güney yamaçlarında bulunan temel kayalar içinde yer alan karstik kireçtaşı ve mermerlerden boşalan kaynaklar tarafından da beslenmektedir. Bu kaynakların toplam boşalım miktarı 43200 m³/gün olarak hesaplanmıştır (Topçuoğlu, 2022). Modelde bulunan 6 tabaka ve 217 hücre boyunca beslenme değeri her hücre için $(43200 \text{ m}^3 / \text{gün}) / (6 \times 217) = 33 \text{ m}^3/\text{gün}$ olarak hesaplanmıştır (Topçuoğlu, 2022; Şekil 6).



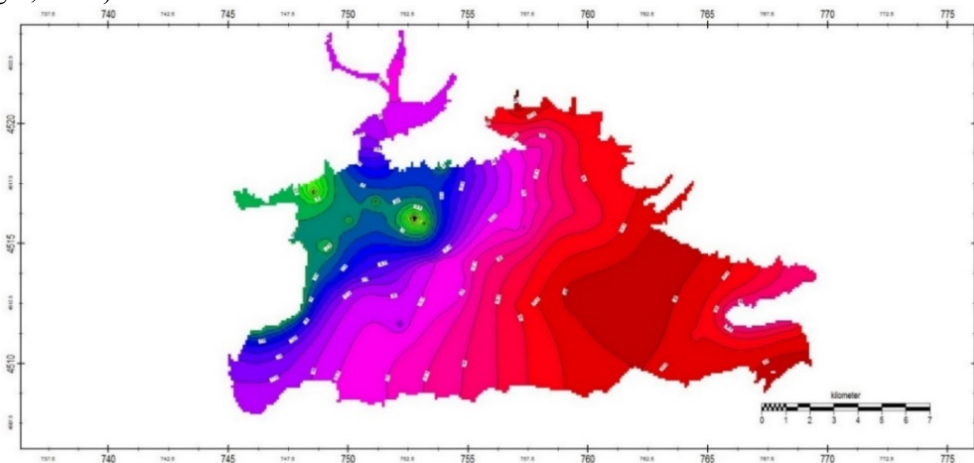
Şekil 6. Modellenen güneyden beslenme (siyah hücreler=beslenme alanı)

2.2.6 Çekim yapılan kuyular

Bir pompaj ya da enjeksiyon kuyusu, programın Well (kuyu) paketinde tanımlanmaktadır. Bu pakette tanımlanan değerler kuyudan (Q: m³/gün) su çekilme miktarıdır. Modellenen alanda bulunan kuyuların 365 gün 24 saat çalıştığı düşünülürse 97000 m³/gün su çekileceği hesaplanmıştır (Topçuoğlu, 2022).

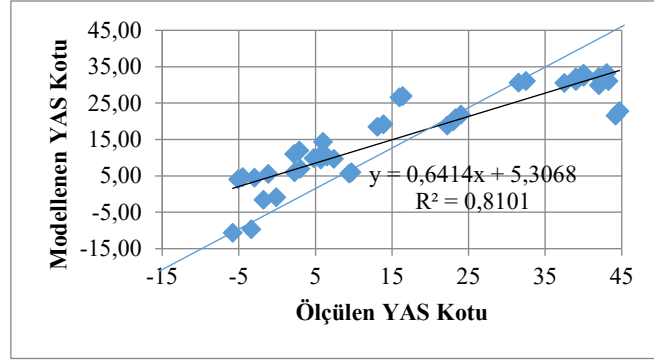
2.3 Yeraltısu Akım Modellemesi Sonuçları

Modelin kalibrasyonu için hidrolik iletkenlik, yeraltısu beslenimi ve genel yük sınırlarında kullanılan yük değerleri kalibrasyon parametreleri olarak seçilmiştir. IMOD yazılımı Mayıs-Ekim 2017 aylarında ölçülen yeraltısu seviyeleri ile model kalibre edilmiştir (Topçuoğlu, 2022). Modelin hesapladığı akım yönleri incelendiğinde İzmit Körfezinin batısında Marmara Denizine, doğusunda ise Sapanca Gölüne doğru belirgin bir yeraltısu akışı olduğu gözlenmektedir (Şekil 7). Model sonuçlarına göre İzmit Körfezi ile Sapanca Gölü arasında bir yeraltısu ayırım çizgisinin oluştuğu da göze çarpmaktadır (Topçuoğlu, 2022).



Şekil 7. YAS Akış Modeli sonucunda oluşturulan yeraltısu kot haritası

Çizelge 5'te görülebileceği gibi modellenen ve ölçülen değerler birbirine yakın çıkmıştır. Şekil 8'de $R^2=0.81$ olarak hesaplanmış olup, bu değer kalibrasyonun kabul edilebilir sınırlar içinde doğruluğunu göstermektedir.



Şekil 8. Modelde hesaplanan ve sahada ölçülen yeraltısuyu kot değerlerinin karşılaştırılması

Çizelge 5. Modelde hesaplanan ve sahada ölçülen yeraltısuyu kotu değerleri

Kuyu No	Ölçülen YAS Kotu (m)	Modellenen YAS Kotu (m)	Kuyu No	Ölçülen YAS Kotu (m)	Modellenen YAS Kotu(m)
1	-3,4	-9,58	22	13,1	18,50
2	-5,8	-10,59	23	-1,15	5,57
3	3	6,96	24	-2,95	4,50
4	2,25	6,05	25	-0,13	-0,87
5	23	20,02	26	-1,8	-1,56
6	22,2	18,92	27	16,4	26,98
7	6,5	10,35	28	15,95	26,63
8	5,7	9,56	29	-4,5	4,76
9	2,9	12,01	30	-5,1	4,11
10	2,2	11,01	31	32,5	31,07
11	5,7	10,80	32	31,5	30,67
12	4,75	9,89	33	40	33,14
13	44,7	22,80	34	39	32,05
14	44,2	21,63	35	40	32,21
15	9,7	6,01	36	39	31,06
16	9,4	5,71	37	43	33,35
17	24	21,87	38	42	32,23
18	23,3	20,93	39	6	14,37
19	43,25	31,11	40	37,5	30,59
20	42	29,92	41	7,4	9,73
21	13,9	19,21			

2.4 Yeraltısuyu Akım Modellemesi ile Hesaplanan Su Bütçesi

İzmit havzasında model alanında hazırlanan model sonuçlarına göre su bütçesi hesaplanmıştır. Modelde beslenim 153925 m³/gün, 56 hm³/yıl olarak hesaplanmıştır (Topçuoğlu, 2022). Penman yöntemi (1948) kullanılarak hesaplanan su bütçesinde yeraltısuyu beslenimi 80 hm³/yıl olarak hesaplanmıştır (Topçuoğlu, 2022). Modellenen ve hesaplanan beslenim değerleri birbirine yakın olduğu görülmektedir (Çizelge 6).

Çizelge 6. IMOD ile hesaplanmış su bütçesi

SU GİRİŞİ:	m3/gün	SU ÇIKIŞI:	m3/gün
Depolama (STORAGE)	206,20	Depolama (STORAGE)	73027,80
Sabit Su Seviyesi (CONSTANT HEAD)	354,75	Sabit Su Seviyesi (CONSTANT HEAD)	18198,24
Beslenim (RECHARGE)	153925,53	Kuyular (WELLS)	27201,60
Belirli Akışlar (SPECIFIED FLOWS)	41607,13	Drenajlar (DRAINS)	77658,13
	196093,60		196085,78

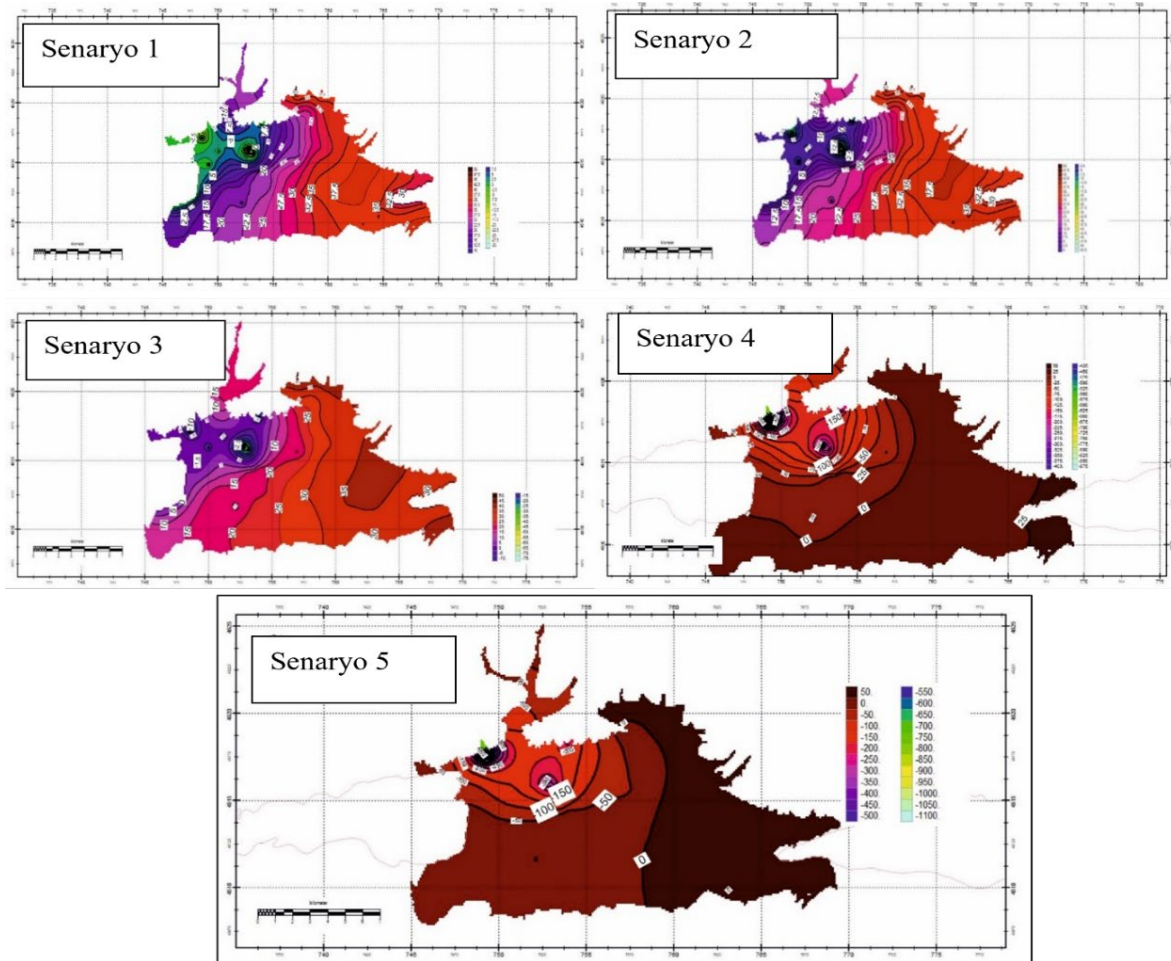
2.5. Model Similasyonları

İzmit havzasında, yeraltısularından yapılan kontrolsüz aşırı çekimler yeraltısuyu seviyelerinde önemli düşümlere sebep olduğu için matematiksel model yardımıyla yeraltısuyu seviye değişimleri incelenmiştir. Farklı senaryolar ile yeraltısuyu çekimindeki artış sonucunda modellenen alanda mevcut kuyular değiştirilmeden yeraltısuyunda meydana gelecek seviye değişimlerin incelenmesi amaçlanmıştır (Çizelge 7, Şekil 9).

Çizelge 7. Gelecek modelleri ve çekim miktarında yapılan artış miktarları.

Gelecek Modelleri	Çekim Miktarı Artışı
Senaryo 1	% 30
Senaryo 2	% 45
Senaryo 3	% 60
Senaryo 4	% 100
Senaryo 5	% 150

Kalibre edilmiş sayısal model sonuçlarına göre mevcut koşullarda havzanın batı kısmında 2025 ile 2055 yılları arasında yeraltısuyu seviyesinin yaklaşık Senaryo 1 için -30 m'ye, Senaryo 2 için -50 m'ye ve Senaryo 3 için -70 m'ye ve Senaryo 4'te -200 ve senaryo 5 te -300 düşeceği sonucu çıkarılabilir. İlk 3 senaryoda; İzmit Havzasında, genel yeraltısuyu akım yönünün ovada İzmit Körfezine doğru olduğu görülmektedir. Senaryo 4 ve Senaryo 5'te çekim miktarındaki % 100-150 kat artış sonucunda ayırım çizgisinin olmadığı ve yeraltısuyu akışının Sapanca Gölünden İzmit Körfezine doğru olacağı görülmektedir.



Şekil 9. Senaryo 1-2-3-4-5 için hazırlanmış 2055 yılına ait yeraltısuyu kot haritası

3. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

İzmit Havzası yeraltısuyu kaynaklarının içme, sulama ve sanayi suyu ihtiyacını karşılamak amacıyla kullanıldığı bir yerleşim alanıdır. Bu çalışmanın amacı bölgedeki yeraltısuyu seviyesini gelecek yıllar için tahmin etmek amacıyla bölgeyle ilgili 3 boyutlu zamana bağlı sayısal bir modeli oluşturmaktır. Böylece şehirselleşme ve sanayi aktivitelerin gelişiminin yoğun olduğu havzadaki yeraltısuları üzerindeki etkiler tahmin edilerek geleceğe yönelik tedbirler belirlenebilir. İzmit havzasında, genel yeraltısuyu akım yönünün ovada İzmit Körfezine doğru olduğu, Sapanca Gölü havzasında ise batıdan doğuya Sapanca Gölüne doğru olduğu görülmektedir. Hesaplanan ve gözlenen su seviyeleri arasında her ne kadar bazı farklılıklar olsa da model kabul edilebilir niteliktedir.

Kalibre edilmiş sayısal model sonuçlarına göre mevcut koşullarda havzanın batı kısmında 2025 ile 2055 yılları arasında yeraltısuyu seviyesinin yaklaşık Senaryo 1 için -30 m'ye, Senaryo 2 için -50 m'ye ve Senaryo 3 için -70 m'ye ve Senaryo 4'te -200 ve Senaryo 5'te -300 düşeceği sonucu çıkarılabilir. İlk 3 senaryoda; İzmit Havzasında, genel yeraltısuyu akım yönünün ovada İzmit Körfezine doğru olduğu görülmektedir. Senaryo 4 ve Senaryo 5'te çekim miktarındaki % 100-150 kat artış sonucunda ayırım çizgisinin olmadığı ve yeraltısuyu akışının Sapanca Gölünden İzmit Körfezine doğru olacağı görülmektedir.

Havzada yeraltısuyu tüketiminin kontrol altına alınması ve mümkünse azaltılması gerektiğini göstermektedir. Eğer bölgedeki aşırı yeraltısuyu tüketimi önlenmez ise mevcut kuyuların kapasitesi ileride yetmeyecektir. Bölgede gelecek yıllar için yeraltısuyu modellemesinin güvenilir ve anlamlı olabilmesi ancak bölgedeki tüm pompaj kuyularının çekim miktarlarının belirlenmesiyle mümkün olabilecektir. Havzadaki yeraltısuyu kalitesinin düzenli olarak ölçülmesi önem taşımaktadır. Ayrıca Sapanca Gölü'nün tatlı su rezervuarı olarak kirletici etkilerden korunmasına yönelik korunma tedbirlerinin alınması açısından ileriye dönük su kaynakları yönetim planlarının hazırlanabilmesi için zenginleştirilmiş verilerle kütle taşınım modeli hazırlanması uygun olacaktır. Havzanın batı kesiminde yeraltısuyu çekiminde meydana gelecek artışa bağlı tuzlusu girişimi riskinin artacağını düşünülmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Penman, H. L., 1948. Natural evaporation from open water, bare and grass. Proc. R. Soc. Lond. Ser. A 193, 120–145.
- Topçuoğlu E.M., 2022. İzmit Havzasının Hidrojeoloji İncelemesi ve Yeraltısuyu Akım Modellemesi. (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- MODFLOW, 2000. The U.S. Geological Survey Modular Ground-Water Model User Guide To Modularization Concepts And The Ground-Water Flow Process, U.S. Geological Survey.
- Maden Teknik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA), 2005. 1/50 000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, No:17, Bursa G23b Paftası, Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.

Pınarbaşı Kaynaklarının (Kahramanmaraş) Hidrojeokimyasal İncelemesi

Hydrogeochemical Investigation of Pınarbaşı Springs (Kahramanmaraş)

İsmail ÖZLEK¹, Özlem ÖZTEKİN OKAN^{2*}

¹Devlet Su İşleri 20. Bölge Müdürlüğü, 46080, Kahramanmaraş

^{2*}Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 23119, Elazığ

(*ooztekin@firat.edu.tr)

ÖZET: Bu çalışmada Kahramanmaraş ili Dulkadiroğlu ilçesi sınırları içinde bulunan Pınarbaşı kaynaklarının hidrojeokimyasal özellikleri incelenmiştir. Çalışmanın amacı, Eosen yaşlı kireçtaşları ve killi kireçtaşlarından beslenen Pınarbaşı karstik kaynaklarının kimyasal bileşiminin çeşitli diyagramlar yardımıyla yorumlayıp, içme ve tarımsal sulama amaçlı kullanım kalitelerini belirlemektir. Bu amaçla, Nisan-Mayıs (2024) aylarında toplam 7 adet su örneği (kuyu ve kaynaklardan) alınarak majör anyon ve katyon, ağır metal, bakteriyolojik analizler yapılmıştır. Su örnekleri alınırken suların pH, elektriksel iletkenlik (Eİ) ve sıcaklık (T) değerleri yerinde ölçülmüştür. İncelenen suların Eİ, pH ve T değerleri sırasıyla; 152-476 µs/cm, 7,4-8,4 ve 14,2-16°C arasında değişmektedir. Karstik akiferden beslenen yeraltısuları Ca-Mg-HCO₃ fasiyesindedir. Suların ağır metal konsantrasyonları genel olarak İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik'te belirtilen sınır değerlerin altında olup içme amaçlı tüketime uygundur. İncelenen suların NO₃ içerikleri <5- 9,20 mg/l arasındadır. Bakteriyolojik olarak iki su örneğinde Streptococcus Feacallis ve koliform bakteri (E-Coli) belirlenmiş olup bunların antropojenik kökenli olduğu düşünülmektedir. Sulama suyu açısından incelenen suların Sodyum Adsorpsiyon oranı (SAR) 0,04-0,32 aralığında olup çok iyi, sodyum yüzdesi 0,012-0,125 aralığında olup çok iyi, geçirgenlik indeksi (PI) 51,32-84,94 aralığında olup uygun, magnezyum tehlike değeri (MH) 37,97-75,89 aralığında olup 5 örnekte uygun olmayan, Kelly oranı (KR) 0,01-0,350 aralığında olup uygun olmayan, potansiyel tuzluluk (PS) 0,183-0,186 aralığında olup çok iyi grubunda yer almaktadır.

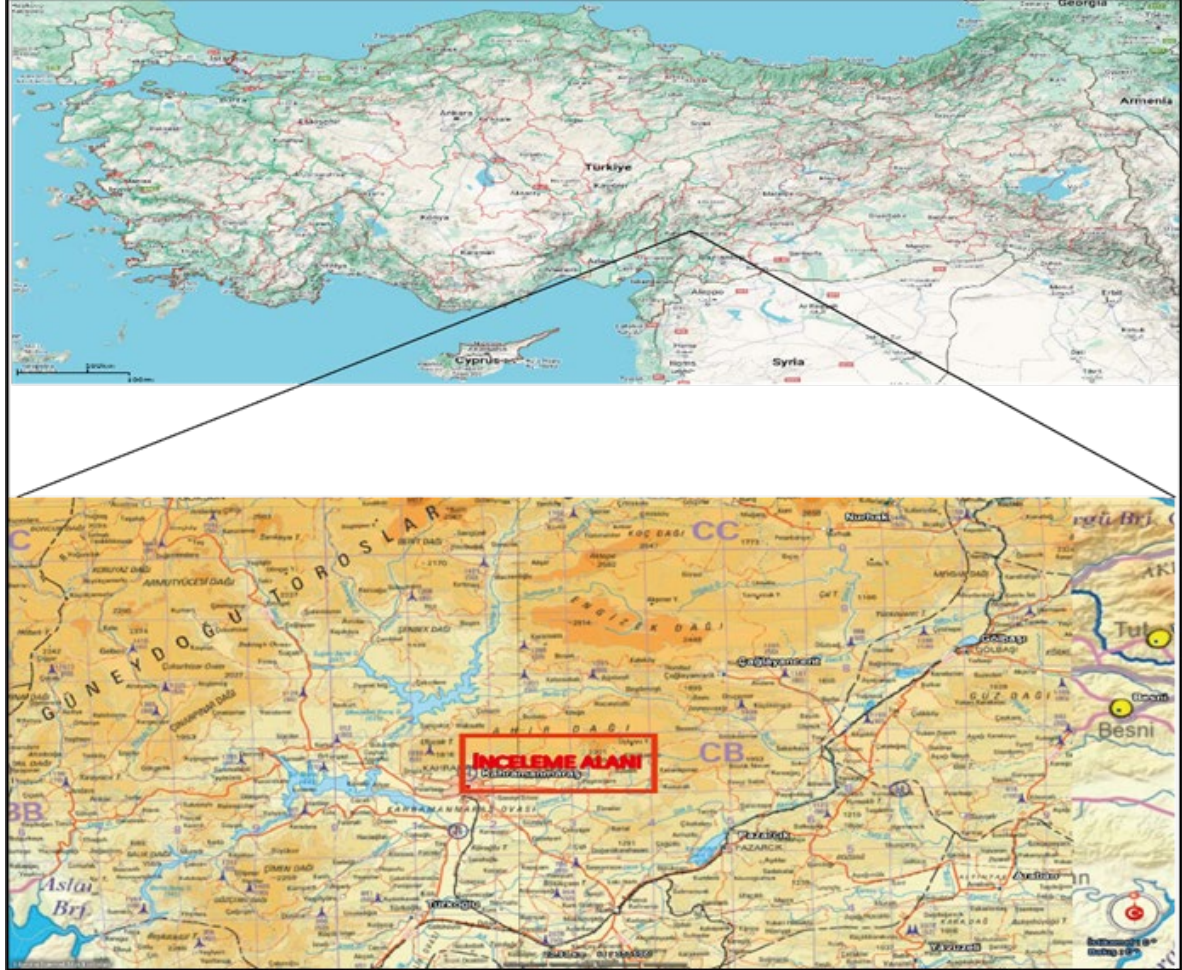
Anahtar Kelimeler: Pınarbaşı kaynakları, içme suyu kalitesi, sulama suyu, hidrojeokimya, Kahramanmaraş

ABSTRACT: The hydrogeochemical properties of Pınarbaşı springs located in Dulkadiroğlu district of Kahramanmaraş province were investigated in the present study. The aim of the study is to interpret the chemical composition of Pınarbaşı karstic springs fed from the Eocene limestones and clayey limestones with the help of various diagrams and to determine their usability for drinking and agricultural irrigation purposes. For this purpose, 7 water samples (from wells and sources) were taken in April-May (2024) and major anion and cation, heavy metal, and bacteriological analyses were performed. While taking water samples, pH, electrical conductivity (EC) and temperature (T) values of the waters were measured in situ. EC, pH and T values of the investigated waters vary between 152-476 µs/cm, 7.4-8.4 and 14.2-16°C, respectively. Groundwater fed from the karstic aquifer is in the Ca-Mg-HCO₃ facies. The heavy metal concentrations of the waters are below the limit values specified in the Regulation on Waters Intended for Human Consumption and are suitable for drinking purposes. The NO₃ contents of the investigated waters are between <5 and 9.20 mg/l. Bacteriologically, Streptococcus Feacallis and coliform bacteria (E-Coli) were determined in two water samples and they are thought to be of anthropogenic origin. In terms of irrigation water, the waters are classified in very good, very good, suitable, not suitable in 5 samples, not suitable, very good groups according to sodium adsorption ratio (SAR) between 0.04 and 0.32; sodium percentage between 0.012 and 0.125, permeability index (PI) between 51.32 and 84.94, magnesium hazard value (MH) between 37.97 and 75.89, Kelly ratio (KR) between 0.01 and 0.134, and potential salinity (PS) between 0.183 and 0.350, respectively.

Keywords: Pınarbaşı resources, drinking water quality, irrigation water, hydrogeochemistry, Kahramanmaraş

1. GİRİŞ

Yeraltısularının etkin, verimli antropojenik etkenlere bağlı olarak kirletilmeden kullanılabilmesi doğal kaynakların sürdürülebilirliği için son derece önemlidir. İnceleme alanı Kahramanmaraş ili Dulkadiroğlu ilçesi sınırları içinde olup kent merkezine yaklaşık 2 km uzaklıktadır (Şekil 1).



Şekil 1. İnceleme alanı yer bulduru haritası

Çalışmanın amacı, içme ve kullanma suyu ihtiyacını karşılayan Pınarbaşı Kaynaklarının ve çevresindeki su noktalarının yorumlanması ve suların kimyasal bileşimlerinin çeşitli standartlarla karşılaştırılıp sulama suyu amaçlı kullanımlarının değerlendirilmesidir.

1.1. Materyal ve Metot

Çalışma kapsamında örneklenen 7 adet su örneğinin koordinatları GPS yardımıyla belirlenmiştir (Çizelge 1) Kimyasal analizler için su örneklemeleri yağışlı dönemi temsil edecek şekilde Nisan-Mayıs aylarında yapılmıştır. Yağışlı dönemlerde alınan su örneklerinin majör anyon (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^{2-}) ve kation analizleri (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+) ile kirlilik parametrelerinden NO_3^- ve E. coli analizleri yapılmıştır. Su örneklemeleri yapılırken suların sıcaklık (T), pH ve elektriksel iletkenlik (EC) değerleri Hanna combo marka çoklu parametre ölçüm cihazı ile yerinde belirlenmiştir. Major anyon-kasyon analizleri için su örnekleri 500 ml'lik polietilen numune kapları, bakteriyolojik analizler için Sodyum Tiyosülfatlı 500 ml'lik numune kapları kullanılmıştır.

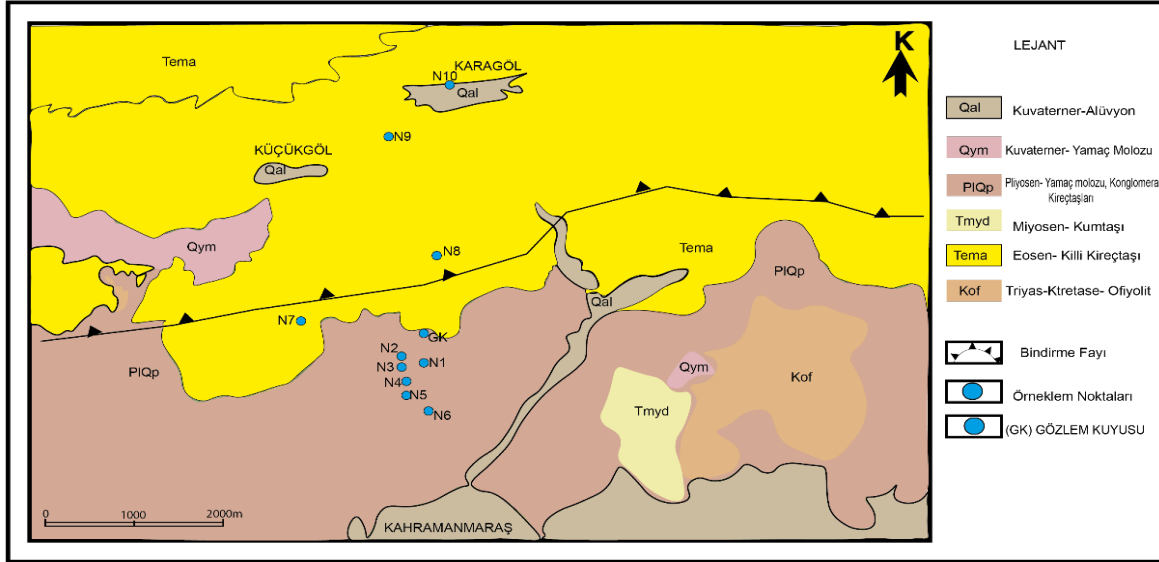
Çizelge 1. Su örneklerinin yeri ve lokasyon bilgileri

Örnek No	Örnekleme Yeri	Lokasyon Bilgileri	Rakım (m)
N-1	Kaynak Suyu	317969 E	684
		4163606 N	
N-4	Kaynak Suyu	317799 E	663
		4163550 N	
N-5	Keson Kuyu	317802 E	651
		4163198 N	
N-6	Çeşme Suyu	318085 E	677
		4162853 N	
N-7	Derin Kuyu	316347 E	803
		4164254 N	
N-8	Derin Kuyu	318181 E	1020
		4165240 N	
N-9	Çeşme Suyu	317436 E	1519
		4167311 N	

2. BULGULAR VE TARTIŞMA

2.1. Jeoloji

Çalışma alanı içinde bulunan Midyat Grubu (Tm), genel olarak karasal kaba kırıntılılar, bentik foraminiferli kireçtaşları ve pelajik fosilli kalsitürbiditlerden oluşur. Çalışma alanında bu kaya türleri, Eosen-Oligosen yaşlı Ahırdağı Formasyonu (Tma) olarak yüzeylemektedir (Ateş vd., 2008). Kahramanmaraş kent merkezi ve Ahırdağı güney eteklerinde yaygın olarak gözlenen Pliyo-Kuvaterner yaşlı Pınarbaşı Formasyonu, yamaç molozları, selinti malzemesi ve birikinti yelpazesi çökellerinin köşeli, değişken boyutta, bazen gevşek-orta tutturulmuş, yer yer tutturulmamış, kötü tabakalı, farklı türde çakıllı ve bloklu çakıltaşıdan oluşmaktadır (Şekil 2). Çoğunlukla, karbonat çimento ile orta-gevşek tutturulmuş breşik çakıltaşı görünümündedir. (Ateş vd., 2008).

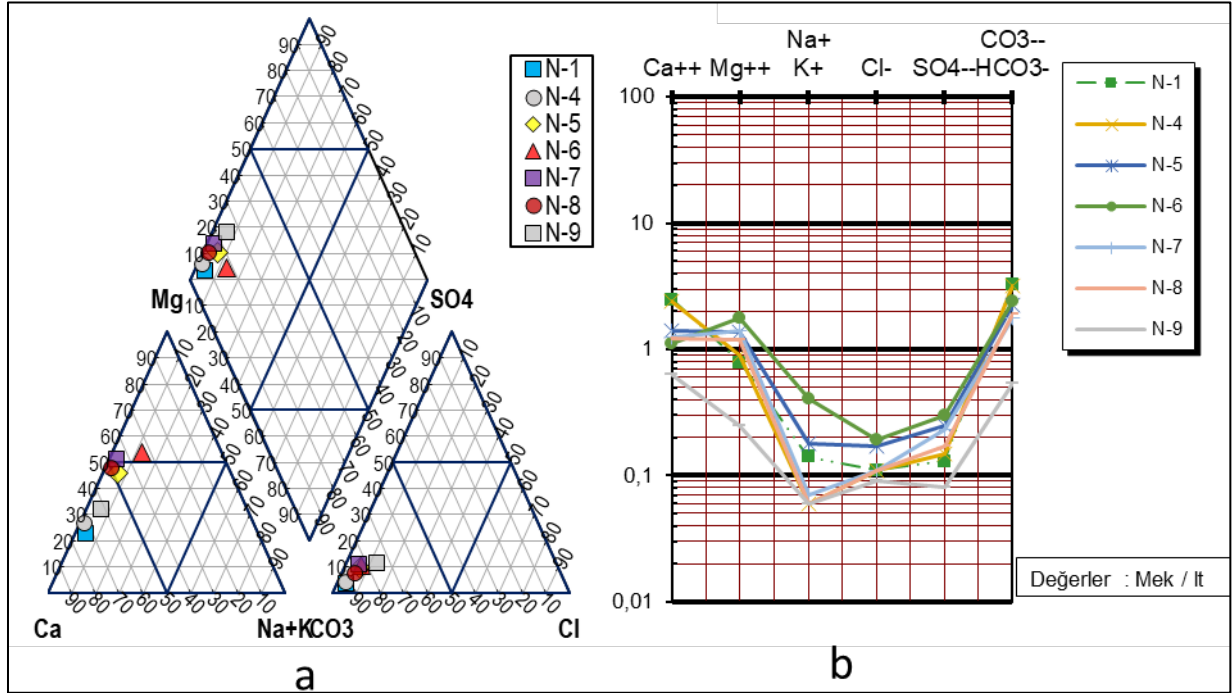


Şekil 2. İnceleme alanı jeoloji haritası (DSİ, 2015'ten değiştirilerek)

2.2. Hidrojeokimya

İncelenen suların sıcaklıkları 14,2-16 °C, pH değerleri 7.4-8.4 arasında, elektriksel iletkenlik değerleri ise 152-476 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişmektedir. Sularda baskın katyon Ca^{+2} , Mg^{+2} baskın anyon ise HCO_3^{-} olup sular Ca-Mg- HCO_3 fasiyesindedir (Şekil 3 a,b). Çizilen Schoeller diyagramlarında sularda bulunan

majör anyon ve katyonları birleştiren doğrular birbirine paralele yakın geçtiklerinden incelenen suların benzer litolojideki akiferlerden beslediğini göstermektedir.



