

Van Gölü Havzasının Çevre Jeolojisi*Environmental Geology of Lake Van Basin***Yahya ÇİFTÇİ¹, M. Akif IŞIK², Tolga ALKEVLİ³, Çetin YEŞİLOVA⁴**¹ MTA Genel Müdürlüğü, 312.287 3430/1510, yahyaciftci@gmail.com² MTA Kocaeli Bölge Müdürlüğü, makifjeolog@gmail.com³ MTA Genel Müdürlüğü, alkeveli@mta.gov.tr⁴ YYÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü-Van, cetinyesilova@gmail.com**Makale Geliş Tarihi** : 9 Haziran 2008, **Kabul Tarihi** : 10 Eylül 2008**Received** : 9 June 2008, **Accepted** : 10 September 2008**ÖZ**

Van Gölü havzasında antik dönemlerden buyana madencilik faaliyetleri yürütülmüştür. Bilinen en yoğun hammadde üretimi ve metalürjik faaliyetler Urartu uygarlığının yüksek kalitede metal işlemeciliği ve özgün seramik üretimi yaptığı dönemde gerçekleşmiştir. Bu antik uygarlığın bir döneme isim verecek ölçüde metal işlediği göz önüne alınırsa, havzada birkaç bin yıldır madencilik faaliyetlerinden kaynaklanan çevresel etkilerin gündemde olduğu anlaşılır. Bu havzadaki son alıcı ortam Van Gölü'dür. Dolayısıyla, bu kapalı havzada yürütülen her türlü iktisadi faaliyetten kaynaklanan kirlilik yükü son olarak Van Gölü'ne katılmakta ve bu gölün kimyasal bileşimi, yeni katılan anyon-kasyon-ağır metal içeriğine bağlı olarak değişmektedir.

Bu çalışmada evsel ve sanayi atıklarından kaynaklanan karışımlar ile tarımsal kirlenme kapsam dışında tutulmuş, jeolojik çevreye odaklanılmıştır. Bu kapsamda Van Gölü kapalı havzasında bulunan maden işletmeleri, endüstriyel hammadde ocakları, işletmeye konu olmamış mineralizasyon bölgeleri, doğal radyasyon kirliliği ve jeotermal sahalardan kaynaklanan çevresel etkiler değerlendirilmiştir. Kendi özgün jeokimyasal bileşimi havzadaki yoğun insan yerleşimleri ve sanayileşme nedeniyle giderek değişmeye başlamış olan Van Gölü'nün insan kaynaklı kirleticiler dışında, uzun dönemde hangi jeokimyasal riskler altında olduğu tartışılmış, bu değişimde havzanın jeolojik yapısının rolü irdelenmiştir.

Çalışma sonunda Van Gölü havzasındaki maden yataklarının lokasyon haritası güncellenmiş, maden işletmeleri ve jeolojik yapıdan kaynaklanan kirleticilerin Van Gölü'ne olan etkileri değerlendirilmiştir. Doğal mineralizasyon ve alterasyon alanlarının belirlenmesinde uzaktan algılama teknikleri kullanılmış, bu alanlardaki erozyon potansiyeli sayısal eğim haritaları kullanılarak tartışılmıştır. Öncel çalışmalarda saptanan doğal radyoaktif anomali alanlarının jeolojik ilişkisi irdelenmiştir. Sonuç olarak; havzada yürütülen kum-çakıl, pomza, taş ocağı, maden işletmesi gibi faaliyetlerin doğal erozyonu hızlandırdığı, bunun da kimyasal kontaminasyonun yanı sıra göle taşınan malzemedeki artışa neden olduğu gözlenmiştir.

Kontrolsüz madencilik ve Van Gölü havzasının jeolojik - jeomorfolojik yapısı nedeniyle göl habitatu gündün güne değişmekte ve kirlenmektedir. Bu nedenle, havzanın insan faaliyetlerinden ve doğal jeolojik çevreden kaynaklanan tüm kirleticiler unsurlarının birlikte ele alındığı bütüncül jeokimyasal çalışmaların yürütülmesi konusunda hızla projeler üretilmeli, bu çalışmalara dayanarak havzanın sürdürülebilir çevre yönetim sistemi oluşturulmalıdır.

Anahtar Sözcükler: Van Gölü Havzası, Jeolojik Çevre, Madencilik Atıkları, Çevre Jeolojisi

ABSTACT

One of the most important mining activity areas of the ancient Anatolian civilizations is Lake Van Basin. Urartians, capitalized around City of Van, has tremendous metal produced and famous Urartian ceramics for centuries. Moreover, their mastery in metal production gives the name of the Bronze Age, one of the antic epoch of Anatolian civilizations. Considering this historical background, it is clear that metal and industrial raw material production took place in the basin for couple of thousands of years, which they can also be accepted as environmental contaminants for Lake Van. The final drainage of the rivers of Lake Van Basin is the Lake Van itself. Thus, all pollutants derived from economic activities in the basin were drained to the lake and the geochemical composition of the lake has changed according to the amount of the anion-cation-heavy metal composition of drained waste waters. This study focuses on geological environment and contaminations derived from urban areas and agricultural activities are out of interest.

This study aims to demonstrate the environmental impact of the mining activities, quarries, non-mined mineralization areas, natural radioactive contaminations and geothermal discharges in the basin. The special geochemical composition of the Lake Van started to change after urbanization around the lake and un-controlled industrial activities; the long-term geochemical effects of the geological composition of the basin will be discussing in this paper with the exception of the environmental impact of the humanitarian contaminants.

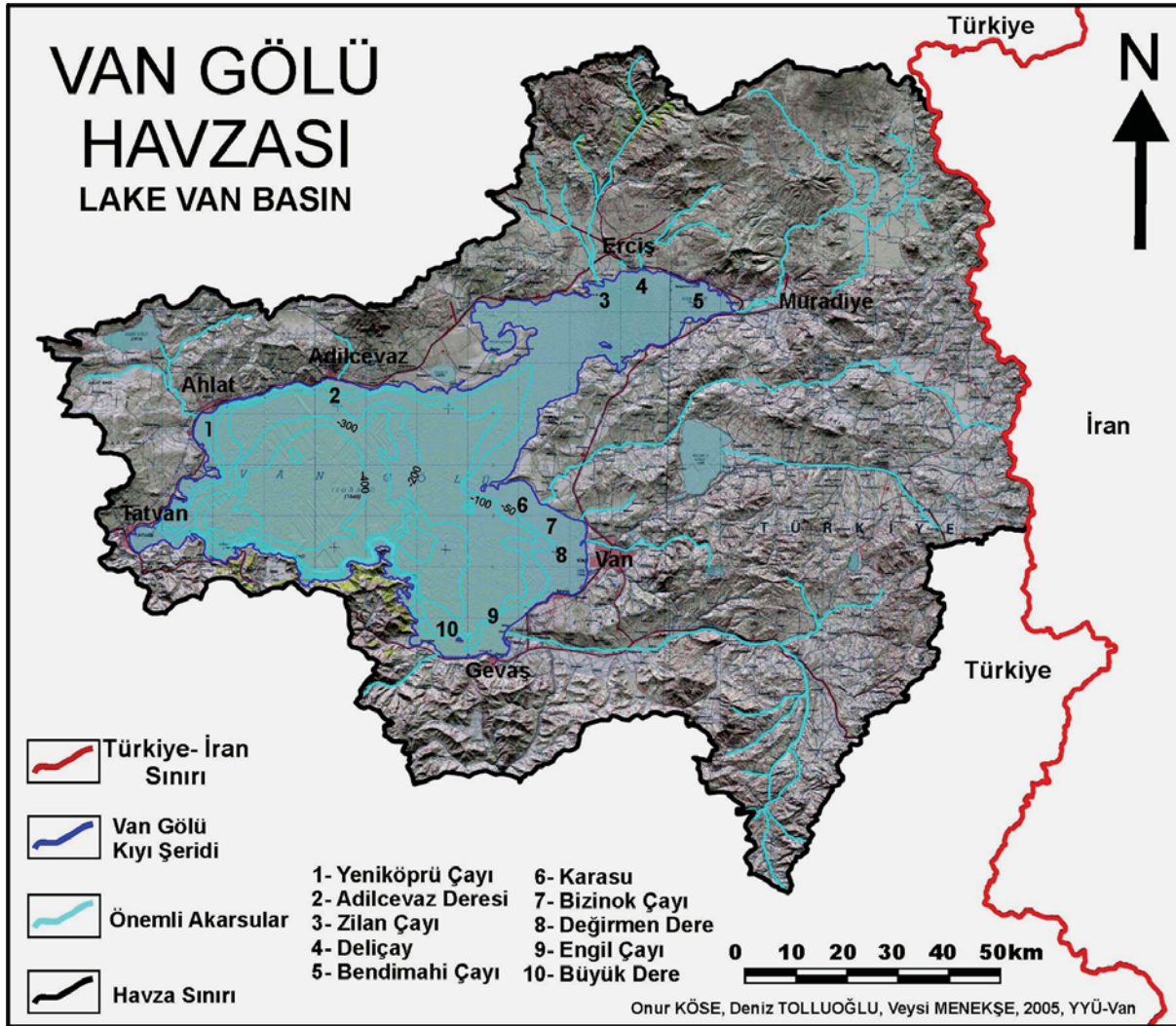
After this study, the mineral location map of the basin was updated and the environmental impacts of mining works and natural geological contaminants on the Lake Van have been evaluated. Remote sensing techniques were used to locate the mineralization and alteration zones and dip maps were prepared to evaluate the erosion effect onto these sites. The relation between radioactive anomalies described in previous studies and geology have been examined. As a consequence, the mining works such as gravel-sand production, pumice and other quarries and mines are precipitating the erosion of the basin. Afterwards, both chemical contamination and sedimentation rate were increased. As a result, Natural Habitat of Lake Van is getting polluted day after day because of these uncontrolled mining works and geological - geomorphological behavior of the Lake Van Basin. As a solution, comprehensive geochemical studies shoul be undertaken immediately in tha Basin including all pollutants derived both from civilization works and the nature fo the geological environment. These studies should be used to construct the sustainable environmental management system of the Lake Van Basin.

