



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Maden Çayı Metal İçeriğinin Tespiti ve CBS Destekli Değerlendirilmesi

 Talip TURNA^{a,*},  Cansu ÖZTEKİN KARA^b

^a Teknik Bilimler MYO, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır, TÜRKİYE

^b Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Rize, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: talipturna@gmail.com

DOI: 10.29130/dubited.867029

Öz

Dicle Nehri; sınıraşan sular kategorisinde yer alan ve uluslararası anlamda da büyük bir öneme sahip sucul ekosistemlerimizden biridir. Bu çalışmada, akuatik sistemin bir parçası olan Maden Çayı'ndaki su kalitesi ağır metal kirliliği yönünden değerlendirilmiştir. Ayrıca tespit edilen parametrelerin görsel olarak etkili bir şekilde sunulabilmesi için Coğrafi Bilgi Sistemi dağılım haritaları kullanılmıştır. Maden Çayı besleme havzası içerisinde faaliyet gösteren bakır madeni yıllardır işletilmektedir. Bu nedenle Maden Çayı metal içeriği bakımından kirlilik riski taşımaktadır. Bu kirliliği belirlemek amacı ile Maden Çayı membaı; bakır çıkartma faaliyeti yürütülen alan, madencilik faaliyetine 1 km uzaklıkta bulunan alan ve Maden Çayı mansabı olmak üzere dört farklı noktadan mart, nisan ve mayıs aylarında su numuneleri alınarak; As, Cd, Cu, Cr, Hg, Mn, Pb, Se ve Zn tayinleri yapılmıştır. Sonuçlar Yüzeysel Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliğine göre değerlendirildiğinde; Maden Çayı As, Cd, Mn, Se ve Zn elementleri için I. Sınıf sular, Cr metali için II. Sınıf sular, Pb metali için çoğunlukla II. Sınıf sular, Hg ve Cu metali için ise IV. Sınıf sular kategorisine girmektedir.

Anahtar Kelimeler: CBS, Dicle Nehri, Maden Çayı, ICP-MS, Metal analizleri, Su Kalitesi.

Determination and GIS Supported Assessment of Metal Content of Maden Stream

ABSTRACT

The Tigris River is one of our aquatic ecosystems, which is in the category of transboundary waters and is of great international importance. In this paper, the water quality in Maden Stream, which is a part of the aquatic system, has been evaluated in terms of heavy metal contamination. Geographical Information System distribution maps were used to present the determined parameters visually effectively. A copper mine has been operating in the feed basin of Maden Stream for years. For this reason, Maden Stream carries a pollution risk in terms of metal content. In order to determine this pollution, water samples were taken in March, April and May from four different points: the upstream of the Maden Stream, the area where copper extraction activity is carried out, the area located 1 km away from the mining activity and the downstream of Maden Stream, and in the water samples, As, Cd, Cu, Cr Hg, Mn, Pb, Se and Zn were analyzed. When the results are evaluated according to the Regulation on Surface Water Quality Management, Maden Stream can be considered in the first category in terms of As, Cd, Mn, Se, Zn and in the second category in terms of Cr metal. Considering the Pb metal, Maden Stream can be categorised mostly in the second category and in the forth category in terms of Hg and Cu metal.

Keywords: GIS, Tigris River, Maden Stream, ICP-MS, Metall analysis, Water Quality.

I. GİRİŞ

Sanayi Devrimi sonrası oluşan hızlı büyüme, gelişen teknoloji, çeşitlenen ihtiyaçlar ve modernleşmenin getirdiği endüstriyel üretim, çevresel değerler ile ekonomik değerler arasındaki ilişkinin ekonomik değerler yönüne doğru kaymasına sebep olmuştur. Zaman ilerledikçe ortaya çıkan etkiler ile birlikte çevre sorunlarının küresel bir boyut kazanması, zorunlu olarak sürdürülebilir kalkınma anlayışının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu anlayış; yaşamsal faaliyetlerimizin devamı için vazgeçilmez olan su kaynaklarının bilinçsiz kullanımı ve üretim faaliyetlerinin kirlilik riski oluşturması sebebi ile daha fazla önem kazanmıştır [1].

Ülkemizde ve dünyada; endüstriyel faaliyetler ve insani tüketimde kullanılmak üzere su temini için optimum bir planlama yapılmalıdır. Bu planlama içerisinde su kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılabilmesi için projelendirme, inşaa ve işletme gibi ana faktörlerin yanında kaynaktan su temini, atık sular için alıcı ortam olma durumu, hidroelektrik enerjisi için kullanım, tarım, balıkçılık ve çeşitli amaçlar için kullanılabilirliğinin hep birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir [2]. Bu olgu çerçevesinde değerlendirme yapmak gerekirse Dicle Nehri; akış boyunca etkileşim içerisinde olduğu pek çok il ve ilçede tarımsal sulama, balıkçılık faaliyetleri ve içme suyu kaynağı olarak kullanılmaktadır [3].

Dicle Nehri, kaynağından çıktıktan sonra Maden ilçesinden geçer ve bu bölgede Maden Çayı ismini alır. Daha sonra güneydoğu istikametinde dar ve derin vadilerden geçerek Diyarbakır ilinin konumlandığı lav bölgesinin doğu kesimine doğru paralel olarak akar [4], [5]. Bulduğu havza gereği madencilik faaliyetlerinden etkilenme riskine sahip Yukarı Dicle Havzası içerisinde bulunan Maden Çayı 387.3 km² yağış alanına sahip olup, ortalama debisi yaklaşık 6.53 m³/s'dir. Maden Çayı; 38.4108-39.5162 coğrafi koordinatlarından doğup Kralkızı Barajı'na dökülmektedir. Elektrik üretimi ve tarımsal sulama amacı ile faaliyet gösteren bu baraj yakın bir gelecekte bitirilmesi planlanan sulama sistemleri ile Diyarbakır merkez ve Ergani ilçelerindeki yaklaşık 25.000 hektar arazinin sulanmasını sağlayacaktır [6].

Maden ilçesi zengin bakır, kurşun, çinko, demir, gümüş ve altın madeni yataklarına sahiptir [7]. Maden ilçesi sınırlarından geçen bu çay, bölgedeki madencilik faaliyetlerinin oluşturduğu çevresel kirlenmeye maruz kalma yönünden oldukça riskli bir havzadadır. Maden Çayı besleme havzası içerisinde faaliyet gösteren bakır madeni dünyanın bilinen en eski yataklarından biridir. 1939 yılında Etibank tarafından ilk üretime başlanmış, uzun yıllar üretim yapıldıktan sonra 1994 yılında özel sektöre devredilmiştir. Bölgedeki en önemli cevher mineralleri; pirit, kalkopirit, manyetit ve pirotindir. Bu işletmede; 528.557 ton blister bakırın yanı sıra 133.565 ton sülfirik asit, blister bakırdan 1.316 kg altın ve 7.557 kg gümüş elde edilmiştir. İşletmenin üretim sonucu ortaya çıkan sızıntı suları, flotasyon atıkları ve katı atıkları Maden Çayı'na boşalmaktadır. Ayrıca akarsuyun besleme havzası içerisinde krom yatakları da bulunmaktadır [8].

Maden arama, cevher zenginleştirme ve işleme gibi faaliyetlerin yanında; mevsimsel yağışlar neticesinde ortaya çıkan atık sular ve sızıntı suları Maden Çayı'nın su kalitesini etkilemektedir. Maden Çayı geçmiş olduğu alanlarda; sulama, içme suyu temini, balıkçılık gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Maden Çayı özeli ve Dicle Nehri geneli dikkate alındığında; havza bazında su kalitesi inceleme çalışmaları havzanın faydalı kullanım maksadını kontrol etme bakımından oldukça önemlidir. Özellikle yerleşim yerlerinin su kenarlarında kurulduğu ve her türlü sıvı deşarjlarının alıcı ortam olarak bu çay veya nehirlere verildiğini düşünüldüğünde; bu suların özümleme kapasitelerinin aşılmasına ve kirlilik derecesinin belirli bir seviyenin üzerine çıkmamasına özen gösterilmelidir [9].