Şekil 3. İncelenen suların (a) Piper ve (b) Schoeller diyagramları

2.3. İncelenen Suların Tarımsal Sulama Kalite Kriterleri

Tarımsal sulama için kullanılacak suların uygunluğu; fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerine bağlı olarak değerlendirilir. Sulama suyunun kalitesi, bitkilerin büyümesi, toprak verimliliği ve uzun vadeli tarımın sürdürülebilirliği açısından son derece önemlidir. Bu maksatla incelenen sularda Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR), Sodyum Yüzdesi (%Na), Permeabilite İndeksi (PI), MH (Magnesium Hazard - Magnezyum Tehlike İndeksi), Kelly Oranı (Kelly Index, KR), Potansiyel Tuzluluk (PS) değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 2). SAR (Sodium Adsorption Ratio - Sodyum Adsorpsiyon Oranı), topraktaki sodyum (Na^+), kalsiyum (Ca^{2+}) ve magnezyum (Mg^{2+}) iyonlarının oranını ifade eden önemli bir parametredir. Eşitlikte iyonlar mili-ekivalan/litre (meq/L) cinsinden ifade edilir (Eşitlik 1). Özellikle sulama suyu ve toprak kalitesinin değerlendirilmesi açısından kritik bir göstergedir (Çizelge 3). Yüksek SAR'lı sularla sulama, toprakta sodyum birikimine neden olur. Sodyum fazlalığı, toprak agregatlarını bozar, geçirgenliği ve su tutma kapasitesini azaltır. Kil minerallerini dispers hale getirerek (çöktürerek) su ve hava hareketini zorlaştırır. Bitki kökleri için toksik etkiler oluşturabilir ve su stresine neden olabilir (Richards, 1954).

Çizelge 2. İnceleme alanındaki su örneklerinin SAR, Na %, PI, MH, KR, PS değerleri

Örnek No	SAR	Na %	PI	MH	KR	PS
N-1	0,102135	0,041181	56,55918	75,89077	0,039855	0,183264
N-4	0,044267	0,019195	54,68385	72,66687	0,017202	0,186518
N-5	0,141433	0,061294	56,36282	50,8432	0,059905	0,308102
N-6	0,322906	0,125909	59,18485	37,97447	0,134125	0,350467
N-7	0,058533	0,028751	51,32868	46,9416	0,025419	0,22734
N-8	0,051924	0,027564	57,70219	50,5457	0,023489	0,195423
N-9	0,083172	0,067981	84,94891	71,63925	0,06264	0,134134

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \quad (1)$$

Çizelge 3. SAR Değerine Göre Sınıflandırma

SAR Değeri	Sodyum Tehlikesi	Açıklama
0 - 10	Düşük	Bitkilere zararsız, çoğu toprak için güvenli
10 - 18	Orta	Drenajı kötü olan topraklarda risk oluşturabilir
18 - 26	Yüksek	Toprak yapısını bozarak geçirgenliği azaltır
> 26	Çok Yüksek	Ciddi alkali sorunlara neden olur, toprak fiziksel olarak bozulur

Sodyum Yüzdesi (%Na), sulama suyunun kimyasal kalitesini değerlendirmede kullanılan bir parametredir (Çizelge 4). Sulama suyundaki sodyum miktarının, diğer ana katyonlarla (kalsiyum, magnezyum ve potasyum) karşılaştırmalı oranını gösterir. Toprak ve bitki sağlığı açısından önemli olup, yüksek sodyum yüzdesi, toprağın fiziksel yapısını bozarak geçirgenliği ve su tutma kapasitesini olumsuz etkileyebilir (Eaton, 1950). Eşitlikte iyonlar mili-ekivalan/litre (meq/L) cinsinden ifade edilir (Eşitlik 2).

$$\%Na = \left(\frac{Na^+}{Na^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+} \right) \times 100 \quad (2)$$

Çizelge 4. Sulama suyu kalitesi açısından %Na yorumlanması

< 20% → Güvenli	< 20% → Güvenli
20-40% → Orta derecede riskli	20-40% → Orta derecede riskli
40-60% → Riskli	40-60% → Riskli
> 60% → Yüksek riskli	> 60% → Yüksek riskli

Yüksek %Na'nın etkileri: Toprak geçirgenliğini azaltır. Killi topraklarda dağılmaya ve sertleşmeye neden olur. Yüksek sodyum seviyeleri, bitki besin alımını engelleyebilir (Eaton, 1950).

Permeabilite İndeksi (PI) toprağın su geçirgenliği, yani suyun toprak içinde hareket edebilme yeteneği, bitkilerin su ve besin maddelerini alabilmesi açısından kritik bir faktördür. Sulama suyu içinde bulunan bazı iyonlar (özellikle sodyum, kalsiyum ve magnezyum) toprak yapısını etkileyerek su geçirgenliğini artırabilir veya azaltabilir. Eğer permeabilite düşükse, su toprağa iyi nüfuz edemez, kök bölgesine ulaşamaz ve bitkiler su stresine girer (Çizelge 5). Permeabilite çok yüksekse, su çok hızlı süzülerek bitkilerin kullanabileceği su miktarı azalır (Doneen, 1964). Eşitlikte iyonlar mili-ekivalan/litre (meq/L) cinsinden ifade edilir (Eşitlik 3).

$$PI = \left(\frac{Na + \sqrt{HCO_3}}{Ca + Mg + Na} \right) \times 100 \quad (3)$$

Çizelge 5. Permeabilite İndeksine Göre Sulama Suyu Sınıflandırması

PI (%)	Sulama Suyu Kalitesi
75 ve üzeri	İyi (Toprak geçirgenliği için güvenli)
25 - 75	Orta derece uygun
25 ve altı	Düşük (Geçirgenliği olumsuz etkileyebilir)

Magnezyum Tehlike İndeksi (MH), topraktaki veya sulama suyundaki magnezyum seviyesinin tehlikeli olup olmadığını belirlemek için kullanılan bir göstergedir. MH, eşitlikteki formülle hesaplanır. Sulama

suyundaki yüksek MH değeri, toprak sıkışmasına, geçirgenliğin azalmasına ve sodyum birikimiyle benzer olumsuz etkilere neden olabilir (Çizelge 6). Özellikle magnezyum oranı kalsiyuma kıyasla fazla olduğunda toprak yapısı bozulabilir ve bitki büyümesi olumsuz etkilenebilir (Richards, 1954). Eşitlikte iyonlar mili-ekivalan/litre (meq/L) cinsinden ifade edilir (Eşitlik 4).

$$MH = \left(\frac{Mg^{2+}}{Ca^{2+} + Mg^{2+}} \right) \times 100 \quad (4)$$

Çizelge 6. Magnezyum Tehlike İndeksine Göre Sulama Suyu Sınıflandırması

MH < 50 → Güvenli
MH > 50 → Tehlikeli

Kelly Oranı (Kelly Index, KR), sulama suyu kalitesini değerlendirmek için kullanılan bir parametredir. Özellikle suyun sodyum tehlikesini belirlemek amacıyla geliştirilmiştir. Kelly Oranı yüksekse, bu durum sulama suyundaki sodyumun aşırı fazla olduğunu gösterir (Çizelge 7). Fazla sodyum, toprak yapısını bozarak geçirgenliği azaltabilir ve alkali toprak oluşumuna neden olabilir (Kelly, 1940). Eşitlikte iyonlar mili-ekivalan/litre (meq/L) cinsinden ifade edilir (Eşitlik 5).

$$KI = \frac{Na^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+}} \quad (5)$$

Çizelge 7. Kelly İndeksine Göre Sulama Suyu Sınıflandırması

KI < 1.0 → Sulama için uygun (sodyum tehlikesi düşük)
KI > 1.0 → Sulama için uygun değil (sodyum tehlikesi yüksek)

Potansiyel Tuzluluk (PS), genel olarak suyun içinde bulunan tüm çözünmüş tuzların bir ölçüsüdür ve genellikle klorür (Cl^-) ve sülfat (SO_4^{2-}) iyonlarının toplamı ile hesaplanır. PS, elektriksel iletkenlik (EC) veya toplam çözünmüş katılar (TDS) ile doğrudan ilişkilidir. Çünkü, tuz içeriği arttıkça suyun elektriksel iletkenliği de artar (Çizelge 2.3.6). Tarımda önemli bir gösterge olup, sulama suyunun toprakta tuz birikimine yol açıp açmayacağını değerlendirmede kullanılır (Wong, 2020). Eşitlikte iyonlar mili-ekivalan/litre (meq/L) cinsinden ifade edilir (Eşitlik 6).

$$PS = Cl^- + 0.5 \times SO_4^{2-} \quad (6)$$

Çizelge 2.3.6. PS İndeksine Göre Sulama Suyu Sınıflandırması

>10	Zararlı
5-10	İyi
<5	Çok iyi

3. SONUÇLAR

İncelenen kaynak sularının akifer birimi Eosen yaşlı Ahırdağı formasyonuna ait killi kireçtaşları ve Pliyo-Kuvaterner yaşlı Pınarbaşı formasyonuna ait konglomeralardır. Killi kireçtaşları, bölgedeki aktif tektonizma etkisiyle kırık ve çatlaklar vasıtasıyla ikincil geçirimlilik ve gözeneklilik kazanmıştır. Suların pH değerleri bazik karakterdedir. Kaynak sularının akifer birimleri kireçtaşları olduğundan sulara bulunan baskın katyonlar Ca^{+2} , Mg^{+2} baskın anyon ise HCO_3^- 'dir. İncelenen suların Eİ, pH ve T değerleri sırasıyla; 152-476 $\mu S/cm$, 7,4-8,4 ve 14,2-16 °C arasında değişmektedir. Karstik akiferden beslenen yeraltısuları Ca-Mg- HCO_3 fasiyesindedir. Suların ağır metal konsantrasyonları genel olarak İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik'te belirtilen sınır değerlerin altında olup içme amaçlı tüketime uygundur. İncelenen suların NO_3 içerikleri <5- 9,20 mg/l arasındadır. Sulama suyu açısından incelenen suların Sodyum Adsorpsiyon oranı (SAR) 0,04-0,32 aralığında olup çok iyi, sodyum yüzdesi 0,012-0,125 aralığında olup çok iyi, geçirgenlik indeksi (PI) 51,32-84,94 aralığında olup uygun, magnezyum tehlike değeri (MH) 37,97-75,89 aralığında olup 5 örnekte uygun olmayan, Kelly oranı

(KR) 0,01-0,134 aralığında olup uygun olmayan, potansiyel tuzluluk (PS) 0,183-0,35 aralığında olup çok iyi grubunda yer almaktadır.

4. KATKI BELİRTME

DSİ 20. Bölge Müdürlüğü, Yeraltıları Şube Müdürlüğü'nün ayrıca kimyasal ve mikrobiyolojik analizlerin yapılmasında Laboratuvar Şube Müdürlüğü'nün katkıları bulunmaktadır.

5. KAYNAKLAR

- Ateş, Ş., Osmañcelebioğlu, R., Özata, A., Karakaya, F.G., Aksoy, A., Mutlu, G., Duman., T.Y., Özerk, O.C., Yeleser, L. ve Çiçek, İ., 2008. Kahramanmaraş İli ve Kentsel Alanların (İl-İlçe Merkezleri) Yerbilim Verileri, Ankara.
- Doneen, L., 1964. Notes on Water Quality in Agriculture; Published as a Water Sciences and Engineering; Department of Water Sciences and Engineering, University of California: Davis, CA, USA; Volume 4001.
- DSİ., 2015. Ceyhan Havzası Hidrojeoloji Raporu. DSİ 20. Bölge Müdürlüğü Yayınları. Kahramanmaraş
- Eaton, F.M., 1950. Significance of carbonates in irrigation waters. Soil Sci. 69, 123–134.
- Kelly, W., 1940. Permissible composition and concentration of irrigated waters. Proc. ASCF 66, 607–613.
- Richards, L.A., 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils; LWW: Washington, DC, USA; Volume 78.
- TSE 266, 2005. İnsani Tüketim Amaçlı Sular. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- WHO, 2021. Guidelines For Drinking-Water Quality. WHO Library Cataloguing-in-Publication Data, Fourth Edition Incorporating The First Addendum
- Wong, Y.J., Shimizu, Y., He, K., Nik Sulaiman, N.M., 2020. Comparison among different ASEAN water quality indices for the assessment of the spatial variation of surface water quality in the Selangor river basin, Malaysia. Environ. Monit. Assess, 192, 644.

Su ile İlgili Sorunların Çözümünde 5N1K Yaklaşımı ve Öneriler

5W1H Approach in Water-related Problems and Suggestions

Hafzullah AKSOY^{1,*}, Yonca ÇAVUŞ²

¹ İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul

² İstanbul Beykent Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul
(*haksoy@itu.edu.tr)

ÖZET: Su ile ilgili sorunlar, artan su talebi nedeniyle eskiye göre daha sık yaşanmakta, zaman ve mekanda değişkenlik göstermektedir. Karmaşık olmalarından dolayı bu sorunların yalnız mühendislik çözümleri ile giderilmesi olanaksızdır. Sorunun giderilmesinde Ne, Neden, Nerede, Ne Zaman, Nasıl ve Kim sorularına yanıt arayan 5N1K yaklaşımının kullanılması önerilebilir. Su ile ilgili herhangi bir mühendislik sorunu (Ne), doğal veya insan kaynaklı olarak ortaya çıkabilir (Neden). Bu sorun insanı, çevreyi ve ekonomiyi (Kim) etkiler. Her bölgenin su ile ilgili sorunu farklıdır (Nerede) ve zamanla değişir (Ne Zaman). Çözüm, sadece nicel mühendislik teknikleri ile değil aynı zamanda nitel metodolojiler de kullanılarak araştırma ve uygulamadan katılımcılarla birlikte disiplinlerarası bir işbirliği içinde aranmalıdır (Nasıl). Bu kapsamda, su ile ilgili sorunların çözümü için araştırma, uygulama ve karar verici mekanizmaların toplum ile etkileşimini esas alan öneriler sunulacaktır.

Anahtar Kelimeler: 5N1K, araştırma, arz, karar verici, su kaynakları, talep, toplum, uygulama.

ABSTRACT: Water-related problems are experienced more frequently than before with increasing water demand. Due to their complexity, it is not possible to solve these problems with the sole use of engineering techniques. To overcome any water-related problem, it might be recommended to use the 5W1H approach, which seeks answers to the questions What, Why, Where, When, Who and How. Water-related engineering problems (What) can arise from natural factors or the anthropocene (Why) affecting the human, environment and economy (Who). These problems are region-specific (Where) and variable over time (When). The solution should be sought through an interdisciplinary collaboration by using not only quantitative engineering techniques but also qualitative methodologies (How). Here, recommendations based on the interaction of the research, practice and decision-making mechanisms with the society in solving water-related problems are presented.

Keywords: 5W1H, research, supply, decision, water resources, demand, society, practice.

1. GİRİŞ

Günden güne artan dünya nüfusu ile birlikte suya olan talep de artmaktadır. Bu talebin karşılanamadığı durumlarda su ile ilgili sorunlar ortaya çıkmaktadır. Su sorunu, bir toplum sorunudur. Bu sorunun çözümünde toplumun talebinin karşılanması gerekir. Bunun için su kaynaklarının daha etkin ve verimli bir şekilde planlanması ve yönetimi önemlidir. Burada geleneksel olarak karar verici organın imkan ve kabiliyetine göre arz temelli çözüm yerine toplumsal talebi önceleyen alternatifler geliştirilmelidir.

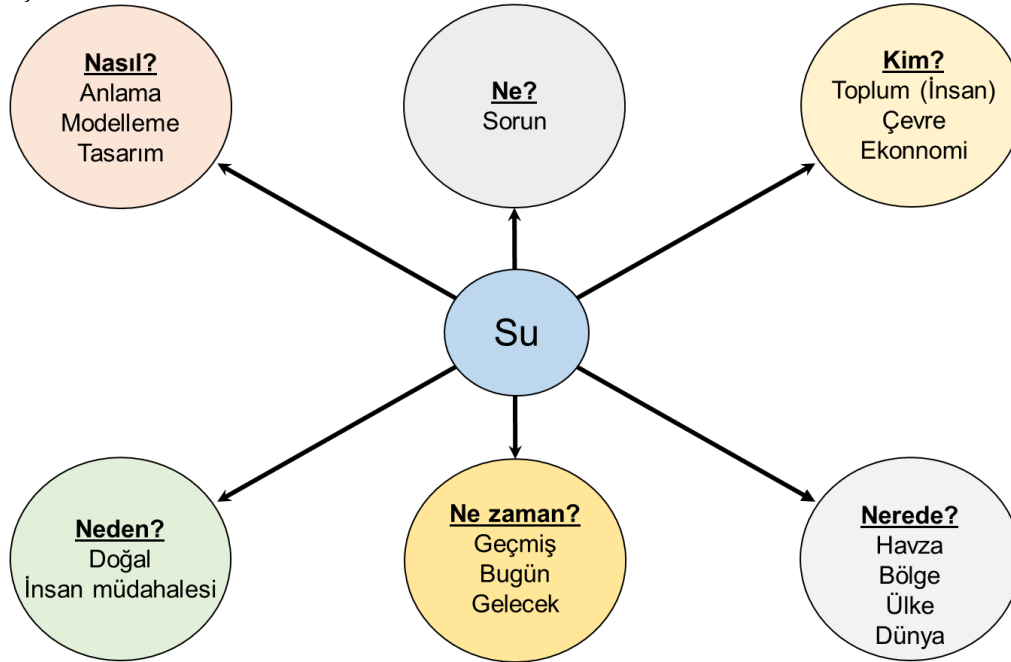
Su sorunu ile çözüm sürecinde çok sayıda aktör yer almaktadır. Soruna dahil olan aktörlerin başında araştırma, uygulama ve karar mekanizması gelmektedir (Aksoy 2010; Cabello vd. 2021, Tudose vd. 2023). Bu aktörlerin birbirinden bağımsız olarak ayrı ayrı veya işbirliği içinde birlikte toplumsal su talebini sağlamaya ne şekilde katkı sağlayabilecekleri ile ilgili bilgi önemlidir. Bu bilginin üretilmesinde 5N1K (Ne, Neden, Nerede, Ne zaman, Nasıl ve Kim) yaklaşımı (Nagireddy, 2021; Hanafi vd, 2024) uygulanabilir. Bu çalışmada, 5N1K yaklaşımı ile ele alınmış ve talebe dayanan ya da arz temelli çözümler su sorununa dahil olan başlıca aktörler arasındaki etki-tepki ilişkisi kullanılarak ana hatları ile açıklanmıştır. Toplumun su talebinin karşılanması amacıyla su kaynaklarının planlanması ve yönetimi üzerine bazı temel düşünceler sunulmuştur.

2. YÖNTEM

2.1. 5N1K Yaklaşımı

Son kullanıcının suya erişiminin sağlanması, her zaman önemli bir mühendislik sorunu olmuştur. Bu sorun, birçok yerde suyun kalite ve miktarından çok insan, çevre ve ekonomiyle olan etkileşimi şeklinde ortaya çıkmaktadır. Bu etkileşim, mekansal ve zamansal değişime tabi olup, bazı durumlarda doğal veya insan kaynaklı bozulmalar, bazı durumlarda da her ikisinin birleşimi şeklinde su talebini etkiler. Bu nedenle soruna sadece teknik açıdan bakılamaz. Sorun, bu yönüyle günlük yaşama etki eder ve bir toplum sorunu halini alır.

İnsanı, çevreyi ve ekonomiyi etkilemesinden dolayı su sorunu, karmaşık ve geniş kapsamlıdır. Su sorununun çözümünde kullanılacak bilgiyi üretmek üzere 5N1K (Ne, Neden, Nerede, Ne zaman, Nasıl ve Kim) yaklaşımı ön plana çıkmaktadır. Çözüm için birden çok sayıda aktör rol almaktadır. Soruna dahil olan aktörlerin her biri 5N1K'daki '*Kim*' sorusu ile ilgilidir (Şekil 1). Bunlar arasında insan ana aktördür ve su sorununu yaratmada yüksek etkiye sahiptir ('*Neden*' sorusu). Su sorunu mekansal olarak heterojendir ('*Nerede*' sorusu). Zaman içinde durağan değildir ('*Ne zaman*' sorusu), yani geçmişten geleceğe doğru değişir. Sorunun çözümünde kullanılmak üzere sadece nicel mühendislik teknikleri değil, aynı zamanda araştırma ve uygulamanın da katıldığı disiplinlerarası işbirliği yoluyla üretilen nitel yöntemler de kullanılır ('*Nasıl*' sorusu). Bir örnek olarak, Malek vd (2019), farklı bakış açılarından heterojen kaynaklardan gelen büyük hacimli karmaşık bir veri kümesini kullanarak, Malezya'nın başkenti Kuala Lumpur'un kentsel alanında taşkınının etkisini en aza indirmek için 5N1K yaklaşımının uygulamıştır.

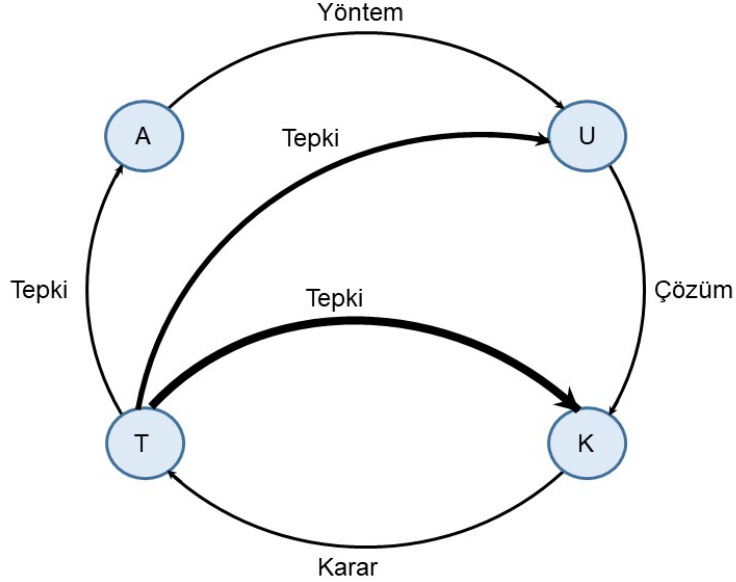


Şekil 1. Su ile ilgili sorunların çözümünde 5N1K bilgi üretme yaklaşımı

2.2. “Kim?” Bileşeni

5N1K yaklaşımının '*Kim*' bileşeni, su ile ilgili bilgi üretmede özel bir öneme sahiptir. Toplumu temsil eden insan, bu bileşenin temel itici gücüdür ve girdi-çıkı ilişkisiyle birbirine bağlı dört bileşene ayrılabilir (Şekil 2): Araştırma, Uygulama, Karar ve Toplum (Aksoy, 2010). Bu bileşenler, Cabello vd. (2021) ve Tudose vd. (2023) farklı şekillerde adlandırılarak birer bilgi sistemi olarak kabul edilmiştir. Veriye dayalı bilgi, bir uygulama yöntemi geliştirmede araştırma için temel girdidir. Bu bilgi, karar organının toplumun su sorununu çözmek için karar almasında kullanılmak üzere uygulama tarafından sonuca (ürüne, projeye, prototipe) dönüştürülür. Üretilen sonuç, bilinen bir anda veya belli bir süre boyunca meydana gelen belirli, ölçülebilir, ulaşılabilir, gerçekçi olmalıdır. Kamu veya özel girişim

olmasından bağımsız olarak uygulamanın görevi çözüm (proje, prototip) üretmek ve karar mekanizmasına sunmaktır. Karar mekanizması bu çözümü değerlendirir; siyasi irade, ekonomik imkan ve yeteneğine göre karar verir (Şekil 2). Karardan duyulan memnuniyet düzeyine bağlı olarak toplum olumlu veya olumsuz tepki verir. Bu tepki dört 'Kim'den herhangi birine karşı olabilir. Karar mekanizmasına karşı olduğunda en güçlü, araştırmaya karşı olduğunda en zayıftır. Bunun nedeni toplum ile araştırma arasındaki bağın toplum ile karar arasında güçlü bağa göre daha zayıf olmasıdır.



Şekil 2. Su sorunlarını çözmede araştırma (A), uygulama (U), karar (K) ve toplum (T) arasındaki etki-tepki şeması

Araştırma, uygulama ve karar mekanizması toplumun su ile ilgili talebinin karşılanması için su arzını oluşturmada ayrı ayrı (seri) veya birlikte (paralel) çalışabilir. Seri çalışma modelinde araştırma, toplumsal talebi ve dış verileri esas alarak bir model (çözüm üretme becerisi) üretir. Bu model uygulamaya aktarılır. Bu üç aktör, seri çalışacak yerde eşzamanlı olarak birlikte (paralel) de çalışabilir. Alternatif olarak, araştırma ve uygulamanın birlikte çalıştığı yarı paralel iletişim modeli de kullanılabilir. Buna benzer projeksiyonlar mühendislik ve sosyal bilim uzmanlarıca tartışılmıştır (Rangecroft vd., 2020, 2022; Quandt, 2022; Haeffner, 2022). Su ile ilgili aktörlerin, ortak bilgi ve çözüm üretmede birlikte çalıştıkları paralel iletişim modelini tercih etmelerinin uygun olacağı düşünülmektedir (Cabello vd., 2021; Tudose vd., 2023).

Bu tür ortak girişimlere özellikle toplumun marjinal paydaşlarının dahil edilmesi, bireysel ya da toplumsal katılımcılıkta homojenlik sağlayacaktır (Castelli vd., 2025). Su sorununun çözümüne kentsel-kırsal olma ya da ırka ve cinsiyete göre katılım sağlayabilme ile ilgili zorluklar söz konusudur. Bu olumsuz etkinin farklı bölgelerde, kentsel ve kırsal nüfuslar arasında ve ırk ve cinsiyet dahil olmak üzere çeşitli sosyal kimlikler arasında eşit olmayan bir şekilde yaşanmasından dolayı su arzında adalet sağlayamama endişesi canlı kalmaktadır. Burada değinilmesi gereken en önemli konu, cinsiyet meselesidir. Kadınlar, özellikle kırsal alanlarda yerel topluluk su sorunlarına eskisinden daha aktif bir şekilde dahil olsalar da (Singh, 2006; Kevany ve Huisin, 2013), büyük projelere katılımları sınırlı kalmaktadır (Eminel Sülün, 2018). Kadınların rolünü yerel ölçekte doğru yere koymak; rollerini bölgesel, ulusal veya küresel düzeye genişletmek için idari ve toplumsal düzenlemelere ihtiyaç vardır.

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada yapılan genel değerlendirmeler sonrasında çıkarım niteliğindeki aşağıdaki sonuç ve önerilerin yapılması mümkün görülmektedir:

1. Su sorunlarının çözümünde arz imkanlarına göre yönetilen planlama, yönetim, tasarım ve imalat süreci, yerini talebe dayanan yaklaşıma terk etmek durumunda kalmıştır. Bu nedenle, toplum talebinin öncelenmesi, çözümün talep üzerine bina edilmesi önemlidir.
2. Çözümün araştırma ile başlaması ve uygulama ile şekillenmesi sonrasında karar mekanizması tarafından topluma arz edilmesi beklenir.
3. Topluma arz edilen çözüm ile ilgili kararın etkinliği araştırma, uygulama ve karar vericilerin eşgüdüm içinde çalışmasına bağlıdır. Bu aktörler birbirinden bağımsız çalışabilecekleri gibi seri ya da paralel mekanizmalar şeklinde de çalışabilirler.
4. Su kaynakları planlama ve yönetiminde toplumsal yararı maksimize etmek için eşgüdüm içinde olmak koşulu ile paralel çalışma yönteminin tercih edilmesi önerilmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu bildiri, İTÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından Performansa Dayalı Araştırma Programı çerçevesinde desteklenen PMA-2025-46181 kodlu *Su Kaynakları Planlama ve Yönetiminde Toplumsal Talebi Önceleyen Araştırma-Uygulama-Karar Üçgeni* adlı proje çalışmalarına dayanmaktadır.

KAYNAKLAR

- Aksoy, H., 2010. Taşkın çalışmalarında araştırma, uygulama ve toplum gereksinimleri. II. Ulusal Taşkın Sempozyumu, Çevre ve Orman Bakanlığı, 22-24 Mart 2010, Afyonkarahisar, s. 405-411.
- Cabello, V., Romero, D., Musicki, A., Pereira, A.G., Penate, B., 2021. Co-creating narratives for WEF nexus governance: a Quantitative story-telling case study in the Canary Islands. *Sustain Sci* 16, 1363–1374.
- Castelli, G. vd., 2025. Co-creating water knowledge: From local community engagement to global solutions. *Hydrological Sciences Journal* (sunulmak üzere hazırlanıyor).
- Eminel Sülün, E., 2018. Women, Water Resource Management, and Sustainable Development: The Turkey-North Cyprus Water Pipeline Project. *Resources*, 7(3), 50.
- Haefner, M., 2022. Discussion of “Guiding principles for hydrologists conducting interdisciplinary research and fieldwork with participants.” *Hydrological Sciences Journal*, 67(7), 1145–1148.
- Hanafi, A., Putra, F.E., Sari, P.A., 2024. Analysis of the application of green manufacturing with the concept of water recycle system to reduce the use of clean water at Pt. Karton Cikarang, *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, 9(6), 1568-1577.
- Kevany, K., Huisin, D., 2013. A review of progress in empowerment of women in rural water management decision-making processes. *Journal of Cleaner Production*, 60, 53-64.
- Malek, N.S.A., Bakar, N.A.A., Yaacob, S., 2019. A conceptual framework of predictive analytics solution for urban flood pattern occurrences in Kuala Lumpur. *Open International Journal of Informatics*, 7(Special Issue 2), 138-146.
- Nagireddy, S.R., 2021. Storynet - A 5W1H-based knowledge graph to connect stories, A Thesis in Computer Science Presented to the Faculty of the University of Missouri–Kansas City in partial fulfillment of the requirements for the degree Master of Science, University of Missouri, Kansas City, Missouri.
- Quandt, A., 2022. The role of qualitative social science. Discussion of “Guiding principles for hydrologists conducting interdisciplinary research and fieldwork with participants.” *Hydrological Sciences Journal*, 67(7), 1141–1144.
- Rangecroft, S., Rohse, M., Banks, E.W., Day, R., Di Baldassarre, G., Frommen, T., Hayashi, Y., Höllermann, B., Lebek, K., Mondino, E., Rusca, M., Wens, M., Van Loon, A.F., 2020. Guiding principles for hydrologists conducting interdisciplinary research and fieldwork with participants. *Hydrological Sciences Journal*, 66(2), 214–225.
- Rangecroft, S., Rohse, M., Banks, E.W., Day, R., Di Baldassarre, G., Frommen, T., Hayashi, Y., Höllermann, B., Lebek, K., Mondino, E., Rusca, M., Wens, M., Van Loon, A.F., 2022. Bridging the gap: reply to discussion of “Guiding principles for hydrologists conducting interdisciplinary research and fieldwork with participants.” *Hydrological Sciences Journal*, 67(7), 1149–1151.