Keywords: *Lake Van Basin, Geological Components, Mining Wastes, Environmental Geology*

GİRİŞ

Bu çalışma, son yıllarda yaşanan yoğun yerleşim ve sanayileşme sonrasında ortaya çıkan çevresel sorunlar nedeniyle ilgi odağı haline gelen Van Gölü'nün, bulunduğu jeolojik ortam açısından değerlendirmesini yapmak, havzadaki madencilik faaliyetlerinden, doğal mineralizasyon zonlarından ve jeotermal boşalımlardan kaynaklı çevresel etkilerin değerlendirmesini yapmak amacıyla yürütülmüştür.

Van Gölü Havzası'nın coğrafik sınırları farklı olmakla birlikte, bu çalışmada Van Gölü'nün çevresel değerlendirmesi yapıldığından hidrolojik sınırlar havza sınırı olarak kabul edilmiştir (Şekil1). Doruk ağı içinde kalan göl havzasının alanı yaklaşık 20.000 km² olup bunun 3713 km²'sini gölün kendisi oluşturur.



Şekil 1. Van Gölü Havza sınırları ve ana akarsular (Köse, ve diğ., 2005'ten).

Figure 1: The hydrological border and the main drainage system of the Lake Van Basin (From: Köse et al, 2005)

Van Gölü Havzası'nda yaklaşık 1 Milyon insan yaşamaktadır. Bölgedeki tarımsal faaliyetler kısıtlı olup, genel olarak mera otlatmasına dayalı hayvancılık yapılmaktadır. Bu nedenle, bölgede azımsanmayacak sayıda küçükbaş ve büyükbaş hayvan yetiştirilmektedir. Ayrıca, Van Gölü'nden yılda yaklaşık 15.000 ton inci kefalı üretilmekte (Sarı, 2000, 2001), bu gıda stoğu da daha çok konserve haline getirildikten sonra bölgede tüketilmektedir. Yörede üretilen hububat yetersiz olmakla birlikte yine çoğunlukla aynı bölgede

tüketilmektedir. Bu kapalı iktisadi ortam nedeniyle bölgenin doğal özelliklerinden kaynaklanabilecek çevresel etkilerin hem bitkiler üzerinde, hem besi hayvanları üzerinde hem de insanlar üzerindeki olası olumsuz etkilerinin belirlenip değerlendirilmesi, gelecekteki olası olumsuz etkiler açısından da izlenmesi gerekir. Ancak bu konu çok kapsamlı/katılımlı araştırma projeleri ile ortaya konabilir. 2002-2004 arasında yürütülen ve Uranyum bileşiklerinin havzadaki insan sağlığına olası etkilerini belirlemeye yönelik

çalışmaya benzer araştırmaların diğer toksik elementler için de yürütülmesi ve havzanın jeokimyasal risk haritalarının üretilmesi, bilimsel yaklaşımları benimseyen yönetimlerin ve daha önemlisi, bölgedeki bilim kurumlarının öncelikli hedefleri arasında yer almalıdır.

Bu makalede Van Gölü Havzasındaki doğal çevrenin jeokimyasal çerçevesi çizilerek, doğal jeolojik çevreden, havzadaki madencilik faaliyetlerinden ve jeotermal drenajlardan kaynaklanabilecek çevresel etkiler değerlendirilmiş ve olası risk alanlarına işaret edilmiştir.

JEOKİMYASAL ÇEVRE

İnsan da dahil olmak üzere bitkiler ve hayvanlar başlıca 11 elementten oluşurlar. Bunlar H, C, N, Ca, Mg, K, Na, P, S ve Cl'dir. Bunların yanı sıra, birçok element de eser miktarlarda bu canlıların yapısında bulunurlar (Bell, 1998). Sağlık açısından önemli olan iz elementler başlıca iki grup altında toplanırlar. Mills'e (1996) göre hayvanlarda yaygın olarak bulunan Fe, Mn, Ni, Co, Cr, Cu, Zn, V, Mo, Sn, Se, I ve F birinci grubu oluşturur. Buna karşın, küçük miktarları bile önemli fizyolojik sorunlara neden olabilecek diğer grup elementler arasında As, Cd, Pb, Hg ve U'un parçalanma ürünleri bulunur. Bunlar Çizelge 1'de sunulmuştur. Alüminyum, eser miktarlarda olsa bile bitkilerde ve hayvanlarda, özellikle balıklarda olumsuz fizyolojik etkilere yol açar.

Çizelge 1: İz elementler ve insan (Bowen, 1966'dan). Ortalama vücut ağırlığı 70 kg ve günlük alınan kuru gıda miktarı 750 gr. İçin miligram/gün olarak verilmiştir.

Table 1: Trace elements and human (From: Bowen, 1966). Values were calculated for 70 kg body-weight and for 750 gr food as mg/day)

ELEMENT	Sembol	Zararlı etki alt sınırı	Normal miktar	Toksik etki üst sınırı	Ölümcül sınır
Arsenik	As		0.1 - 0.3	5 - 50	100 - 300
Bor	B		10 - 30	4000	
Kadmium	Cd		0.5	3	
Klor	Cl	70	2400 - 4000		
Krom	Cr		0.05	200	3000
Kobalt	Co		0.0002	500	
Bakır	Cu		2 - 5	250 - 500	
Flor	F		0.5	20	2000
İyot	I	0.015	0.2	1000	
Demir	Fe		12 - 15		
Kurşun	Pb		0.3 - 0.4		10.000
Mangan	Mn		3 - 9		
Civa	Hg		0.005 - 0.02		150 - 300
Molibden	Mo		0.5		
Selenyum	Se	0.015	0.03 - 0.075	3.0	
Gümüş	Ag		0.06 - 0.08	60	1300
Sodyum	Na	45	1600 - 2700		

Gerçekte, yeterince uzun süre ve belirli miktarların üzerinde vücuda (sindirim sistemine veya solunum sistemine) alındıklarında bütün eser elementler toksiktir. Belirli bir miktarın üzerine çıktığında herhangi bir organizmanın metabolizmasının yavaşlatıyor veya durduruyorsa, bu element toksiktir. Cd gibi bazı elementler organizma tarafından biriktirilir ve belirli bir oranın üzerine çıkıldığında son derece tehlikeli olurlar. Bu toksik elementlerin ayrı ayrı etkilerinin çok düşük olması halinde bile, bunların etkileşimli ortak etkilerinin önemli boyutlara ulaşabileceği bilinmektedir. Selenyum, F ve Mo

gibi elementler organizma için gerekli olsalar da, bunların gereklilik-toksik sınır aralıkları çok küçüktür (gramda birkaç mikrogram). Yüksek bitkiler için gerekli olan B gibi elementlerin hayvanlar için gerekli olduğuna dair bir bulgu henüz yoktur (Thornton & Plant, 1980).

Bazı yaygın ve toksik elementlerin mobilitesi ile Eh ve pH arasındaki ilişki Çizelge 2'de, bu elementlerin insan üzerindeki etkileri ise Çizelge 3'te sunulmuştur. Yaygın eser elementlerin canlılar üzerindeki etkileri ise Çizelge 3'te sunulmaktadır.

Çizelge 2: Bazı yaygın ve toksik elementlerin mobilizasyon yeteneğinin Eh ve pH ile ilişkisi (yaygın elementler normal, potansiyel toksik elementler ise italik olarak yazılmıştır; Plant vd. 1996'dan).

Table 2: General relationships between Eh, pH and the mobility of some essential and potentially toxic elements (essential elements are shown in normal type and potentially hazardous elements in italic type; from Plant et al., 1996).