Bu bağlamda su kalitesinin izlenmesi için günümüzde çeşitli yaklaşımlar kullanılmakla birlikte; verilerin detaylı analizi ve yapılan modellemeler sonucunda oluşturulan görsel grafikler neticesinde, araştırmacıya sunduğu geniş perspektifler sayesinde analiz, modelleme, daha hızlı sonuca ulaşma ve farklı koşulları değerlendirebilmesi bakımından CBS kullanımını oldukça yaygın hale gelmiştir [10]–[13]. CBS ile ekolojik analizler ve ekolojik modelleme sayesinde betimsel değerlendirme haritaları,

bütüncül ekolojik değerlendirme yaklaşımları yapılabilen ve böylece tüm konumsal ölçekler ve çok farklı ekosistem tiplerine kadar geniş bir alanda kullanım imkânı bulunmaktadır. CBS yöntemleri, geleneksel olarak kullanılan yöntemlerden farklı olarak problemleri daha geniş bir çerçevede ele alabilmektedir. Bu sistemler ile çevresel olarak hassas alanların değerlendirilmesi, koruma alanlarının tespiti ve alternatif planların üretilmesi oldukça başarılı bir şekilde yapılabilmektedir [14]. CBS yardımıyla yapılan bir çalışmada Gala Gölü ve besleme havzasında limnolojik parametreler CBS dağılım haritaları yardımıyla incelenmiş olup elde edilen sonuçlara göre; göl ve çevresindeki çeşitli noktalarda azot ve fosfor kirliliğinin olduğu tespit edilmiştir[15].

Yüzeysel su kalitesinin değerlendirilmesinde en önemli hususlardan birisi, havzada yağışlar ile yıkanarak çözünen çeşitli metal bileşiklerinin yüzeysel sulara ve yeraltı suyuna ulaşması hususudur. Bölge genelinde madencilik faaliyeti olması durumunda çeşitli işlemler sırasında (kayaçların kırılması, öğütülmesi ve işlenmesi vb.) meydana gelen atıklar yağışlar nedeniyle toprağa ve buradan da yıkarak yüzeysel ve yeraltı su kaynaklarına karışabilmektedir. Bunun yanında tarımsal üretimde kullanılan gübre ve ilaçların bünyesinde de ağır metaller bulunmaktadır. Meriç Nehri'nin su kalitesinin irdelendiği bir çalışmada nehrin organik kirlilik ve ağır metal kirliliği yönünden tehdit altında olduğu, bunun sebebinin ise hem tarımsal üretim hem de sanayi kaynaklı deşarjlardan kaynaklandığı belirtilmiştir [16].

Sürdürülebilir çevre anlayışının önem kazandığı alanlardan biri olan madencilik faaliyetleri sırasında; kayaçların kırılması, öğütülmesi ve işlenmesi sürecinde oluşan pasa ve çamur atıklarının içerisinde kalan cevher mineralleri (kurşun, kadmiyum, bakır, arsenik, nikel, krom, çinko ve cıva) yağmur ve yüzey suları ile yıkanarak toprağa ve suya karışabilir. Bu metaller bitki büyümesi sırasında da floranın bünyesine geçerek toksik etki yapmaktadır [17]. Besin zincirinin devamı da dikkate alındığında bu flora ile beslenen diğer canlı türlerine ve insanlara ulaşan ağır metaller vücutta çeşitli etkilere neden olmaktadır. Bu etki ağır metalin çeşitli fizikokimyasal özelliklerine (iyon yapısı, çözünürlüğü, kompleks oluşturabilme yetisi vb.) bağlı olmakla birlikte, direkt olarak ağır metalin çevrede bulunma sıklığına ve dolayısıyla derişimine dayanmaktadır. Sürekli birbiri ile etkileşim halinde bulunan ekolojik bileşenler arasındaki biyoakümülyasyon ve biyomagnifikasyon gibi süreçler neticesinde; bu metaller canlı vücudunda birikerek, besin zinciri yolu ile bütün canlıları etkileyebilir. Örneğin Porsuk Çayı'nda yapılan bir çalışmada su, sediment ve çeşitli balık türlerinin dokularında ağır metal analizleri yapılmış; bu dokularda ağır metal birikimlerinin olduğu sonucuna ulaşılmıştır [18]. Canlı vücudunda biriken bu ağır metaller toksik etkilerinin yanı sıra DNA hasarı, protein yıkımı, gibi otoimmün hastalıklar (crohn hastalığı, ülseratif kolit, romatizma vb.), böbrek, egzama, alerji ve astım gibi organik hastalıklar ve bunun yanında depresyon, migren, Alzheimer ve Parkinson gibi nörolojik bozukluklara da sebep olmaktadır [19]–[21].

Sularda bulunan metallerin ölçümünde değişik spektrofotometrik ölçüm cihazları kullanılmaktadır. UV-Vis Spektrofotometre, Alevli Atomik Absorpsiyon Spektrofotometre (AAS), Grafit Fırın Atomik Absorpsiyon Spektrofotometre (GF-AAS), İndüktif Eşleşmiş Atomik Emisyon Spektrofotometre (ICP-AES) ve İndüktif Eşleşmiş Kütle Spektroskopisi (ICP-MS) yöntemleri; içme ve kullanma sularında metal analizleri için kullanılan yaygın tekniklerdir. ICP-MS tekniği ile metal analizlerinde düşük belirtme sınırlarına inilebilmesi, uçucu ve düşük derişimlerdeki türler için herhangi bir ön işleme gerek duyulmaması, geniş çalışma aralığı ve doğruluğu açısından çoklu metal analizlerinde diğer tekniklere göre avantaj sağlamaktadır.

Bu çalışmada tarımsal sulama amacı ile kurulan Kralkızı Barajı'nı besleyen ve besleme havzası içerisinde bakır üretim sahaları bulunan Maden Çayı'nda, ICP-MS tekniği kullanılarak; Arsenik (As), Kadmiyum (Cd), Bakır (Cu), Krom (Cr), Cıva (Hg), Mangan (Mn), Kurşun (Pb), Selenyum (Se) ve Çinko (Zn) tayini yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar CBS ile analiz edilerek, çayın su kalitesi irdelenmiş ve sonuçlar YSKYY'ye göre değerlendirilmiştir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Su Numunelerinin Toplanması

Su numuneleri 2016 yılının mart, nisan ve mayıs aylarında, memba ve mansap hattı üzerinde CBS yardımıyla belirlenen dört farklı noktadan PTFE numune kaplarına anlık olarak alınmıştır. Bu noktalar Şekil 1’de gösterilmiştir. Alınan numuneler HNO₃ ile pH≤2 olacak şekilde asitlendirilerek korumaya alınmıştır.



Şekil 1. Çalışma alanı ve su numunelerinin alındığı noktalar

2.2. Örneklerin Analize Hazırlanması

Su numunelerinden 2.5 ml alınarak, PTFE çözünürleştirme tüplerine konulmuş, üzerine 4 ml HNO₃ ve 2 ml H₂O₂ ilave edilerek 200 °C’de 15 dakika süreyle mikrodalga fırında çözünürleştirilmiştir. Çözünmüş örnekler, 25 ml’ lik balon jöjelere alınarak deiyonize su ile tamamlanmıştır. Şahit (kör) deneyleri birbirinden bağımsız 3 deney olarak aynı yöntem ile yapılmıştır.

2.3. Kullanılan Cihazlar ve Kimyasallar

Numune alınan noktaların koordinatları; GARMIN e Trex 10 GPS cihazı ile belirlenmiştir. As, Cd, Cu, Cr, Hg, Mn, Pb, Se ve Zn tayini için Agilent 7700X model ICP-MS kullanılmıştır. Örneklerin analiz öncesi çözünürleştirme işlemi, PTFE tüplere sahip Milestone Start D marka mikrodalga fırında yapılmıştır. Kullanılan kimyasallar analitik saflıkta olup nitrik asit (Merck) ve hidrojen peroksit (Merck) kullanılmıştır. Bütün deneylerde 18.2 MΩ deiyonize saf su kullanılmıştır. ICP-MS ölçümlerinde mix internal standart olarak 200 µg L⁻¹ derişiminde 45Sc, 72Ge, 115In, and 209Bi kullanılmıştır. Kalibrasyon grafikleri 10 mg L⁻¹ mix standarttan 0-100 µg L⁻¹ derişim aralığında seyreltilerek As, Cd, Cu, Cr, Hg, Mn, Pb, Se ve Zn metalleri için hazırlanmıştır.