- Singh, N., 2006. Women's participation in local water governance: Understanding institutional contradictions. *Gender, Technology and Development*, 10(1), 61-76.
- Tudose, N.C., Marin, M., Cheval, S., Mitter, H., Broekman, A., Sanchez-Plaza, A., Ungurean, C., Davidescu, S., 2023. Challenges and opportunities of knowledge co-creation for the water-energy-land nexus. *Climate Services*, 30, 100340.

Eğirdir Gölü için Su Bütçesi Projeksiyon Çalışmaları ve Kısa/Orta Vadeli Çözüm Önerileri

Water Budget Projection Studies and Short/Mid Term Solution Proposals for Lake Eğirdir

Mustafa DOĞAN^{1,*}, Celalettin ŞİMŞEK², Ayşegül ÖZGENÇ AKSOY¹, Yusuf YAŞIR³

¹Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hidrolik Anabilim Dalı, DEÜ Merkez Yerleşkesi, 35390 Buca/İZMİR

²Dokuz Eylül Üniversitesi, Torbalı Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, Geoteknik Programı, 7 Eylül Mah. 5562 Sokak No:9, Torbalı Kampüsü, 35860 Torbalı/İZMİR

³Fen Bilimleri Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi, DEÜ Merkez Yerleşkesi, 35390 Buca/İZMİR
(*mustafa.dogan@deu.edu.tr)

ÖZET: Ülkemizin en önemli tatlı su kaynaklarından biri olan Eğirdir Gölü, özellikle son yıllarda kuraklık ve kirlilik tehdidi altındadır. Gölün uzun yıllardır süre gelen döngüsel su seviye değişimleri, son yıllarda etkisi daha çok hissedilen iklim değişikliği ve bununla birlikte sulama-kullanma suyu baskıları nedeniyle bir düşüş eğilimine girmiştir. 1 Aralık 2024 itibari ile Eğirdir Gölü, su seviyelerinin düzenli kaydedildiği 1953 yılından günümüze en düşük kotuna ulaşmıştır. Bu değer 2012 yılında yürürlüğe giren ve 2024 yılı temmuz ayında yeniden düzenlenen Eğirdir Gölü Özel Hükümlerinde belirtilen minimum su kotu olan 914.74 m değerinin de altındadır. Göl su bütçesine esas ölçülmüş parametreler incelendiğinde, su bütçesindeki çıktıların temelini buharlaşma kayıplarının oluşturduğu görülmektedir. Bununla birlikte, girdilerdeki en önemli pay ise yağışlarıdır. Su bütçesindeki girdi ve çıktıların uzun dönemde olası değişim oranlarına bağlı olarak gelecek projeksiyonları yapılmıştır. Bununla birlikte, göldeki su seviyesi düşüşüne karşın öncelikli olarak acil ve adaptif çözümler ile sonrasında uygulanacak orta vadeli çözümler, öneriler şeklinde sıralanmıştır.

Anahtar kelimeler: Eğirdir gölü, su bütçesi, projeksiyon, çözüm önerileri.

ABSTRACT: Eğirdir Lake, one of the most important freshwater sources in our country, is particularly threatened by drought and pollution in recent years. The cyclical water level changes that have been ongoing for many years have shown a declining trend due to climate change, which has become more pronounced in recent years, along with irrigation and usage water pressures. As of December 1, 2024, Eğirdir Lake has reached its lowest level since 1953, when water levels began to be regularly recorded. This level is also below the minimum water level of 914.74 meters specified in the Eğirdir Lake Special Provisions, which came into effect in 2012 and were revised in July 2024. When examining the measured parameters that form the basis of the lake's water budget, it is seen that evaporation losses constitute the main component of the outputs in the water budget. However, the most significant share of the inputs is from precipitation. Future projections have been made based on the possible long-term change rates of the inputs and outputs in the water budget. In response to the decline in the lake's water level, urgent and adaptive solutions are prioritized, followed by medium-term solutions to be implemented subsequently.

Keywords: Eğirdir Lake, water budget, projection, solution proposals.

1. GİRİŞ

Eğirdir Gölü, Türkiye'nin Akdeniz Bölgesi'nde yer alan ve yüzey alanı açısından ülkemizin dördüncü, tatlı su rezervi bakımından ise ikinci en büyük gölüdür. Isparta il sınırları içinde yer alan göl, hem içme suyu kaynağı hem de tarımsal sulama, balıkçılık, rekreasyon ve ekolojik denge açısından büyük bir öneme sahiptir. Ancak son yıllarda iklim değişikliğinin etkileri, artan buharlaşma, düzensiz yağışlar ve kontrolsüz su kullanımı nedeniyle göl su seviyesinde belirgin bir düşüş yaşanmaktadır. Bu durum, gölün sürdürülebilirliği açısından ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Nitekim 2024 yılı sonu itibariyle Eğirdir Gölü, düzenli ölçümlerin başladığı 1953 yılından bu yana en düşük su seviyesine ulaşmıştır. Bu seviye,

2012 yılında belirlenen ve 2024 yılında güncellenen özel hükümlerdeki minimum işletme kotunun (914.74 m) da altındadır (DSİ, 2024).

Gölün su seviyesi değişimlerine ilişkin literatürde birçok çalışma yapılmıştır. Keskin vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada, Eğirdir Gölü'nün su seviyesi ve hacminde 1986-2016 yılları arasında meydana gelen değişimler istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda, her ne kadar istatistiksel olarak anlamlı olmayan bir artma eğilimi belirlenmiş ise de göl su seviyesinde ve hacminde belirgin bir artış olmadığı sonucuna varılmıştır. Aktaş vd. (2018), Eğirdir Gölü Havzası'nın kuraklık analizini De Martonne yöntemiyle gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucu, kuraklık eğilim çizgisinin 1975'den 2015'e azalan trend izlemesi "step-nemli" arası iklim tipinden "step (yarı kurak)" iklim tipine doğru gidişin olduğunu göstermektedir. Bu sonuç dikkate alındığında; Eğirdir Gölü etrafındaki tarım alanlarının kaçak veya legal su kullanımı, çevre illere içme suyu sağlanması ve Karacaören Baraj Gölü'ne su aktarımı düşünülürse bu su salınımlarının oldukça dikkatli ve tasarruflu yapılmasının gereği ortaya çıkmaktadır. Kale ve Erişmiş (2024) tarafından yapılan çalışmada, Eğirdir Gölü'ndeki alansal değişim, Uzaktan Algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak 1984-2022 yılları arasındaki dönem için analiz edilmiştir. Çalışma bulguları, 39 yıllık çalışma dönemi sonunda Eğirdir Gölü'nün yüzey alanında bir azalma olduğunu göstermiştir. 1994–2004 dönemi hariç olmak üzere incelenen tüm dönemlerde göl havzasındaki su kütlesi mekânsal kayıplar yaşamıştır. Çalışma dönemi sonunda NDWI yöntemine göre 28.99 km², MNDWI yöntemine göre ise 31.87 km²'lik bir mekânsal kayıp belirlenmiştir.

Bu çalışmanın amacı, Eğirdir Gölü'nün güncel su bütçesini analiz etmek, farklı iklim ve kullanım senaryoları altında su hacmi değişimlerini projeksiyonu ile kısa ve orta vadede uygulanabilecek çözüm önerileri sunmaktır. Böylece gölün ekolojik ve sosyo-ekonomik işlevlerinin korunmasına yönelik bilimsel temelli bir yaklaşım geliştirilmesi hedeflenmektedir.

2. YÖNTEM

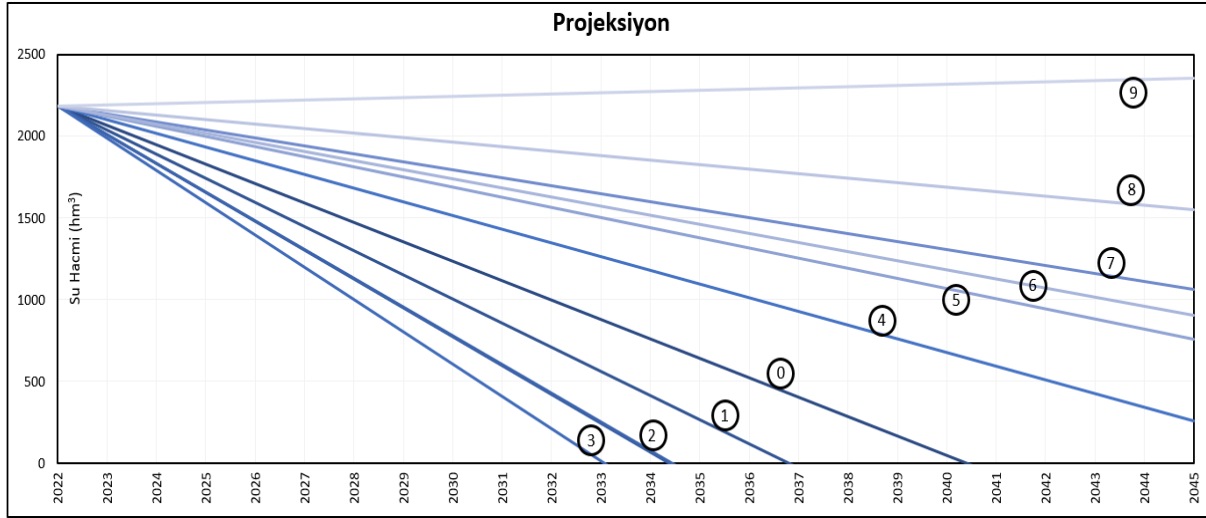
Bu çalışma, Eğirdir Gölü'nün su bütçesini analiz etmek ve gelecekteki su hacmindeki değişimleri farklı senaryolar altında değerlendirmek amacıyla ve kısa/orta vadeli çözüm önerileri sunmak amacıyla yürütülmüştür. Göl su hacmi verileri, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'nden (DSİ) elde edilmiştir. Farklı iklim ve kullanım senaryoları oluşturularak, göl su hacmindeki değişimler projeksiyon yöntemiyle tahmin edilmiştir. Senaryolar, iklim değişikliği öngörülleri ve insan kaynaklı su kullanımındaki olası değişimler temel alınarak geliştirilmiştir. Gölün karşı karşıya olduğu sorunlar ve projeksiyon sonuçları dikkate alınarak, kısa ve orta vadeli çözüm önerileri belirlenmiştir. Önerilerin uygulanabilirliği, çevresel etkileri ve sürdürülebilirlik kriterleri göz önünde bulundurulmuştur. Göl için su bütçesi çalışmaları gerçekleştirilirken, verileri güvenilir olan 2022 su yılı baz alınmıştır. 2022 su yılı için gözlenen göl su seviyesine bağlı hacim değeri ile başlanan bütçe çalışmasında elde edilen sonuçlar, seviye-hacim gözleminde elde edilen bulgular ile oldukça yakın sonuç vermektedir.

3. EĞİRDİR GÖLÜ İÇİN SU BÜTÇESİ PROJEKSİYONU

Eğirdir Gölü için yapılan su hacmi projeksiyon çalışması, farklı senaryolar altında gölün gelecekteki su hacmini tahmin etmeye yönelik olarak hazırlanmış ve sonuçlar Şekil 1'de sunulmuştur. Görüldüğü üzere, mevcut su yönetim politikalarının değişmeden sürdürülmesi halinde göl su hacminde istikrarlı bir azalma meydana gelmektedir.

Özellikle Senaryo 1, 2 ve 3 gibi buharlaşma dışı çıkışların arttığı ve yağışların azaldığı olumsuz koşulları temsil eden senaryolarda, gölün 2040 yılına ulaşmadan tamamen kuruduğu öngörülmektedir. Bu senaryolar, hem iklimsel değişkenliklerin hem de insan kaynaklı su tüketiminin etkisinin birlikte değerlendirildiği durumları yansıtmaktadır. Gölün tamamen kuruması, yalnızca hidrolojik bir sorun değil; aynı zamanda tarımsal sulama, içme suyu temini, balıkçılık ve turizm gibi sektörler için de büyük bir tehdit anlamına gelmektedir.

Projeksiyon sonuçları, göl ekosisteminin mevcut kullanım baskılarına karşı oldukça hassas olduğunu ortaya koymakta ve bu nedenle su bütçesi üzerinde etkili olan tüm parametrelerin bütüncül bir yaklaşımla yönetilmesi gerektiğini göstermektedir. Su bütçesi üzerindeki baskılar azaltılmadığı takdirde, Eğirdir Gölü geri dönüşü olmayan hidrolojik ve ekolojik kayıplarla karşı karşıya kalabilir.



Şekil 1. Eğirdir Gölü için Su Bütçesi Projeksiyonu 0. 2022 su yılındaki bütçenin değişmeden sürmesi 1. Buharlaşma dışı çıkanların %5 artışı ve yağışların %5 azalışı 2. Buharlaşma dışı çıkanların %10 artışı ve yağışların %10 azalışı 3. Tüm çıkanların %5 artışı ve yağışların %5 azalışı 4. Buharlaşma dışı çıkanların %25 azaltılması 5. Buharlaşma dışı çıkanların %25 azaltılması ve yağışın %5 artması 6. Buharlaşma dışı çıkanların %25 azaltılması ve buharlaşmanın %5 azaltılması 7. Buharlaşma dışı çıkanların %50 azaltılması 8. Buharlaşma dışı çıkanların %25 azaltılması ve buharlaşmanın %10 azaltılması 9. Buharlaşma dışı çıkanların %50 azaltılması ve buharlaşmanın %10 azaltılması

4. KISA/ORTA VADELİ ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Eğirdir Gölünü besleyen yüzeysel ve yeraltı kaynaklarının önemli bir bölümü Hoyran Gölünde olduğundan, su seviyelerindeki azalmanın sürmesi ile Kemer Boğazından gölün fiziksel olarak ikiye ayrılması, güneyde kalan Eğirdir Gölündeki çekilmenin çok daha hızlı bir şekilde gerçekleşmesine yol açacaktır. Bunun önüne geçilmesi için Kemer Boğazında dip çamuru taraması (beraberinde su altı bitkilerinin de temizlenmesi) yapılarak su derinliğinin artırılması ve boğazın kapanmaması gerekmektedir. Kemer Boğazında 910 m kotuna ulaşılacak şekilde tarama faaliyetleri gerçekleştirilmelidir. Taramadan çıkacak malzemenin nasıl bertaraf edileceği ayrıca bilimsel çalışmalar ile belirlenmesi gereken bir konudur.

Gölde yaşanan seviye azalması üzerinde etkin parametrelerin başında buharlaşma gelmektedir. Göl yüzey alanı oldukça büyük olduğundan özellikle son yıllarda artan sıcaklık etkisiyle birlikte buharlaşma kayıpları yaz aylarında günde 1 cm değerlerine ulaşmakta ve hatta aşmaktadır. Bu durumun belirli oranda engellenmesi ve ayrıca bölgede temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarına katkı amaçlı yüzer GES (güneş enerjisi sistemleri) düşünülebilir. Bu sistemlerin göl üzerinde kurulacak deniz üstü rüzgar türbinleri ile entegre bir şekilde çalışması durumunda hem yaz hem kış aylarında bölgede yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanılacaktır. Yaz aylarında su girdisinin düşük olduğu ve sudaki çözünmüş oksijenin azaldığı dönemlerde, hasat edilecek temiz enerji kullanılarak göldeki oksijen ihtiyacının karşılanmasına yönelik farklı uygulamalar gerçekleştirilecektir.

Eğirdir Gölü ile ilgili bütüncül bir Hidrodinamik Modelin olmadığı literatür çalışmalarından anlaşılmaktadır. Mevcut çalışmalar da daha çok su kalitesi üzerine yoğunlaşmıştır. Eğirdir Gölünde gerçekleştirilecek bütüncül bir Hidrodinamik Model ve entegre çalışacak sediment taşınımı ve kirlilik dağılımı modelleri yardımıyla, gölde gerçekleştirilecek herhangi bir yapısal yada yapısal olmayan uygulamanın hem su hareketine, hem taban morfolojisine hem de kirlilik dağılımına etkileri rahatlıkla belirlenebilecektir. Böylece karar vericiler için sürecin hızlı ve yüksek doğrulukla yönetilebilmesi sağlanacaktır.

Eğirdir Gölünde gerçekleştirilecek Hidrodinamik Modele ve diğer tüm modelleme çalışmalarına altlık teşkil etmek üzere Eğirdir Gölü İzleme ve Ölçüm Sisteminin kurulması gerekmektedir. Gölde iki noktada şamandıra sistemi ile düzenli ve sürekli bir yapıda akıntı ölçümleri, CTD (iletkenlik-sıcaklık-yoğunluk) ölçümleri ve çözünmüş oksijen ile klorofil-a ölçümleri gerçekleştirilmelidir. Veriler sürekli olarak değerlendirilerek gerçek zamanlı çözüm uygulamaları hayata geçirilmelidir. Sürekli ölçümlerin yanı sıra su kalitesinin izlenmesine yönelik gerekli parametrelerin analizlerinin de sistematik bir şekilde gerçekleştirilmesi önerilmektedir.

Eğirdir Gölü havzasında yer alan 30'ya yakın su depolama tesisinin ve gölün mansabında Kovada kanalı ve devamında Aksu Çayı ile ulaşılan Hidroelektrik Santrallerinin işletmelerinin, göl su bütçesi ve kritik eşik değerler gözetilerek gerçekleştirilmesi ve sürdürülebilir bir Eğirdir Gölü Havza İşletme Modelinin hazırlanarak hayata geçirilmesi gerekmektedir. Bununla birlikte göl havzasındaki sulama sistemlerinin modernize edilerek kayıp-kaçak oranının en aza indirilmesi, göl havzasındaki ürün desenin bitki su ihtiyacının göz önüne alınarak planlanması ve ayrıca göl havzasındaki ruhsatsız kuyuların ve gölden kaçak su çekimlerinin önlenmesi büyük önem taşımaktadır.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Eğirdir Gölü, Türkiye'nin önemli tatlı su kaynaklarından biri olmasına rağmen, son yıllarda kuraklık, iklim değişikliği ve insan kaynaklı su kullanımı gibi çeşitli baskılar nedeniyle ciddi bir su seviyesi düşüşü yaşamaktadır. Yapılan projeksiyonlar, mevcut su yönetim politikalarının sürdürülmesi halinde gölün gelecekteki su hacminde önemli azalmalar öngörmektedir. Özellikle olumsuz senaryolarda, gölün 2040 yılına ulaşmadan tamamen kuruma riski bulunmaktadır. Bu durumun önüne geçmek için, Eğirdir Gölü'nün su bütçesi üzerindeki baskıların azaltılması ve sürdürülebilir yönetim stratejilerinin uygulanması gerekmektedir. Bu kapsamda, Kemer Boğazı'nda dip çamuru taraması yapılması, buharlaşma kayıplarını azaltacak yüzer GES gibi yenilikçi çözümlerin değerlendirilmesi ve bütüncül bir hidrodinamik modelleme ile gölün daha iyi anlaşılması önerilmektedir. Ayrıca, göl havzasındaki su depolama tesislerinin ve sulama sistemlerinin etkin yönetimi, ruhsatsız su kullanımlarının önlenmesi ve sürekli bir izleme sisteminin kurulması da büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma, Eğirdir Gölü'nün karşı karşıya olduğu hidrolojik sorunlara dikkat çekmekte ve gölün sürdürülebilirliği için acil ve orta vadeli çözüm önerileri sunmaktadır. Elde edilen bulgular, gölün korunması ve gelecek nesillere aktarılması için bütüncül ve bilimsel temelli bir yaklaşımın gerekliliğini vurgulamaktadır.

6. TEŞEKKÜR

Yazarlar, çalışmayı FBG-2022-2733 nolu ve "Küresel İklim Değişikliği, Kuraklık ve Kirlilik Tehdidi Altındaki Eğirdir Gölü için Yüzey ve Yeraltısu Kaynaklarının Birbirleri ile Etkileşiminin Belirlenmesi ve Bütüncül bir Yaklaşımla Sürdürülebilir bir Göl Havza Planının Oluşturulması" başlıklı GÜDÜMLÜ Projesi ile desteklediği için Dokuz Eylül Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Birimi'ne teşekkür eder.

7. KAYNAKLAR

- Aktaş, S., Kalyoncuoğlu, Ü. Y., & Kılıç, N. C. A. (2018). Eğirdir Göl Havzasının De Martonne Yöntemi ile Kuraklık Analizi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6(2), 229-238.
- DSİ (2024). Eğirdir Gölü Özel Hükümleri Raporu (Güncellenmiş). Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Kale, M. M., & Erişmiş, M. (2024). Eğirdir Gölü alansal değişiminin uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla analizi. *International Journal of Geography and Geography Education*, (52), 122-140.
- Keskin, M. E., Aksoy, Y. R., Aksoy, A. S., & Yılmazkoç, B. (2017). Göl seviye tahmini: Eğirdir gölü. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 5(3), 601-608.

Malatya Metamorfikleri'nden Beslenen Karstik Kaynakların Hidrojeoloji İncelemesi

Hydrogeological Investigation of Karstic Springs Fed from Malatya Metamorphics

Safa ÇELİK¹, Özlem ÖZTEKİN OKAN^{2*}

¹Malatya Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü (MASKİ), 44900, Malatya

²Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 23119, Elazığ

(*ooztekin@firat.edu.tr)

ÖZET: Çalışma kapsamında Devoniyen-Jura yaşlı Malatya Metamorfikleri'ne ait rekristalize kireçtaşlarından beslenen kaynakların düzenli debi ölçümleri yapılarak boşalım katsayıları hesaplanıp yorumlanmıştır. Çalışma sahasında, 4 çeşme ve 2 kaynak suyunda Aralık (2021) – Aralık (2022) tarihleri arasında ayda iki kez olmak üzere debi, pH, elektriksel iletkenlik ve sıcaklıklar ölçülmüştür. İncelenen suların pH değerleri 7.87-8.76, sıcaklık değerleri 7.8-19.4 °C, elektriksel iletkenlik değerleri ise 204.3-526.00 µS/cm arasındadır. Kaynakların yıllık ortalama debi değerleri 0.37 Lt/sn ile 153.52 Lt/sn, boşalım katsayıları ise 0.008 gün⁻¹ ile 0.038 gün⁻¹ arasındadır. Hesaplanan boşalım katsayılarına göre kaynaklar, önce karstik erime kanallarında türbülans akımla, sonra ince çatlak ve gözeneklerde laminar akımla hareket etmektedir. Yağışlı dönemde düşük EC değerleri, yağışların etkisiyle yeraltısularında meydana gelen seyrelmenin, kurak dönemde yüksek EC değerleri ise artan su-kayaç etkileşiminin sonucudur. İncelenen kaynakların elektriksel iletkenlik ve sıcaklık verileri arasında doğru orantı gözlemlenirken, bu iki parametrenin debi ile ters orantılı olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Karstik Kaynak, Boşalım Katsayısı, Hidrojeoloji, Malatya, Yeraltı Suları

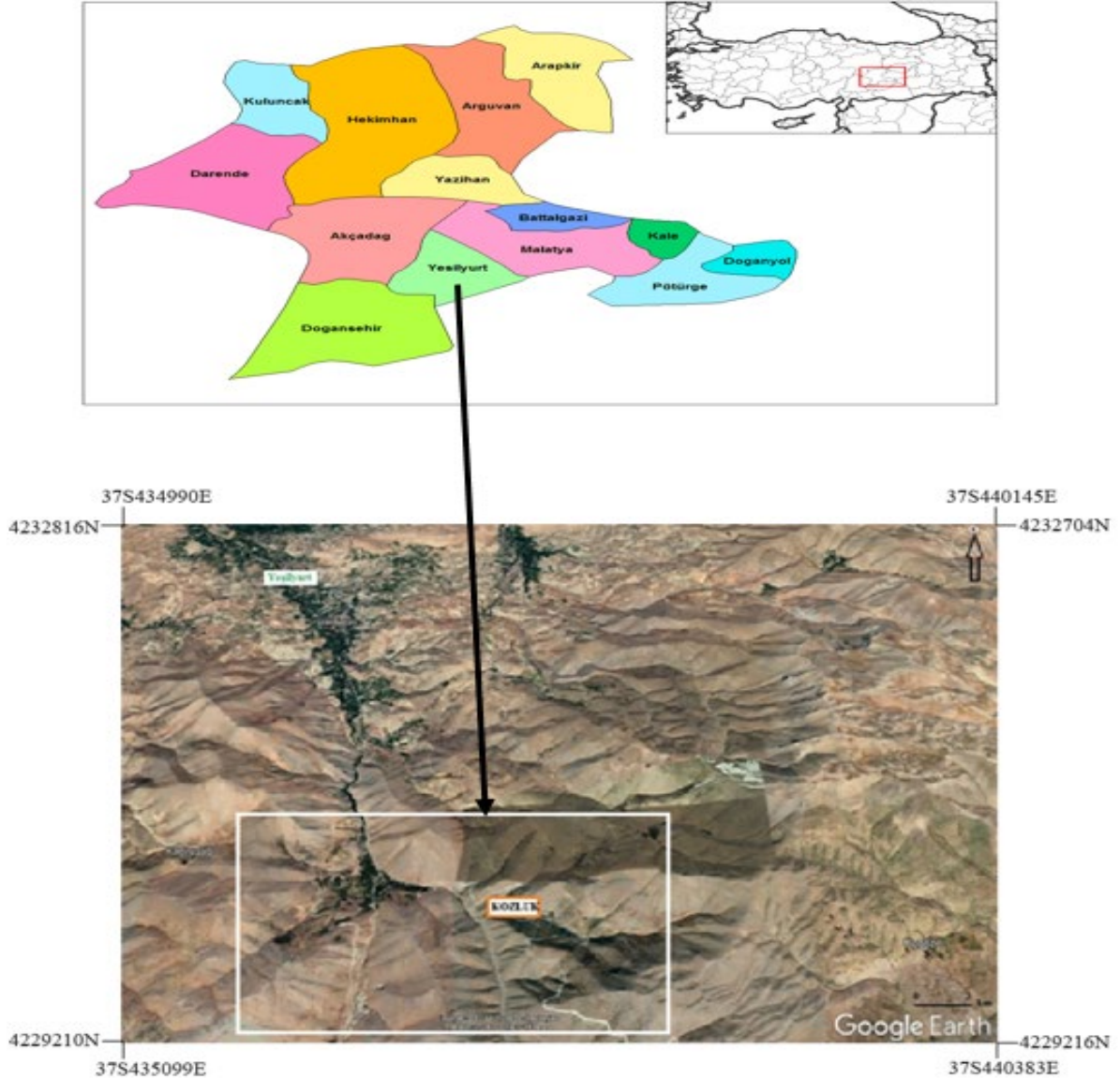
ABSTRACT: The discharge coefficients of the karstic springs fed from recrystallized limestones of Devonian-Jurassic aged Malatya Metamorphics were calculated and evaluated due to the periodically measured discharge rates of the springs. The flow rates, pH, electrical conductivity and temperatures of 6 water points, 4 fountains and 2 spring waters, were measured twice a month for a period of one year between December (2021) and December (2022). The pH, temperature, and electrical conductivity values of the springs were varied between 7.87 and 8.76, between 7.8 and 19.4 °C, and between 204.3 and 526.00 µS/cm, respectively. The annual average discharge rates of the springs are between 0.37 Lt/s and 153.52 Lt/s, and the calculated discharge coefficients are between 0.008 day⁻¹ and 0.038 day⁻¹. In the real regime period of the springs, it was determined that the springs first showed turbulent flow in large karstic channels and then laminar flow through thin cracks and pores in limestone aquifer. Lower EC values in the rainy period are the result of the dilution in groundwater due to the effect of precipitation and higher EC values in the dry period are the result of the increased water-rock interaction. A linear relationship was determined between electrical conductivity and temperature whereas these two parameters are inversely proportional to the flow rates of the investigated springs.

Keywords: Karstic Spring, Discharge Coefficient, Hydrogeology, Malatya, Groundwater

1. GİRİŞ

Yaşamın devamı için oldukça önemli olan tatlı su kaynakları, hızla artan dünya nüfusu karşısında kontrolsüz tüketilmekte ve kirlenmektedir. Küresel ölçekte meydana gelen iklim değişikliği, doğal ve yapay nedenlerle yeraltısularının kirlenmesi, su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı ve yönetiminin önemini giderek artırmaktadır (Ekmekçi, 2016; Sargın, 2020). Yerleşim bölgelerinin içme suyu ihtiyacını karşılamak için kullanılan önemli kaynaklardan biri karstik akiferlerden alınan yeraltısularıdır. Karstik kaynaklar, dünya nüfusunun yaklaşık %25'inin içme suyu ihtiyacını karşılamaktadır (Ford vd., 2007).

Karst akiferlerin su sağlama potansiyelini çoğunlukla bölgesel yağış miktarı ve kireçtaşı formasyonunun yapısı belirlemektedir (Şimşek vd., 2008). Karstik alanlarda yüzey ve yeraltı suyu arasındaki etkileşim çok güçlüdür ve yüzeysel kirleticilerden etkilenme riskleri de oldukça yüksektir (Bonacci, 1987; Davraz vd., 2021). Çalışma alanı, Malatya ili Yeşilyurt ilçesi sınırları içerisinde Malatya şehir merkezine yaklaşık olarak 20 km uzaklıkta bulunmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanı ve yer bulduru haritası

Çalışmanın amacı, Malatya Metamorfitleri'nden beslenen kaynakların düzenli debi ölçümleri ile gerçek rejim dönemlerinin belirlenmesi, boşalım katsayılarının hesaplanması, yorumlanması ve suların pH, sıcaklık (C), elektriksel iletkenlik (EC) parametrelerinin karşılaştırılarak değerlendirilmesidir.

1.1. Materyal ve Metot

Çalışma kapsamında incelenen kaynakların koordinatları GPS yardımıyla belirlenmiştir (Çizelge 1). Çalışma kapsamında, K-3 ve K-4 kaynak sularının debileri dikdörtgen savaklar yardımıyla, çeşme sularının debileri ise belirli hacim yöntemiyle ölçülmüştür. Kaynak ve çeşme sularının sıcaklık (T), pH ve elektriksel iletkenlik (EC) değerleri arazide YSI 63 marka çoklu parametre ölçüm cihazı ile belirlenmiştir.