Rölatif Mobilite	Çevresel Koşul			
	Oksitleyici	Asit	Nötral-Alkalin	Redüktif
Çok Yüksek	I	I	I Mo U Se	I
Yüksek	Mo U Se Fe Ra Zn	Mo U Se Fe Ra Zn Cu Co Ni Hg	F Ra	F Ra
Orta	Cu Co Ni Hg As Cd	As Cd	As Cd	
Düşük	Pb Be Bi Sb Tl	Pb Be Bi Sb Tl Fe Mn	Pb Be Bi Sb Tl Fe Mn	Fe Mn
Çok Düşük - Duraylı	Fe Mn Al Cr	Al Cr	Al Cr Zn Cu Co Ni Hg	Al Cr Mo U Se Zn Cu Co Ni Hg As Cd Pb Be Bi Sb Tl

Bu ana ve iz elementlerin kaynağı, yer kabuğundaki kayalardır. Bu nedenle, canlıların yaşadığı ortamlardaki ana ve iz element konsantrasyonları da, bu bölgede yaygın olan

kayaç türlerinin bileşiminde bulunan elementler tarafından belirlenir. En yaygın kayaç türlerinin elementer bileşimi Çizelge 4'tedir. Bu çizelgede yer alan değerler yaygınca kabul edilen

değerlerdir. Gerçekte bu değerler bölgeden bölgeye büyük değişimler sunabilir. Ancak, Van Gölü Havzasını oluşturan kayaçların kökensel dağılımına bakıldığında, doğu ve güneyde çok büyük alanların bazik-ultrabazik kayaçlardan, batı-kuzeybatı alanların geniş bir volkanik araziden oluştuğu, arada da genç gölsel ve akarsu çökellerinden oluşan havzaların yer aldığı görülür. Bu litolojik dağılım, metalik mineraller açısından belirli bir zenginliğin bulunduğunu da göstermektedir. Çevresel açıdan toksik etkiler yaratabilecek potansiyeli olan elementlerin daha çok bu metalik mineralizasyonlara eşlik ettikleri göz önüne alındığında genel jeokimyasal risk çerçevesi de çizilmiş olur. Nitekim, Thornton ve Plant (1980)'ın araştırmaları, KD İskoçya'da bulunan ve ultrabazik kayaçlardan türeyen çok az drene olmuş zeminlerdeki Cr ve Ni düzeyinin, tahıl ürünlerinde toksik düzeye ulaşabildiğini; ayrıca, İngiltere – Debyshire'daki siyah şeylerin yer yer yüksek Mo konsantrasyonları gösterdiği ve bunun da sürü hayvanları üzerinde bazı hastalıklara neden olduğunu göstermiştir. Bu iz elementlerin yüksek anomaliler vermesi, büyük olasılıkla bu bölgelerdeki metalik mineralizasyonlar ile ilişkilendirilmiştir.

Diğer taraftan, Çizelge 3 incelendiğinde, Mo, U, Se, Fe, Ra, Zn, Cu, Co, Ni ve Hg gibi bazı elementlerin redüktif ve nötral-alkalin ortamlarda çok düşük veya düşük mobilizasyon yeteneği gösterdiği, buna karşın aynı elementlerin asit ve oksitleyici ortamlarda yüksek mobilizasyon yeteneği gösterdikleri görülmektedir. Bu durum, havzanın karasal alanları ile en büyük alıcı ortam olan Van Gölü ve akarsuların farklı çevresel koşullar oluşturdukları düşünüldüğünde, dikkatle izlenmesi gereken bir durumdur. Özetlemek gerekirse, havzadaki kayaçların bünyelerinde bulunan metalik mineralizasyonlara bağlı toksik elementler, redüktif ve nötral-alkalin koşullar altında (ör. göl suyunda) çoğunlukla duraylı kalacaklardır. Buna karşın, drenaj koşulları değiştiğinde ve ortamın pH'ı yükseldiğinde bu toksik elementler mobilize olarak önce yerüstü ve yer altı suyuna karışacaklar, daha sonra ise Van Gölü suyunda birikmeye başlayacaklardır. Van Gölü'nün çevresel koşullarına adapte olmuş tek balık türü olan inci kefalinin, özellikle yüksek Al konsantrasyonlarından şiddetle etkileneceği, diğer toksik elementlerin ayrı ayrı ve birleşik fizyolojik etkilerinin de yıkıcı olabileceği göz ardı edilmemelidir.

Çizelge 3: Yaygın eser elementlerin canlılar üzerindeki etkileri (Mertz, 1987'den).
Table 3: Functions of the essential trace elements (After Mertz, 1987).

Element	Fonksiyon	Yetersizlik Belirtileri		İnsan'daki denge bozulması
		Hayvanlar	İnsanlar	
Flor	Dişler ve olasılıkla kemiklerde büyüme etkisi	Diş çürükleri; olası büyüme yavaşlaması	Artan diş çürükleri; osteoporosis gelişimi olasılığı	Eksikliği ve fazlalığı anlaşılabilir
Silis	Kalsifikasyon; bağ dokusuna olası etki	Büyüme durması; kemik deformasyonları	Bilinmiyor	Bilinmiyor
Vanadyum	Bilinmiyor	Büyüme durması; yağ metabolizmasında değişiklikler, üremenin azalması	Bilinmiyor	Bilinmiyor
Krom	İnsülini güçlendirme	Görelî insülin direnci	Görelî insülin direnci, glukoz toleransının zayıflaması, kan yağlarının artışı	Beslenmede, yaşlanmada ve damar içi beslenmede bozulmalar
Mangan	Mucopolysaccharid metabolizması, superoxide dismutase	Büyüme durması, kemik deformasyonları, β -hücre dejenerasyonu	Bilinmiyor	Zararı bilinmiyor; solunumda toksik etki
Demir	Oksijen, elektron taşınımı	Kansızlık, büyümede yavaşlama	Kansızlık	Çeşitli zararları vardır: fazlası haemochromatosis riskini artırır; akut zehirlenme
Nikel	Demir emilimi ile ilişkilidir	Büyüme durması, kansızlık, ciğerde doku bozulması, üreme hızının düşmesi	Bilinmiyor	Bilinmiyor
Bakır	Oksidatif enzimler; demir ile ilişki; elastin'in bağlanması	Kansızlık, geniş kaslarda yırtılmalar, kemik gelişiminde düzensizlikler	Kansızlık, kemik gelişiminde değişme, kanda olası kolesterol artışı	Beslenmede ve damar içi beslenmede bozulmalar
Çinko	Enerji metabolizmasında, transkripsiyon ve çevirme işlevi olan birçok enzimin yapısında bulunur,	Yetersizliği halinde önemli büyüme sorunları, deri lezyonları ve seksüel olgunlaşma yetersizliği	Büyüme düşüşü, seksüel olgunlaşma yetersizliği, deri lezyonları, bağışıklık sistemi zafiyeti, tad alma kaybı	İran, Mısır gibi ülkelerde toplam parenteral beslenmede yetersizlik, genetik hastalıklar, travmatik stres
Arsenik	Bilinmiyor	Büyüme bozuklukları, üretimsizlik; üçüncü kuşak emen oğlaklarda ani kalp ölümleri	Bilinmiyor	Bilinmiyor
Selenyum	Glutathion peroxidaz; ağır metallerle etkileşim	Türe bağlı olarak değişkendir: geviş getirenlerde kas erimesi, tavuklarda pankreas küçülmesi	Endemik kardiomyopati selenyum eksikliği nedeniyle ortaya çıkar	Özellikle Çin'de yetersiz ve aşırı yüksek durumlar yaygındır; her iki durum da beslenme bozukluklarına yol açar
Molibden	Xanthine, aldehide, sülfid oksidases	Üretimi zordur; büyüme azalması	Bilinmiyor	BDT'nin bazı bölgelerindeki gut hastalıkları bununla ilişkilidir.
İyot	Tiroid hormonu bileşenidir	Guatr, tiroid fonksiyonunun düşmesi	Guatr, tiroid fonksiyonunun düşmesi, kretinizm	Çok sayıda olumsuzluğa yol açar; bol alınması belki de tirotoksikosis'i sağlar

Çizelge 4: Yer kabuğundaki maddelerin ortalama bileşimleri (Leckie ve Parks, 1978'ten)
Table 4: Average compositions of earth materials (From Leckie & Parks, 1978).

Litosfer	Mağmatik Kayaçlar			Sedimanter Kayaçlar			Zemin	Hidrosfer			
	Asit	Bazik	Ultrabazik	Şeyl	Kumtaşı	Kireçtaşı		Yağış	Akarsular	Okyanuslar	
Majör Element (% wt.)				Majör element (ppm)							
Alüminyum	8.2	7.7	8.8	0.45	8.0	3.2	0.9	4.5			0.01
Kalsiyum	4.1	1.6	6.7	0.7	2.5	2.2	27.2	0.88		15	400
Demir	5.6	2.7	8.6	9.8	4.7	1.9	0.8	5.6		0.67	0.01
Magnezyum	2.3	0.16	4.5	25.9	1.34	0.8	4.5	0.47	0.1	4.1	0.135
Potasyum	2.1	3.3	0.83	0.03	2.3	1.3	0.2	1.2	0.05	2.3	380
Silis	28.2	32.3	24.0	19.0	23.8	35.9	0.003				3
Sodyum	2.4	2.8	1.9	0.57	0.66	0.4	0.04	0.4	0.5	6.3	10.500
Titanyum	0.57	0.23	0.9	0.03	0.45	0.2	0.04	0.25			0.001
Hidrojen	0.14	E	E	E	3.4	E	E				
Oksijen	46.4	48.7	43.5	42.5	52.8	52.7	54.9				
Seçilmiş minör elementler											
Milyarda bir (ppb) olarak belirtilmediği sürece milyonda bir (ppm)											
Arsenik	1.8	1.5	2	0.5	6.6	1	0.9				0.003
Bor	10	15	5	1	100	90	16	26		0.013	0.0006ppb
Kadmium	0.2	0.2	0.2	0.05	0.3	0.02	0.05	0.05-0.5		1>10ppb	0.11ppb
Karbon	200	300	100	100	1000	14.000	114.000		28	11	5.5
Krom	100	4	200	2000	100	120	7.1	37		1>10ppb	0.05ppb
Bakır	55	10	100	20	57	15	4	18		10ppb	0.003ppb
Flor	625	850	400	100	500	220	112			<1	1.3
Kurşun	125	20	5	0.1	20	14	16	16		1>10ppb	0.03ppb
Mangan	950	400	1500	1500	850	392	842	340			0.002
Civa	0.08	0.08	0.08	0.01	0.4	0.06	0.05	0.08		0.09ppb	0.03ppb
Molibden	1.5	2	1	0.2	2	0.5	0.8	2		<10	0.01
Azot	20	20	20	6	60				0.3	0.23	0.5
Selenyum	0.05	0.05	0.05	0.05	0.6	0.5	0.3				0.4ppb
Kükürt	260	270	250	100	220	945	4550		1	3.7	885
Uranyum	2.7	4.8	0.6	0.003	3.2	1	2.2				0.003
Çinko	70	40	100	30	80	16	16	44		10	0.01

E: Etkisiz, saptanabilirlik sınırının altında.