2.4. Metodun Geçerliliği

Dokuz element için çalışılan optimize koşullar altında, her bir metal için 0-100 µg L⁻¹ derişimlerinde çizilen kalibrasyon grafiğine ait R değerinin 0.99’dan büyük olması lineerliği kabul edilebilir olarak değerlendirilmiştir. Birbirinden bağımsız 3 körün analizi ile dokuz metal için gözlenebilme sınırı

(LOD) ve tayin sınırı (LOQ) hesaplanmıştır (LOD = 3.σ and LOQ=10.σ). Bakır için bu LOD ve LOQ değerleri sırasıyla 1 ve 3.3 µg L⁻¹ olarak belirlenmiştir. Yöntemin doğruluğu ve kesinliği Standart Referans Madde (SRM) RTC-QC1014 Water kullanılarak değerlendirilmiştir [22].

2.5. CBS Çalışması

Yukarı Dicle Havzası içerisinde bulunan 43.14 km² 'lik çalışma alanı, Topoğrafik haritadan (STH) sayısallaştırılma yöntemi ile elde edilmiştir. Örnekleme noktaları ise GARMIN e Trex 10 el GPS'i yardımıyla belirlenerek, Wgs84 datum ve UTM Zone 37 coğrafi koordinatları ile ArcGis 10.6 yazılımına aktarılmıştır. 1:25000 ölçekli Standart. ArcGis yazılımının Mekânsal Analiz (Spatial Analyst) modülünde yer alan Density (Kernel Density) modülü kullanılarak yoğunluk haritaları oluşturulmuştur. Örnekleme noktalarının koordinatları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Numune alınan noktaların koordinatları

Noktalar	X	Y
1	557098.35	4251542.72
2	558682.20	4249503.43
3	559270.52	4249427.84
4	559497.10	4249021.15

III. BULGULAR ve TARTIŞMA

3.1. Sonuçların YSKYY'ye Göre Değerlendirilmesi

Maden Çayı'nın besleme havzası sınırları içerisinde madencilik faaliyetleri sürdürüldüğünden dolayı; maden arama, cevher zenginleştirme, sızıntı suları ve mevsimsel yağışlar neticesinde Maden Çayı çevresel risk taşıyan bir bölgededir. Bu riskin neticesinde; su kalitesindeki değişimin tespiti ve sınıflandırılması için YSKYY kapsamında bir değerlendirme yapmak gerekmektedir. Tablo 2'de yönetmelik kapsamında verilen iz elementlerin su kalitesi sınıfı belirlemedeki sınır değerleri verilmiştir.

Tablo 2. İz elementler (metaller) kirlilik parametreleri [23]

Su Parametreleri	Su Kalite Sınıfları			
	I	II	III	IV
Arsenik (µg As/L)	≤ 20	50	100	> 100
Bakır (µg Cu/L)	≤ 20	50	200	> 200
Cıva (µg Hg/L)	≤ 0.1	0.5	2	> 2
Çinko (µg Zn/L)	≤ 200	500	2000	> 2000
Kadmiyum (µg Cd/L)	≤ 2	5	7	> 7
Krom (toplam) (µg Cr/L)	≤ 20	50	200	> 200
Kurşun (µg Pb/L)	≤ 10	20	50	> 50
Mangan (µg Mn/L)	≤ 100	500	3000	> 3000
Selenyum (µg Se/L)	≤ 10	≤ 10	20	> 20

Arsenik, kadmiyum, mangan, selenyum ve çinko metalleri için sonuçlar (Tablo 3) değerlendirildiğinde; Şekil 1'de gösterilen noktalardan alınan su örneklerinin YSKYY'ye göre I. Sınıf (Yüksek kaliteli sular) sular sınıfına girmektedir. Örneklemenin yapıldığı noktalarındaki su numunelerinde; arsenik, kadmiyum, selenyum ve çinko sonuçları açısından anlamlı bir artış veya azalış görülmemektedir. Mangan miktarı açısından bir değerlendirme yapıldığında ise mambadan mansaba doğru bir artış görülmektedir.

Krom metali açısından sonuçlar değerlendirildiğinde; Şekil 1’de gösterilen noktalardan alınan su örneklerinin YSKYY’ye göre II. Sınıf (Az kirlenmiş su) sular sınıfına girmektedir. Mema ve mansab noktalarındaki su numunelerinde mart, nisan ve mayıs aylarında krom açısından bir artış görülmemiştir.

Tablo 3. Maden çayı metal analiz sonuçları

Metaller ($\mu\text{g}/\text{L}$)	Mart				Nisan				Mayıs			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
As	2.0	1.5	1.7	1.8	1.8	1.9	2.1	1.5	15.7	1.9	2.1	2.1
Cd	0.6	0.5	0.5	0.1	0.1	0.9	1.1	0.1	0.8	0.9	0.8	0.9
Cu	<1	145.7	136.0	92.7	<1	62.3	51.8	53.5	47.7	270.8	202.1	54.7
Cr	36.9	27.8	31.9	28.6	25.4	25.7	31.2	17.3	24.1	22.1	23.6	24.4
Hg	1.1	1.30	3.8	4.6	0.4	1.8	1.9	2.6	1.6	2.6	2.8	25.2
Mn	57.6	97.7	95.7	89.7	19.0	58.2	70.7	24.1	28.6	108.9	103.7	71.8
Pb	12.8	8.6	9.9	3.1	1.2	11.6	21.4	2.5	11.2	13.0	10.4	13.9
Se	2.3	2.5	2.6	2.3	2.2	2.5	3.0	2.0	2.0	2.4	3.1	2.6
Zn	65.0	61.2	122.0	73.7	59.9	66.0	101.6	43.5	159.3	148.2	120.3	118.2

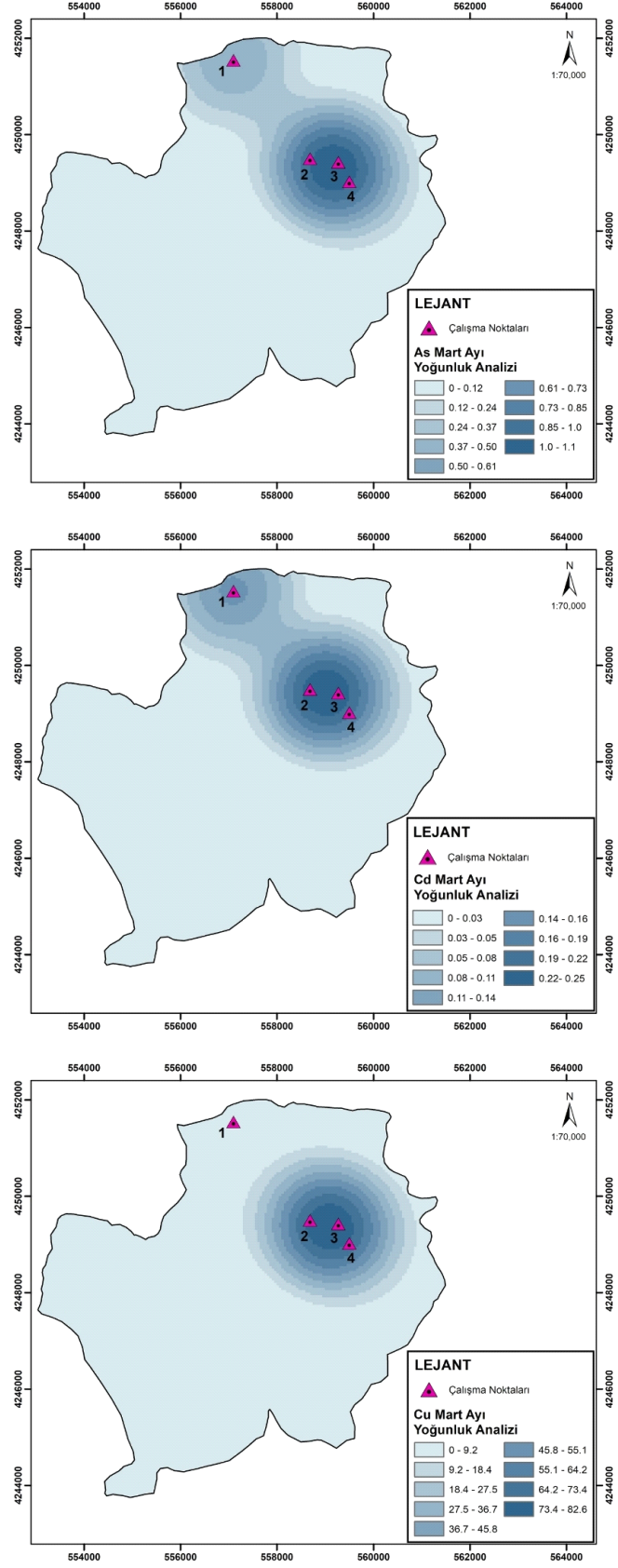
Kurşun metali için yapılan değerlendirmede üç örnekteki su örnekleri I. Sınıf (Yüksek kaliteli sular) sular sınıfına girerken, geri kalan su örnekleri II. Sınıf (Az kirlenmiş su) sular sınıfına girmektedir. Nisan ayındaki örneklemlerde maden sahasına yakın olan 2. ve 3. noktalardaki (Şekil 1) su numunelerinde kurşun değerinde artış görülmüştür.