Çizelge 1. İncelenen kaynakların lokasyonları

Örnek No	Lokasyon Bilgileri	Rakım (m)
K-1	439877 E	1617
	4231407 N	
K-2	439826 E	1621
	4231404 N	
K-3	439561 E	1467
	4231240 N	
K-4	439582 E	1460
	4231180 N	
K-5	438228 E	1340
	4232034 N	
K-6	437565 E	1269
	4232002 N	

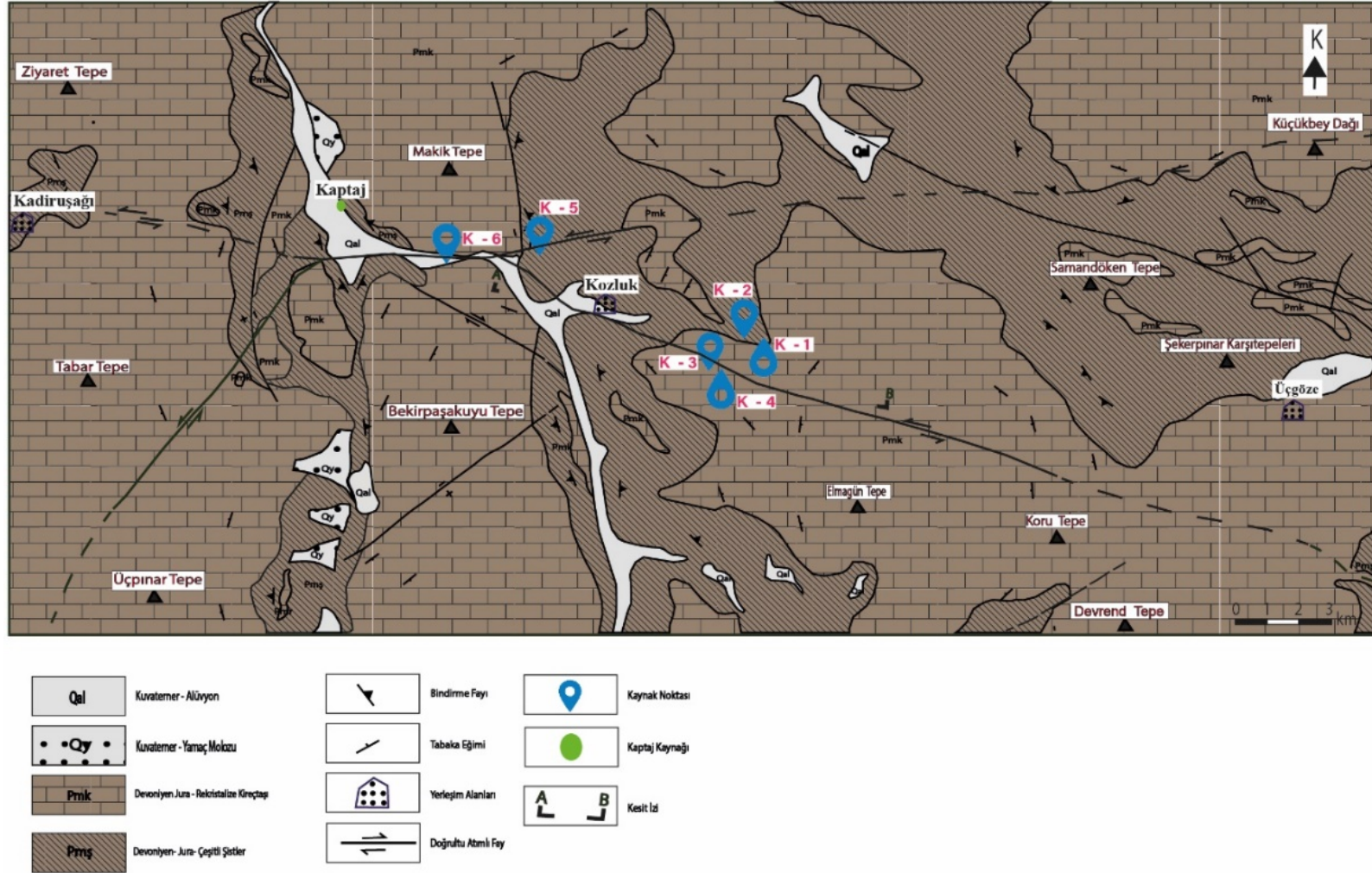
2. BULGULAR ve TARTIŞMA

2.1. Jeoloji ve Hidrojeoloji

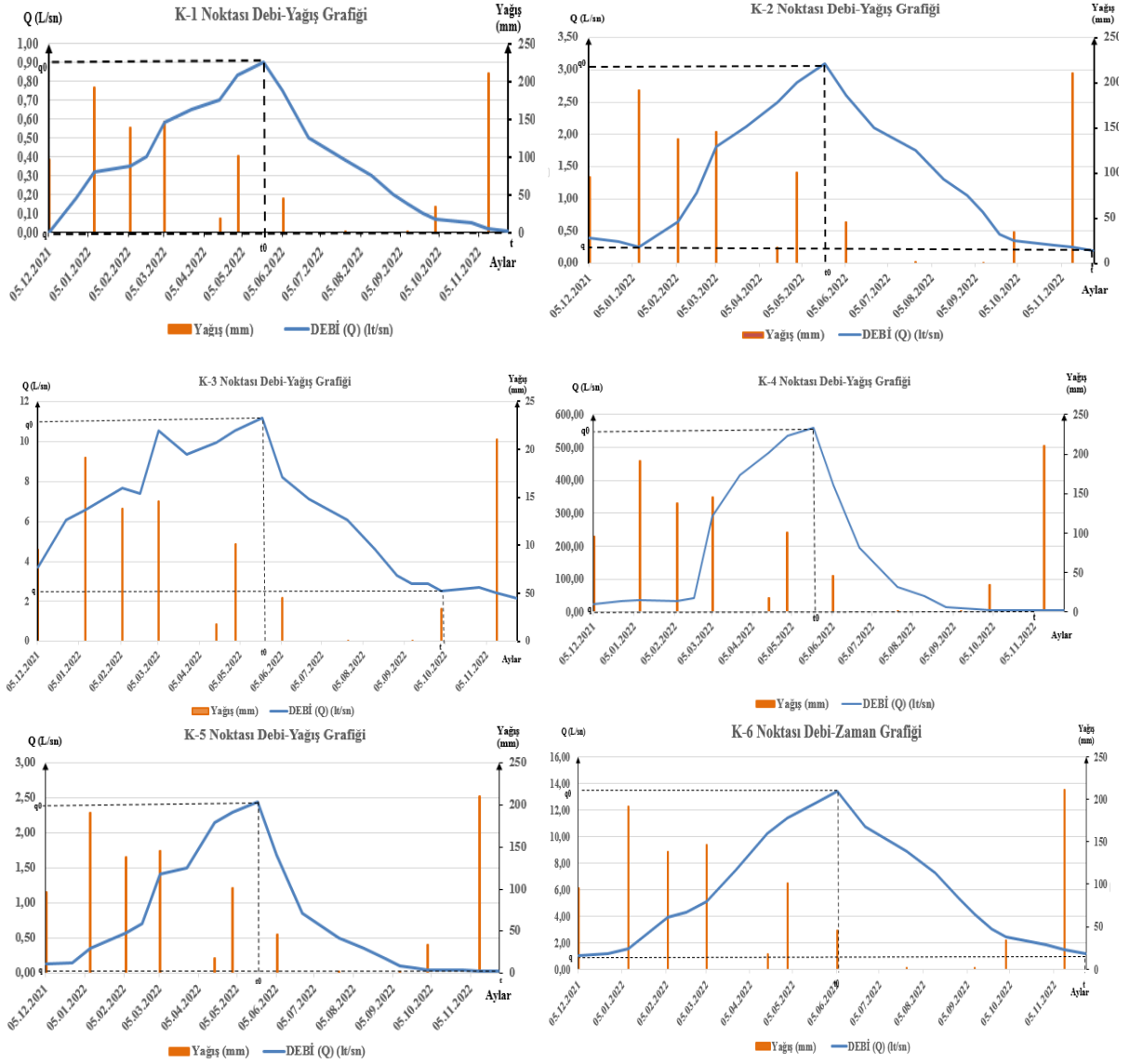
Çalışma alanı Güneydoğu Anadolu kenar kıvrımları ile Toros orojenik kuşağının bir araya geldiği kesimde yer almakta olup, Devoniyen-Jura yaşlı Malatya Metamorfikleri geniş alanlarda yüzeylemektedir (Gözübol vd, 1986; Kaya, 2016).

Devoniyen-Jura yaşlı Malatya Metamorfikleri, genellikle şist, rekristalize kireçtaşı, kalkışist ve dolomit içeren mermer jeolojisinde geniş bir alanda yüzeylemektedir (Şekil 2). Malatya Metamorfikleri'ne ait rekristalize kireçtaşları bölgede etkin olan tektonizmadan dolayı oldukça kırıklı ve çatlaklıdır (Önal, 1993). Çalışma kapsamında incelenen kaynak sularının akiferi kırıklı ve çatlaklı rekristalize kireçtaşları olup, şistler ise geçirimsiz temel birimleridir.

İncelenen çeşme ve kaynak sularının 12 ay boyunca ölçülen debi verilerinden yararlanarak gerçek rejim dönemleri belirlenerek boşalım katsayıları (α) hesaplanmıştır. Kaynakların yıllık ortalama debi değerleri 0.37 L/s ile 153.52 L/s arasındadır. Kaynakların gerçek rejim dönemlerini belirlemek için çizilen debi-yağış-zaman grafikleri Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 2. Çalışma alanının jeoloji haritası (Akbaş, vd., 2011'den değiştirilerek alınmıştır)



Şekil 3. Kaynak noktalarına ait debi – yağış grafikleri

İncelenen kaynakların hesaplanan boşalım katsayıları 0.008 ile 0.038 gün⁻¹ arasındadır (Çizelge 2). Gerçek rejimde boşalım analizlerinde kaynakların önce karstik erime kanallarında debinin yüksek olduğu dönemlerde türbülans akım, daha sonra ise ince çatlak ve gözeneklerden laminar akım gösterdikleri belirlenmiştir (Deneri, 2020). Kaynak ve çeşme sularının, yağışların etkisine bağlı olarak debi değerlerinin yağışlı dönemde arttığı gözlenmiştir.

Çizelge 2. İncelenen kaynakların hesaplanan boşalım katsayıları

Kaynak Noktası	Zaman Aralığı (Gün)	Boşalım Katsayısı (α) (gün ⁻¹)
K-1 Kaynağı	21.05.2022 - 24.07.2022 (65 Gün) (α -1)	$\alpha_1 : 0,013$
	24.07.2022 – 22.09.2022 (61 gün) (α -2)	$\alpha_2 : 0,021$
	22.09.2022 – 27.11.2022 (67 gün) (α -3)	$\alpha_3 : 0,034$
K-2 Kaynağı	21.05.2022 – 22.09.2022 (125 gün) (α -1)	$\alpha_1 : 0,015$
	22.09.2022 – 27.11.2022 (67 gün) (α -2)	$\alpha_2 : 0,012$
K-3 Kaynağı	21.05.2022 – 30.08.2022 (102 gün) (α -1)	$\alpha_1 : 0,012$

	30.08.2022 – 02.10.2022 (34 gün) (α -2)	$\alpha_2 : 0,008$
K-4 Kaynağı	21.05.2022 - 24.07.2022 (65 Gün) (α -1)	$\alpha_1 : 0,030$
	24.07.2022 - 10.09.2022 (49 gün) (α -2)	$\alpha_2 : 0,038$
	10.09.2022 – 12.11.2022 (64 gün) (α -3)	$\alpha_3 : 0,013$
K-5 Kaynağı	21.05.2022 - 24.07.2022 (65 Gün) (α -1)	$\alpha_1 : 0,024$
	24.07.2022 - 10.09.2022 (49 gün) (α -2)	$\alpha_2 : 0,032$
	10.09.2022 – 27.11.2022 (79 gün) (α -3)	$\alpha_3 : 0,015$
K-6 Kaynağı	05.06.2022 – 10.09.2022 (98 Gün) (α -1)	$\alpha_1 : 0,011$
	10.09.2022 - 27.11.2022 (79 gün) (α -2)	$\alpha_2 : 0,015$

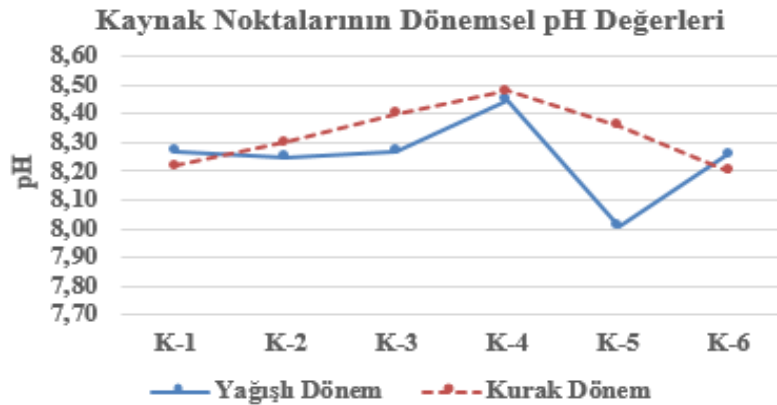
Kaynak ve çeşmelerin gerçek rejimdeki akım aralıkları incelendiğinde, debilerinde değişim gözlenmiştir. K-2 ve K-4 kaynakları başlangıçta karstik erime kanallarında türbülans akım gösterirken, daha sonraki dönemlerde ise kaynak sularında azalmaya bağlı olarak ince çatlak ve gözeneklerden laminar akıma geçtiği gözlenmiştir (Çelik, 2022). K-1 ve K-6 çeşmelerinde ise başlangıçta laminar akım gözlenirken, debi artışlarına bağlı olarak zaman içerisinde türbülans akıma geçtiği gözlenmiştir.

2.2. Hidrojeokimya

Kaynak ve çeşme sularının pH değerleri genel olarak yağışlı dönemde daha düşük iken kurak dönemde daha yüksektir (Şekil 4). Yağışlı dönemde ölçülen daha düşük pH değerinin, akiferi besleyen yağış sularının pH'nın düşük olması ya da suyun dolaşım ortamında artan CO₂ ile ilişkili olduğu düşünülmektedir (Öztekin Okan vd., 2021).

Çizelge 3. İncelenen suların dönemsel pH değerleri

Örnek No	K-1	K-2	K-3	K-4	K-5	K-6
Yağışlı Dönem	8,27	8,25	8,27	8,45	8,01	8,26
Kurak Dönem	8,22	8,30	8,40	8,48	8,36	8,20

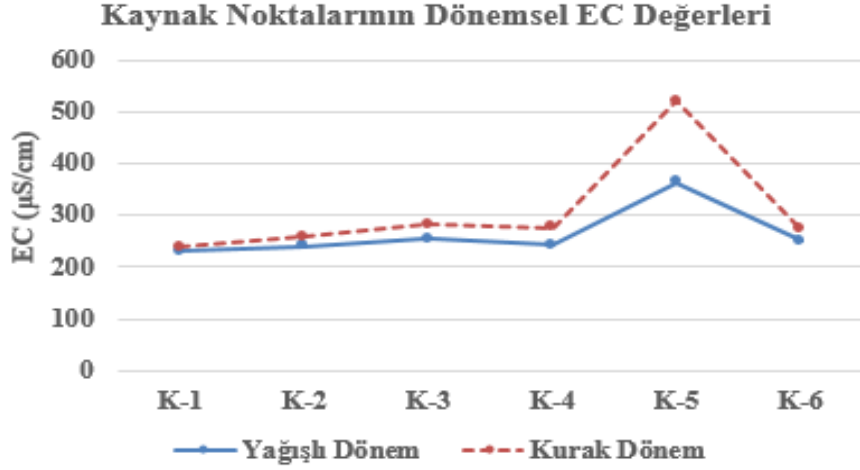


Şekil 4. Çalışma alanındaki suların pH değerlerinin yağışlı ve kurak dönemlere göre değişimi

Arazi çalışmaları sırasında yerinde ölçümlenen EC değerlerinde dönemsel olarak belirgin bir farklılık bulunmamakla birlikte genel olarak kurak dönemde daha yüksektir (Çizelge 4). Yağışlı dönemde daha düşük elektriksel iletkenlik (EC) değerleri yağışların etkisiyle yeraltısularında meydana gelen seyrelmenin, yağışların beslenme üzerindeki etkisinin azaldığı kurak dönemde ise daha yüksek EC değerleri bu dönem artan su-kayaç etkileşimin sonucudur (Öztekin Okan vd., 2021; Bonacci vd., 2023; Şekil 5).

Çizelge 4. İncelenen suların dönemsel EC değerleri

Örnek No	K-1	K-2	K-3	K-4	K-5	K-6
Yağışlı Dönem	229,9	240,1	255,2	242,3	363,3	250,7
Kurak Dönem	238,2	257,9	282,2	277,2	521,2	272,2

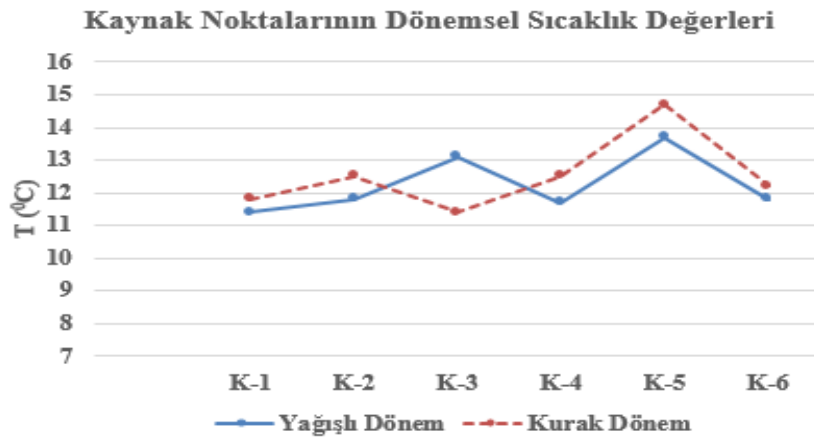


Şekil 5. Çalışma alanındaki suların EC değerlerinin yağışlı ve kurak dönemlere göre değişimleri

Suların sıcaklık değişimleri mevsimsel olarak değerlendirildiğinde, genel olarak sıcaklıkların kurak dönemde arttığı görülmüştür (Şekil 6; Çizelge 5). Sıcaklıkların kurak dönemde daha yüksek olması incelenen suların yağışlardan etkilenmediğini gösterir. Suların sıcaklık (T °C) değerleri ile elektriksel iletkenlikleri (EC) arasındaki ilişkinin doğru orantılıdır (Bonacci, 2023).

Çizelge 5. İncelenen suların dönemsel sıcaklık değerleri

Örnek No	K-1	K-2	K-3	K-4	K-5	K-6
Yağışlı Dönem	11,4	11,8	13,1	11,7	13,7	11,8
Kurak Dönem	11,8	12,5	11,4	12,5	14,7	12,2



Şekil 6. Çalışma alanındaki suların (T) değerlerinin yağışlı ve kurak dönemlere göre değişimleri

3. SONUÇLAR

Çalışma alanında incelenen kaynak sularının akifer birimi Devoniyen-Jura yaşlı Malatya Metamorfikleri'ne ait rekristalize kireçtaşlarıdır. Rekristalize kireçtaşları, bölgedeki aktif tektonizma etkisiyle gerek karstlaşma gerekse kırık ve çatlaklar vasıtasıyla ikincil geçirimsilik ve gözeneklilik kazanmıştır. Malatya Metamorfikleri'nden beslenen kaynaklar ve çeşme sularının düzenli debi ölçümleri ile gerçek rejim dönemlerinin belirlenmesi, boşalım katsayılarının hesaplanması, yorumlanması ve suların pH, sıcaklık (C), elektriksel iletkenlik (EC) gibi parametrelerinin karşılaştırılarak değerlendirilmesi sağlanmıştır. Bu karstik kaynakların oluşumlarında bölgede etkin sol yönlü doğrultu atımlı faylar oldukça önemlidir. Kaynakların gerçek rejimde boşalım analizlerinde kaynakların önce karstik erime kanallarında türbülans akım, daha sonra ise ince çatlak ve gözeneklerden laminar akım gösterdikleri belirlenmiştir.

Kaynak ve çeşme sularının pH değerleri genel olarak yağışlı dönemde daha düşük iken kurak dönemde daha yüksektir. Yağışlı dönemde ölçülen daha düşük pH değerinin, akiferi besleyen yağış sularının pH'nın düşük olması yada suyun dolaşım ortamında artan CO₂ ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Yağışlı dönemde düşük EC değerleri, yağışların etkisiyle yeraltısularında meydana gelen seyrelmenin, kurak dönemde yüksek EC değerleri ise artan su-kayaç etkileşiminin sonucudur. İncelenen kaynakların elektriksel iletkenlik ve sıcaklık (T) verileri arasında doğru orantı gözlemlenirken, bu iki parametrenin debi ile ters orantılı olduğu belirlenmiştir.

4. KAYNAKLAR

- Akbaş, vd., 2011. 1:1.250.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara.
- Bonacci, O., 1987. Karst hydrology with special references to the Dinaric karst. Springer Verlag, Berlin, 184 pp.
- Bonacci, O., (2023). Water temperature and electrical conductivity as an indicator of karst aquifer: the case of Jadro Spring (Croatia) Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature p. (18)
- Çelik, S., 2022. Kozluk Kaynağı'nın (Malatya) Hidrojeolojik İncelemesi, Yüksek Lisans Tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Enst., 80 s., Elazığ.
- Davraz, A., Batur, B., 2021. Hydrogeochemistry characteristics of groundwater and health risk assessment in Yalvaç-Gelendost basin (Turkey), Applied Water Science, 11:67.
- Deneri, H.A., 2020. Karstik Kaynakların Ani Boşalım Ölçümleri ile Kaynak Sularının Değerlendirilmesi; Susuz Kaynakları, Seydişehir (Konya), Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, sy. 90.
- Ekmekeçi, M. 2016. Malatya-Pınarbaşı Hidrojeolojik Sisteminin Sürdürülebilir Kullanım ve Kentsel Su Yönetimi Açısından Değerlendirilmesi, Uluslararası Kentsel Su ve Atıksu Yönetimi (UKSAY), 26-28 Ekim 2016, Malatya.
- Ford, D.C., Williams, P., 2007. Karst Hydrogeology and Geomorphology. John Wiley, Chichester, 562.
- Gözübol, A. M., Önal, M., 1986. Çat Barajı İsale Tünelinin Mühendislik Jeolojisi ve Kaya Mekaniği İncelemesi ve Malatya-Çelikhan Alanının Jeolojisi, Tübitak TBAG-647 Projesi, Ankara
- Kaya, A., 2016. Tectono-stratigraphic reconstruction of the Keban metamorphites based on new fossil findings, Eastern Turkey, Journal of African Earth Sciences, C.124, 245-257.
- Önal, A., 1993. Derme Karst Kaynağı ve Geliştirilmesi, Jeoloji Mühendisliği, s.42, 64-73
- Öztekin Ö. ve Canpolat, Ö., 2021. Ağın (Elazığ) Çevresinde Alt Miyosen Yaşlı Kırıntılı ve Karbonatlı Birimlerden Beslenen Yeraltı Sularının Hidrojeokimyasal Karakteristikleri. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Araştırma Makalesi (260-274).
- Sargın, A.H., 2020. Sürdürülebilir Yeraltı Suları Yönetimi İçin Yeraltı Suyu Kütlelerinin Etkileşen Sistemler Yaklaşımıyla İrdelenmesi: Örnek Bir Uygulama, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, sy, 209.
- Şimşek, C., Elçi, A., Gündüz, O., Erdogan, E., 2008. Hydrogeological and hydrogeochemical characterization of a karstic mountain region. Environ. Geol. 54:291–308 DOI 10.1007/s00254-007-0817-4.

Eğirdir Gölü Hidrodinamik Modellemesine Esas Sıcaklık ve İletkenlik Parametrelerinin Analizi

Analysis of Temperature and Conductivity Parameters for the Hydrodynamic Modeling of Eğirdir Lake

Yusuf YAŞIR^{1*}, Mustafa DOĞAN², Ayşegül ÖZGENÇ AKSOY²

¹ Fen Bilimleri Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi, DEÜ Merkez Yerleşkesi, 35390 Buca/İZMİR

²Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hidrolik Anabilim Dalı, DEÜ Merkez Yerleşkesi, 35390 Buca/İZMİR

(* yasir.yusuf@ogr.deu.edu.tr)

ÖZET: İklim değişikliğinin neden olduğu kuraklık tehdidi ve insan faaliyetleri, su kaynaklarının yok olma tehlikesiyle karşı karşıya kalmasına yol açmaktadır. Bu nedenle, önemli su kaynaklarından biri olan göller üzerine yapılan çalışmalar büyük önem taşımaktadır. Türkiye'nin ikinci büyük tatlı su gölü olan Eğirdir Gölü de bu tehlikeyle karşı karşıya olup, su seviyesinde belirgin bir azalma gözlemlenmektedir. Bu çalışmada, Eğirdir Gölü'nün hidrodinamik modellemesi ve su bütçesi çalışmalarına temel oluşturması amacıyla, gölün farklı derinliklerinde ve bölgelerinde sıcaklık ve iletkenlik parametresi dağılımı incelenmiştir. Çalışma kapsamında gölün farklı noktalarında, arazi ölçümleri (sıcaklık, iletkenlik, seki diski ve su derinliği) gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümler, gölün tamamını kapsayacak şekilde gerçekleştirilmiş, her bir ölçüm noktasında Diver ölçüm cihazı kullanılmış ve veriler "Diver Office" yazılımı ile bilgisayara aktarılmıştır. Çalışma sonucunda, göldeki iletkenlik değerlerinin 320 ila 450 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değiştiği ve sıcaklığın derinlikle birlikte azaldığı görülmüştür. Elde edilen sonuçlar göl genelinde sıcaklık değişimine bağlı kuvvetli bir tabakalaşmanın olmadığını göstermektedir. Bulguların Eğirdir Gölü için gerçekleştirilecek bütüncül bir hidrodinamik modelde kullanılabileceği düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Eğirdir gölü, sıcaklık, iletkenlik, tabakalaşma.

ABSTRACT: The threat of drought caused by climate change and human activities is leading to the potential disappearance of water resources. Therefore, studies on lakes, one of the important water sources, are of great significance. Lake Eğirdir, Turkey's second-largest freshwater lake, is also facing this threat, with a noticeable decrease in water levels. In this study, the distribution of temperature and conductivity parameters at different depths and regions of the lake was investigated to serve as a basis for the hydrodynamic modeling and water budget studies of Lake Eğirdir. As part of the research, in-situ measurements (temperature, conductivity, Secchi disk depth, and water depth) were conducted at various points across the lake. These measurements were carried out to cover the entire lake, using a diver measurement device at each measurement point, and the data were transferred to a computer using "Diver Office" software. As a result of the study, it was observed that conductivity values in the lake ranged 320 and 450 $\mu\text{S}/\text{cm}$, and temperature decreased with depth. The findings reveal that there is no strong stratification in the lake due to temperature variations. The results obtained from this study are expected to be useful in developing a comprehensive hydrodynamic model for Eğirdir Lake.

Keywords: Eğirdir lake, temperature, conductivity, stratification.

1. GİRİŞ

Eğirdir Gölü, iklim krizinin sebep olduğu kuraklık ve bilinçsiz uygulamalar nedeniyle yok olma tehlikesiyle karşı karşıyadır. Kaçıkoc (2013) çalışmasında, gölden dalgıç pompalar aracılığıyla kaçak su çekimlerinin olduğunu belirtmiştir. Fethi vd. (2015), Eğirdir Gölü'nün seviyesindeki değişimleri incelemek için uydu görüntüleri kullanan bir araştırma gerçekleştirmiş olup sonuçlar, 2003-2008 yılları arasında göl seviyesinde **istatistiksel olarak anlamlı bir azalma eğilimi** olduğunu göstermiştir. Aktaş vd. (2018) Eğirdir Gölü havzası üzerinde yaptıkları kuraklık analizi çalışmasında, Eğirdir Gölü etrafındaki tarım alanlarının kaçak veya legal su kullanımı, çevre illere içme suyu sağlanması ve

Karacaören Baraj Gölü'ne su aktarımı gibi gölden su çıkışlarına dikkat edilmesi gerektiğini ifade etmişlerdir. Işıldar ve Ercoşkun (2021), Göller Yöresinde bulunan 36 gölün 20'si son 30 yılda tamamen kurduğunu ve 16 gölün yüzey alanlarında ve su seviyelerinde ise kuraklık nedeniyle ciddi azalmalar görüldüğünü ifade etmişlerdir. Bu çalışmada, Eğirdir Gölü için bütüncül bir hidrodinamik model kurulması ve uzun dönem meteorolojik ve limnolojik veriler ile çalıştırılması için gerekli sıcaklık ve iletkenlik parametrelerinin üç boyutlu analizi gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada, Eğirdir Gölü'nde sıcaklık ve iletkenlik parametrelerinin su derinliği boyunca değişimini belirlemek amacıyla bir saha çalışması gerçekleştirilmiştir. Gölün tamamını kapsayacak şekilde gerçekleştirilen saha çalışması sonucunda, Eğirdir gölü hidrodinamik modellemesinde girdi verisi olarak kullanılacak sıcaklık ve iletkenlik parametreleri elde edilmiştir. Bu ölçümlerin yanı sıra, göl suyunun berraklığını belirlemek amacıyla seki diski ölçümleri de yapılmıştır.

2. YÖNTEM

Bu çalışmada, Eğirdir Gölü'nün hidrodinamik yapısını ve su bütçesi analizlerini desteklemek amacıyla, gölün çeşitli derinliklerinde ve bölgelerinde sıcaklık ve iletkenlik parametrelerinin mekânsal dağılımı incelenmiştir. Bu amaçla, gölün genel karakteristiğini yansıtacak şekilde belirlenen farklı noktalarda detaylı saha ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Her bir ölçüm noktasında, sıcaklık, su kolonu yüksekliği ve iletkenlik parametrelerini ölçmek üzere dalgıç adı verilen ölçüm cihazı kullanılmıştır. Dalgıç cihazı, su altında belirli derinliklerde ölçüm yapabilen ve verileri kaydedebilen bir sensördür. Cihaz çalıştırıldıktan sonra göl su seviyesinden tabana kadar kademeli olarak suya daldırılmış ve sonrasında USB okuma ünitesi kullanılarak veriler bilgisayara aktarılmıştır. Şekil 1'de dalgıç cihazı ve USB okuma ünitesi gösterilmektedir.

Ölçüm noktalarında dalgıç cihazı ile yapılan ölçümler kaydedilmiş ve veriler "Diver Office" yazılımı aracılığıyla bilgisayara aktarılmıştır. Bu yazılım, dalgıç cihazından elde edilen verilerin analizi, düzenlenmesi ve görselleştirilmesi için kullanılmaktadır. Elde edilen veriler, sıcaklık ve iletkenlik parametrelerinin göldeki dağılımını analiz etmek için kullanılmıştır. Veri analizinde, Eğirdir Gölü genelinde sıcaklık ve iletkenlik parametrelerinin nasıl bir dağılım gösterdiği incelenmiştir.



Şekil 1. Dalgıç ve USB okuma ünitesi

3. SONUÇ VE TARTIŞMA

Eğirdir Gölü saha ziyareti, DEÜ-BAP kapsamında 2 Temmuz 2024 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Bu ziyaret kapsamında göl üzerinde hidrodinamik modelleme aşamasında girdi verisi olarak kullanılmak üzere sıcaklık, iletkenlik, seki diski ve su derinliği ölçümleri, Eğirdir Gölü'nün tamamını (Hoyran bölgesi de dahil) kapsayacak şekilde 29 farklı noktada gerçekleştirilmiştir. Ölçüm noktalarından 4 tanesi Hoyran bölgesine aittir. Su kolonu yüksekliği ve sıcaklık parametrelerine ait ölçümler, dalgıç cihazıyla, seki diski derinliği ve su derinliği ise iskandil yardımıyla ölçülmüştür. Çizelge 1'de ölçüm noktalarına ait koordinat, seki diski ve su derinliği değerleri verilmiştir. Şekil 2'de ölçüm yapılan noktaların konumları gösterilmektedir. Seki diski ölçüm değerlerinin ölçüm yapılan noktalarda 1 ila 5 metre

aralığında değiştiği gözlenmekte olup suyun orta derece bulanık olduğu ve orta seviyede besin maddesi içerdiği söylenebilir. Ayrıca bu ölçümler, tatlı su göllerinde beklenen değerlerin arasındadır.