Bir Alıcı Ortam Olarak Van Gölü

Van Gölü, 3713 km²'lik alanı ile Türkiye'nin en büyük gölü olmasının yanı sıra aynı zamanda yeryüzündeki en büyük soda gölüdür. Kapalı göller arasında da hacim bakımından (607 km³) dördüncü sırayı alır. Su seviyesi, deniz seviyesine göre 1646 m kotundadır. Van Gölü'nün güneybatı ucundaki Tatvan koyu ile kuzeydoğu ucundaki Erciş körfezi arasındaki uzun ekseni 130 km, kuzeybatıdaki Ahlat koyu ile güneydoğudaki Gevaş koyu arasındaki ekseni ise 80 km kadardır. Gölün etrafı dağlarla çevrilidir. Gölün kenarındaki en alçak yer Reşadiye doğusunda olup 1800 m yüksekliğindedir.

Doğu kesimi batı kesimine göre daha sığ olan gölün en sığ kesimi Van koyu ile Erciş körfezidir. Derinlik bu kesimlerde 50 m civarındadır. Ahlat ile Adilcevaz arasında ise 450 m derinlik ölçülmüştür.

Göl kimyası

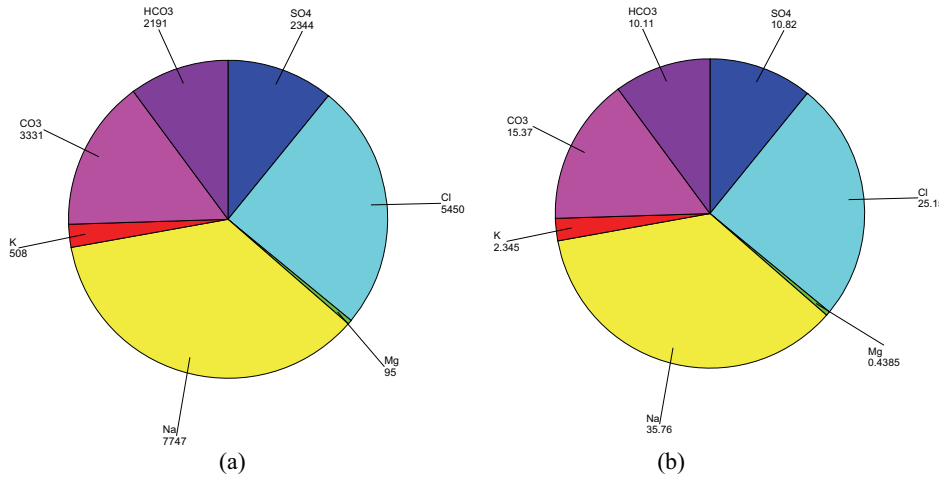
Van Gölü'nün suyu acı, tuzlu ve sodalıdır. Bunun başlıca nedeni, akarsuların taşıdığı tuzlu suların gölde birikmesi ve buharlaşma nedeniyle yoğunlaşmasıdır. Tuz tenörünün yüksek olması, bor ve sodyum karbonatın varlığı, volkanik kayaçların yaygınlığından kaynaklanır. Tuzluluk oranı %0.224'dür. Sudaki tuz bileşenlerinin kendi aralarındaki

oranları ise; % 42 NaCl, % 34 NaCO₃, %16 Na₂SO₄, %3 KSO₄ ve %2.5 MgCO₃ şeklindedir. Bu özelliği ile göl, soda üretim

kaynağı olarak da büyük bir potansiyele sahiptir. Sudaki iyon konsantrasyonları Çizelge 5 ve Şekil 2’de verilmiştir.

Çizelge 5. Van Gölü suyunda çözülmüş halde bulunan anyon ve katyonlar (Degens vd., 1978’den)
Table 5: Anion and cation solutions of the water of the Lake Van (From Degens et.al., 1978)

Bileşenler		Van Gölü Suyundaki oranı (mg/l)
Katyonlar	Sodyum (Na)	7747
	Potasyum (K)	508
	Magnezyum (Mg)	94.8
	Kalsiyum (Ca)	5 – 10
	Lityum (Li)	1.5
	Stronsiyum (Sr)	0.7
Anyonlar	Klor (Cl)	5450
	Karbonat (CO ₃)	3331
	Sülfat (SO ₄)	2344
	Bikarbonat (HCO ₃)	2191
	Fosfat (P)	0.52



Şekil 2: Van Gölü suyundaki anyon-kasyon değerleri: (a) ppm olarak değerler; (b) anyon ve katyonların kendi içindeki bağıl yüzdeleri (değerler Degens ve diğ., 1978’den)

Figure 2: Anion – cation values in the water of the Lake Van: a) values in ppm; b) relative ratios (From: Degens et.al., 1978)

İklim ve hidroloji

Van Gölü Havzası’nda ortalama yıllık yağış miktarı iki dönem için ayrı değerler sunmaktadır. 1986 öncesi dönem için bu değer 366,9 mm, 1986’dan sonraki dönem için ise 436,6 mm’dir. Van Gölü Havzası’nda yağışın %45’inin akışa geçtiği kabul edilmektedir. Ancak bazı kaynaklarda havza akış katsayısı 0,23 olarak verilmektedir. Bu değerler arasındaki fark, yeterli

sıklıkta yağış ve akım gözlem istasyonu bulunmamasından kaynaklanmalıdır. Yağışın genellikle kar şeklinde olması nedeniyle küçük derelerde bile tüm yıl belirli bir yüzey akışı gözlenmektedir.

1963 – 1987 periyodunda Van Gölü’ne giren yüzeysel sular ortalama olarak yılda 2.6 milyar m³ olarak hesaplanmaktadır. Ancak bu rakam, yıllara göre 1.9 ile 3.8 milyar m³ arasında değişmektedir. Buna göre havza verimi 6.70 l/s/km² olarak

hesaplanmaktadır. Van Gölü Havzasında bulunan ovalarda sürdürülen sulama projeleri tamamlandığında ise göle giren su miktarında yaklaşık 500 milyon m³'lük bir azalma olacağı beklenmektedir.

Van Gölü çanağında da yer yer su kaynakları olduğu saptanmıştır. Ayrıca göle çok sayıda dere ve küçük çay ulaşmaktadır (Şekil 1). Göl

seviyesinde yaz ayları ile kış ayları arasında 50-60 cm'lik seviye oynamaları görülmektedir. Ancak son yıllarda bu oynamalar metrelerle ifade edilmektedir.

Havzanın toplam su potansiyeli Çizelge 6'da, göle ulaşan akarsular ile ilgili bilgiler ise Çizelge 7'dedir.

Çizelge 6: Van Gölü Havzasının toplam su potansiyeli (Kaynak: DSİ Van Bölge Md.)

Table 6: Total water potential of the lake Van Basin (From DSİ Regional Directorate of Van)

Yıllık ortalama yağış	662,6 mm
Toplam su potansiyeli	12 794,19 hm ³ / yıl
Yerüstü suyu	12 397,05 hm ³ / yıl
Yer altı suyu	397,14 hm ³ / yıl

Çizelge 7: Van Gölü'ne dökülen ana akarsular, uzunluk ve debileri (Kaynak: DSİ Van Bölge Md.)

Table 7: Main rivers of the Lake Van Basin and their length and flow (From DSİ Regional Directorate of Van)

Akarsu Adı	İlçe	Uzunluğu (km)	Max. (m ³ /sn)	Debi	Min. (m ³ /sn)	Debi
Zilan Deresi	Erciş	70	70,800		2,000	
Deliçay	Erciş	55	52,200		0866	
Bendimahı	Çaldıran-Muradiye	90	57,800		2,586	
Karasu	Muradiye-Özalp	148	27,680		0,240	
Hoşap Suyu-Güzelsu (Engil)	Gürpınar	145	-		-	
Gevaş Suyu	Gevaş	14	2,140		0,750	
Memedik Suyu	Saray-Özalp	60	5,600		0,034	

Doğal Kirleticiler

Madencilik faaliyetlerinden kaynaklanan çevresel etkiler

Madencilik ve bununla ilişkili işleme veya zenginleştirme faaliyetleri ne yazık ki geride olumsuz çevresel etkiler bırakmaktadır (Emre vd., 2000). Madencilik etkileri çok sayıda faktöre bağlı olmakla birlikte madencilik türü ve işletme boyutu başlıca iki faktör olarak kabul edilebilir. Madencilik faaliyetleri sonucunda saha

bozulmakta, topoğrafya ve hidrojeolojik koşullar değişmektedir. Madencilik faaliyetlerin aynı zamanda sosyal çevreye de etkileri vardır. Maden sahalarının çevresinde hızla yerleşim alanları oluşur ancak madenler kapandıktan sonra bu yerleşim alanları da genellikle hızla birer terk edilmiş şehir haline dönüşürler.