Cıva, en zararlı kirleticilerden biri olarak kabul edilmektedir. Cıvanın insan sağlığı ve çevreye olumsuz etkisi oldukça yüksektir. Sudaki yüksek çözünürlüğünden dolayı yüzey sularında kararlı inorganik formları yaygın olarak bulunabilir. İnsanların sinir ve endokrin sistemlerinde ciddi tahribata yol açar [24]. Cıva metali için yapılan değerlendirmede her üç ay içinde 2. noktadan itibaren su örnekleri III. Sınıf (Kirlenmiş su) sular sınıfına girerken, mansab noktalarındaki su örneklerinde ise bu değer artarak IV. Sınıf (Çok kirlenmiş su) sular sınıfına girmektedir.

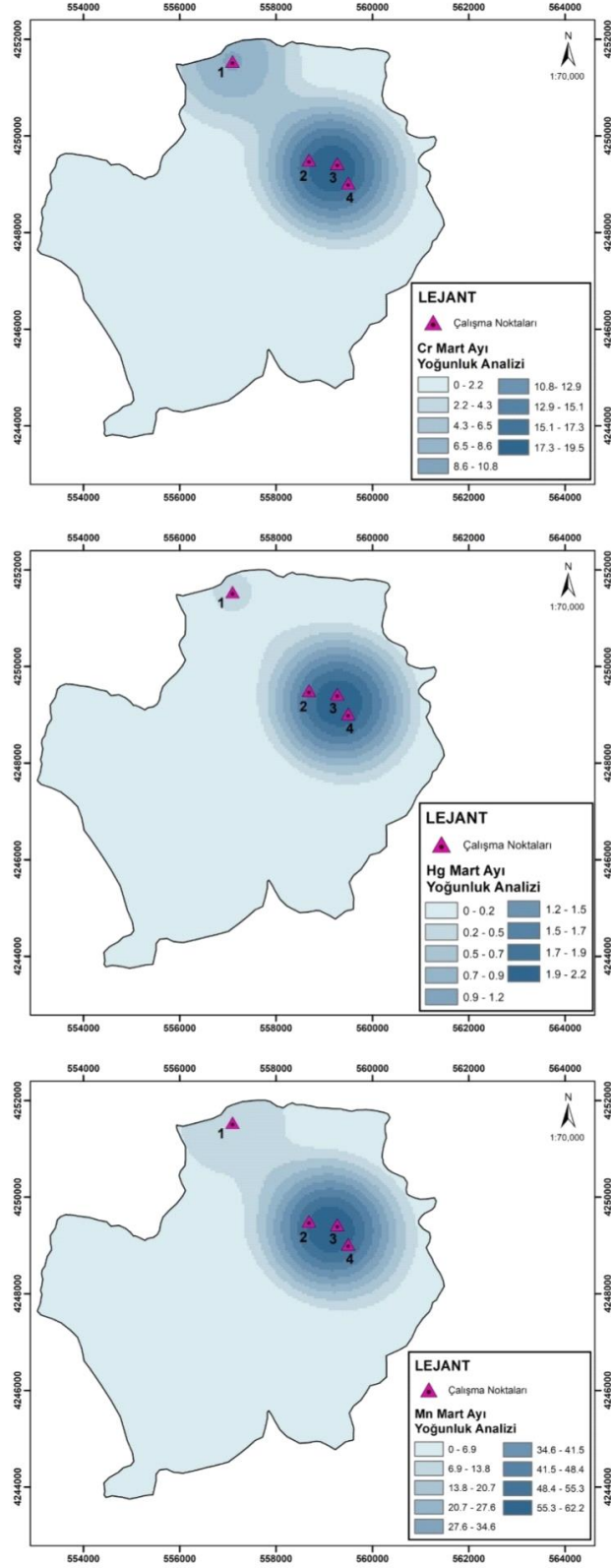
Bakır; insan, bitki ve hayvan bünyesi için gerekli bir metaldir. Fakat diğer gerekli elementler gibi bakırın da yüksek miktarlarda alınması zararlı ve toksik etki yaratabilmektedir. Bakırın aşırı alınımında beyin, karaciğer ve pankreas içindeki birikimi Wilson hastalığına neden olabilir [25]. Bakır metali açısından sonuçlar değerlendirildiğinde; membada I. Sınıf (Yüksek kaliteli sular) olan su kalitesi diğer noktalarda IV. Sınıf (Çok kirlenmiş su) sular sınıfına kadar yükselmektedir.

3.2. Sonuçların CBS ile Değerlendirilmesi

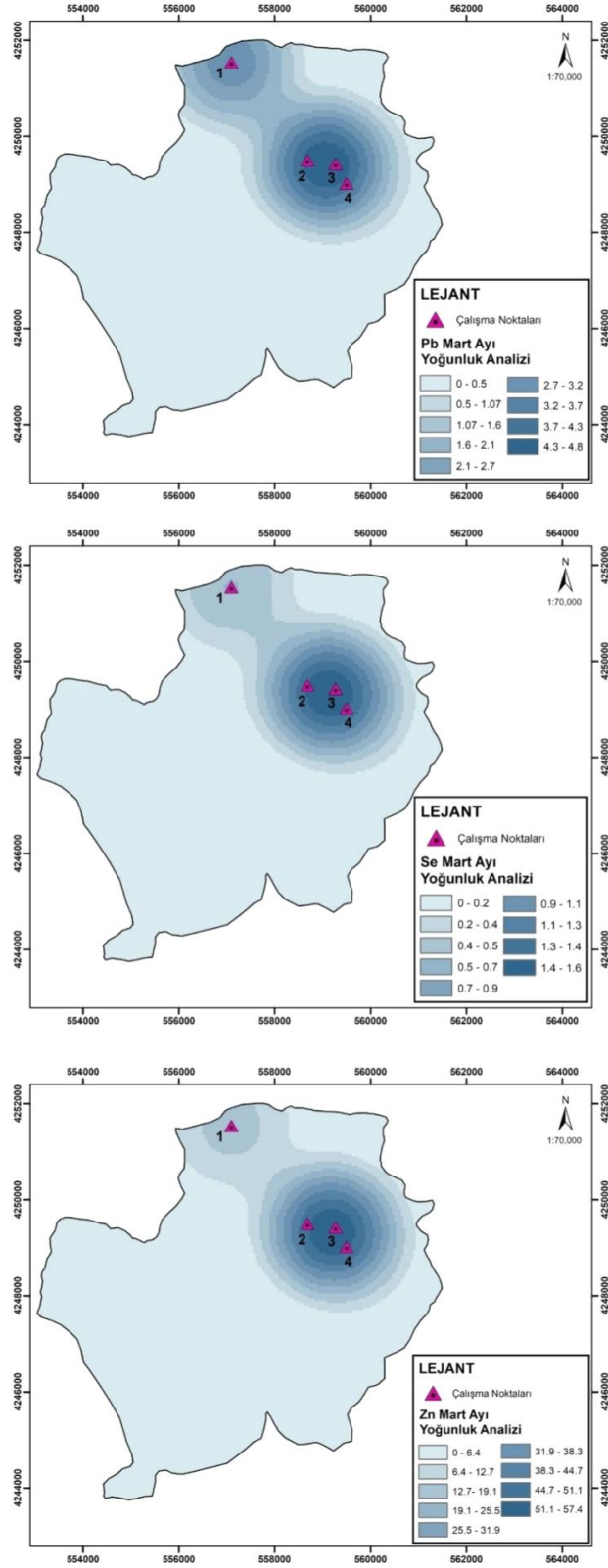
Havza sınırları içerisinde bulunan maden işletmeleri sebebiyle, Maden Çayı metal içeriği bakımdan risk taşıyan bir bölgededir. Söz konusu riski belirlemek üzere gerçekleştirilen incelemenin ArcGis programı ile analizi sonucunda elde edilen haritalar aşağıda gösterilmiştir. Mart, nisan ve mayıs aylarındaki analiz sonuçlarına göre Şekil 2...10 arasındaki yoğunluk haritaları elde edilmiştir.