Çizelge 1. Eğirdir Gölü Ölçüm Noktaları Koordinatları

Nokta	Koordinat	Seki Diski (m)	Su Derinliği (m)
1	37°51'59.7"N 30°51'24.2"E	-	4.00
2	37°51'25.7"N 30°52'19.9"E	-	5.50
3	37°51'42.8"N 30°52'49.2"E	-	5.70
4	37°52'27.4"N 30°53'18.4"E	-	6.10
5	37°52'57.2"N 30°53'02.9"E	-	6.00
6	37°53'03.3"N 30°52'27.8"E	-	5.70
7	37°52'43.1"N 30°51'01.4"E	-	4.00
8	37°52'55.0"N 30°50'30.8"E	-	6.40
9	37°53'01.6"N 30°51'04.6"E	-	6.20
10	37°53'24.3"N 30°53'22.2"E	1.30	6.20
11	37°53'44.8"N 30°52'15.1"E	1.80	6.80
12	37°54'09.3"N 30°50'54.5"E	3.10	7.00
13	37°54'32.4"N 30°49'43.9"E	1.40	6.40
14	37°55'22.4"N 30°49'25.9"E	2.00	6.90
15	37°55'14.7"N 30°50'43.8"E	5.00	7.50
16	37°55'09.1"N 30°52'08.6"E	2.70	7.90
17	37°54'59.2"N 30°53'26.6"E	2.40	7.90
18	37°56'29.5"N 30°54'06.4"E	2.40	7.70
19	37°57'10.7"N 30°52'35.9"E	2.80	8.40
20	37°57'56.5"N 30°51'03.4"E	2.60	8.00
21	37°58'42.9"N 30°49'47.0"E	5.40	8.50
22	37°58'41.7"N 30°51'30.6"E	3.30	8.05
23	37°58'29.5"N 30°53'29.1"E	4.40	8.10
24	37°58'56.5"N 30°55'30.8"E	4.20	6.50
25	38°06'08.2"N 30°50'55.7"E	1.60	2.20
26	38°07'57.5"N 30°49'47.2"E	2.10	4.10
27	38°09'39.7"N 30°49'31.1"E	3.70	4.40
28	38°10'34.8"N 30°48'35.1"E	4.40	4.90
29	38°09'41.8"N 30°47'28.5"E	3.20	3.60

Ölçüm noktalarından 3 tanesine ait su derinliği, sıcaklık ve iletkenlik değerleri Çizelge 2'de sunulmuştur. Görülebileceği üzere iletkenlik değerleri 348 ile 412 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişkenlik göstermektedir. Eğirdir gölü bir tatlı su gölü olduğundan dolayı ölçüm değerlerinin bu aralıkta olması beklenen bir sonuçtur. Çizelge 2'de görülebileceği üzere, su derinliği arttıkça, sıcaklık da azalma eğilimindedir. Bu durumun sebebi, göl yüzeyinden derinlere inildikçe güneş ışığının şiddetinin azalmasıdır.

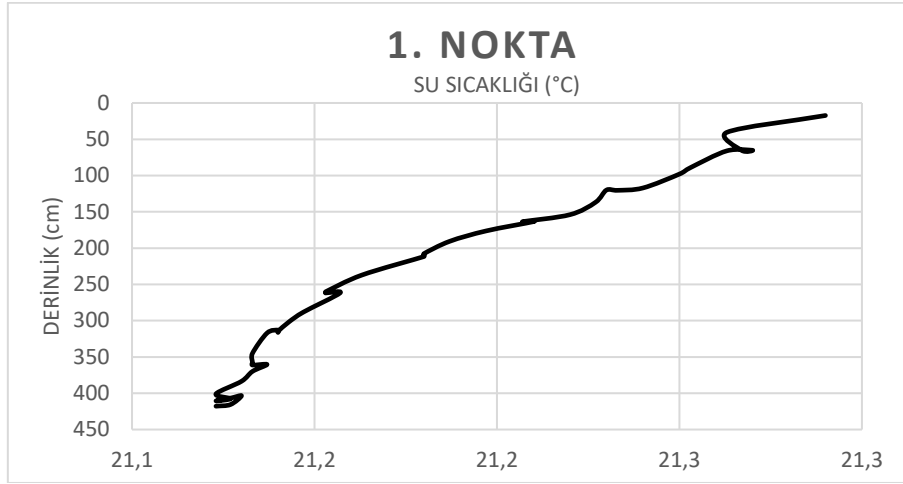
Çizelge 2. 1, 2 ve 6. noktalara ait su derinliği, sıcaklık ve iletkenlik değerleri

1. Nokta			2. Nokta			6. Nokta		
Su derinliği [cm]	Sıcaklık [°C]	İletkenlik [μS/cm]	Su derinliği [cm]	Sıcaklık [°C]	İletkenlik [μS/cm]	Su derinliği [cm]	Sıcaklık [°C]	İletkenlik [μS/cm]
0	21.477	0	0	23.357	0	0	22.910	0
17.25	21.290	408	11.88	22.480	360	70.72	21.607	412
40.44	21.263	408	17.25	21.773	356	73.98	21.460	412
65.16	21.267	408	20.31	21.503	352	74.75	21.390	412
65.93	21.263	408	23.57	21.383	348	100.82	21.313	412
89.12	21.253	408	24.34	21.333	348	101.2	21.293	412
97.94	21.250	408	38.71	21.207	384	129.95	21.253	412
117.1	21.240	408	60.75	21.090	400	146.62	21.210	412
120.36	21.233	408	101.96	20.993	400	153.91	21.183	412
136.85	21.227	408	111.16	20.950	400	194.73	21.123	412
153.9	21.220	408	139.15	20.893	400	202.59	21.093	412
163.49	21.207	408	153.71	20.867	400	202.4	21.087	412
176.33	21.197	408	162.72	20.847	400	253	21.030	412
190.7	21.187	408	190.7	20.820	404	266.61	21.027	412
207.57	21.180	408	247.44	20.777	404	304.17	20.997	412
209.87	21.180	408	253.95	20.770	404	305.13	20.993	412
237.09	21.163	408	305.9	20.750	404	353.05	20.963	412
260.28	21.153	408	337.9	20.733	404	369.92	20.953	412
288.07	21.147	408	353.81	20.730	404	433.74	20.937	412
301.68	21.143	408	402.69	20.707	404	450.61	20.927	412
314.71	21.140	408	405.75	20.697	404	449.84	20.927	412
317.01	21.137	408	424.15	20.683	404	500.25	20.910	412
345	21.133	408	450.6	20.673	404	514.62	20.910	412
357.07	21.133	408	458.46	20.670	404	552.96	20.900	412
361.1	21.133	408	486.64	20.647	404	552.19	20.900	412
369.91	21.133	408	500.25	20.640	404	598.57	20.893	412
383.52	21.130	408	504.27	20.640	404	598.57	20.893	412
400.96	21.123	408	524.2	20.630	404	604.9	20.897	412
407.48	21.127	408	537.05	20.630	404	610.46	20.893	412
415.53	21.127	408	545.86	20.627	404	620.81	20.890	412
417.83	21.123	408	565.03	20.623	404	637.67	20.893	412

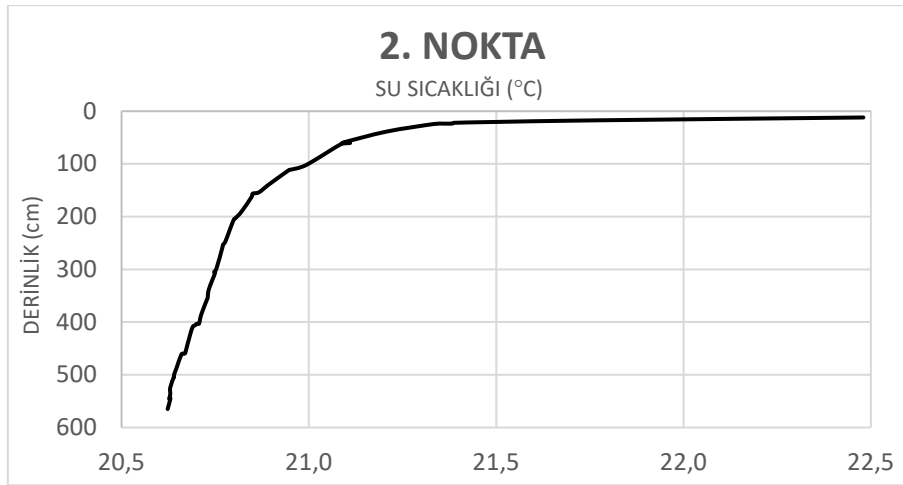


Şekil 2. Eğirdir gölü ölçüm noktaları

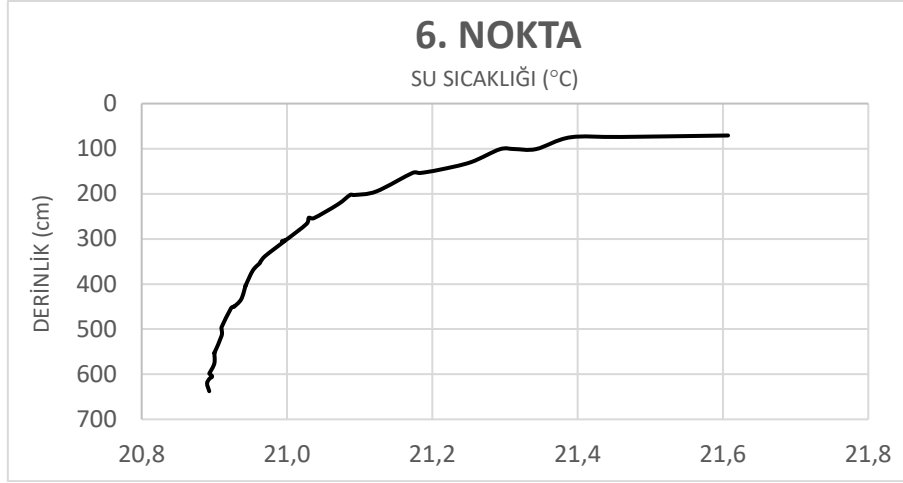
Şekil 3 ile Şekil 7 arasında, bazı ölçüm noktalarına ait derinlik-su sıcaklığı grafikleri yer almaktadır. Grafikler incelendiğinde, derinlik arttıkça su sıcaklığının azaldığı gözlemlenmektedir.



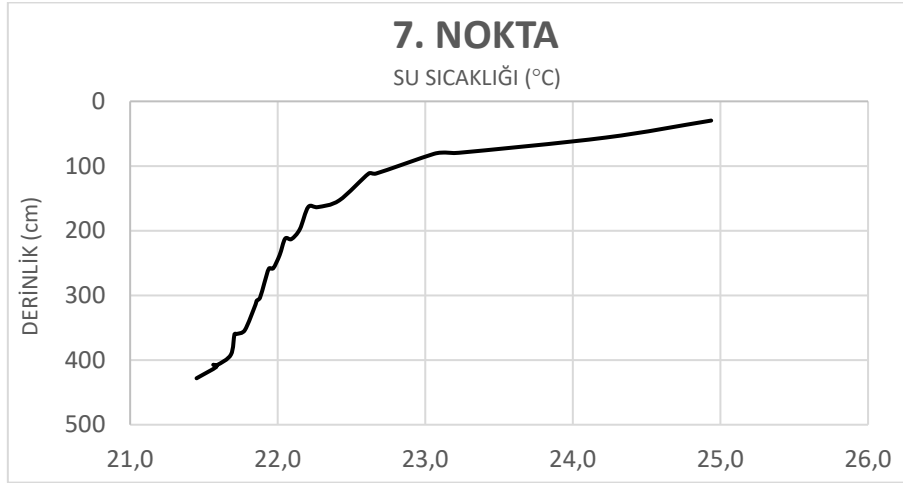
Şekil 3. 1. Noktaya ait derinlik - su sıcaklığı grafiği



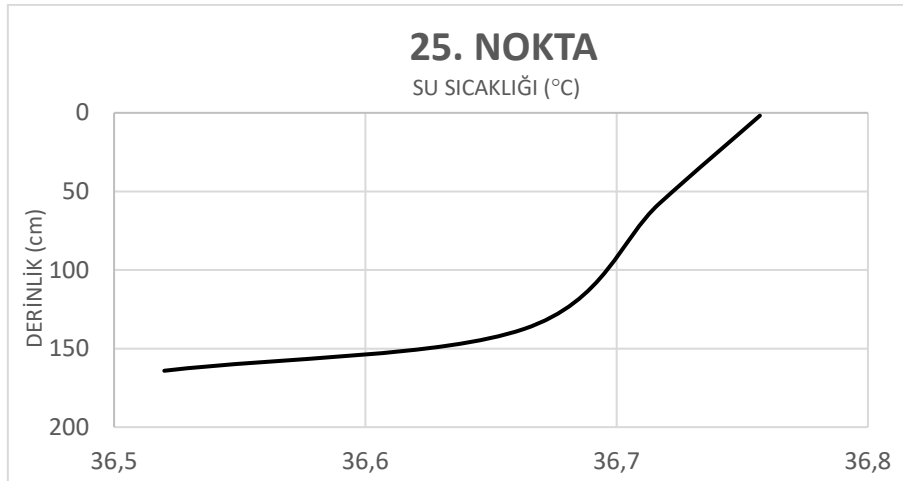
Şekil 4. 2. Noktaya ait derinlik - su sıcaklığı grafiği



Şekil 5. 6. Noktaya ait derinlik - su sıcaklığı grafiği



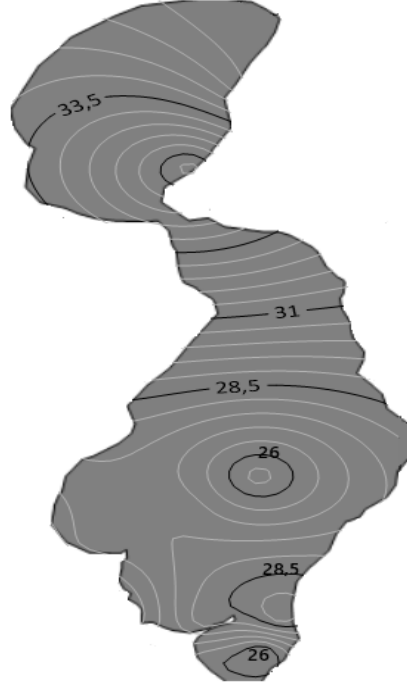
Şekil 6. 7. Noktaya ait derinlik – su sıcaklığı grafiği



Şekil 7. 25. Noktaya ait derinlik - su sıcaklığı grafiği

Göl yüzeyinden elde edilen sıcaklık verileri, Surfer yazılımı kullanılarak eş sıcaklık eğrileri şeklinde görselleştirilmiş ve Şekil 8’de sunulmuştur. Analizler, sıcaklık değerlerinin kuzeye, Hoyran Bölgesi’ne doğru arttığını göstermektedir. Bu sıcaklık dağılımı, gölün farklı derinliklere sahip olması ve su

sirkülasyon dinamiklerinden kaynaklanmaktadır. Derinlik, sıcaklık dağılımında önemli bir rol oynar; genellikle derin sular daha soğuk, sığ sular ise daha sıcak olur. Ayrıca, göl içindeki rüzgar etkisi, akıntılar ve su hareketleri, sıcaklık farklarını belirleyen temel faktörlerdir. Bu faktörlerin bir araya gelmesi sonucunda, yüzey suyu sıcaklığının gölün kuzeyine, Hoyran Bölgesi'ne doğru arttığı değerlendirilmektedir.



Şekil 8. Eğirdir Gölü Yüzey Suyu Eş Sıcaklık Eğrileri (°C)

Bu çalışma kapsamında, Eğirdir Gölü'nün sıcaklık ve iletkenlik parametrelerinin göl genelindeki dağılımı detaylı olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, sıcaklığın derinlikle azaldığını ve iletkenlik değerlerinde belirgin bir değişiklik olmadığını göstermektedir. Bu veriler, Eğirdir Gölü için bütüncül bir hidrodinamik modelin oluşturulmasının temelini oluşturacak ve gölün su bütçesi ile hidrodinamik davranışının daha iyi anlaşılmasını, dolayısıyla gelecekteki değişimlerin öngörülmesini sağlayacaktır.

4. TEŞEKKÜR

Yazarlar, çalışmayı FBG-2022-2733 nolu ve "Küresel İklim Değişikliği, Kuraklık ve Kirlilik Tehdidi Altındaki Eğirdir Gölü için Yüzey ve Yeraltı Kaynaklarının Birbirleri ile Etkileşiminin Belirlenmesi ve Bütüncül bir Yaklaşımla Sürdürülebilir bir Göl Havza Planının Oluşturulması" başlıklı Güzümlü Projesi ile desteklediği için Dokuz Eylül Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Birimi'ne teşekkür eder.

5. KAYNAKLAR

- Aktaş, S., Kalyoncuoğlu, Ü. Y., & Kılıç, N. C. A. (2018). Eğirdir Göl Havzasının De Martonne Yöntemi ile Kuraklık Analizi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6(2), 229-238.
- Fethi, F., İleri, Ö., Avcı, K. M., & Kocadere, M. (2015). Eğirdir ve Beyşehir göllerinin uydu verileri ve topoğrafik harita yardımıyla kıyı çizgisi değişimleri. *Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni*, 20, 37-45.
- Işıldar, H. T., & Ercoşkun, Ö. Y. (2021). Göller Yöresinde sürdürülebilirlik ve dirençlilik. *Journal of Management Theory and Practices Research*, 2(2), 89-116.
- Kaçıkoç, M. (2013). Eğirdir Gölü Hidrodinamik ve Su Kalitesinin Delft3D Modeli ile Modellenmesi. *Doktora Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

Yönetilen Akifer Beslemesi (MAR) Uygulamalarının Önündeki Engellerin Sürdürülebilirlik Bakış Açısıyla Değerlendirilmesi

Evaluation of Barriers to Managed Aquifer Recharge (MAR) Applications with a Sustainability Framework

Pınar SPOR^{1,*}, Kayhan BAYHAN², Ömer EKMEKCİOĞLU³

¹ Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü

² İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

³ İstanbul Teknik Üniversitesi, Afet Yönetimi Enstitüsü

(*kucuk.pinar@beun.edu.tr)

ÖZET: Bu çalışmada yönetilen akifer beslemesi (MAR) uygulamaları önündeki engeller sürdürülebilirlik çerçevesi içerisinde çok kriterli karar verme (ÇKKV) yaklaşımı ile değerlendirilmiştir. MAR, su kaynaklarının korunması ve yeraltı suyu seviyelerinin dengelenmesi açısından önemli bir yöntem olsa da birçok faktör özellikle ekonomik, çevresel ve sosyal faktörler bu yöntemin uygulanabilirliğini kısıtlamaktadır. ÇKKV ile yapılan analizler MAR adaptasyonunun önündeki engellerin daha kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesini yardımcı olmaktadır. Bu çalışmada, literatür taramasıyla belirlenen 15 temel engel Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar, MAR uygulamalarında en büyük engelin yüksek başlangıç maliyetleri ve finansal belirsizlikler olduğunu göstermektedir. Çevresel açıdan ise iklim değişikliği ve hidrojeolojik belirsizlikler MAR uygulamalarının etkinliğini azaltan faktörlerdendir. Sosyal boyutta ise kamu farkındalığının düşük olması ve topluluk katılımının sınırlı olması önemli engeller olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca, MAR yatırımlarının sürdürülebilirliğini sağlamak için finansal teşviklerin artırılması, teknik güvenilirliğin güçlendirilmesi ve toplumsal farkındalığın artırılması gerektiği vurgulanmıştır. Bu kapsamlı analiz, su yönetimi politikalarına katkı sağlayacak öneriler sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yönetilen akifer beslemesi, sürdürülebilirlik, AHP, yeraltı suyu, su yönetimi

ABSTRACT: This study evaluates the barriers faced by Managed Aquifer Recharge (MAR) applications through a sustainability framework using Multi-Criteria Decision Making (MCDM) techniques. MAR is a crucial method for conserving water resources and balancing groundwater levels; however, several factors, particularly economic, environmental, and social aspects, limit its feasibility. In this study, 15 key barriers identified through a literature review were assessed using the Analytic Hierarchy Process (AHP). The results indicate that the most significant barrier to MAR implementation is the high initial investment costs and financial uncertainties. From an environmental perspective, climate change and hydrogeological uncertainties reduce the effectiveness of MAR. Regarding the social dimension, low public awareness and limited community engagement emerge as critical challenges. This study highlights the necessity of increasing financial incentives, enhancing technical reliability, and raising public awareness to ensure the sustainability of MAR investments. This comprehensive analysis offers recommendations that contribute to water management policies.

Keywords: Managed aquifer recharge, sustainability, AHP, groundwater, water management

1. GİRİŞ

Yeraltı suyu, dünyanın tatlı su kaynaklarının hayati ve sıklıkla göz ardı edilen bir bileşenidir ve küresel olarak milyarlarca insan için birincil içme suyu kaynağı olarak hizmet etmektedir. Nüfus artışı, sanayileşme ve tarımsal genişleme ile birlikte tatlı suya olan talep arttıkça, yeraltı suyunun bu ihtiyaçları karşılamadaki temel rolünün farkına varmak giderek daha da önemli hale gelmektedir (Velis vd. 2017). Ancak, önemli buharlaşma kayıpları, geniş bir arazi alanına ihtiyaç duyulması, tortu birikimi, yapısal hasar potansiyeli ve artan kirlenme riski gibi birçok dezavantajı vardır (Minsley vd. 2011). Tersine, artan

yeraltısuyu dolumu yeraltısuyu kuraklıklarını hafifletebilir ve sürdürülebilir yeraltısuyu yönetimine yol açabilir (Mishra ve Singh 2010). Yönetilen akifer beslemesi (MAR), yeraltı boşluğunda yüzey suyu sızmasını ve depolanmasını artırmak için bir su yönetimi stratejisi olarak dünya çapında giderek daha fazla uygulanmaktadır (Dillon vd. 2019).

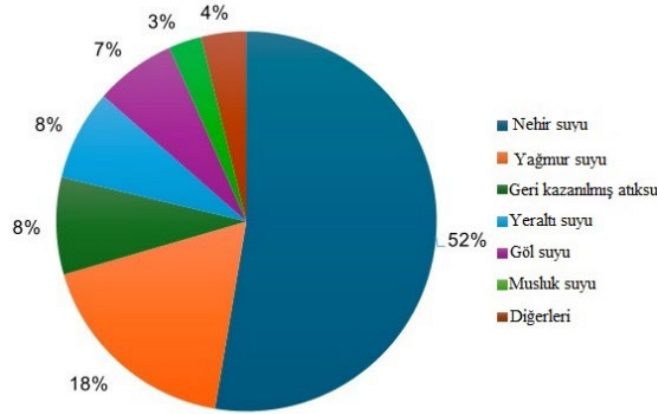
MAR, yeraltı depolamasını yenilemek için stratejik olarak, sürdürülebilir yeraltısuyu yönetimini uygulamak için önemli bir alt havza ölçeği uygulamasıdır (Stefan ve Ansems 2018). MAR teknolojileri yaygın uygulamalarına rağmen, mevcut MAR operasyonlarının besleme hacimleri dünya çapında gözlemlenen artan yeraltısuyu talebinin yalnızca bir kısmını karşılamaktadır (Ross ve Hasnain 2018). Bunun nedeni, muhtemelen besleme için fazla suyun bulunması, uygun ve mevcut besleme alanlarının ve dağıtım altyapısının olmaması (Niswonger vd. 2017), su hakları kısıtlamaları (Fuentes ve Vervoort 2020), ekonomik uygulanabilirlik (Ross ve Hasnain 2018) ve kurumsal engeller (Miller vd. 2021) gibi faktörlerdir.

Yeraltısuyu yönetiminde çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinin kullanımı çok yaygınlaşmamış olup (Rousta ve Araghi 2015), su kaynaklarında ÇKKV'nin rolü hakkında kapsamlı çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Rahman vd. 2013). Bajić vd. (2017) açık ocak madeninde en uygun yeraltısuyu yönetim sistemini seçmek için Bulanık analitik hiyerarşi sürecini (FAHP) uygulamış olup, sonuçları tatmin edici olarak ifade etmiştir. (Mveal vd. 2016) Hindistan'ın Odisha eyaletindeki Balasore bölgesinde kıyasal yeraltı suyu havzasının yeraltısuyu potansiyel bölgelerini uzaktan algılama ve ÇKKV teknikleriyle analiz etmiştir. (Pinto vd. 2017) Timor Leste'deki Comoro havzasında CBS, uzaktan algılama ve AHP tekniklerini kullanarak yeraltı suyu potansiyel bölgelerini belirlemiştir. Selerio vd. (2021) çalışmalarında, sürdürülebilir kentsel su yönetimi (SUWM) engellerini belirlemek ve bunların nedensel ilişkilerine dayalı stratejiler geliştirmek için Bulanık Karar Verme (FDEMATEL) ve Bulanık C-Ortalamlar Algoritması (FCA) yöntemlerini entegre etmiştir. Shastri vd. (2021) ÇKKV tekniklerini Hindistan'ın tarımsal ekonomisi için önemli olan **su kaynakları ve iklim bilimi** problemlerinde uygulanması sunmuştur.

ÇKKV teknikleri, çeşitli alanlarda, özellikle MAR uygunluk haritalamalarının oluşturulmasında ve diğer ilgili değerlendirmelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu teknikler, çok sayıda kriteri göz önünde bulundurarak daha sağlıklı ve verimli kararlar alınmasını sağlamaktadır. Ancak, MAR uygulamalarının önündeki engellerin değerlendirilmesinde ÇKKV yöntemlerinin neredeyse hiç kullanılmadığı görülmektedir. Bu durum, MAR'ın engellerle ilişkili potansiyel zorluklarını tespit etme ve değerlendirme konusunda ÇKKV tekniklerinin kullanılmasının önemli bir boşluk oluşturduğunu ve bu alanda yeni bir araştırma fırsatı sunduğunu göstermektedir

2. YÖNETİLEN AKİFER BESLEMESİ (MAR) UYGULAMALARI

Diğer su kaynakları yönetim yöntemlerinin aksine, MAR tekniği, akiferleri hidrolojik ve iklim değişikliklerinin etkilerinden korumak, tükenen akiferleri eski haline getirmek, buharlaşma kaybını azaltmak, su kalitesini iyileştirmek, toprak çökmesini kontrol etmek ve tuzlu su girişini önlemek gibi önemli avantajlar sunmaktadır (Dillon ve Arshad 2016). Akifer su depolama kapasitesi akifer türüne bağlı olarak değişmektedir. Örneğin, konsolide olmamış ve oldukça gözenekli akiferlerin depolama kapasitesi %30 olabilirken, oldukça konsolide akiferlerin depolama kapasitesi %10 olabilir ve bu kristal kayalar için %1 kadar düşük olabilmektedir (Smith vd. 2016). Depolanan su çeşitli evsel, tarımsal ve endüstriyel uygulamalar için geri kazanılabilmektedir. Bir MAR projesinin en önemli noktası yüksek kaliteli kaynak suyunun mevcudiyetidir. Yağmur suyu, nehirlerden, akarsulardan ve göllerden gelen su, yağmur suyu, tuzdan arındırılmış deniz suyu ve arıtılmış atık su dahil olmak üzere çeşitli yüzey suyu kaynakları akiferlerde su depolamak için kullanılabilir (Zhang vd. 2020). Uluslararası Yeraltı Suyu Kaynakları Değerlendirme Merkezi'ne (IGRAC) göre, Şekil 1'de gösterildiği gibi, en yaygın kullanılan su kaynağı, toplam kullanımın %52'sini oluşturan nehir suyu, ardından yağmur suyu (%18) ve toplam uygulamaların %8'ini oluşturan arıtılmış atık su gelmektedir.



Şekil 1. MAR uygulamalarında dünya çapında kullanılan su kaynakları (IGRA, 2024).

MAR uygulandığı bölgenin jeolojik yapısına, hidrojeolojik özelliklerine ve mevcut su kaynaklarına bağlı olarak farklı yöntemlerle uygulanabilmektedir. Bu teknikler temel olarak doğal süreçleri esas alan ve mühendislik yaklaşımlarına dayanan insan müdahalelerini kapsayan uygulamaları içermektedir. Doğal süreçleri esas alan MAR yöntemleri suyun doğal filtrasyon ve yeraltına sızma süreçlerini hızlandırarak yeraltı rezervlerini beslemeye yönelik çözümler sunmaktadır. Mühendislik çözümleri içeren MAR uygulamaları ise daha çok, suyun kontrollü bir biçimde enjeksiyonu ve depolanmasını esas almaktadır. Bazı MAR çeşitleri ve özellikleri Çizelge 1’de sunulmuştur.

Çizelge 1. MAR çeşitleri ve özellikleri (Dillon 2005)

MAR Çeşitleri	Özellikleri/ İşleyiş Şekli
Akifer depolama ve geri kazanımı (ASR)	Aynı kuyudan depolama ve geri kazanım için bir kuyuya su enjeksiyonu.
Akifer depolama transferi ve geri kazanımı (ASTR)	Genellikle ek su arıtımı sağlamak için bir kuyuya depolama ve geri kazanım için su enjeksiyonu.
Sızma göletleri	Genellikle yüzey suyunun yönlendirildiği ve (genellikle doymamış bir bölgeden) alttaki serbest akifere sızmasına izin verilen, genellikle akıntı dışında inşa edilen göletle
Yağmur suyu hasadı	Çatıdan gelen su, kum veya çakılla doldurulmuş bir kuyuya veya kesona yönlendirilir ve bir kuyudan pompalanarak toplandığı su tablasına sızmasına izin verilir.
Toprak akiferi arıtımı (SAT)	Geri kazanılmış su olarak bilinen arıtılmış kanalizasyon atığı, akiferde kaldıktan sonra kuyular tarafından geri kazanılmak üzere doymamış bölgeden geçerken besin ve patojen giderimini kolaylaştırmak için aralıklı olarak sızma havuzlarından süzülür.
Kum barajları	Düşük geçirgenlikli litolojide kurak alanlarda çukurlara inşa edilenler, akış meydana geldiğinde tortuyu hapseder ve ardışık taşkınların ardından kum barajı yükseltilerek kurak mevsimlerde kuyularla açılabilen bir “su taşıyıcısı” oluşturulur
Yeraltı barajları	Bodrum yüksekliklerinin akışları kısıtladığı geçici akarsularda, su taşıyıcısının doymuş alüvyonda tutulmasına yardımcı olmak için su yatağı boyunca bodruma uyumlu ve düşük geçirgenlikli malzemeyle geri doldurulan bir hendek inşa edilir

3. ENGELLERİN BELİRLENMESİ

MAR, su kaynaklarını korumak ve yeraltı su seviyelerini dengelemek için etkili bir yöntem olmasına rağmen, uygulama ve yönetim aşamalarında bazı zorluklarla karşılaşmaktadır. Bu engellerin sürdürülebilirlik bakış açısıyla değerlendirilmesi, uzun vadeli su kaynakları yönetiminin sağlanabilmesi adına kritik bir öneme sahiptir. Bu çalışmada yönetilen akifer beslenmesinin karşısındaki zorluklar sürdürülebilirliğin temel üç unsuru olan ekonomik çevresel ve sosyal yönden incelenmiştir. Örneğin, MAR uygulamalarının yüksek maliyetleri, bu yöntemin yaygınlaştırılmasını engelleyen faktörlerden biridir. Su temini altyapısı, su kalitesinin izlenmesi ve sistemlerin bakım maliyetleri, projelerin ekonomik sürdürülebilirliğini zorlaştırabilir (Yuan vd. 2016). Ayrıca, su kaynaklarının düzenli olarak izlenmesi ve kontrol edilmesi gerekliliği, daha fazla kaynak ve uzmanlık gerektiren bir süreçtir. MAR uygulamalarında kullanılan suyun kalitesi de büyük bir rol oynamaktadır. Uygulama için kullanılan suyun kirlilik seviyeleri, yeraltı suyu rezervuarlarının kalitesini olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Yuan vd. 2016). Bu da uzun vadede su kaynaklarının kullanılabilirliğini ve ekosistem sağlığını tehlikeye atabilmektedir. Bu durum, sürdürülebilirlik için önemli bir engel teşkil eder, çünkü temiz ve güvenilir su kaynakları sağlamadan yeraltı suyu tablolarındaki dengenin korunması imkânsız hale gelmektedir (Engel vd., 2021; Perzan vd., 2023). Bunların yanı sıra, yerel yönetimlerin ve toplumların MAR uygulamalarına yönelik yetersiz bilgilendirilmesi ve bu uygulamalara karşı duyulan direnç de sürdürülebilirlik açısından önemli bir engel olarak ortaya çıkmaktadır (Megdal vd. 2015). Toplumların MAR'ı benimsemesi, genellikle eğitim ve farkındalık eksiklikleri nedeniyle sınırlıdır. Tüm bu faktörler göz önüne alındığında, MAR uygulamalarının doğru bir şekilde yönetilmediği ve toplum ile iş birliği olmadan uygulandığı durumlarda beklenen olumlu sonuçları doğurmayabilmektedir.