Madencilik faaliyetlerinden kaynaklanan çevresel etkiler incelenirken madencilik faaliyetinin türü öncelikle belirtilir. Kapalı işletme

ya da açık ocak işletmesi şeklinde yürütülen madencilik faaliyetlerinin her birinin farklı çevresel etkileri söz konusudur. Kapalı işletmelerde en önemli sorunlar, oluşan yer altı boşluklarının zaman içinde çökmesi ve yüzeyde tasman türü çökme alanları oluşturması ve yeraltı su seviyesinin hızla madencilik kotlarına düşmesi, buna bağlı olarak gözenek suyu basıncının ortadan kalkması ve çökme-oturma türü deformasyonların gelişmesidir. Sülfürlü minerallerin işletildiği kapalı işletmelerde bir diğer önemli sorun, asitli suların drenajı nedeniyle ortaya çıkar. Açık ocak işletmeciliğinde ise en önemli çevresel etkiler, gürültü, vibrasyon ve toz emisyonundan kaynaklanan etkiler olarak belirtilebilir. Bu tür madencilik faaliyetlerinde çok büyük miktarlarda hafriyat yapılır, kırma-öğütme-eleme-stoklama ve pasa döküm alanları veya çökeltme havuzları nedeniyle çok geniş alanlar tarımsal üretimden –en azından birkaç on yıl boyunca- düşer. Bu işletme artığı malzemeler –özellikle çökeltme havuzu çamurları- bazı durumlarda yüzyıllar boyunca çevresel sorun yaratmaya devam edebilirler. Ayrıca, çok geniş alanlarda bitki örtüsü sıyrılarak ortadan kaldırıldığından, bu madencilik bölgeleri aynı zamanda çok hızlı erozyona da maruz kalırlar.

Van Gölü Havzasında antik dönemlerden kalma küçük maden işletmeleri bulunsa da, günümüzde genel olarak açık ocak işletmeciliğine dayalı madencilik faaliyetleri yürütüldüğünden bu faaliyetlere dayalı çevresel etkilere odaklanılacaktır. Ayrıca, jeolojik yapıdan kaynaklanan radyoaktif kirlilik ve işletmeye konu olmasalar da erozyon ile göle sürekli malzeme vermeleri nedeniyle alterasyon alanları da değerlendirilecektir.

Maden atıkları

Metalik ya da metalik olmayan madenlerin üretilmesi sırasında ve sonrasında büyük miktarlarda işletme artığı, kısaca maden atığı ortaya çıkar. Metalik maden işletmelerinde çok düşük – düşük tenörler söz konusu olduğundan

büyük miktarlarda pasa üretilir. Bu pasa kaba veya ince taneli olabilir. Yüksek fırın külleri ve termik santral atıkları ile çökeltme havuzu çamurları ince taneli atıklara örneklerdir. Bu pasa yığınlarının çevresel etkileri iki başlık altında toplanabilir. Birincisi, kontrolsüz yığınlarda en yaygın olarak ortaya çıkan sorun, şev stabilitesi sorunu yani heyelan ve akma yapılarıdır. Yığılan malzemenin şev kritik açıları aşıldığında, malzeme suya doygun hale geldiğinde ya da sismik açıdan tetiklendiğinde bu yığınların şevlerinde büyük kütle hareketleri gelişebilir. İkincisi de, yığılan malzemenin kimyasal bileşimi nedeniyle ortaya çıkan çevresel etkilerdir. Bu konuda verilebilecek en önemli örnek ise, pirit içeren atıkların atmosferik koşullarda okside olarak sülfirik asit oluşturmalarıdır. Ortamda demir sülfat veya hidroksitler bulunuyorsa bu ortamın asit koşullarının devam etmesini sağlayarak sülfirik asit üretimini hızlandırır. Bu nedenle, maden atıklarının pH'larını kontrol etmek üzere bazen bazik malzemeleri bu atıklarla karıştırmak gerekebilir.

Bu maden pasalarında bulunan piritin oksidasyon ürünleri yüzey suları tarafından çözülerek taşınır. Yüzey suları aynı zamanda çözünebilir tuzları, özellikle de kloridleri bünyesine alır. Yağışın bol olduğu Karadeniz kuşağında olduğu gibi kimi pasa döküm alanlarında hektar başına bir ton klorid çözeltiye alınarak taşınabilir. Kaba taneli pasa yığınları daha geçirgen olduklarından bazen önemli miktarlarda sülfat da çözülebilir. Bu tür maden pasalarından kaynaklanan asitli sular yer yer düşük konsantrasyonlarda bakır, nikel, çinko ile birlikte bazen 0.1 mg/lit konsantrasyonlara ulaşabilen diğer ağır metaller bulunabilir.

Karbonlu bileşiklerin bulunduğu pasa alanlarında, piritin oksidasyonu ile de desteklenen ani yanma olayları gelişebilir. Atmosferik koşullarda oluşan ekzotermik reaksiyonlar sonucu açığa çıkan ısı, bu tür yanma olaylarının kaynağını oluşturur. Kömür ya da organik maddece zengin malzemeler oksijenin bol olduğu

durumda yanma sıcaklıklarının altındaki sıcaklıklarda da oksitlenerek tutuşabilirler. Maden yangınları da bu tür oksitlenmelerden kaynaklanır. Bu tür pasa alanlarında meydana gelecek ani yanmalar sonucunda karbon monoksit, karbon dioksit, sülfür dioksit ve bir miktar hidrojen sülfür açığa çıkar. Bu gaz emisyonu da atmosferde uzun süre duraylı kalmaz ve yağışla birlikte yağmur sularına, buradan alıcı ortamlara karışarak bu ortamların jeokimyasal dengelerini değiştirirler.

Asitli su drenajı

Bu terim, maden işletmelerindeki ya da pasa yığınlarındaki sülfürlü minerallerin doğal oksidasyonu ile ortaya çıkan drenajı tanımlamaktadır. Bu olgu, sülfürlü minerallerin yüksek oksidasyon koşullarında okside olmaları sonucunda gelişir ve ortamda sulu demir varsa ve duraysız ise, bu demir, demir hidroksitleri şeklinde metal olarak çöker. Bu olgu hem kapalı işletmelerde, hem de açık işletmeler, pasa yığınları, çökeltme havuzları ve maden topuklarında gelişebilir.

Asitli su drenajı büyük metalik maden işletmeleri ve kömür işletmeleri çevresindeki akarsular için önemli bir kirleticidir. Ancak, maden yatağındaki sülfür mineralleri reaktif değilse ya da cevherli kayada, ortamın pH'ını nötralize etmeye yetecek oranda alkali madde varsa asitli su drenajı gelişmez. Bu tür alanlardan drene olan suların asitliğini kontrol etmek çok önemlidir çünkü bu suların asitliği arttıkça çözeltilmeye geçen sülfat ve ağır metal miktarı da artacak, bu da önemli çevre kirliliklerine neden olacaktır.

Radyoaktif kirleticiler

Radyoaktif kirlilik, çevre sağlığını önemli ölçüde tehdit eden ancak gözle görülmediği için farkına varılmayan bir unsurdur. Bu konuda havza bazında yürütülen araştırmalar sonuçlanmış, Van Gölü'ne boşalan ana drenaj sisteminden derlenen su örneklerindeki radyoaktif madde konsantrasyonları ortaya konmuştur (Tolluoglu

vd., 2004 a, b, 2005 a, b.). Bu araştırma sadece akarsu ve göl suyundan alınan örnekler üzerinde yürütülmüş olmakla birlikte, havzada yayılım gösteren kayaç gruplarını temsil edecek ölçüde yüzey gama ve doz hızı ölçümleri de yürütülmüş, litojeokimya ile hidrojeokimya çalışmaları karşılaştırılmıştır.

Erozyon ve erozyon artışı askıda katı madde

Van Gölü çevresindeki tarım arazilerinin yaklaşık %90'ında erozyon problemi mevcuttur. Erozyonun başlıca nedenini yanlış arazi idaresi ve meyli yüksek arazilerin tarım alanı olarak kullanılması oluşturmaktadır. Aynı zamanda yörenin başlıca gelir kaynağını hayvancılık oluşturmaktadır. Her mevsim otlatmaya açık olan meralarda aşırı otlatma sonucu doğal örtü tahribata uğramakta ve erozyon şiddetlenmektedir.

Yağış ve buna bağlı yüzeysel akış sırasında, akışa geçen suyun enerjisine bağlı olarak ince ve kaba taneli kayaç kırıntıları alıcı ortama taşınırlar. Bu ortama gelen kırıntılı malzemelerin bir kısmı hemen çökerken, ince taneli malzemeler (koloidal) bazen uzun süre askıda kalarak yüzey ve dip akıntıları ile birlikte taşınırlar, yeterince durgun bir ortama ulaştıklarında da zamana bağlı olarak çöklerler. Özellikle havzanın doğu kesimlerinde geniş yayılım gösteren genç kırıntılı ve gölsel çökeller, çoğunlukla tutturulmamış olduklarından (Selçuk ve Çiftçi, 2007; Çiftçi, vd. 2004) bu yüzeysel etkilere oldukça açıktırlar.

Alıcı ortamın kimyasal bileşimi, bu ortama katılan kırıntılı malzemenin bileşiminde bulunan çözünebilir elementlerin de katılmasıyla giderek değişmeye başlar. Özellikle koloidal malzemede bulunan çözünebilir iyonlar, bu boyuttaki malzemelerin özgül yüzey alanlarının çok geniş olması nedeniyle kolayca çözeltilmeye geçerler. Ortamın sıcaklık ve pH değerleri burada belirleyicidir.