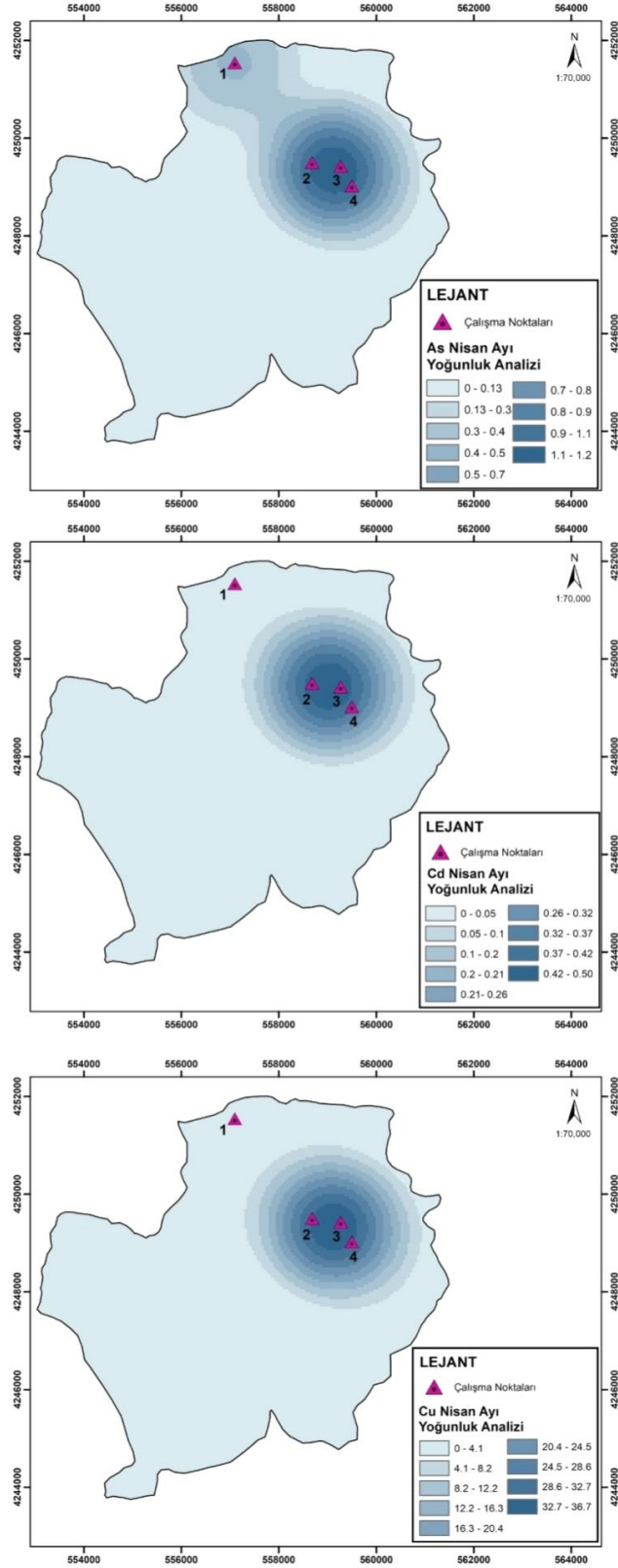
Şekil 2. Mart Ayı Yoğunluk Analiz Haritaları (As, Cd, Cu)



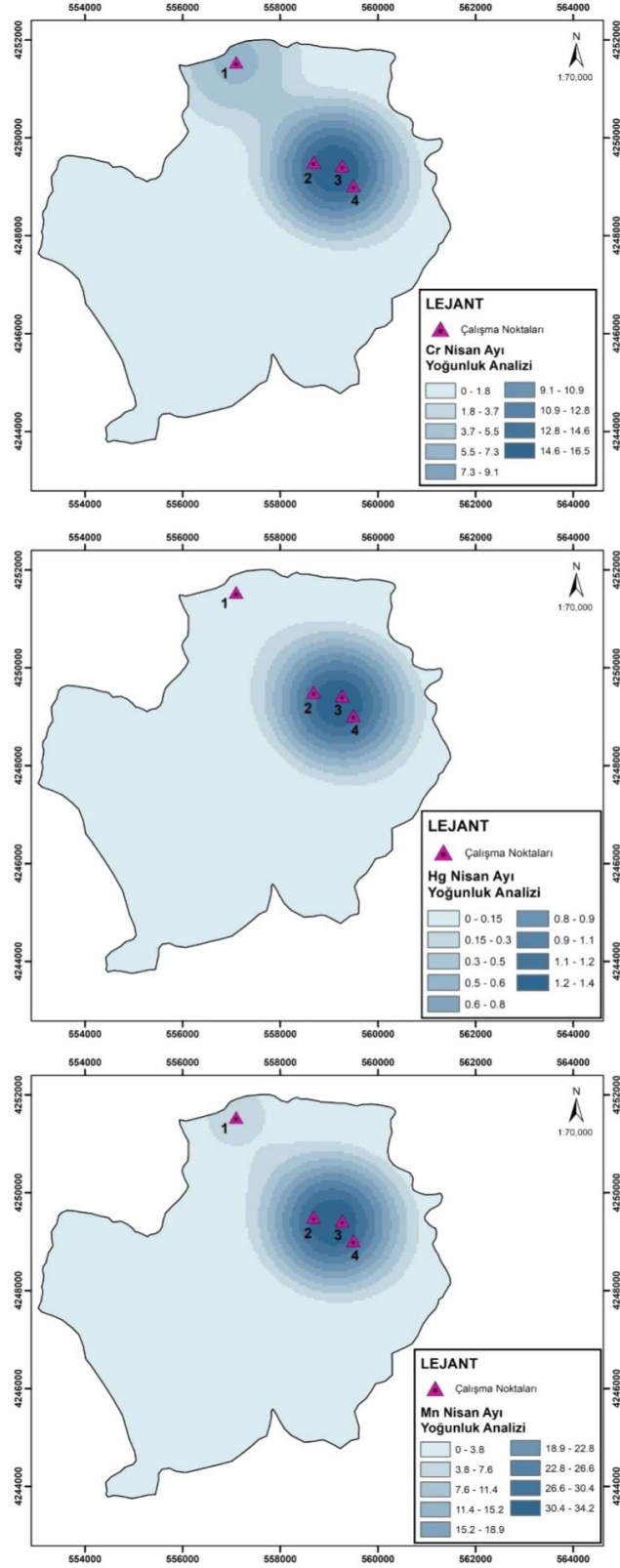
Şekil 3. Mart Ayı Yoğunluk Analiz Haritaları (Cr, Hg, Mn)



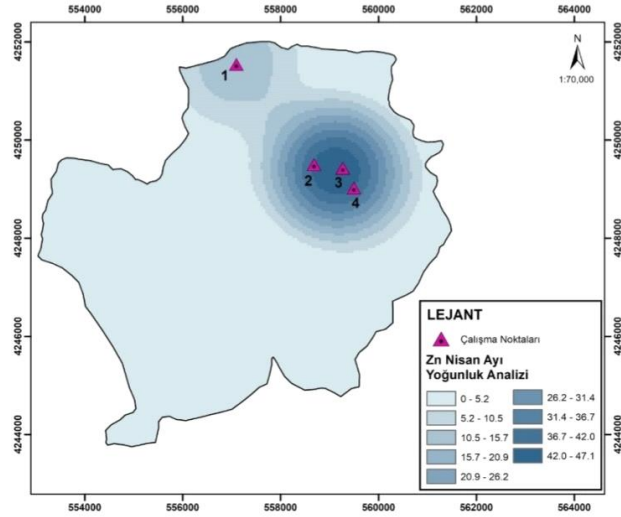
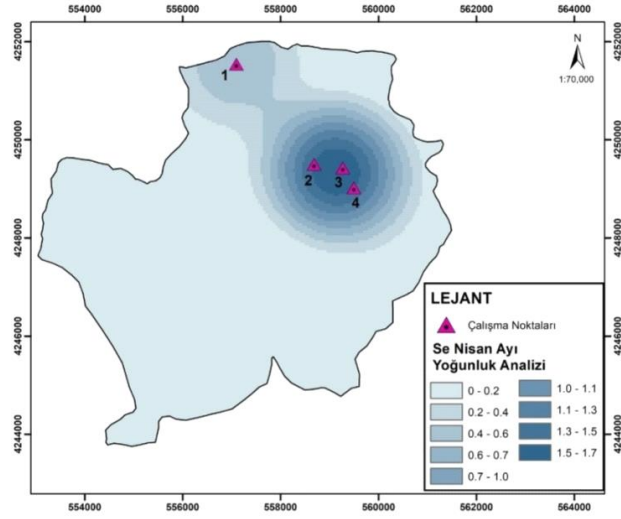
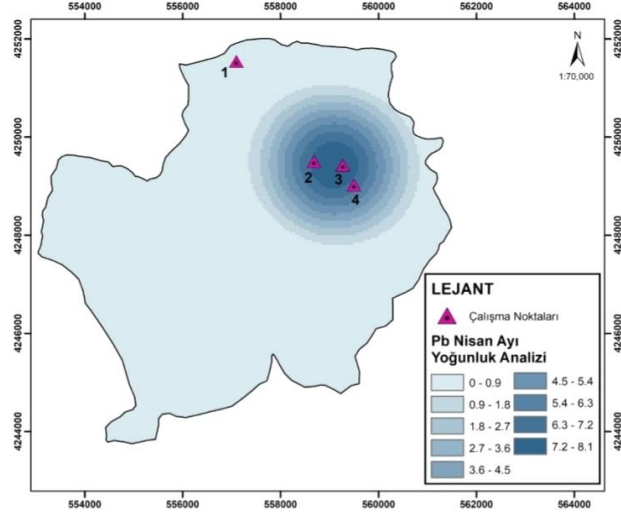
Şekil 4. Mart Ayı Yoğunluk Analiz Haritaları (Pb, Se, Zn)