Sonuç olarak, bu çalışma MAR uygulamaları gerçekleştirilirken karşılaşılabilecek engelleri sürdürülebilirliğin 3 ana sac ayağı olan ekonomik, çevresel ve sosyal bağlamda incelemiştir. Her unsur kendi içinde beş engel barındırmaktadır ve toplamda MAR uygulamalarını zorlaştırabilecek on beş engel literatürde en yaygın olarak kullanılan ÇKKV yöntemlerinden biri olan AHP ile değerlendirilmiştir.

4. ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİ (AHP) YÖNTEMİ

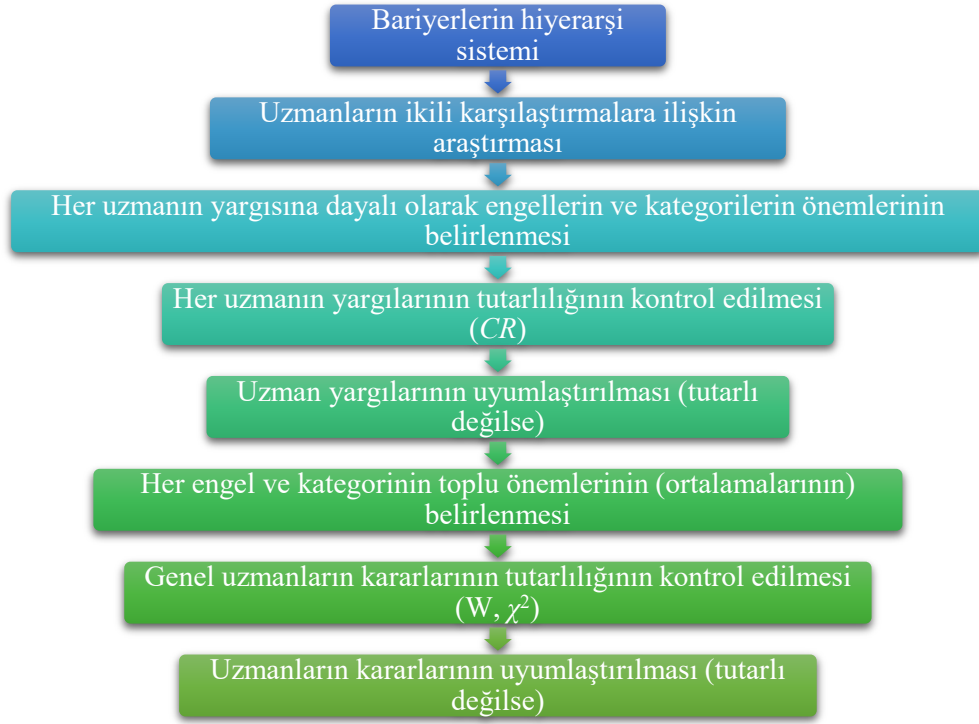
Saaty (1980) tarafından geliştirilen AHP yöntemi, belirlenen engellerin ve bunların kategorilerinin önem derecelerini belirlemek için kullanılmıştır. Bu yöntemin seçilme nedeni, problemi belirli bir kategori ve kriter hiyerarşisine ayırmaya olanak tanıması ve bunların göreceli önemine ilişkin öznel değerlendirmeleri genel bir skor (önem derecesi) setine dönüştürebilmesidir. Ayrıca, AHP, bilimsel literatürde en bilinen ve en yaygın kullanılan çok kriterli karar verme yöntemlerinden biridir (Cegan vd. 2017). Engellerin hiyerarşik sistemi literatür taramasıyla belirlenmiştir. Toplamda 15 engelden oluşan üç kategori belirlenmiştir. AHP yöntemi kullanılarak yapılan değerlendirme adımlarının akış şeması Şekil 2'de gösterilmektedir.

Adım 1. Her bariyerin ve kategoriye ait önem derecesini değerlendirmek için yargı matrislerini içeren anketler hazırlanmıştır. Saaty ölçeği kullanılarak bariyerler ve kategoriler arasında ikili karşılaştırmalar gerçekleştirilmiştir.

Adım 2. Yargı matrisleri kullanılarak her kategori içindeki bariyerlerin ve genel kategori önem dereceleri hesaplanmıştır:

Adım 3. Her matrisin tutarlılık oranı hesaplanmıştır. Bu hesaplamada Saaty (1980) tarafından ortaya atılan rastgelelik endeksi ve rastgele tutarlılık endeksi hesaba katılmıştır.

Adım 4. Belirlenen bariyer ve kategorilerin önem dereceleri birleştirilerek dağılım kabul edilmiş ve bu dağılımların ortalamaları hesaplanarak her bariyer ve kategori için nihai önem dereceleri belirlenmiştir.



Şekil 2. AHP yönteminin uygulama şeması

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışma kapsamında MAR uygulamalarının önündeki engellerin belirlenmesinde sürdürülebilirliğin üç ana sac ayağı olan sosyal, çevresel ve ekonomik açılar göz önünde bulundurulmuştur. MAR uygulamalarının önündeki engeller de bu üç kategori ışığında gruplandırılmıştır. Dolayısıyla, toplamda 15 adet olarak literatür taraması neticesinde elde edilen engeller AHP yöntemi kullanılarak ağırlıklandırılmıştır (Çizelge 2).

Ağırlıklandırma neticesinde ana kategoriler arasında ekonomik boyut %49 ile en önemli açı olarak elde edilirken, onu sırasıyla %31,2 ve %19,8 ile çevresel ve sosyal boyutlar takip etmiştir. Ekonomik engeller arasında ise en yüksek ağırlığı %42 ile E1 (Yüksek başlangıç sermaye maliyetleri ve sürekli bakım giderleri) alırken, E3 (MAR yatırımlarında belirsiz finansal getiri) %24,3 ile ikinci sırada önemli olarak bulunmuştur. Ekonomik engeller arasında en önemsiz çıkan engeller ise E5 (Sigorta ve sorumluluk risklerine bağlı ek maliyetler) ve E2 (Makroekonomik kısıtlamaların yatırım yapılabilirliği etkilemesi) olarak elde edilmiştir.

Çevresel engeller arasında en yüksek ağırlığı %40,2 ile Ç2 (İklim ve hidrolojik değişkenliğin besleme güvenilirliğini etkilemesi) alırken, Ç1 (Hidrojeolojik belirsizlik ve karmaşık yer altı akış dinamikleri) %25,1 ile ikinci sırada önemli olarak bulunmuştur. Çevresel engeller arasında en önemsiz çıkan engeller ise Ç5 (MAR verimliliğini etkileyen belirsiz biyo-jeofiziksel süreçler ve Ç4 (Kentsel ısı adası etkilerinin besleme koşullarını potansiyel olarak değiştirmesi) olarak elde edilmiştir.

Sosyal engeller arasında en yüksek ağırlığı %34,8 ile S5 (MAR nedeniyle artan su fiyatlarına yönelik kaygılar) alırken, diğer iki açıdan farklı olarak sosyal engellerin kendi içindeki ağırlık dağılımı görece daha homojen olarak elde edilmiştir. Öyle ki, ikinci sırada %19 ile S3 (Yerel toplulukların MAR planlamasına sınırlı katılımı) yer alırken, onu oldukça az bir farkla ve %18,5 ağırlığı ile S4 (MAR'ın fayda ve risklerinin adil dağıtımıyla ilgili eşitlik endişeleri) takip etmiştir. Sosyal kategori içerisinde en önemsiz olarak elde edilen engel ise %11,6 ile S1 (MAR gelişmeleri hakkında kamu farkındalığının yetersizliği) bulunmuştur.

Çizelge 2 ayrıca hem ana kategorilerin hem de engellerin ağırlıklarının çarpılması ile elde edilen global ağırlık değerlerini de içermektedir. Bu değerler, tüm engeller arasında genel değerlendirme neticesinde elde edilen ağırlıkları temsil etmektedir. Dolayısıyla, genel değerlendirme neticesinde en önemli açı olan ekonomik boyut içerisindeki en yüksek ağırlığı alan engel olan E1 (Yüksek başlangıç sermaye maliyetleri ve sürekli bakım giderleri) %20,6 ile MAR uygulamalarının adaptasyonu önündeki engel olarak elde edilmiştir. Genel değerlendirmelerde ikinci sırada ise çevresel engellerden olan Ç2 (İklim ve hidrolojik değişkenliğin besleme güvenilirliğini etkilemesi) %12,5 ağırlık değeri ile bulunmuştur. Üçüncü sırada ise yine ekonomik engellerden olan E3 (MAR yatırımlarında belirsiz finansal getiri) %11,9 ağırlık ile elde edilirken, bir diğer ekonomik engel olan E4 (Alternatif arazi/su kullanımlarıyla ilgili fırsat maliyetleri) ve çevresel engel olan Ç1 (Hidrojeolojik belirsizlik ve karmaşık yer altı akış dinamikleri) eşit ağırlıklar ile aynı önem derecesine (%7,8) sahip olacak şekilde bulunmuştur. Yapılan genel değerlendirmeler neticesinde ise, S1 (MAR gelişmeleri hakkında kamu farkındalığının yetersizliği) en düşük ağırlık olan %2,3 değerini alarak hesaba katılması gereken en son engel olarak elde edilmiştir.

Çizelge 2. Engellerin ve ilgili kategorilerinin AHP yöntemi ile elde edilen yüzdesel bazda önem dereceleri

Kategori	Kategori Ağırlığı	Kısaltma	Engeller	Lokal Ağırlık	Genel Ağırlık
Sosyal (S)	19,8%	S1	MAR gelişmeleri hakkında kamu farkındalığının yetersizliği	11,6%	2,3%
		S2	MAR uygulamasına yönelik kamu muhalefeti ve önyargılar	16,1%	3,2%
		S3	Yerel toplulukların MAR planlamasına sınırlı katılımı	19,0%	3,8%
		S4	MAR uygulamasının fayda ve risklerinin adil dağıtımıyla ilgili eşitlik endişeleri	18,5%	3,7%
		S5	MAR nedeniyle artan su fiyatlarına yönelik kaygılar	34,8%	6,9%
Çevresel (Ç)	31,2%	Ç1	Hidrojeolojik belirsizlik ve karmaşık yer altı akış dinamikleri	25,1%	7,8%
		Ç2	İklim ve hidrolojik değişkenliğin besleme güvenilirliğini etkilemesi	40,2%	12,5%
		Ç3	Yerel ekosistemler ve biyolojik çeşitlilik üzerindeki etkiler	15,0%	4,7%
		Ç4	Kentsel ısı adası etkilerinin besleme koşullarını potansiyel olarak değiştirmesi	10,2%	3,2%
		Ç5	MAR verimliliğini etkileyen belirsiz biyofiziksel süreçler	9,5%	3,0%
Ekonomik (E)	49,0%	E1	Yüksek başlangıç sermaye maliyetleri ve sürekli bakım giderleri	42,0%	20,6%
		E2	Makroekonomik kısıtlamaların yatırım yapılabilirliği etkilemesi	9,0%	4,4%
		E3	MAR yatırımlarında belirsiz finansal getiri	24,3%	11,9%
		E4	Alternatif arazi/su kullanımlarıyla ilgili fırsat maliyetleri	15,8%	7,8%
		E5	Sigorta ve sorumluluk risklerine bağlı ek maliyetler	8,8%	4,3%

Sonuç olarak, ekonomik engellerin en büyük bariyer olduğu görülmekle birlikte, çevresel belirsizlikler ve toplumsal kabul de dikkate alınması gereken kritik faktörlerdir. Ayrıca, MAR yatırımlarının başlangıçta büyük bir finansal yük getirdiği ve bu durumun karar alıcılar ve yatırımcılar için temel bir

caydırıcı unsur olduğu da görülmektedir. Ek olarak, çevresel perspektiften bakıldığında ise MAR uygulamalarının uzun vadeli sürdürülebilirliği için iklim değişikliğinin doğrudan bir tehdit oluşturduğunu gözlemlenmektedir. Benzer şekilde, MAR projelerinin teknik uygulanabilirliğinin yer altı su sistemlerinin karmaşıklığına bağlı olarak değiştiğini ve bu belirsizliğin karar alıcılar açısından önemli bir endişe kaynağı olabileceği de hesaba katılmalıdır. Sosyal olarak MAR projelerinin uygulanmasının halk nezdinde ekonomik kaygılarla doğrudan bağlantılı olduğu ortaya koyulmuş olsa da MAR konusunda bilinç düzeyinin düşük olmasının uygulamaların önünde ciddi bir engel teşkil etmediği gözlemlenmiştir. Sonuçlara göre, MAR yatırımlarının sürdürülebilir hale gelmesi için finansal teşvikler, teknik güvenilirlik artırıcı önlemler ve yerel paydaş katılımının güçlendirilmesi gerektiğini ortaya koyulabilmektedir.

KAYNAKLAR

- Bajić, D., D. Polomčić, and J. Ratković. 2017. "Multi-Criteria Decision Analysis for the Purposes of Groundwater Control System Design." *Water Resources Management* 31(15): 4759–84.
- Cegan, Jeffrey C., Ashley M. Filion, Jeffrey M. Keisler, and Igor Linkov. 2017. "Trends and Applications of Multi-Criteria Decision Analysis in Environmental Sciences: Literature Review." *Environment Systems and Decisions* 37(2): 123–33.
- Dillon, P. vd. 2019. "Sixty Years of Global Progress in Managed Aquifer Recharge." *Hydrogeology Journal* 27(1): 1–30.
- . 2022. "Considerations for Water Resources Planning and Management." In *Managed Aquifer Recharge: Overview and Governance*. IAH Special Publication., , 13–44. <https://recharge.iah.org/files/2022/06/MAR-overview-and-governance-IAH-Special-Publication-18June2022.pdf> (February 26, 2025).
- Dillon, P., and M. Arshad. 2016. "Integrated Groundwater Management." In *Integrated Groundwater Management Concepts, Approaches and Challenges*, eds. Anthony J. Jakeman vd. Cham: Springer International Publishing.
- Dillon, Peter. 2005. "Future Management of Aquifer Recharge." *Hydrogeology Journal* 13(1): 313–16.
- Engel, M., Boye, K., Noël, V., Babey, T., Bargar, J. R., & Fendorf, S. 2021. Simulated aquifer heterogeneity leads to enhanced attenuation and multiple retention processes of zinc. *Environmental Science & Technology*, 55(5), 2939-2948.
- Fuentes, Ignacio, and R. Willem Vervoort. 2020. "Site Suitability and Water Availability for a Managed Aquifer Recharge Project in the Namoi Basin, Australia." *Journal of Hydrology: Regional Studies* 27: 100657.
- IGRAC- MAR Portal—. Available online: <https://ggis.un-igrac.org/view/marportal/> (accessed 17 February 2025)
- Megdal, S. B., Gerlak, A. K., Varady, R. G., & Huang, L. Y. 2015. Groundwater governance in the United States: Common priorities and challenges. *Groundwater*, 53(5), 677-684.
- Miller, Kathleen vd. 2021. "Groundwater Recharge to Address Integrated Groundwater and Surface Waters." *Case Studies in the Environment* 5(1).
- Minsley, Burke J., Jonathan Ajo-Franklin, Amitabha Mukhopadhyay, and Frank Dale Morgan. 2011. "Hydrogeophysical Methods for Analyzing Aquifer Storage and Recovery Systems." *Ground Water* 49(2): 250–69.
- Mishra, Ashok K., and Vijay P. Singh. 2010. "A Review of Drought Concepts." *Journal of Hydrology* 391(1–2): 202–16.
- Niswonger, Richard G., Eric D. Morway, Enrique Triana, and Justin L. Huntington. 2017. "Managed Aquifer Recharge through Off-season Irrigation in Agricultural Regions." *Water Resources Research* 53(8): 6970–92.
- Perzan, Z., Osterman, G., & Maher, K. (2023). Controls on flood managed aquifer recharge through a heterogeneous vadose zone: hydrologic modeling at a site characterized with surface geophysics. *Hydrology and Earth System Sciences*, 27(5), 969-990.
- Pinto, Domingos, Sangam Shrestha, Mukand S. Babel, and Sarawut Ninsawat. 2017. "Delineation of Groundwater Potential Zones in the Comoro Watershed, Timor Leste Using GIS, Remote Sensing and Analytic Hierarchy Process (AHP) Technique." *Applied Water Science* 7(1): 503–19.
- Rahman, Mohammad Azizur vd. 2013. "An Integrated Study of Spatial Multicriteria Analysis and Mathematical Modelling for Managed Aquifer Recharge Site Suitability Mapping and Site

- Ranking at Northern Gaza Coastal Aquifer.” *Journal of Environmental Management* 124: 25–39.
- Ross, Andrew, and Sunail Hasnain. 2018. “Factors Affecting the Cost of Managed Aquifer Recharge (MAR) Schemes.” *Sustainable Water Resources Management* 4(2): 179–90.
- Rousta, B. Asl, and S. Araghinejad. 2015. “Development of a Multi Criteria Decision Making Tool for a Water Resources Decision Support System.” *Water Resources Management* 29(15): 5713–27.
- Saaty, T. L. 1980. *He Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. NewYork: McGraw-Hill.
- Selerio, Egberto F. vd. 2021. “On the Complex Causal Relationship of Barriers to Sustainable Urban Water Management: A Fuzzy Multi-Criteria Analysis.” *Urban Water Journal* 18(1): 12–24.
- Shastri, Hiteshri, Kaustubh Salvi, Shashikanth Kulkarni, and Saptarshi Misra. 2021. “A Review of Multiple Criteria Decision-Making Methods in Reference to Water Resources and Climate Science Applications.” In *Water and Energy Management in India*, Cham: Springer International Publishing, 3–21.
- Smith, Mark, Katharine Cross, Mary Paden, and Peter Laban, eds. 2016. *Spring: Managing Groundwater Sustainably*. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources.
- Stefan, Catalin, and Nienke Ansems. 2018. “Web-Based Global Inventory of Managed Aquifer Recharge Applications.” *Sustainable Water Resources Management* 4(2): 153–62.
- Velis, Maya, Kirstin I. Conti, and Frank Biermann. 2017. “Groundwater and Human Development: Synergies and Trade-Offs within the Context of the Sustainable Development Goals.” *Sustainability Science* 12(6): 1007–17.
- Yuan, J., Van Dyke, M. I., & Huck, P. M. 2016. Water reuse through managed aquifer recharge (MAR): assessment of regulations/guidelines and case studies. *Water Quality Research Journal of Canada*, 51(4), 357-376.
- Zhang, Heng, Yongxin Xu, and Thokozani Kanyerere. 2020. “A Review of the Managed Aquifer Recharge: Historical Development, Current Situation and Perspectives.” *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 118–119: 102887.

Kızılırmak Nehir Havzası Yeraltısularının Çevresel İzotop Karakteristikleri

Environmental Isotope Characteristics of Groundwater in the Kızılırmak River Basin

Nesrin TÜFEKÇİ-AVŞAR^{1,*}, Mehmet EKMEKÇİ², Ayça AYDIN SÜREL¹,
Berfin PARLAMIŞ¹, Batuhan AKYÜREK¹, Merve İŞLEK³, Aydın Emre AYAN¹,
Salim YÜZEREROĞLU¹, Mert TOKLU³

¹ Fugro Sial

² Hacettepe Üniversitesi Uluslararası Karst Su Kaynakları Araştırma Merkezi

³ Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü

(*n.tufekci@fugro.com)

ÖZET: Kızılırmak Havzası'nın yıllık toplam su potansiyeli 6868.69 hm³ olup bunun %61'i yeraltısuyu, geri kalan %39'u yüzeysuyundan oluşmaktadır. Yüzeysuları meteorolojik kuraklıktan doğrudan etkilendiği için, havzadaki yeraltısuyu potansiyeli stratejik öneme sahiptir. Bu durum, havzadaki su kaynaklarının, özellikle yeraltısularının etkin yönetimini zorunlu kılmaktadır. Yeraltısuyu kaynaklarının yönetiminin temelinde yeralan hidrojeolojik kavramsallaştırma ve karakterizasyon kapsamında kurak ve yağışlı olmak üzere iki dönemde alınan yeraltısuyu örneklerinin oksijen-18 ($\delta^{18}\text{O}$), döteryum ($\delta^2\text{H}$) ve trityum (^3H) sonuçları değerlendirilmiştir. Duraylı izotop içeriklerinin alt havza ölçeğinde dağılımı, yerel meteorik doğrusu ve döteryum fazlası (dF) değişimi, dönemler arası değişkenlik, buharlaşma etkisi ve duraylı izotop-kot ilişkisi incelenmiştir. ^3H analiz sonuçları yağışların ^3H içerikleriyle ilişkilendirilerek derinlikle değişkenliği irdelenmiştir. $\delta^{18}\text{O}$ 'ın genelde -11‰ ile -9‰, $\delta^2\text{H}$ değerlerinin ise -77‰ ve -69 ‰ aralığında yoğunlaştığı belirlenmiştir. Uç değerlerin yüksek kotlardan beslenen örnekleri veya suyun buharlaşmayla ağır izotoplar açısından zenginleşmesini temsil etmektedir. Havzada ^3H değerleri 0 ile 13.8 TU arasında olup yeraltısuları geçiş süreleri, hidrojeolojik yapılara bağlı olarak 0-65 yıl arasında değişmektedir.

Anahtar Kelimeler: Hidrojeolojik kavramsallaştırma, duraylı izotop, trityum, beslenme alanı, yeraltısuyu yaşı.

ABSTRACT: The annual total water potential of the Kızılırmak Basin is 6868.69 hm³, with 61% groundwater and the remaining 39% surface water. Since surface waters are directly affected by meteorological drought, the groundwater potential in the basin has strategic importance. This situation necessitates effective management of groundwater resources in the basin. Oxygen-18 ($\delta^{18}\text{O}$), deuterium ($\delta^2\text{H}$), and tritium (^3H) results of groundwater samples taken during two periods, dry and wet seasons, were evaluated within the scope of hydrogeological conceptualization and characterization that forms the basis of groundwater resource management. The distribution of stable isotope contents at the sub-basin scale, local meteoric line, deuterium excess (dF) variation, inter-period variability, evaporation effect, and stable isotope-elevation relationship were examined. ^3H analysis results were evaluated in terms of depth variability by correlating with ^3H contents of precipitation. $\delta^{18}\text{O}$ values were determined to be concentrated generally between -11‰ and -9‰, while $\delta^2\text{H}$ values were between -77‰ and -69‰. The extreme values represent samples recharged from high elevations or enrichment of water in heavy isotopes through evaporation. ^3H values in the basin range from 0 to 13.8 TU, and groundwater transit times vary between 0-65 years depending on the hydrogeological structures.

Keywords: Hydrogeological conceptualization, stable isotope, tritium, recharge area, groundwater age.

1. GİRİŞ

Türkiye'de su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi, artan nüfus ve iklim değişikliği etkileri nedeniyle giderek önem kazanmaktadır. Su kaynaklarının karakterizasyonu ve yönetimi, özellikle su kısıtı yaşayan havzalarda kritik öneme sahiptir (Gleeson et al., 2012). Bu bağlamda, yeraltısuyu sistemlerinin doğru anlaşılması ve yönetilmesi, sürdürülebilir su yönetiminin temelini oluşturmaktadır.

Kızılırmak Havzası, hem yüzey suyu hem de yeraltısu potansiyeli açısından Türkiye'nin önemli havzalarından biridir. Havzanın yıllık toplam su potansiyelinin önemli bir bölümünü yeraltısu oluşturmaktadır. Bu durum, özellikle yüzey sularının meteorolojik kuraklıktan doğrudan etkilendiği dönemlerde, yeraltısu kaynaklarının stratejik önemini artırmaktadır. Yeraltısu sistemlerinin sürdürülebilir yönetimi için, hidrojeolojik özelliklerin, beslenme-boşalım mekanizmalarının ve akış dinamiklerinin iyi anlaşılması gerekmektedir (Scanlon et al., 2006).

Hidrojeolojik sistemlerin karakterizasyonunda çevresel izotoplar güçlü bir araç olarak kullanılmaktadır (Clark ve Fritz, 1998). Duraylı izotoplar ($\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$), yeraltısu kaynaklarının kökeninin ve beslenme alanlarının belirlenmesinde önemli izleyiciler olarak kullanılmaktadır (Craig, 1961; Dansgaard, 1964). Radyoaktif izotoplar (^3H) ise yeraltısu kaynaklarının göreceli yaşı ve geçiş süreleri hakkında bilgi vermektedir (Małoszewski ve Zuber, 1982). İzotop hidrolojisi teknikleri, Kızılırmak Havzası gibi büyük ve karmaşık hidrojeolojik sistemlerde tamamlayıcı bilgiler sunmaktadır (Kendall ve McDonnell, 1998).

Büyük havzalarda yeraltısu sistemlerinin izotopik karakterizasyonu giderek daha fazla önem kazanmaktadır (Wassenaar et al., 2009). Havzadaki yeraltısu sistemlerinin heterojen yapısı, farklı alt havzalarda değişken hidrojeolojik koşulların varlığı ve yeraltısu akış sistemlerinin karmaşıklığı, bütünsel bir yaklaşımı gerektirmektedir (Darling et al., 2003). Bu nedenle, havza genelinde sistematik bir örnekleme ve analiz stratejisi geliştirilmiştir. Örnekleme noktaları, jeolojik formasyonlar, akış sistemleri ve potansiyel buharlaşma etkisi gibi faktörler göz önünde bulundurularak belirlenmiştir.

Bu çalışmada, Kızılırmak Havzası'ndaki yeraltısu sistemlerinin izotop karakteristiklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında, havzadaki yeraltısu kaynaklarının beslenme alanları, akış yolları ve yeraltısu geçiş süreleri araştırılmıştır. Elde edilen bulgular, havzadaki yeraltısu kaynaklarının yönetimi için gerekli olan kavramsal modellerin geliştirilmesine katkı sağlamıştır. Ayrıca, farklı alt havzalardaki yeraltısu sistemlerinin karakteristik özelliklerinin anlaşılması, havza ölçeğinde su yönetim stratejilerinin geliştirilmesine yardımcı olmuştur.

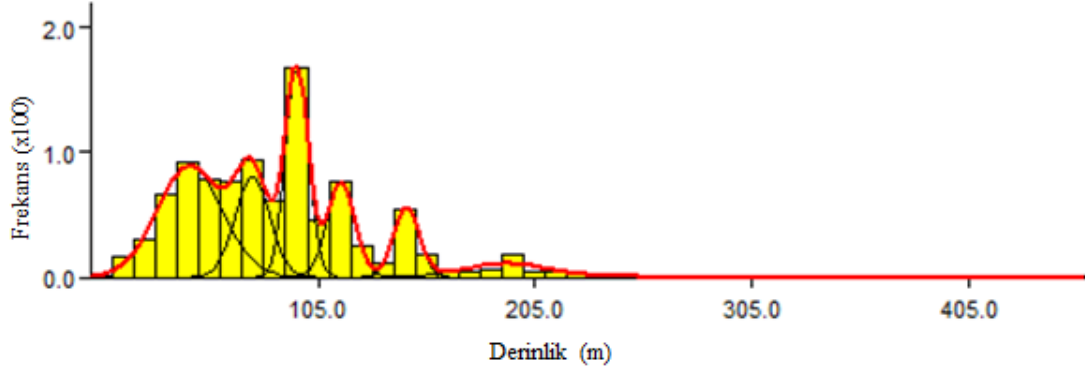
2. MATERYAL VE YÖNTEMLER

2.1. Çalışma Alanı

Kızılırmak Havzası, $37^{\circ}56' - 41^{\circ}44'$ kuzey enlemleri, $32^{\circ}48' - 38^{\circ}24'$ doğu boylamları arasında yer almakta olup, $82,181 \text{ km}^2$ 'lik yüzey alanı ile Türkiye'nin en büyük ikinci havzasıdır (Şekil 1) ve ülkenin en uzun nehri olan Kızılırmak boyunca uzanan geniş bir hidrojeolojik sistemi oluşturmaktadır. Pontidler, Kırşehir Bloğu ve Sakarya tektonik birlikleri gibi farklı tektonik birliklerin etkisi altında oluşan havzanın hidrojeolojik yapısı oldukça karmaşıktır. Bu yapıların farklı geçirgenlik özellikleri, yeraltısu kaynaklarının akış yönü ve beslenme mekanizmaları üzerinde belirleyici rol oynamaktadır.

Jeolojik ve hidrojeolojik açıdan farklı özelliklere sahip olan havza, yeraltısu bütçe hesaplamalarının kalibre edilebileceği drenaj sınırları ve uzun yıllar akım verisi bulunan gözlem istasyonları dikkate alınarak, 4. dereceden Strahler sınıfındaki akarsuları kapsayacak şekilde 27 yüzey suyu alt havzasına bölünmüş olup izotop çalışmaları alt havza bazında gerçekleştirilmiştir.

- Her derinlik sınıf aralığındaki kuyu sayısının alt havzadaki toplam kuyu sayısına oranı, o alt havza için belirlenen toplam örneklenecek kuyu sayısı ile çarpılarak her derinlik aralığı için örneklenecek kuyu sayısı hesaplanmıştır.



Şekil 2. Hirfanlı alt havzasında izotop analizi için örneklenebilir olan kuyuların derinlik histogramı ve bütünlük normal dağılım grafiği

Arazi çalışmaları sırasında yağış-yükseklik ilişkisi kurulması amacıyla 362 adet kaynaktan 158'inin izotop numunesi alınmasına uygun olduğu belirlenmiştir. Kaynak çıkış noktasından direkt akış gösteren kaynaklar tercih edilmiş, suyun yüzeyde bekleyerek güneş ışınlarına maruz kaldığı noktalarda örnekleme yapılmamıştır. Ayrıca, farklı kotlara düşen yağışın $\delta^{18}\text{O}$ derişimini görmek ve kot- $\delta^{18}\text{O}$ ilişkisini ortaya koymak için farklı kotlardaki 39 küçük debili kaynaktan da örnekleme yapılmıştır.

2.3. Analitik Yöntemler

Hidrolojik döngüde çevresel izotoplar, suların kökenini belirlemek, beslenme alanlarını tanımlamak, suların etkileşimlerini değerlendirmek ve hidrojeolojik sistemlerin dinamiklerini anlamak için kullanılmaktadır. Yağışın kararlı izotop içeriği, yağış kaynağı, buharlaşma kinetiği ve yoğunlaşma sürecine bağlıdır. Su kaynaklarında $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ konsantrasyonları özellikle sıcaklık ve yüksekliğe bağlı olarak değişmektedir. Kuzeye ve yüksek kotlara gidildikçe yağıştaki kararlı izotop miktarı azalmaktadır. Bu özellik, su kaynaklarının beslenme alanlarını tanımlamak için kullanılmaktadır.