Askıda katı madde, yani koloidal malzeme, alıcı ortamdaki güneş ışığı penetrasyonunu önemli

ölçüde engellediği için, bu ortamdaki fauna ve flora açısından son derece olumsuz sonuçlara yol açar. Bu erozyon kaynaklı çevresel faktör, alıcı ortamın kimyasal kirlenmesine yol açmasa bile, bu ortamdaki bitki ve hayvan yaşamını doğrudan etkilemesi nedeniyle ele alınmalı, yeniden değerlendirilmelidir. Ancak, bu konuya dikkat çekmekle birlikte erozyona bağlı çevresel faktörler ayrı bir uzmanlık alanı ve makale konusudur.

Endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan egzoz ve baca gazı emisyonu da doğal çevrenin jeokimyasal koşullarını etkilemektedir. Bu konu makalenin kapsamı dışında olsa da, serbest gaz emisyonu nedeniyle ortaya çıkan asit yağmurlarının doğal yaşama olumsuz etkilerinin yurdumuzun birçok bölgesinde ciddi sorunlara neden olmaya başladığı da belirtilmelidir. Bu asit yağmurları bir taraftan doğrudan florayı tahrip etmekte, diğer taraftan da ortamın pH'ını yükselterek toksik elementlerin mobilize olmasını kolaylaştırmaktadır.

Jeotermal drenaj sorunu

Van ilinde altı adet jeotermal alan bulunmaktadır (MTA, 2005). Bunlardan Özalp - Çaybağı kaynağı ile Başkale - Çamlık kaynaklarının drenajı Zap Suyu'na olup, diğer kaynakların (Erciş - Zilan, Çaldıran - Ayrancı, Çaldıran - Buğlu ve Gürpınar - Yurtbaşı) drenajı Van Gölü havzasıdır. Bu jeotermal kaynakların yaklaşık debileri ve sıcaklık değerleri Çizelge 8'de verilmiştir. Bu kaynaklardan boşalan sıcak suların kimyasal analizi sonuçları ise Çizelge 9'dadır.

Çizelge 8'deki veriler kullanılarak yapılan hesaplamaya göre bu jeotermal kaynaklardan Van Gölü Havzasına, sonuç olarak da Van Gölü'ne yılda yaklaşık 1.4 Milyon m³ sıcak su deşarj olmaktadır. Bu suların kimyasal analizlerine bakıldığında ise, suların pH değerlerinin 6,3 ile 7,7 arasında değiştiği, anyon ve katyon değerlerinin de oldukça değişken olduğu görülmektedir. Dikkati çeken iki bileşen, B ve NO₃'tür. Bu kaynakların B konsantrasyonları genelde yüksek olup bazı kaynaklarda 77 mg/l'ye kadar yükselmektedir. Aynı şekilde, NO₃ konsantrasyonu da bazı kaynaklarda 20 mg/l'te kadar yükselmektedir. Cl⁻ değerleri de genel olarak 500 ila 700 mg/l'te değerlerinde olmakla birlikte bu değer Zilan Kuzey Kaynağında 1075 mg/l, Çaldıran - Buğulu kaynağında ise 1825 mg/l ölçülmüştür.

Diğer önemli bir parametre ise sıcaklık anomalisidir. Deşarj olan jeotermal sular alıcı ortamın sıcaklığından önemli ölçüde daha sıcak olduklarından, bunların karışım bölgelerinde önemli sıcaklık anomalileri oluşur; bu sıcaklık farklılıkları da ortamdaki fauna ve flora dengesinin bozulmasına yol açar. Bu olgu özellikle termik santraller ve nükleer santrallerin soğutma sularını deşarj ettikleri ortamlarda büyük çevresel sorunlara yol açmaktadır. Bu nedenle, jeokimyasal açıdan herhangi bir önlem alınmasa bile, yıllık 1.4 milyon m³ gibi azımsanmayacak miktarda sıcak suyun bu kapalı havzaya deşarj edilmesi konusu teknik açıdan değerlendirilmeli, kontrollü ve soğutularak deşarjın koşulları oluşturulmalıdır.

Çizelge 8: Van Gölü Havzası'ndaki Jeotermal Kaynakların Yaklaşık Debileri ve Sıcaklıkları (Kaynak. MTA Jeotermal Envanteri)

Table 8: Geothermal springs of the Lake Van Basin: flow and temperatures (From MTA Geothermal Inventory)

Jeotermal alan	Kaynak Adı	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)
Erciş - Zilan	Şorköy (Taşkapı) Kaynağı	42 – 80	18
	Hasanabdal Kaynakları	34 - 65	9
Çaldıran Ayrancı	Doğal Kaptaj	60,8	1*
	Doğal Kaptaj KD Kaynak Gr.	20 – 25	1,5*
	Ova Kaynak Grubu	26 – 50	8*
	Ova KD Kaynak Grubu	14 - 31	1*
Çaldıran Buğulu	Buğulu Kaynağı	37	5*
Gürpınar - Yurtbaşı	Seyhan Kaynağı	25	1,5

*Toplam Debi

Çizelge 9: Van ili jeotermal alanlarındaki kaynak ve kuyulardan alınan sıcak suların kimyasal analizleri (Kaynak: MTA, 2005; sh. 769)

Table 9: Geochemical analysis of the geothermal springs and wells (From MTA, 2005)

	Zilan Kuzey Kaynağı	ZG-1 Kuyusu c(Zilan)	ZG-2 Kuyusu (Zilan)	ZG-3 Kuyusu (Zilan)	Erciş Hasanabdal Kaplıca	Çaldıran – Ayrancı Kaynağı	Çaldıran - Buğulu Kaynağı	Gürpınar – Seyhan kaynağı
Analiz Tarihi	1981	1988	2000	2000	2000	2001	2000	2000
Sıcaklık (°C)	64	80	92	98	64	43	36	25
pH	6,3	7,92	7,5	7,7	7,0	6,72	7,55	6,7
Spes. Kondüktivite µmho/cm	7200	3086	4450	4450	4350	4095	1201	1420
Buharlaşma kalıntısı (mg/l)	3100	3086	-	-	-	-	-	-
K ⁺ (mg/l)	99	74	110	108	105	150	27,2	0,3
Na ⁺ (mg/l)	838	830	773	858	738	610	95	24
NH ₄ (mg/l)	0,31	0,5	<0,1	<0,1	0,4	3,6	<0,1	<0,1
Ca ⁺⁺ (mg/l)	135	96	36,9	29,5	120,6	165	66,4	164
Mg ⁺⁺ (mg/l)	14	56	54,6	47	19	22,2	64,9	110
As (Total)	0,0	0,9	-	-	-	-	-	-
B (Total)	58	60	53,9	44,1	76,9	52,4	1,8	<0,1
Li ⁺ (mg/l)	2	4,1	-	-	-	2,3	-	-
SiO ₂ (mg/l)	90	109	95	118	31	50	6,9	9
CO ₂ (erimiş, mg/l)	360	1895	-	-	184	359	35,7	346
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	1075	994	897	779	1154	1478	791	1087
CO ₃ ⁻ (mg/l)	0,0	0,1	<10	<10	<10	<10	<10	<10
SO ₄ ⁻ (mg/l)	250	565	470	491	185	154	24,8	42,8
Cl ⁻ (mg/l)	1075	715	543	560	878	550	1825	10
I ⁻ (mg/l)	0,0	0,5	<0,1	<0,1	0,16	-	-	0,8
F ⁻ (mg/l)	0,5	0,9	<0,1	<0,1	<0,1	2,85	<0,1	-
NO ₂ ⁻ (mg/l)	0,0	0,0	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
NO ₃ ⁻ (mg/l)	0,0	0,0	20,1	1,3	1,10	1,92	12,65	0,37

Van Gölü Havzasının Jeolojisi

Van Gölü Havzası, Paleozoyik'ten güncel çökellere kadar çok geniş bir yaş aralığında ve farklı kökenlerdeki kayaç gruplarından oluşmaktadır (Şekil 3 ve 4). Bu kayaç gruplarının jeolojik dağılımı görece düzenli sayılabilir. Tüm bu kayaçların jeolojik özellikleri, çevre jeolojisi analizinin kolay anlaşılabilmesi açısından kısaca anlatılacaktır.

Van Gölü Havzası (metinde kısaca havza olarak anılacaktır) Paleozoyik'ten (560 Milyon Yıl) günümüze kadar her yaş konağından kayaçlardan oluşmaktadır. Ancak, ağırlıklı kayaç gruplarına göre bir genelleme yapıldığında, havzanın güneyinin Bitlis Masifi'ne ait metamorfik kayaçlardan kurulu olduğu; batı ve kuzeyinin genç volkanik ve volkanoklastik kayaçlarla örtülü olduğu görülür. Havzanın doğusu ise, Mesozoyik yaşlı okyanusal kabuğa ve bunun üzerinde gelişmiş karmaşık (melanj) yapıları kayaç gruplarından oluşan Tepedam Metamorfitleri, Hasandağ Grubu, Mordağ Grubu, Mehmetalan Grubu ve Yüksekova Karmaşığı ile kaplıdır. Senozoyik dönemindeki neotektonik olaylara bağlı olarak gelişmiş D-B uzanımlı küçük havzalar da genç – güncel akarsu ve gölsel kırıntılar ve karbonatlarla doldurulmuştur (Şekil 4).