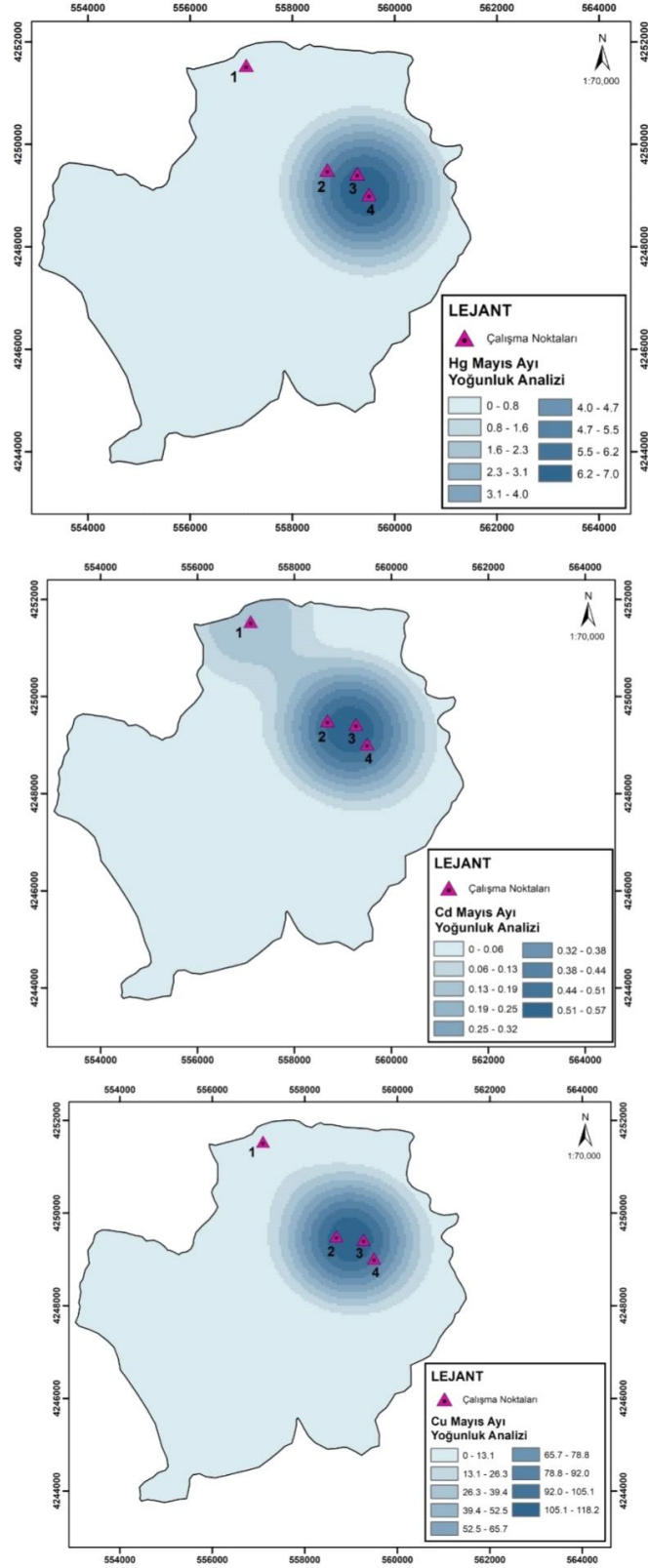
Şekil 5. Nisan ayı yoğunluk analiz haritaları (As, Cd, Cu)



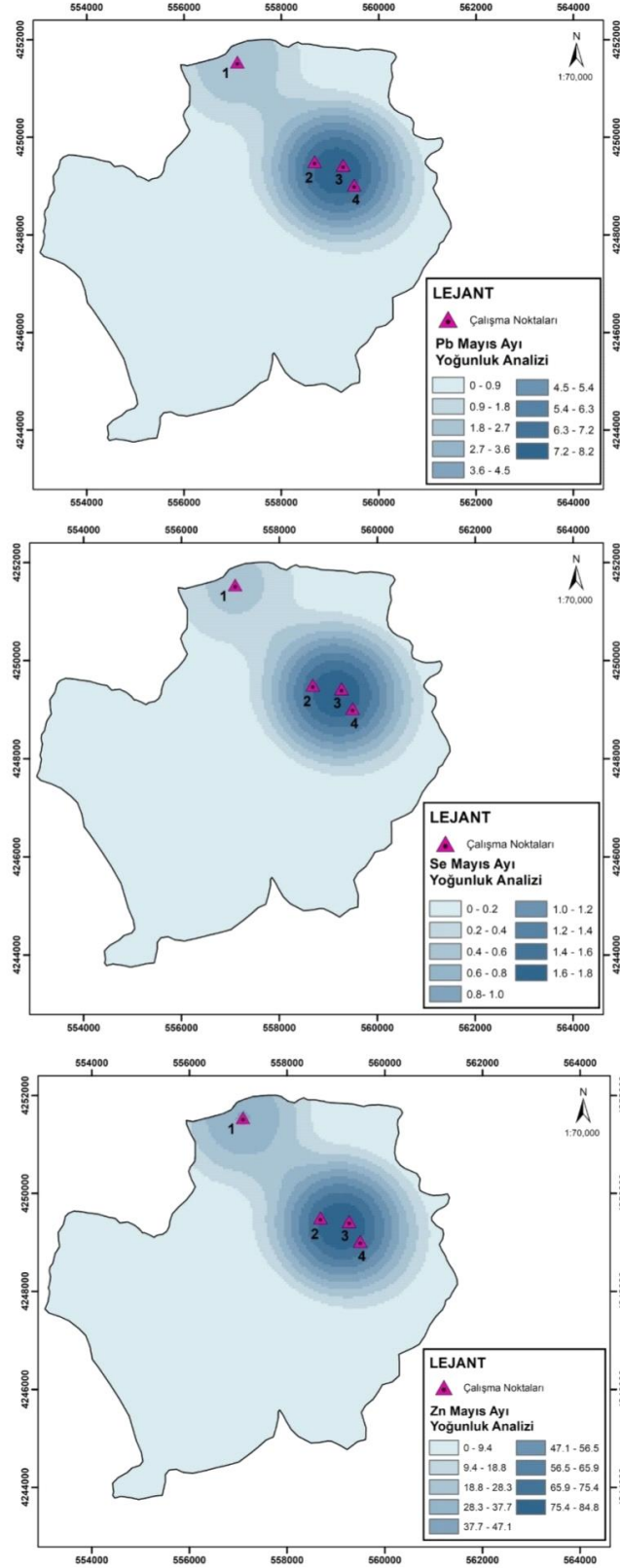
Şekil 6. Nisan ayı yoğunluk analiz haritaları (Cr, Hg, Mn)