İzotop hidrolojisinde, kararlı izotop içeriği "Viyana Standardı Ortalama Okyanus Suyu-II" (VSMOW-2) standardından sapma olarak ifade edilir. Sapma, delta " δ " notasyonu ile mil başına şu denklemle gösterilir:

$$\delta x\text{‰} = \left(\frac{R_s}{R_{sd}} - 1 \right) \cdot 1000 \quad \text{Eş.1}$$

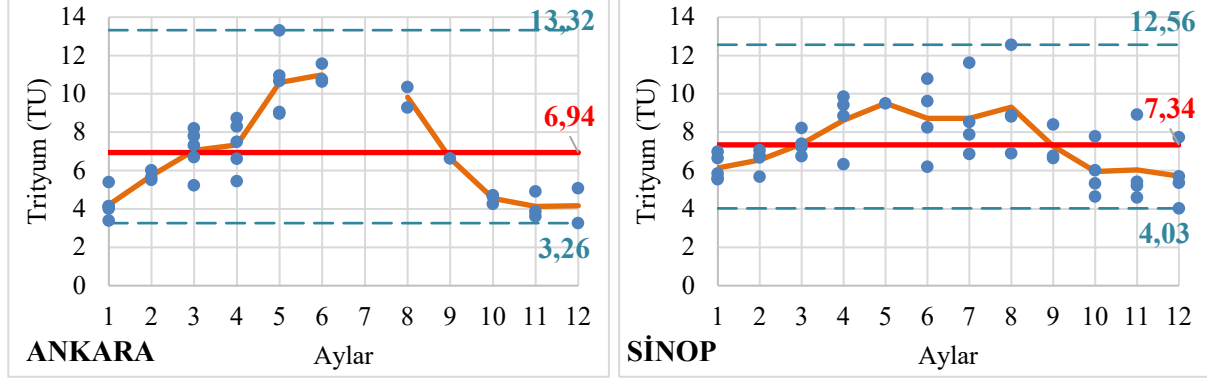
Bu denklemde; R_s : örneğin izotop oranını, R_{sd} : standardın izotop oranını, x ise ilgili izotopu ifade eder. $\delta^2\text{H}$ (x) için izotop oranı $^2\text{H}/^1\text{H}$ iken bu $\delta^{18}\text{O}$ için $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ oranıdır.

Yağışın izotop içeriği okyanuslar üzerindeki havanın nemi ve sıcaklığı ile ilişkilidir. $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ kütleleri farklı olduğundan buharlaşma ve yoğunlaşma süreçlerinin etkileri de farklıdır. Bu izotopların fraksiyonları aynı olmamakla birlikte, aralarındaki ilişki doğrusaldır. Küresel Meteorik Doğru (GML) olarak bilinen ve $\delta^2\text{H} = 8\delta^{18}\text{O} + 10$ regresyon denklemi ile ifade edilen eşitlik küresel yağışlardaki $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ fazlası ilişkisini vermektedir. Buna göre ortalama küresel yağış için uygun olan doğrunun eğimi 8 ve kesişimi 10'dur. Y eksenindeki kesişim, "döteryum fazlalığı" (dF) olarak bilinir ve küresel yağış için 10 değerine sahiptir. dF, buharlaşan suyunun kaynağındaki havanın nem, sıcaklık ve nemine bağlı olup artan nem ile azalır. Doğu Akdeniz havzası için bu değer 22-23 civarındadır. Bir havza için $\delta^{18}\text{O}$ ile $\delta^2\text{H}$ arasındaki ilişki, eğimi '8' olan ve havzaya özgü dF değeri olan "Yerel Meteorik Doğru" (YMD) ile tanımlanır ve bu doğru, bölgedeki yağışın izotopik bileşimini karakterize eder.

Trityum (^3H), hidrojen elementinin radyoaktif bir izotopu olup yarı ömrü 12,32 yıldır. Yeraltı suyunun geçiş süresini tahmin etmek için kullanılır. Konsantrasyonu, Trityum Birimi (TU) olarak ifade edilir ve 1 TU, 10^{18} normal hidrojen başına bir trityuma karşılık gelir (0,118 Bq/kg). ^3H doğal olarak stratosferde

oluşur, ancak 1950'lerdeki nükleer denemeler sonucu atmosferdeki konsantrasyonu artırmıştır. Nükleer testlerin sona ermesinden sonra radyoaktif bozunma nedeniyle konsantrasyon azalmış olup yaklaşık 60 yıl sonra Türkiye atmosferinde neredeyse doğal arka planındadır.

Kızılırmak havzasındaki doğal arka plan ^3H değerini belirlemek için 2012-2016 yılları arasında Ankara ve Sinop'taki meteoroloji istasyonlarında toplanan yağış verileri kullanılmıştır. Her iki ilde de yıllık ortalama ^3H değerleri 7 TU civarında olup, sıcak aylarda nispeten yüksek (maksimum 13 civarı), soğuk aylarda düşük (minimum 3.5 civarı) ^3H değerleri ölçülmüştür (Şekil 3).

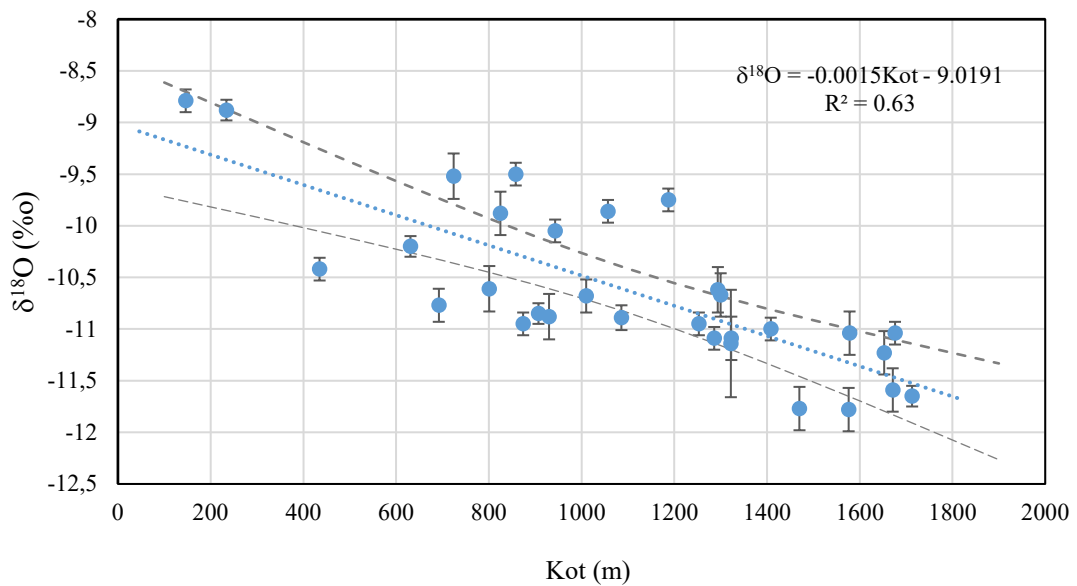


Şekil 3. Ankara ve Sinop illerindeki meteoroloji istasyonlarında ölçülen aylık ortalama ^3H değerlerinin yıl içindeki değişimi

3. BULGULAR

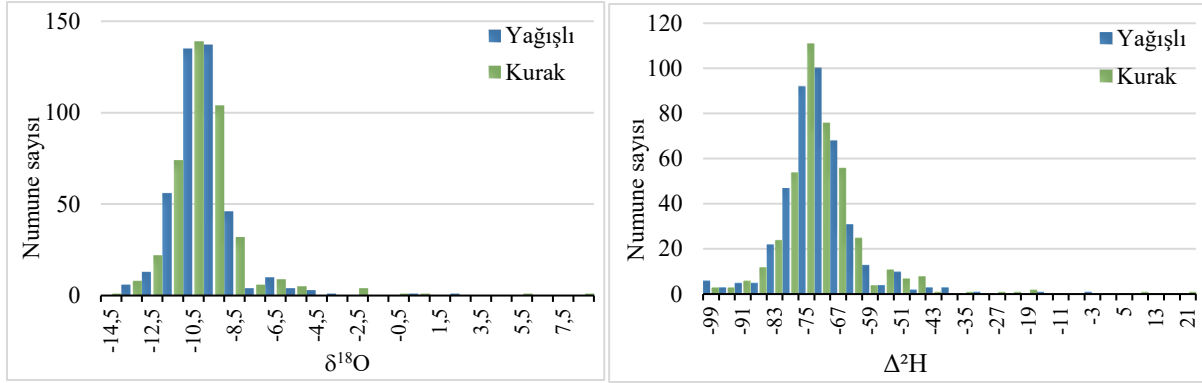
3.1. Duraylı İzotop Sonuçları

Kızılırmak Havzasında yükseklikler 0 m ile 3900 m arasında değişmektedir (Şekil 1). Topografyadaki bu değişkenlikten dolayı havzaya düşen yağıştaki izotop miktarının oldukça değişken olması beklenmektedir. Havzada farklı kotlardaki düşük debili kaynaklarda alınan numuneler üzerinde ölçülen $\delta^{18}\text{O}$ değerlerinin yükseklik ile olan değişimi incelenmiş ve uç değerler elendikten sonra elde edilen kota bağlı $\delta^{18}\text{O}$ grafiği Şekil 4'te sunulmuştur. Buna göre, her 100 metrede $\delta^{18}\text{O}$ değeri 0.15‰ azalmaktadır. Ölçümlerdeki belirsizlik düzeyi hesaba katıldığında numunelerin yaklaşık %75'i kot- $\delta^{18}\text{O}$ ilişkisini ifade eden lineer denklemin %98'lik güven aralığında yer almaktadır.



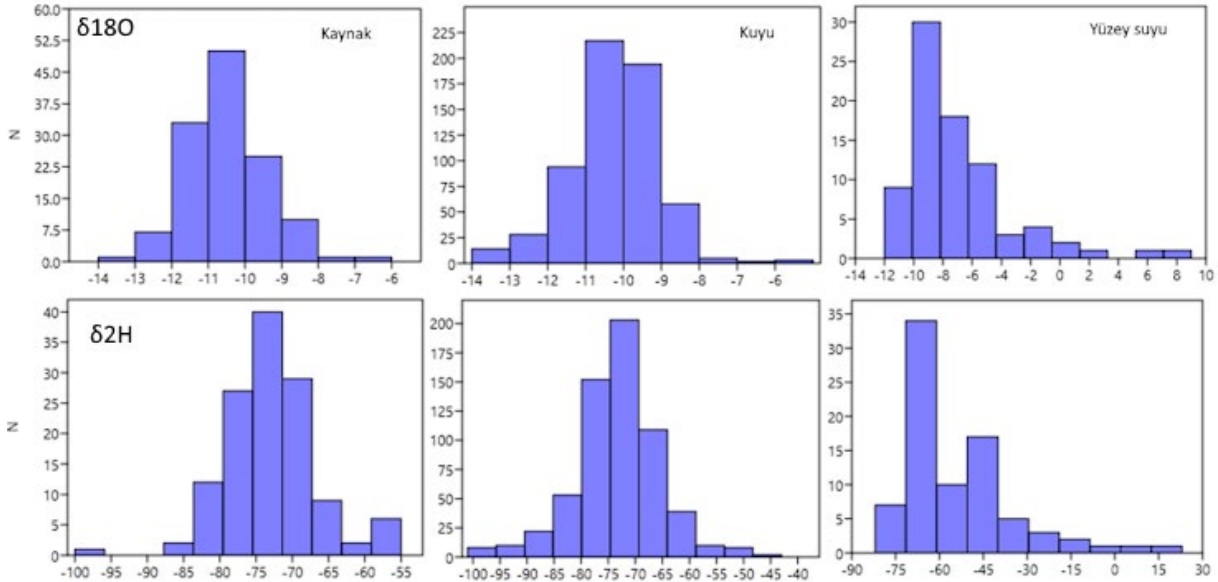
Şekil 4. Kızılırmak Havzasında $\delta^{18}\text{O}$ - kot ilişkisi, kesikli çizgiler %98 güven aralığını göstermektedir.

Alınan izotop örnekleri genel olarak tüm Kızılırmak Havzası için değerlendirildiğinde; $\delta^{18}\text{O}$ 'ın değerlerinin genelde (-11‰) ile (-9‰), $\delta^2\text{H}$ içeriklerinin de -77‰ ve -69 ‰ aralığında yoğunlaştığı görülmektedir. Düşük değerler, yüksek kotlardan ve derin kuyulardan alınan su numunelerini temsil etmekte ve yüksek kotlardaki beslenme alanlarına işaret etmektedir. Daha yüksek değerler ise buharlaşmadan etkilenen su numunelerini temsil etmektedir (Şekil 5). Yağışlı ve kurak dönemlerde alınan numuneler değerlendirildiğinde $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ değerlerinin benzer aralıklarda yoğunlaştığı, sadece kurak dönemde uç olarak değerlendirilebilecek yüksek izotop değerlerinin daha fazla noktada ölçüldüğü görülmektedir. Yukarıda da bahsedildiği gibi buharlaşma kinetiği ve yoğunlaşma süreçleri, $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ 'un faz değişimi üzerinde farklı etkiye sahiptir. Bu nedenle, farklı mevsimlerde $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ 'un birbirine oranı farklı olabir de ikisi arasındaki ilişki her iki dönemde de doğrusaldır.



Şekil 5. Kızılırmak Havzasında toplanan izotop numunelerini 18O ve 2H histogramları

$\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ değer aralıkları alınan numunelerin tipine göre incelendiğinde kuyu ve kaynakların genelde benzer aralıklarda yoğunlaştığı, $\delta^{18}\text{O}$ açısından kaynakların kuyulara göre bir miktar daha negatif değerlere sahip olduğu, yüzey sularının ise belirgin şekilde daha pozitif değerler aldığı görülmektedir (Şekil 6). Buna göre alınan izotop numunelerinin çoğunun bulunduğu kotlardan beslendiği, bazı kaynakların ve derin kuyuların daha yüksek kotlardan beslendiği, yüzey sularının (özellikle baraj ve göllerden alınan numuneler) ise buharlaşma etkisi altında olduğu söylenebilmektedir.



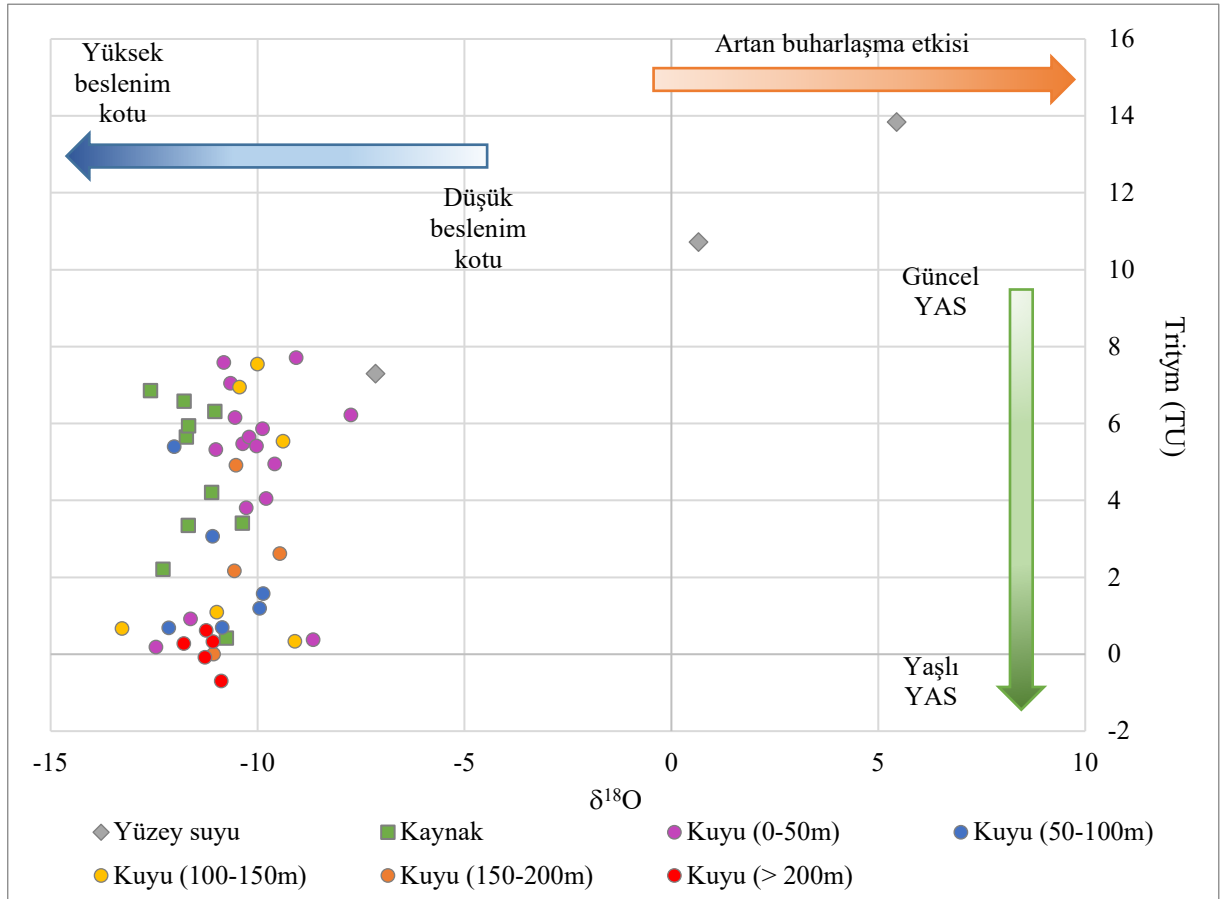
Şekil 6. Alınan izotop numunelerinin tipine göre $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ histogramları

3.2. Tritiyum Sonuçları

Proje alanından kurak dönemde izotop ölçümü için toplanan su numunelerinden kavramsallaştırmaya katkı sağlayacağı düşünülen 50 tanesinde ^3H ölçümü gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre

havzada toplanan numunelerin temsil ettiği yeraltısuyunun geçiş süresi 0 ile > 65 yıl arasında değişmektedir. Yarılama süresi göz önünde bulundurulduğunda, 0.15 TU'dan daha düşük bir ^3H değerinin 1950'lerdeki nükleer test denemelerinden daha önceki bir zamana ait beslenme zamanını temsil ettiği anlaşılmaktadır.

Kızılırmak havzasındaki ^3H numunelerinin yeraltısuyunun geçiş süresi ve beslenme yükseklikleri beraber değerlendirildiği grafikte (Şekil 7) x-ekseni boyunca azalan ^{18}O değeri daha yükseklerden beslenen numuneleri işaret ederken y-ekseninde azalan değerler ise yeraltısuyunun derin dolaşımını (veya uzun geçiş süresi) göstermektedir. Bu değerlendirmeye dayanarak, derinliği 200 m'nin üzerinde olan tüm kuyulardaki yeraltısuyunun yüksek kotlardan beslendiği ve derin dolaşıma sahip olduğu anlaşılmaktadır. Diğer taraftan derinlikleri 0-50 m arasında değişen sığ kuyuların çoğunluğunun bulundukları kotlardan beslendikleri ve güncel yeraltısularını temsil ettikleri görülmektedir. Sığ kuyulardan 3 tanesi uzun geçiş süresine sahip yeraltısuyuna işaret etmektedir. Bu kuyuların bulundukları lokasyonlara bakıldığında zaman killi birimlerin hakim olduğu litolojilerde açıldıkları dolayısıyla yeraltısuyunun bulunduğu ortamın geçiş süresini uzattığı düşünülmektedir. Kaynaklara bakıldığında 2 kaynak hariç genellikle güncel sulardan ve kuyulara kıyasla nispeten daha yüksek kotlardan beslendikleri anlaşılmaktadır.



Şekil 7. $\delta^{18}\text{O}$ ve ^3H değerlerinin geçiş süresi ve beslenme açısından ilişkisi

4. SONUÇLAR

Kızılırmak Havzası yeraltısularının izotop karakteristikleri üzerine yapılan bu çalışma, havzanın hidrojeolojik kavramsallaştırmasına önemli katkılar sağlamıştır. Yeraltısularının $\delta^{18}\text{O}$ değerleri genellikle -11‰ ile -9‰ arasında, $\delta^2\text{H}$ değerleri ise -77‰ ile -69‰ arasında yoğunlaşmaktadır. Bu aralıklar, havzadaki yeraltısularının çoğunlukla aynı meteorik kökenli olduğunu göstermektedir.

Her 100 metrelik yükseklik artışında $\delta^{18}\text{O}$ değerinin 0.15‰ azaldığı belirlenmiştir. Numunelerin yaklaşık %75'i, kot- $\delta^{18}\text{O}$ ilişkisini ifade eden lineer denklemin %98'lik güven aralığında yer almaktadır.

Kaynak sularının $\delta^{18}\text{O}$ değerlerinin kuyulara göre daha negatif, yüzey sularının ise daha pozitif olduğu gözlenmiştir. Bu durum, kaynakların daha yüksek kotlardan beslendiğini, yüzey sularının ise buharlaşma etkisi altında olduğunu göstermektedir.

^3H analizleri, havzadaki yeraltısuyu geçiş sürelerinin 0 ile 65 yıl arasında değiştiğini ortaya koymuştur. Derin kuyulardaki yeraltısuları yüksek kotlardan beslenirken, sığ kuyuların çoğunluğu bulundukları kotlardan beslenmektedir.

Kızılırmak Havzası'nda gerçekleştirilen izotop çalışmaları havzadaki yeraltısuyu akış sistemlerinin ve hidrojeolojik yapıların karakterizasyonuna katkı sağlamış olup, havza genelinde yeraltısularının etkin yönetimi için gerekli kavramsal modellerin geliştirilmesine temel oluşturmuştur.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) Yeraltısuları Dairesi Başkanlığı tarafından desteklenmiştir. Ayrıca, örnekleme ve analiz aşamalarında katkıda bulunan tüm ekip arkadaşlarımıza teşekkür ederiz.

6.KAYNAKLAR

- Clark, I., & Fritz, P., 1998. Environmental Isotopes in Hydrology. *Lewis Publishers*.
- Craig, H., 1961. Isotopic Variations in Meteoric Waters. *Science*, 133(3465), 1702–1703. <https://doi.org/10.1126/science.133.3465.1702>
- Dansgaard, W., 1964. Stable isotopes in precipitation. *Tellus*, 16(4), 436–468. <https://doi.org/10.1111/j.2153-3490.1964.tb00181.x>
- Darling, W. G., Bath, A. H., & Talbot, J. C., 2003. The O and H stable isotope composition of freshwaters in the British Isles. 2. Surface waters and groundwater. *Hydrology and Earth System Sciences*, 7(2), 183–195. <https://doi.org/10.5194/hess-7-183-2003>
- Gleeson, T., Wada, Y., Bierkens, M. F. P., & van Beek, L. P. H., 2012. Water balance of global aquifers revealed by groundwater footprint. *Nature*, 488(7410), 197–200. <https://doi.org/10.1038/nature11295>
- Kendall, C., & McDonnell, J. J., 1998. Preface. *Isotope Tracers in Catchment Hydrology*, vii–ix. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-81546-0.50005-7>
- Małoszewski, P., & Zuber, A., 1982. Determining the turnover time of groundwater systems with the aid of environmental tracers. *Journal of Hydrology*, 57(3–4), 207–231. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(82\)90147-0](https://doi.org/10.1016/0022-1694(82)90147-0)
- Scanlon, B. R., Keese, K. E., Flint, A. L., Flint, L. E., Gaye, C. B., Edmunds, W. M., & Simmers, I., 2006. Global synthesis of groundwater recharge in semiarid and arid regions. *Hydrological Processes*, 20(15), 3335–3370. <https://doi.org/10.1002/hyp.6335>
- Wassenaar, L. I., Van Wilgenburg, S. L., Larson, K., & Hobson, K. A., 2009. A groundwater isoscape (δD , $\delta^{18}\text{O}$) for Mexico. *Journal of Geochemical Exploration*, 102(3), 123–136. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2009.01.001>

Türkiye'deki NaCl Tipindeki Jeotermal Akışkanların Cl-Br Oranları Kullanılarak Kökenlerinin Belirlenmesi

Determination of Origin of NaCl Type Geothermal Fluids in Türkiye by Using Cl-Br Ratios

İsmail Noyan GÜNER^{1*}, Ali Kemal BİRİNCİ¹

¹ MTA Genel Müdürlüğü Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi)
(*noyan.guner@mta.gov.tr)

ÖZET: Yeraltısularının akım yönünün ve kökeninin araştırılmasında duraylı ve radyoaktif izotoplar, çözünmüş gazlar, jeokimyasal ve kirletici parametreler izleyiciler olarak kullanılmaktadır. Jeokimyasal parametrelerden halojen grubu elementler, soğuk ve jeotermal suların kökenlerinin beslenme-boşalım ve karışım süreçlerinin belirlenmesinde oldukça kullanışlıdır. Cl ve Br iyonlarının kaynakları hemen hemen aynıdır. Bu kaynaklar denizsuyu, evaporatik çökeller, atmosfer, kanalizasyon, yol tuzları, gübreler ve organik bileşiklerdir. Günümüzde dünya geneli için deniz suyundaki Cl iyonu 18980 mg/l, Br iyonu ise 65 mg/l kabul edilmiştir. Ülkemizdeki NaCl tipindeki yüksek çözünmüş madde miktarına sahip jeotermal akışkanların kökenlerinin belirlenmesinde Cl/Br oranları değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda Aydın (Germencik, Pamukören, Gümüşköy), Eskişehir (Alpu, Türkmentokat, Mihaliçcik), Ankara (Ayaş, Beypazarı, Polatlı), Akhüyük (Konya), Manisa (Alaşehir), Erzurum (Çaldıran), ve Çanakkale (Çan, Tuzla), Nevşehir, Niğde sahalarındaki jeotermal akışkanlar eski denizel kapanım sularıdır. Bu sonuca göre, ülkemizdeki jeotermal sistemler yenilenebilir değildir. Dolayısıyla, jeotermal sistemlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri değişmeden, üretim ve kullanım faaliyetleri sürdürülebilir şekilde yürütülmelidir.

Anahtar Kelimeler: Cl, Br, Cl-Br oranı, izleyici, jeotermal

ABSTRACT: The environmental tracers as stable and radioactive isotopes, dissolved gases, geochemical and pollutant parameters are useful tools for determining origin and direction flow of groundwater. The elements of halogen group in geochemical parameters is quite useful in determining the recharge-discharge and mixing processes of cold and geothermal waters and their origins. The sources of Cl and Br ions are almost the same. These sources are seawater, atmosphere, sewage, road salts, fertilizers and organic compounds. Nowadays, the average concentration of Cl and Br ions in seawater of the earth planet are accepted as 18980 mg/l and 65 mg/l respectively. Cl/Br ratios were evaluated in determining the origins of NaCl type geothermal fluids with high level dissolved solid content of in Türkiye. As a result of the evaluations, the geothermal fluids in the fields of Aydın (Germencik, Pamukören, Gümüşköy), Eskişehir (Alpu, Türkmentokat, Mihaliçcik), Ankara (Ayaş, Beypazarı, Polatlı), Akhüyük (Konya), Manisa (Alaşehir), Erzurum (Çaldıran), and Çanakkale (Çan, Tuzla), Nevşehir, Niğde are marine type of fossil connate waters. According to this result, the geothermal systems in Türkiye are not renewable. Therefore, the production and usage activities should be carried out in a sustainable manner without changing the physical and chemical properties of geothermal systems.

Keywords: Cl, Br, Cl-Br ratio, tracer, geothermal

1. GİRİŞ

Yeraltısuyu, yağışların yeraltına süzülmesi ya da kayaçların çökmesi sırasında litostratigrafik birimler arasında ve gözeneklerde sıkışıp kalması ile oluşmaktadır. Yeraltına süzülen su moleküllü ile çevredeki kayaçları oluşturan mineraller arasında kimyasal reaksiyon meydana gelmektedir. Bu kimyasal reaksiyon sonucunda, su molekülünün yerin sığ kısmından derin kısmına doğru çözünmüş madde miktarı artmaktadır. Yeraltısuyundaki çözünmüş iyonların değerleri, sıcaklık, kayaçların mineralojik yapısı ve basınç parametrelerine bağlı olarak değişmektedir.

Br ve Cl iyonlarının doğadaki ana kaynakları deniz suyu, evaporitik halit minerali ve denizin dalga hareketi sonucu atmosfere giren atmosferik Cl iyonları, denizden buharlaşan su molekülleri, yol tuzları

ve gübrelerdir. Brom iyonu ayrıca kanalizasyon suları ve organik maddelerde de bulunmaktadır. Yeraltısuyunun kaynağını, beslenme ve boşalım süreçleri arasındaki hareketini belirlemek için yeraltısuyundaki çözünmüş iyonlar izleyici olarak kullanılabilir. Soğuk ve jeotermal suların kökenlerinin, farklı sularla karışım oranlarının ve beslenme-boşalım ilişkisinin belirlenmesinde, periyodik tablodaki halojen grubunda bulunan Cl ve Br iyonları en etkili izleyici çözünmüş iyonlar arasında yer almaktadır.

Fontes and Matray (1993a, b) Paris havzasındaki, Buzek and Michalícek (1997) Bohemya Masifi ile Avusturya-Çekya-Slovakya içinde kalan Viyana havzasındaki, Zuber vd (1997) güney Polonya'daki derin yeraltısularındaki Cl-Br ilişkisini kullanarak söz konusu suların denizel kapanım suları olduklarını tespit etmişlerdir. Bunun yanı sıra Vengosh vd (2002), Büyük Menderes Grabenindeki termal suların Cl-Br ilişkisinden bu suların denizel kökenli olduklarını tespit etmişlerdir. Literatürde bu konu ile ilgili oldukça fazla yayın bulunmaktadır. Cl-Br iyonlarının kökensel ilişkisi, duraylı $\delta^{37}\text{Cl}$ ve $\delta^{81}\text{Br}$ izotopları kullanılarak da değerlendirilmektedir

Bu çalışma kapsamında yapılan literatür taramasında, Akdeniz için yapılmış deniz suyu analizleri derlenmiştir. Bu analizlere göre Akdeniz deniz suyunun Cl ve Br iyon değerleri ortalama olarak sırasıyla 22.100 mg/l ve 74 mg/l olarak kabul edilmiştir. Karadeniz deniz suyu ise bu değerler 10.500 mg/l ve 27,6 mg/l'dir (Parkhurst and Appelo, 1999). Ancak dünya geneli için, deniz suyunun Cl iyonu 18.980 mg/l, ve Br iyonu ise 65 mg/l ortalama değerler olarak kabul edilmiştir.

Bu çalışmada, ülkemizdeki Na ve Cl iyonları bakımından zengin soğuk ve sıcak suların kökenlerinin belirlenmesini amaçlanmıştır. Bunun için MTA Genel Müdürlüğü'nün geçmişte Türkiye genelinde açtığı sıcak su sondajları ile literatürde yayınlanmış jeotermal sondajlar ve bazı kaynakların Cl ve Br analizleri de derlenmiştir. Çalışma kapsamında 89 adet kaynakçadan faydalanılmıştır. HİDRO-2025 yazım kuralları gereği sayfa sayısı 8 sayfa ile sınırlandırılmış için söz konusu kaynakça verilememiştir.

2. JEOLJİ

Bu çalışmanın temeli oluşturan denizel kapanım suları, genellikle paleotektonik sınırlarda gözlenmektedir. Çalışma alanının bütün Türkiye genelini kapsamı nedeniyle, Görür (1988) tarafından yapılan çalışmanın Bayarı (2008)'e ait genelleştirilmiş özeti temel alınarak kullanılmıştır. Ayrıca, Konak vd. (2016) tarafından hazırlanan Türkiye'nin jeolojik yaşa göre genelleştirilmiş jeoloji haritası Şekil 1'de verilmiştir.