Van Gölü Havzası Maden Yatakları Ve Madencilik Faaliyetleri

Van Gölü Havzasında ilk madencilik faaliyetleri Nemrut stratovulkanına ait obsidiyenlerin işletilmesi ve ticarete konu olması ile M.Ö. beşinci bin yıla kadar gerilere gitmektedir. Kalkolitik döneme ait Tilkitepe yerleşiminde çok bol olarak bulgularan obsidiyen el aletleri nedeniyle bu yerleşimin bir obsidiyen işliği olarak değerlendirilebileceği belirtilmektedir (Korfmann, 1976). Nemrut ve Süphan dağından elde edilen ham obsidiyenler burada işlenip güneye, Mezopotamya'ya ihraç edilmekteydi. Aynı yerleşkenin üst katmanlarında bulgularan

seramik ev aletlerinin daha sonraki döneme, erken bronz çağına (M.Ö. 3. Binyıllar) ait olabileceği belirtilmektedir (Kültür Bakanlığı Web Sayfası: www.kultur.gov.tr). Sonraki yüzyıllarda, Urartu uygarlığı döneminde bölgede seramik işçiliği ve sanayisi doruğa ulaşmıştır. Tarihsel dönemlerde bölgede metalik maden işletmesi bilinmemekle birlikte, yine Urartu uygarlığının altın, gümüş, bakır ve tunç'u yoğun olarak kullandığı ve bu metallerin işlemeciliğinde ustalaştığı bilinmektedir. Bu eserlere ait eşsiz örnekler Van Müzesi'nde sergilenmektedir. Söz konusu metallerin bölgede mi üretildiği yoksa ithal mi edildiği konusunda yeterli bilgi bulunmamaktadır. Urartu döneminde taş işçiliği de oldukça gelişmiş, özellikle bazalt blokları kullanılarak heykel ve anıt eserler yaratılmıştır. Bunların yanısıra, yakın tarihsel dönemlerde (Roma-Bizans, Anadolu Selçuklu - İlhanlı ve Osmanlı dönemi) bölgedeki mermerler ve ignimbritler doğal yapı taşı olarak, özellikle de anıt eserlerin (mezar taşı, kitabe, kümbet, v.b.) yapımında kullanılmışlardır.

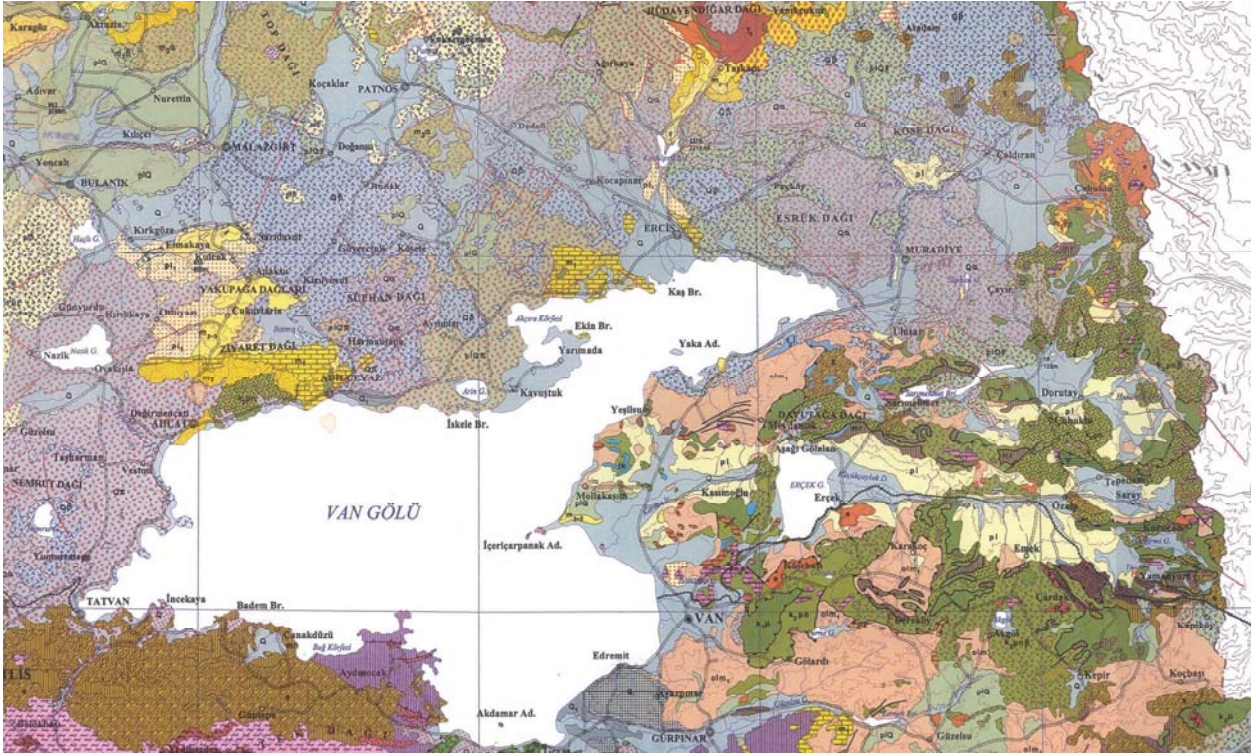
Van Gölü Havzası ve yakın alanları, hem metalik maden hem de endüstriyel mineral ve kayaç açısından oldukça zengin sayılabilir. Bölgede MTA tarafından bulgularan ve bildirilen oluşukların yanında, 2001 yılından sonra faaliyete geçen YYÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü araştırma faaliyetleri kapsamında bulgularan ve incelemeye konu olan çok sayıda maden yatağı veya emaresi bulunmaktadır.

Van Gölü Havzasında bulunan metalik maden ve endüstriyel hammadde alanları ile jeotermal alanlar Şekil 5'te sunulmaktadır. Alterasyon bölgeleri ise ilerleyen bölümlerde sunulan uydu görüntüleri üzerinde tanımlanmıştır.

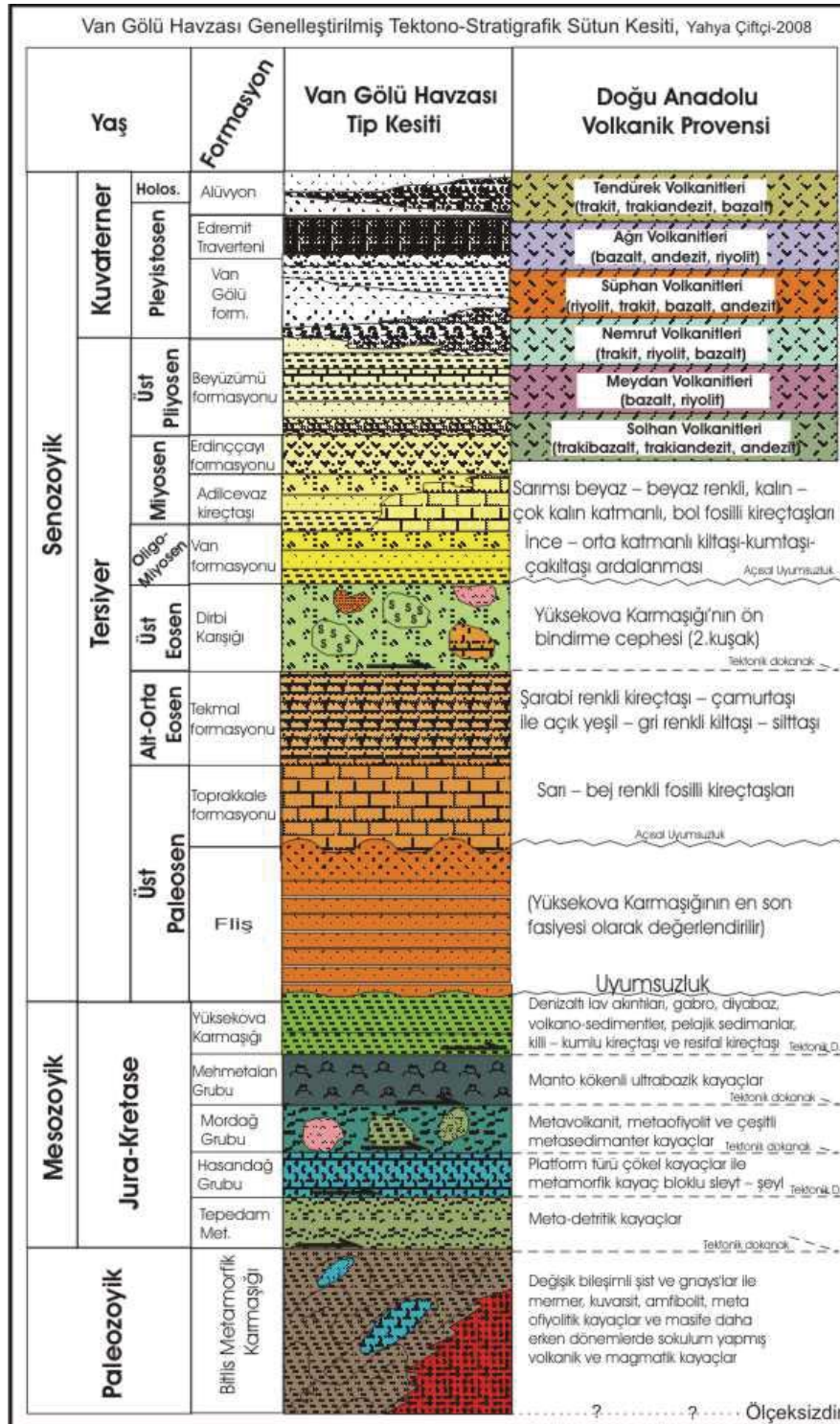
Havzanın doğal kaynak potansiyeli Çizelge 10'da topluca sunulmaktadır. Mineralizasyon çeşitliliği açısından oldukça zengin olan bu havza ve dolayında ciddi bir üretim planlaması yapılamadığından bölgedeki madencilik faaliyetleri de mostra madenciliği'nden öteye geçememiştir. Bu oluşukların çok azı yatak olarak tanımlanabilmiştir. Bölge, madencilik açısından

her türlü araştırmaya açık durumdadır. Bu makalede sadece bu doğal kaynak potansiyeline ait ön bilgi verilecek olup, bölgenin maden

yatakları açısından değerlendirilmesi ayrı bir makalenin konusunu oluşturmaktadır.