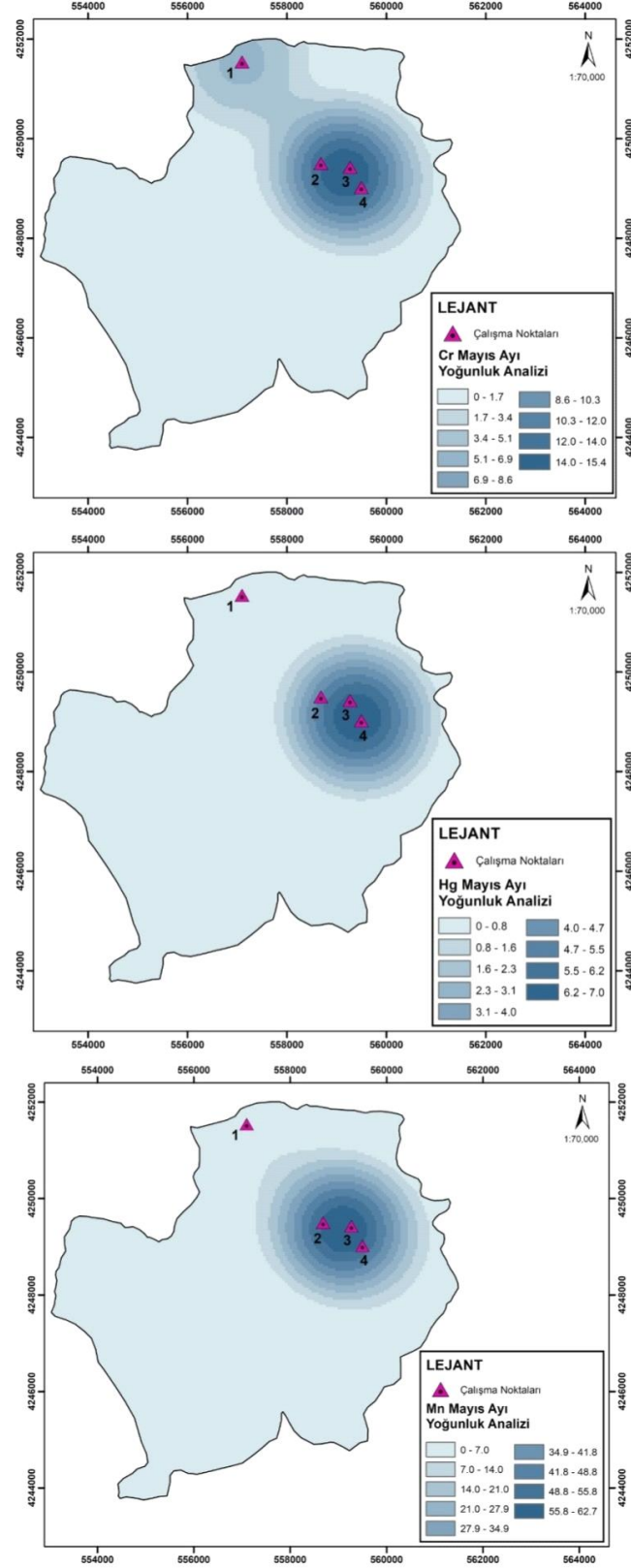
Şekil 7. Nisan ayı yoğunluk analiz haritaları (Pb, Se, Zn)



Şekil 8. Mayıs ayı yoğunluk analiz haritaları (As, Cd, Cu)



Şekil 9. Mart ayı yoğunluk analiz haritaları (Pb, Se, Zn)



Şekil 10. Mayıs ayı yoğunluk analiz haritaları (Cr, Hg, Mn)

Elde edilen yoğunluk haritalarında da mambadan mansaba doğru yükselen cıva ve bakır yoğunluğu net bir şekilde göze çarpmaktadır. Aynı bölgede yapılan bir başka çalışmada ise 2009 yılında yapılan analizlerdeki cıva konsantrasyonları 0.1-1.64 $\mu\text{g}/\text{l}$ arasında değişmektedir. En yüksek değer ilk

istasyonda (Maden ilçe merkezi) 1.64 µg/l ölçülmüştür. Dicle Nehri'nde 2008-2012 yılları arasında yürütülen bir çalışma esnasında yapılan ölçümlerde ise bakır konsantrasyonu 1.5-2129 µg/l arasında değişmektedir [5]. Bölgedeki yeraltı sularının kalitesinin irdelendiği bir çalışmada, yeraltı sularında kirletici konsantrasyonunun doğal süreçlerle kabul edilebilir bir düzeye indirildiği ifade edilmiştir. Ancak bu doğal tamponlamanın, akiferdeki doğal zayıflama süreçleri, üstteki jeolojik birimlerin kireç taşı ve kirleticileri daha kolay absorbe eden killi katmanlara sahip çamurtaşı içermesi gibi faktörler sebebiyle kırılarak bir süre sonra kirliliğin yeraltı suyuna ulaşabileceği ifade edilmektedir[26].

Farklı bir çalışmada, yine bölgeden alınan su numunelerinde bakır miktarının yüksekliği göze çarpmaktadır [27]. Madencilik faaliyetleri sürdürülebilir çevre yönetimi anlayışı ile yapılmadığında yani sadece ekonomik kaygılar gözetildiğinde akuatik sistemler olumsuz yönde etkilenmektedirler. Farklı bölgelerde yapılan çalışmalarda da aynı durum söz konusudur. Örneğin; Seydisuyu Deresi'nde on beş farklı noktada çeşitli su kalitesi gösterge parametrelerinin incelendiği çalışmada elde edilen bulgular; ülkemiz içme ve kullanma suyu parametreleri, Avrupa Birliği ve Dünya Sağlık Örgütü tarafından belirlenen değerler ile kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; arsenik ve boron derişimleri bakımdan içme suyu standartlarından daha yüksek olduğu vurgulanmıştır[28].Yine madencilik faaliyetlerinden önemli ölçüde etkilenen Emet Çayı su kalitesi üzerine yapılan bir araştırmada, Cr ve Ni metallerinin yarattığı kirlilik göze çarpmaktadır. Ayrıca yüksek toksisiteye sahip olan Emet Çayı Havzasındaki Cr ve Ni konsantrasyonlarının, gelecekteki balık popülasyonu yoğunluğunda sınırlayıcı bir faktör olabileceği ifade edilmektedir. Bizim çalışmamızda ise sudaki Cu ve Hg metal konsantrasyonları sucul ekosistemi en çok tehdit eden metaller olarak belirlenmiştir[29]. Felent Çayı'nda yapılan bir çalışmada ise Cd metali konsantrasyonu yüksekliğinin; tarımsal üretimde kullanılan fosfatlı gübreler olduğu ifade edilmiştir. Felent Çayı ile Maden Çayı'nın Cd değerleri kıyaslandığında, Maden Çayı'nın Cd değerleri oldukça düşüktür. Bunun sebebinin çalışmanın yapıldığı alanın, sarp arazilere sahip olmasından ve tarımsal üretime elverişli olmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir[30]. Kısaca ifade etmek gerekirse Maden Çayı bölgede bulunan bakır madeninin baskısı altındadır. Bu olumsuz etkiler havzanın su yaşamı ve bölgenin halk sağlığı için önemli bir risk faktörü oluşturmaktadır.

IV. SONUÇ

Maden Çayı'nda yapılan ağır metal analizlerinde, ağır metal konsantrasyonlarının bazı bölgelerde ciddi miktarlara ulaştığı görülmektedir. Yapılan analizler göstermektedir ki suda gözlemlenen yüksek bakır miktarının, Maden ilçe çıkışında bulunan ve bakır üretim faaliyeti gösteren tesislerden kaynaklandığı aşıkardır. Suda gözlemlenen krom miktarının ise Elâzığ bölgesinde faaliyet gösteren krom yataklarından kaynaklanabileceği değerlendirilse de kirletici kaynağın tam olarak yeri konusunda net bir öngöründe bulunulamamıştır. Ayrıca yine önemli sağlık sorunlarının sebebi olarak gösterilen ve toksik etkisi olan cıvanın kaynağı da tam olarak saptanamamıştır. Akarsularda oluşan kirletici birikimleri de göz önünde bulundurularak, metallerin sudaki konsantrasyonlarının yanında partikül sediman, toprak analizleri gibi daha detaylı ve uzun süreli çalışmaların yapılması daha anlamlı sonuçların ortaya çıkmasını sağlayacaktır. Sonuç olarak; tarımsal sulama, balıkçılık faaliyetleri ve içme suyu kaynağı olarak kullanılan Maden Çayı'nda ekolojik dengelerin korunması ve sürdürülebilir çevre yönetimi anlayışının oluşturulması amacıyla akarsuyun başta Hg ve Cu olmak üzere metal kirliliği yönünden izlenmesi gerekmektedir. Ayrıca, bölgedeki metal kirliliğinin yeraltı suyunu etkilememesi için gerekli havza koruma planları hazırlanmalıdır.