Günümüzde Türkiye ve dolayını kapsayan alanın jeodinamik evrimi Tetis Okyanusunun tektonik evriminin bir sonucudur. Oldukça karmaşık olan bu evrim süreci Paleo-Tetis Okyanusunun evrimini takiben Neo-tetis Okyanusunun evrimi sürecinde gerçekleşen Alpin dağ oluşum dönemlerini içermektedir. Bu süreç Neo-Tetis'e ait çeşitli okyanusal ve kıtasal kökenli paleotektonik birimleri içermektedir. Kıtasal birimler Istranca Zonu, İstanbul Zonu, Sakarya Zonu, Kırşehir Bloku, Menderes-Toros Platformu ve Arap Platformu ile temsil edilmekte iken, kıtasal birimler İç Pontid, İzmir-Ankara-Erzincan, İç Torid, Antalya ile Bitlis kenet kuşakları ile temsil edilmektedirler (Bayarı, 2008).

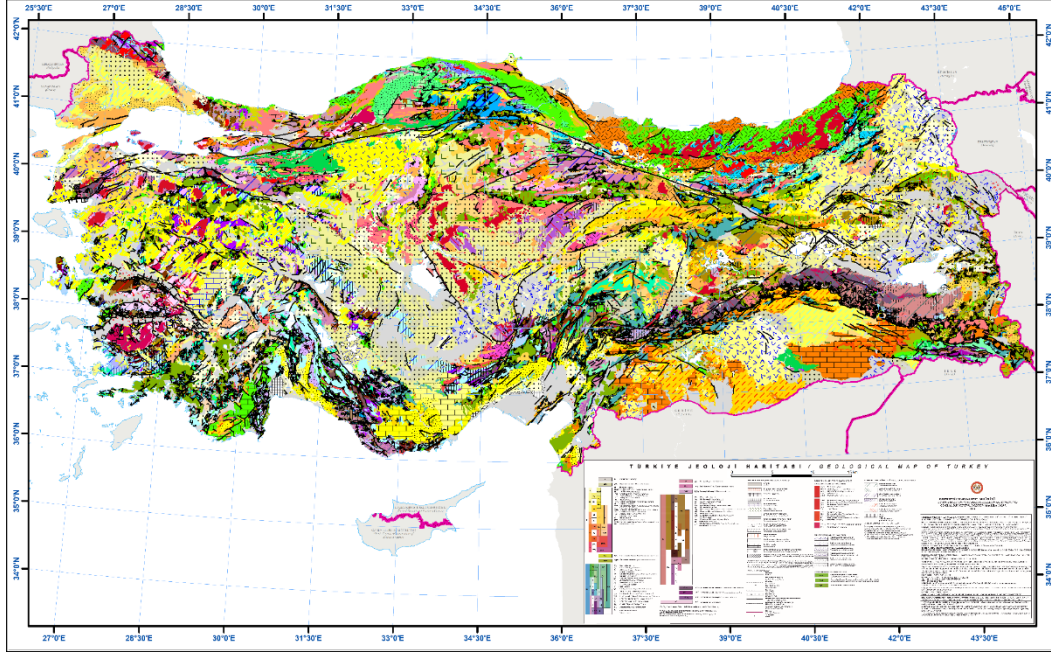
2.1 Okyanusal paleotektonik birimler

2.1.1 Doğu Anadolu Yığılma Karmaşığı

Neo-Tetis'e ait çeşitli kenet kuşaklarının (İzmir-Ankara-Erzincan, İç Torid, Bitlis, Zagros ve Sevan-Akera) bir yığılmasından oluşan bu birim Doğu Anadolu'nun temelini oluşturmaktadır. Üst Kretase yada daha yaşlı bir ofiyolitik melanj ile başlayan istif Paleosen-Eosen filisi ile devam etmekte, Oligosen-Kuvaterner yaşlı vakanitli ve sıkı denizden karasala kadar değişen çökeller ile sonlanmaktadır.

2.1.2 İç Pontid Kenet Kuşağı

Birim Neo-Tetis'in kuzey koluna ait İç Pontid Okyanusunun kapanması sonucunda gelişmiştir. Okyanus Liyas'ta açılmış, Kretase-Erken Eosen (Oligosen?) döneminde İstanbul ve Sakarya Zonlarının çarpışması sonucu kapanmıştır. Birim Üst Kretase-Paleosen yaşlı ofiyolitik melanj, ofiyolitik kaya toplulukları ve melanj karakterindeki kaya topluluklarınınca temsil edilmektedir.



Şekil 8. 1/1 000 000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası (Konak vd, 2016) (ölçek değiştirilmiştir)

2.1.3 İzmir-Ankara-Erzincan Kenet Kuşağı

Sakarya Zonunu Menderes-Toros Platformu ile Kırşehir Blok'undan ayıran birim ofiyolitik melanj ile temsil edilmektedir. Birimin temsil ettiği İzmir-Ankara-Erzincan Okyanusunun kuzeye dalımlı bir dalma-batma süreci ile kapandığı düşünülmektedir.

2.1.4 İç Torid Kenet Kuşağı

İç Torid Kenet Kuşağı Kırşehir Bloku ile Menderes-Torid Platformu arasında yer almakta olup, Triyas-Paleosen aralığında varlığını sürdüren İç Torid Okyanusunun kalıntısını temsil etmektedir. Okyanusun kuzeye dalımlı bir dalma-batma süreci sonunda Eosen'de kapandığı düşünülmektedir. Birim Paleozoyik-Kretase yaşlı sedimanter ve magmatik (genelde ofiyolitik) kayalardan oluşan bir melanj ile temsil edilmektedir.

2.1.5 Antalya Kenet Kuşağı

Bu birim Orta-Geç Triyas sırasında Menderes-Toris Platformunun güneyinde açılan ve Kretase-Miyosen'de kapanan Neo-Tetis Okyanusunun güney kolunu temsil eden (Pamfilya Okyanusu) ofiyolitik kayaçlarca temsil edilmektedir.

2.1.6 Bitlis Kenet Kuşağı

Geç Triyas'tan Erken Miyosen'e kadar varlığını sürdüren Neo-Tetis Okyanusunun güney kolunu temsil eden bu birim Menderes-Toros Platformu ile Arap Platformu arasında yer almaktadır. Bu okyanusun büyük bölümün kapanması Orta Miyosen'de gerçekleşmiş olup, Doğu Akdeniz söz konusu okyanusun günümüzdeki kalıntısıdır. Birim Üst Triyas'tan Üst Eosen'e kadar uzanan zaman dilimini kapsayan ofiyolit, ofiyolitik melanj ve kal-alkalen yay volkanitleri tipindeki kaya topluluklarını içermektedir.

2.2 Kıtasal paleotektonik birimler

2.2.1 Istranca Zonu

Günümüz Istranca ve Trakya havzalarını içeren birim Rodop Masifi'nin doğudaki uzantısıdır. Tabanda Sikitiyen yaşlı granitler ile başlayan istif Alt Triyas-Orta Jura sığ denizel kırıntılı- karbonatlarını

içermektedir. Orta Jura'da yeşilşist fasiyesinde metamorfizma izleri vardır. Senomaniyen çakıldaşları ile uyumsuz olarak örtülen birim üstte doğru Orta-Eosen-Güncel yaşlı yay-önü havza çökelleri içermektedir.

2.2.2 İstanbul Zonu

Bu birim, Atlantik tipi bir kıta kenarına ait, Ordovisiyen-Karbonifer zaman aralığında çökelmiş, metamorfik olmayan sedimanter bir istif ile temsil edilmektedir. Istranca ve İstanbul zonları olasılıkla doğrultu atımlı bir fay ile erken Eosen'de yan yana gelmişlerdir. Birimin Paleozoyik yaşlı bölümü Triyas kırıntılı ve karbonatları ile üzerlenmekte, daha üstte açısız uyumsuzlukla Üst Kretase-Tersiyer karbonatları yer almaktadır.

2.2.3 Sakarya Zonu

Uludağ, Kazdağ ve Kozak tektonik pencerelerinde daha yaşlı ve metamorfik bir kaya topluluğu üzerinde tektonik olarak bulunan Geç Paleozoyik-Triyas yaşlı bir yığılma karmaşığı ve okyanusal yay-önü çökellerden oluşan bu zon İstanbul ve Istranca zonlarından İç Pontid Kenet Kuşağı ile ayrılmaktadır. Metamorfizmanın Karbonifer yaşlı olduğu düşünülmektedir.

2.2.4 Kırşehir Bloku

Bu birim metamorfik bir temel ve çökel örtüsünden oluşur. Metamorfizmanın 95 ila 75 milyon yıl önce oluştuğu düşünülmektedir. Metamorfik temel, değişik köken ve boyuttaki, yaşlı Üst Kretase'den günümüze değin değişen havza dolgularıyla örtülmektedir.

2.2.5 Menderes-Toros Platformu

Birim kuzeyden güneye doğru her biri kendine özgü yapı, stratigrafi ve metamorfizma özellikleri gösteren beş farklı tektonik alt birimden (Tavşanlı Zonu, Afyon Zonu, Bornova Filiş Zonu, Menderes Masifi ve Toros Dağları) oluşmaktadır. Menderes Masifi kuzeyinde bulunan Tavşanlı Zonu mavişist fasiyesindeki metamorfik volkano-sedimanter kayalardan oluşmaktadır. Toros kuşağına ait Bolcardağ Birliği'nin batıya uzanan bölümünü oluşturan Afyon Zonu Paleozoyik-Alt Tersiyer yaşlı sığ denizel sedimanter bir istif ile temsil edilmekte olup, geç Senoniyen-Erken Tersiyer aralığında metamorfizmaya uğramıştır. Mesozoyik yaşlı olan Bornova Filiş Zonu Mastrohiyen-Erken Paleosen sırasında hızla parçalanıp çöken bir karbonat platformunu temsil eden karmaşık bir deformasyon sonucu oluşmuştur. Menderes Masifi Pan-Afrikan metamorfik temeli temsil eden –gözlü gnays ve migmatitlerden oluşan bir çekirdek ile bunu çevreleyen –Tavşanlı ve Afyon Zonlarındakine benzer bir istiftan oluşan bir zarf ile temsil edilmektedir. Toros Dağ kuşağı Alt Paleozoyik-Tersiyer aralığında çökelmiş platform, kıta kenarı ve okyanusal kaya istiflerinin oluşturduğu farklı tektono-stratigrafik özelliklerine göre Geyikdağı, Aladağ, Bolcardağ, Alanya, Antalya ve Bozkır olarak adlandırılan “birliklerden” oluşmaktadır.

2.2.6 Arap Platformu

Arap Platformu dalma-batma yığılma karmaşığı ile bazı kıtasal parçalardan oluştuğu düşünülen bir temel üzerinde Orta Permiyen öncesinde ve Mesozoyik-Senozoyik süresince iç-dış platform ve platform kenarı koşullarında çökelan karbonatları içermektedir. Arap Platformu'nun Menderes-Torid Platformu ve Doğu Anadolu Yığılma Karmaşığı ile olan sınırı Bitlis Kenet Kuşağı'nca temsil edilmektedir.

3. YÖNTEM

Bu çalışmayla ortaya konulan sonuçların belirlenebilmesi için kapsamlı literatür taraması yapılmıştır. MTA Genel Müdürlüğü'ne ait hizmete özel raporlar, TÜBİTAK destekli proje raporları, yerli ve yabancı dergilerde yayınlanan makaleler ile YÖK tez arşivindeki tezler taranmıştır. Bunun sonucunda Br iyonu analizinin olduğu 53 adet farklı yayına ait su kimyası analiz sonuçları elde edilmiştir. Analizler 1990-2022 yılları arasına gerçekleştirilmiştir. Analiz teknolojisinin gelişmesine bağlı olarak, su kimyasına yönelik analizlerde Br iyonu analizleri 2010 yılından itibaren yaygın olarak yer almaya başlamıştır. Değerlendirilen örneklerin elektriksel iletkenlik değerleri 700-88000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sıcaklık değerleri ise 15-270 °C arasında değişmektedir. Örneklere ait analiz sonuçları ± 5 hata payı içindedir.

Ayrıca ülkemizin bulunduğu coğrafi konum nedeniyle deniz suyu analizi için literatür taraması yapılmıştır. Buna göre, Akdeniz için Br iyonu analizinin de yapıldığı 36 adet yayına ait deniz suyu analizleri temin edilmiştir. Sayfa sayısı sınırlaması nedeniyle bu referanslar kaynakça bölümünde belirtilememiştir.

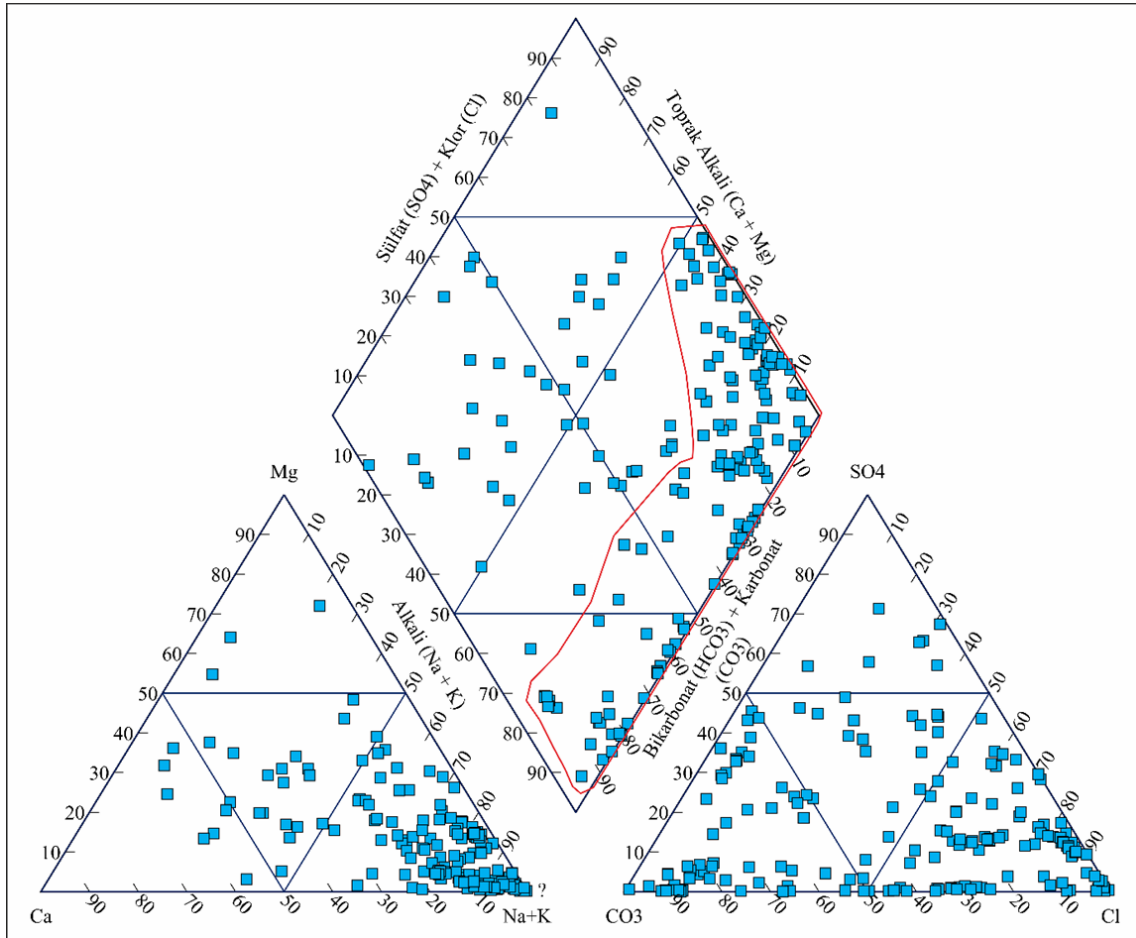
Yapılan değerlendirmeler neticesinde, Akdeniz deniz suyu için Cl ile Br iyon değerleri ortalama olarak sırasıyla 22.100 mg/l ve 74 mg/l olarak kabul edilmiştir. Karadeniz'in deniz suyu için ise, bu değer yaklaşık olarak yarı yarıya daha seyrekliktir. Marmara Denizi ve boğazlarda ise Akdeniz ve Karadeniz arasındaki ters akıntılı çift yönlü tabakalı akım sistemi nedeniyle, bu denizlere ait su analizleri temsil edici bulunmadığı için çalışmaya dahil edilmemiştir.

Grafiksel değerlendirmelerde Piper (1944) tarafından oluşturulan grafiksel değerlendirme yöntemi (Şekil 2) ve Cl-Br ilişkisi grafiği (Şekil 3) kullanılmıştır.

3.1. Piper Grafiği Değerlendirmesi

Türkiye'de derin akiferle sistemlerinde bulunan yeraltısularının çoğunluğu jeotermal sulardır. Ancak Eskişehir-Alpu ve Konya-Karapınar'da yapılan hidrojeoloji araştırma projeleri kapsamında açılan sondaj kuyularında tespit edilen yeraltısuları soğuk su özelliği göstermektedir.

Çalışma kapsamında derlemesi yapılan bu sulara ait analiz verileri kullanılarak Piper diyagramı oluşturulmuştur (Şekil 2). Şekil 2'de sunulan diyagrama göre, bu suların büyük bir kısmının Na-Cl ve NaHCO_3 fasiyesinde olduğu görülmüştür. Bazı örnekler karışık sular sınıfında değerlendirilirken, bazıları ise Ca sertliği %50'den fazla sular sınıfında yer almıştır.

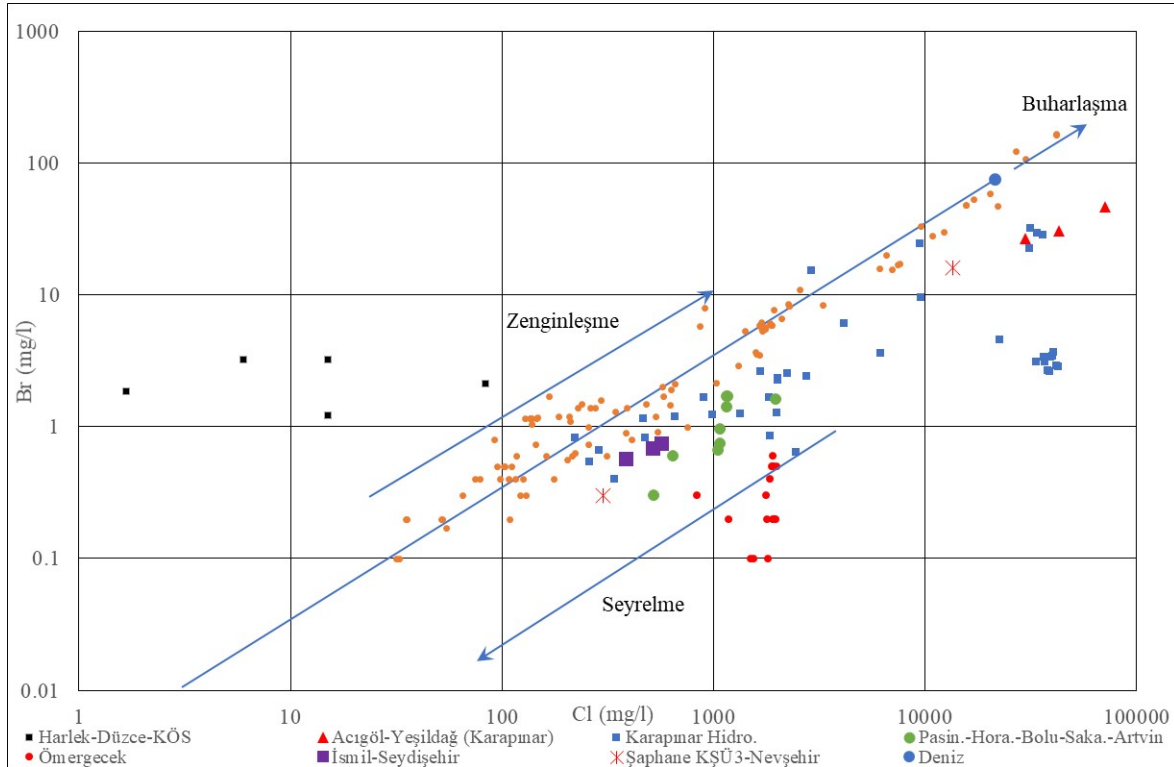


Şekil 9. Derlenen su analizlerine ait Piper grafiği

3.2. Cl-Br Grafiği Değerlendirmesi

Derlenen su analizlerine ait Cl-Br ilişkisi Şekil 3’de sunulmuştur. Grafikte yer alan Cl-Br doğrusu, deniz suyu örneğinin kavramsal olarak eşit oranda seyreltilmesi ile oluşturulmuştur. İncelenen su örneklerine ait Cl ve Br iyonlarına ait değerler Cl-Br doğrusunun üzerinde ya da çevresinde konumlanması, incelenen su örneğinin denizel kökenli olduğunu işaret etmektedir. Deniz suyuna doğru yönelim deniz suyu etkisinin arttığını ve buna bağlı olarak iyonik zenginleşmenin meydana geldiğini, tersi ise yağışlardan beslenme koşullarının etkisi ile seyrelmeyi göstermektedir. Deniz suyunun bulunduğu noktadan doğrunun dışında kalan bölge ise buharlaşma sürecini işaret etmektedir.

Çalışma kapsamında derlenen su kimyası analizlerine göre, Trakya Bölgesi (*Silivri, Edirne, Saray, Kırklareli jeotermal sondajlar*), Aydın (*Germencik, Yılmazköy, Serçeköy, Gümüşköy, Malgaçemir, Pamukören ve Çiftlikköy jeotermal sondajları*), Eskişehir (*Alpu, Türkmentokat, Mihalicçık jeotermal ve Alpu hidrojeoloji sondajları*), Kütahya (*Şaphane KŞÜ-1 jeotermal sondajı*), Denizli (*Kızıldere jeotermal sondajları*), Ankara (*Polatlı -jeotermal kaynaklar-, Beypazarı ve Ayaş jeotermal sondajları*), Amasya (*Merzifon jeotermal sondajları*), Konya (*Ereğli Akhüyük jeotermal kaynaklar*), Nevşehir (*Acıgöl ve Derinkuyu jeotermal sondajları*), Urfa (*Çamlıdere jeotermal kaynak*), Çanakkale (*Çan ve Bigadiç jeotermal sondajları*), Manisa (*Alaşehir ve Sarıgöl jeotermal sondajları*), Düzce (*Efteni jeotermal sondaj*), Erzurum (*Pasinler 2 adet jeotermal sondaj*), Bingöl (*jeotermal sondaj*), Van (*Çaldıran ve Erciş jeotermal sondaj ve kaynak*), Niğde (*Kemerhisar jeotermal sondaj*), Malatya (*Hekimhan jeotermal kaynak*), Elazığ (*jeotermal sondaj*), Sakarya (*Kuzuluk jeotermal sondaj*) ve Afyon (*Gazlıgöl jeotermal sondajları*) su örnekleri denizel kökenlidir (Şekil 3). Ancak çoğunluğu hidrolojik döngü içinde seyrelmiş durumdadır. Sadece, Afyon-Gazlıgöl, Manisa-Alaşehir, Denizli R-2 ve Amasya-Merzifon jeotermal sondajlarında Br iyonu açısından bir zenginleşme söz konusudur. Gazlıgöl’deki zenginleşmenin tarımsal aktivitelerden, Alaşehir, Merzifon ve R-2 sondajlarında ise yeraltındaki turba vb. organik malzemelerin etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Beypazarı, Mihalicçık ve Edirne sondajlarına ait örneklerinin ise deniz suyuna ait noktanın üzerinde konumlanması, bir buharlaşma ortamının olduğunu göstermektedir.



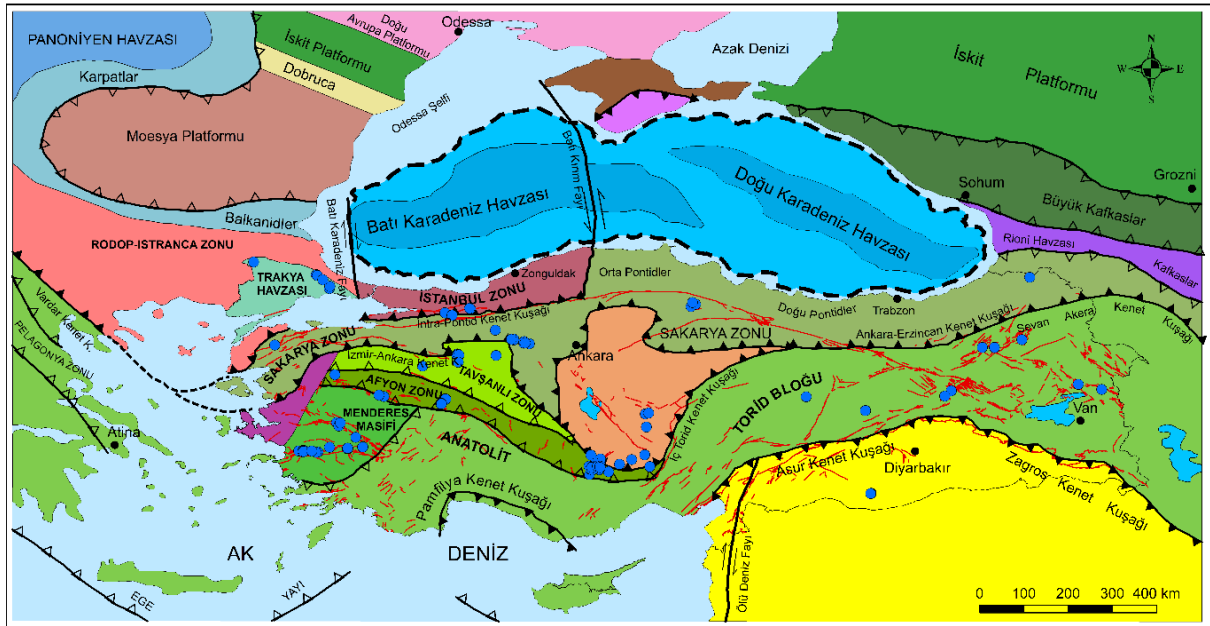
Şekil 3. Derlenen su analizlerine ait Cl-Br ilişkisi

Bu durum, bölgedeki suların geçmişte Tetis Okyanusunun kapanması sonrasında yüksek tuzluluk içeren göl ortamındaki suyun, gelişen daha genç sedimantasyon süreçleriyle formasyon içinde hapis su olarak oluştuğunu işaret etmektedir.

Konya (*Karapınar hidrojeoloji ve Yeşiladağ tuz arama sondajı, İsmil ve Seydişehir jeotermal sondajları ile Acıgöl göl suyu*), Erzurum (*Pasinler ve Horasan jeotermal sondajları*), Bolu (*Seben jeotermal sondajı*), Sakarya (*Karapürçek jeotermal sondajı*), Artvin (*Şavşat jeotermal sondajı*) ve Afyon (*Ömergecek jeotermal sondajlar*) ile Nevşehir (*Mustafapaşa jeotermal sondajı*) örneklerinde Cl iyonu açısından belirgin bir zenginleşme görülmektedir. Bu durum adı geçen örneklerle ait suların da denizel kökenli olduğunu göstermektedir. Ancak, hapis suların süreksizlik hatları boyunca yüzeye doğru hareketi esnasında daha genç yaşlı evaporit çökeltileri nedeniyle yeraltı suyunu Na-Cl katılımı olduğunu ortaya koymaktadır.

Bingöl (*Kös jeotermal sondajı*), Düzce (*Porsukağacı sulama kuyusu*) ve Kütahya (*Harlek jeotermal kaynak*) örneklerinde Br iyonu açısından zenginleşme tespit edilmiştir. Bu su noktalarının, tarımsal aktivitenin olduğu alanlarda bulunması nedeniyle, Br iyonu zenginleşmesinin ana nedeninin tarımsal gübre kullanımından kaynaklanmış olabileceğini düşündürmektedir.

İncelenen su örnekleri Okay ve Tüysüz (1999) tarafından hazırlanan kıtasal blokları ve tektonik suture zonlarını gösteren harita üzerinde işaretlenmiştir (Şekil 4). Buna göre, derlenen su örneklerinin Cl-Br ilişkisine göre denizel kökenli olması, Türkiye'nin tektonik evrimi süreciyle doğrudan ilişkilidir. Söz konusu jeotermal sular, okyanusal kapanım süreçlerinde gelişen sedimantasyon sırasında, formasyon içinde hapis olmuş deniz suyunun ürünleri olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 4. Başlıca suture'leri ve kıtasal blokları gösteren kuzeydoğu Akdeniz bölgesinin tektonik haritası (Okay ve Tüysüz, 1999)

4. SONUÇ

Yapılan değerlendirmelere göre, Na-Cl ve klor iyonu yüksek Na-HCO₃ fasiyesi ile karışık sular sınıfında bulunan ve çoğunluğunu jeotermal suların oluşturduğu akiferlerdeki suların denizel kökenli olduğu belirlenmiştir. Bu durum, söz konusu akiferlerin yenilenebilir olmadığını göstermektedir. Jeotermal kaynakların sürdürülebilirliği sağlanması için, kontrollü üretim stratejilerinin belirlenmesi, jeotermal rezervuarların etkin yönetimi için detaylı jeokimyasal çalışmaların yapılması, yeraltı suyu modellerinin oluşturulması gerekmektedir. Dolayısıyla, sürdürülebilir kullanım için üretim faaliyetlerinin kontrollü yapılması ve bütün jeotermal sistemlerde benzer çalışmaların yaygınlaştırılması önerilmektedir.

5. KAYNAKLAR

- Bayarı, C.S., 2008. Yüksek Dağlarda Karst Evriminin Bütünleşik Jeomorfolojik, Hidrojeolojik ve Speleolojik Analizler ile Kurgulanması: Aladağlar (Doğu Toroslar) örneği, TÜBİTAK- ÇAYDAG 104Y211, Ankara, 217 s.
- Buzek, F., Michalíček, M., 1997, Origin of formation waters of S-E parts of the Bohemian Massif and the Vienna Basin, *Applied Geochemistry*, Vol. 12(3), pp. 333–343.
- Fontes, J.Ch., Matray, J.M., 1993, Geochemistry and origin of formation brines from the Paris Basin, France. 1. Brines associated with Triassic salts, *Chemical Geology*, Vol. , 109(1-4), pp. 149–175.
- Fontes, J.Ch., Matray, J.M., 1993, Geochemistry and origin of formation brines from the Paris Basin, France. 1. Brines associated with Triassic salts, *Chemical Geology*, Vol. , 109(1-4), pp. 177–200.
- Görür, N., (1998). Türkiye'nin Triyas-Miyosen Paleocoğrafya Atlası, İTÜ-MTA Ankara, 55 s.
- Konak, N., Alan, İ., Bakırhan, B., Bedi, Y., Dönmez, M., Pehlivan, Ş., Sevin, M., Türkecan, A., Yusufoglu, H., 2016, 1/1 000 000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara-Türkiye.
- Okay, A.I., Tüysüz, O., 1999, Tethyan sutures of northern Turkey, *Geological Society Special Publication*, Vol. 156, pp. 475–515 pp.
- Piper, A.M., 1944. A graphic procedure in geochemical interpretation of water analyses. *Trans Am Gephys Union* Vol. 25, 914-923 pp.
- Parkhurst, D.L., Appelo, C.A.J., 1999. User's guide to PHREEQC (Version 2): A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations. US Geological Survey, Water-Resources Investigations Report 99-4259, 312 pp., Reston, Virginia.
- Vengosh, A., Helvacı, C., Karamandereci, I.H., 2002, Geochemical constraints for the origin of thermal waters from western Turkey, *Applied Geochemistry*, Vol. 17 (3), pp. 163–183.
- Zuber, A., Weise, S.M., Osenbrück, K., Mateńko, T., 1997, Origin and age of saline waters in Busko Spa (Southern Poland) determined by isotope, noble gas and hydrochemical methods: Evidence of interglacial and pre-Quaternary warm climate recharges, *Applied Geochemistry*, Vol. 12(5), 643–660 pp.