V. KAYNAKLAR

[1] T. Turna, "Bitkisel yağ sanayii atıksularının elektrokimyasal yöntemlerle arıtılması," Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye, 2020.

- [2] C. Koc, "Entegre Havza Yönetiminde Su Kaynaklarını Modern Yöntemler ile Ölçme, İzleme ve Değerlendirme Olanaklarının Araştırılması," *Eur. J. Sci. Technol.*, s. 14, ss. 222–227, 2018, doi: 10.31590/ejosat.358213.
- [3] M. E. Erkan and A. Vural, "Dicle Nehrinin Hijyenik Kalitesi Üzerine Bir Araştırma A Study About of Hygienic Quality of Dicle (Tigris) River," *Dicle Tıp Derg.*, c. 33, s. 4, ss. 205–209, 2006.
- [4] F. Çetinkaya, "Dicle nehri'nin (Türkiye) böcek (insecta) larvaları üzerine bir araştırma," Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır, Türkiye, 2013.
- [5] H. B. Yıldız, "Yukarı Dicle havzasında su kalitesinin zenginleşme faktörü kullanılarak zamana ve mekana bağlı değişiminin incelenmesi," Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2013.
- [6] EİEİ, "Akım Gözlem Yıllığı," Ankara, 2021-01-14, 2005.
- [7] M. Topal and E. I. A. Topal, "Maden Sahasından Kaynaklanan Sızıntı Sularının Maden Çayına Etkisi: I. Ağır Metaller," *Karaelmas Sci. Eng. J.*, c. 1, s. 2, ss. 55–59, 2011.
- [8] ÇŞB, "Elazığ İl Çevre Durum Raporu," Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB), Elazığ Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, Ankara, 2011.
- [9] S. Aras and G. G. İpek, "Kızılırmak Nehri (Nevşehir) Yüzey Suyu Kalitesinin Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Değerlendirilmesi," *Kahramanmaraş Sutcu Imam Univ. J. Eng. Sci.*, c. 22, s. 2, ss. 48–57, 2019.
- [10] M. Gümrükçüoğlu and O. Baştürk, "Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Sakarya Nehri Kirlilik Yükünün Belirlenmesi," in *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi*, 2007.
- [11] Ö. Zeydan, N. Özdoğan, Ş. P. Taştepe, and D. Demirtas, "Kozlu Deresinde (Zonguldak) Su Kalitesinin İncelenmesi," *Doğal Afetler ve Çevre Derg.*, c. 5, s. 2, ss. 1–11, 2019.
- [12] F. Başçıftçi, S. S. Durduran, and C. Inal, "Konya Kapalı Havzasında Yeraltı Su Seviyelerinin Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) İle Haritalanması," *Harit. Teknol. Elektron. Derg.*, c. 5, s. 2, ss. 1–15, 2013.
- [13] B. Verap, S. Serdar, A. E. Özçelik, and T. Yüksek, "Doğu Karadeniz Havzası Akarsuları Fiziko-Kimyasal Su Kalitesinin Değerlendirilmesi ve Dağılımının Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Kullanılarak Belirlenmesi," *J. Anatol. Environ. Anim. Sci.*, c. 5, s. 4, ss. 725–742, 2020, doi: 10.35229/jaes.836736.
- [14] H. Cüce and G. Bakan, "Sığ Bir Gölde Sediman Kalitesinin Trofik Duruma Etkisinin Değerlendirilmesi; Balık Gölü Örneği (Kızılırmak Deltası)," *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknol. Derg.*, c. 7, s. 1, ss. 83–97, 2017.
- [15] C. Tokatli, A. Uğurluoğlu, A. Çiçek, and A. Emiroğlu, "Use of Geographic Information System (GIS) to Evaluate the Water Quality of Gala Lake (Edirne)," *Sigma J. Eng. Nat. Sci.*, c. 32, pp. 490, 2014.
- [16] C. Tokatli, "Water and sediment quality assessment of the lifeblood of Thrace Region (Turkey): Meriç River Basin," *Fresenius Environ. Bull.*, c. 28, s. 5, ss. 4131–4140, 2019.

- [17] E. Atabey, "Elementler ve sağlığa etkileri," *Hacettepe Üniversitesi Mezotelyoma ve Med. Jeol. Araş. ve Uygul. Merk. Yayınları*, c. 1, ss. 619, 2015.
- [18] E. Köse, A. Çiçek, K. Uysal, C. Tokatlı, Ö. Emiroğlu, and N. Arslan, "Heavy Metal Accumulations in Water, Sediment, and Some Cyprinid Species in Porsuk Stream (Turkey)," *Water Environ. Res.*, c. 87, s. 3, ss. 195–204, Mar. 2015, doi: 10.2175/106143015X14212658612993.
- [19] G. Özbolat and A. Tuli, "Ağır Metal Toksisitesinin İnsan Sağlığına Etkileri," *Arşiv Kaynak Tarama Derg.*, c. 24, s. 4, ss. 502–521, 2016, doi: 10.17827/aktd.253562.
- [20] S. Alemdar, S. Ađaolgu, M. Alisarlı, and S. Dede, "Van Bölgesi Su Kaynaklarında Ağır Metal Kirlilik Düzeyleri," *Vet. Bilim. Derg.*, c. 23, s. 1, ss. 19–29, 2007.
- [21] S. C. Chapra, *Yüzeysel Su Kalitesi Modelleme - Surface Water-Quality Modeling*. Nobel Akademik Yayıncılık: Ankara, 2015.
- [22] A. Türkmen and S. Akbulut, "Giresun Sahilindeki Bazı Derelerin Denize Deşarj Olduğu Noktalardaki Su ve Sedimentte Ağır Metal Kirliliği," *Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknol. Derg.*, c. 3, s. 9, ss. 707–714, 2015.
- [23] YSKYY, *Yüzeysel Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliđi*. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara, Resmî Gazete:29327 Tarihi, 15, 2015., 2015.
- [24] P. Rameshkumar, N. M. Huang, and L. S. Wei, "Visual and spectrophotometric determination of mercury(II) using silver nanoparticles modified with graphene oxide," *Microchim. Acta*, c. 183, s. 2, ss. 597–603, 2016, doi: 10.1007/s00604-015-1680-8.
- [25] R. Saxena, P. L. Meena, and S. Tiwari, "Determination of copper in industrial water by innovative flow injection flame atomic absorption spectrometry," *Instrum. Sci. Technol.*, c. 44, s. 2, ss. 210–222, Mar. 2016, doi: 10.1080/10739149.2015.1089275.
- [26] M. I. Yesilnacar and Z. Kadiragagil, "Effects of acid mine drainage on groundwater quality: A case study from an open-pit copper mine in eastern Turkey," *Bull. Eng. Geol. Environ.*, c. 72, s. 3–4, ss. 485–493, 2013, doi: 10.1007/s10064-013-0512-5.
- [27] H. Karadede, "Dicle Nehri'nde su, sediment ve bentik bazı canlı organizmalardaki ağır metal birikiminin araştırılması," Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır, Türkiye, 2002.
- [28] C. Tokatlı, E. Köse, and A. Çiçek, "Assessment of the Effects of Large Borate Deposits on Surface Water Quality by Multi Statistical Approaches: A Case Study of Seydisuyu Stream (Turkey)," *Polish J. Environ. Stud.*, c. 23, s. 5, 2014.
- [29] C. Tokatlı, A. Çiçek, Ö. Emiroğlu, N. Arslan, E. Köse, and H. Dayiođlu, "Statistical approaches to evaluate the aquatic ecosystem qualities of a significant mining area: Emet stream basin (Turkey)," *Environ. Earth Sci.*, c. 71, s. 5, ss. 2185–2197, 2014, doi: 10.1007/s12665-013-2624-4.
- [30] C. Tokatlı, E. Köse, A. Çiçek, N. Arslan, and Ö. Emiroğlu, "Evaluations of water quality and the determination of trace elements on biotic and abiotic components of Felent Stream (Kütahya, Sakarya River Basin/Turkey)," *Biol. Divers. Conserv.*, c. 5, s. 2, ss. 73–80, 2012.