Şekil 3. Van Gölü Havzasının Jeoloji Haritası (Kaynak: MTA 1/500.000'lik Jeoloji Paftaları; açıklamalar metin içindedir)
 Figure 3: The geology of lake Van surroundings (From: MTA 1:500.000 scale geology maps; explanations are in main text)



Şekil 4: Van Gölü Havzası ve dolayının genelleştirilmiş stratigrafik sütun kesiti.

Figure 4: Generalized Stratigraphic column section of Lake Van Basin and surroundings.

Çizelge 10. Van Gölü Havzası Doğal Kaynak Potansiyeli (Kaynak: MTA Doğal Kaynaklar Envanteri, YYÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü Saha Çalışmaları).

Table 10: Natural resources of Lake Van Basin (From MTA natural resources inventory and YYU – Geology Department Studies)

Doğal Kaynak Cinsi	Van Gölü Havzasındaki Yeri	Açıklamalar
Albit	Bitlis Masifi	Masif içindeki apilit-pegmatit daykları, <i>Potansiyel</i>
Asbest	Özalp	Potansiyel
Agrega, kum, çakıl	Van formasyonu, güncel dere yatakları	Potansiyel
Bazalt	Tımar, Tatvan, Ahlat, Erciş	Büyük Potansiyel
Bor tuzları	Havza geneli	Genç volkanitler-göl çökelleri (potansiyel)
Diyabaz	Özalp	Potansiyel
Diyatomit	Derköy, <i>Muradiye</i>	<i>Potansiyel</i>
K-Feldspat	Bitlis Masifi	Potansiyel
Grafit	Bitlis Masifi, <i>Çatak</i>	Masifin şist düzeyleri içinde, potansiyel
İgnimbrit (Ahlat Taşı)	Tatvan, Ahlat, Adilcevaz	Büyük rezervler-yetersiz araştırma.
Jips	Erciş (Canik)	İşletiliyor.
Kalker-Dolomit	Çatak	Araştırılmalıdır, <i>Potansiyel</i>
Kil (Tuğla-Kiremit)	Merkez (Bardakçı Köyü), Gevaş, Muradiye ve Çaldıran Yatakları: Van havaalanı, Kurubaş Köyü, Muradiye ve Çaldıran ovaları	Havza genelinde birçok yatak olabilecek kil oluşumu vardır ancak bunların nitelik araştırması yapılmamıştır.
Kurşun-Çinko	Gevaş, Bahcesaray	<i>Potansiyel</i>
Kuarsit	Bitlis Masifi	Şeyl ve şist düzeyleri ile ara tabakalı, potansiyel
Kükürt	Başkale (Bordere, Poyrazalan, Kirbali, Belliyurt), <i>Çaldıran, Erciş, Özalp (Yukarıbalçıklıköy)</i>	<i>Potansiyel</i>
Linyit	Erciş-Zilan, Şahmaniş, Hoşap	Yataklarda geliştirme çalışmaları yapılmalıdır
Mermer	Van, Gürpınar, Bitlis Masifi, Tımar	Potansiyel
Perlit	Erciş (Pınarlı, Erbeyli, Doğana), <i>Çaldıran</i>	<i>Potansiyel</i>
Pomza	Tatvan, Ahlat, Mollakasım, Erciş (Ekinciler, Kırkpınar)	Yeni yataklar potansiyel olarak havzanın B-KB kesimlerinde olabilir.
Bazalt (agrega)	Erciş, Tımar, Muradiye	Potansiyel
Radyolarit	Gevaş, Özalp, Hoşap	Potansiyel
Sodyum Sülfat	Van Gölü	Potansiyel
Talk	Özalp, Van, Gevaş	Potansiyel
Traverten	Edremit, Gürpınar, Tatvan	Araştırılmalıdır, potansiyel
Trona	Van Gölü	Potansiyel
Tuz	Tuzluca, <i>Başkale</i>	<i>Potansiyel</i>
Volkan Cürufu	Refladiye, Çaldıran	Skorya konileri, büyük potansiyel

Endüstriyel Mineraller ve Kayaçlar

Çizelge 10 (Devam)

Metalik Madenler	Altın	<i>Lisfenit oluşumları (Gevaş-Elmalı, Şusanis), Bahçesaray</i>	Yatak kaya jeokimyasal araştırmaları yapılmalıdır (<i>Potansiyel</i>).
	Bakır	Erciş (Taşkapı), Çaldıran, Gevaş	Havza genelinde ayrıntılı arama çalışmaları yapılmamıştır.
	Demir	Berizer Tepe, Geçkinli, Karadulda,	
	Krom	Şahbağı, Özalp (Yamanyurt, Sugeçerköy, Mehmetalan, Yukarıbalçıklıköy), Saray, Gürpınar (Topçudeğirmeni)	Rezerv belirleme çalışmaları tamamlanmamıştır.
	Kurşun-Çinko	Gevaş, Bahçesaray, Bitlis	Potansiyel
	Mangan	Özalp (Karşıyaka), <i>Erciş Köyü, Kalecik</i>	<i>Potansiyel</i>
	Nikel	Saray	Gersdorfit, Garniyerit (<i>Potansiyel</i>)
Hidrolik Kaynaklar*	Ilıca (Zilan) Çayı	Erciş	TOPLAM: 12 794,19 hm ³ / yıl
	Deli Çay	Erciş	
	Bendimahî Çayı	Muradiye	
	Karasu Çayı	Karasu	
	Güzelsu Çayı	Edremit-Gevaş	
	Gevaş Çayı	Gevaş	
	Hasbey Çayı	Gevaş	
	Rahva Çayı	Tatvan	
	Harabeköy D.	Nazik Gölü-Van Gölü	
Enerji Kaynakları ve Hammaddeleri	Jeotermal Enerji	Zilan Vadisi - Erciş	MTA Rapor No: 7793, 8080, 8134, 8137, 8223, 8724)
	Jeotermal Enerji	Ayrancı (Muradiye)	“
	Jeotermal Enerji	Buğulu (Çaldıran)	“
	Jeotermal Enerji	Çamlık (Başkale)	<i>Potansiyel</i>
	Jeotermal Enerji	Kapıköy (Saray)	<i>Potansiyel</i>
	Jeotermal Enerji	Tatvan (Bitlis)	DPT 2609-ÖİK 620
	Linyit	Zilan Vadisi - Erciş	MTA Rapor No:319, 6846
	Linyit	Şahmanis - Gürpınar	MTA Rapor No:103, 681, 1885, 2309, 2411, 2709
	Linyit	Ortanca Köyü - Van	Şistler içindedir
	Petrol	Kürzot - Muradiye	Osmanlı İmp. Ve Ruslar tarafından yüzyılım başında işletilmiştir.
	Petrol	Van	<i>Potansiyel (2004 yılında arama sondajları yürütülmüştür)</i>
	Doğal Gaz	Canik Tuz Domu, Norşin-Gadir köyleri, Çarpanak adası	<i>Potansiyel</i>
U/Th	Bitlis Masifi	Potansiyel DPT:2587, ÖİK:599)	

Buluntu yerinde normal yazılar MTA tarafından bildirilen buluntuları, italik yazılar ise YYÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü tarafından yapılan çalışmalarda elde edilen bulguları kapsamaktadır. Potansiyel olarak bildirilen buluntular için herhangi bir rezerv belirleme çalışması yapılmamıştır.

* Doğrudan Van Gölü'ne dökülen büyük akarsuları kapsamaktadır.

Van Gölü'nün Çevre Jeolojisi

Maden oluşukları ve işletmelerinden kaynaklanan çevresel riskler

Van Gölü Havzası içinde kalan alanlarda çok sayıda madencilik faaliyeti yapılmaktadır. Bu faaliyetlerin çoğu doğal agrega, pomza ve kırmataş işletmesi şeklinde olup, Tatvan ve Çaldıran bölgesindeki skorya konileri, Tımar bölgesindeki jips ocakları ve Edremit'teki kalker ocakları bunların dışında kalmaktadır (Şekil 5). Doğal agrega işletmelerinin çoğu Karasu nehri üzerindedir. Ancak, eski alüvyal fan çökellerinin bulunduğu Beyüzümü gibi sahalardan da zaman içinde çok miktarda doğal agrega üretimi yapılmış, halen de yer yer üretim yapılmaktadır. Bazı alanlardan da bahçe toprağı olarak değerlendirmek üzere Van Formasyonu'nun siltli killi kesimleri gelişigüzel kazılarak alınmaktadır. Bu kontrolsüz kazı faaliyetleri, doğal topoğrafyanın dengesini bozmakta, bölgedeki erozyonun hızlanmasına neden olmaktadır. Ayrıca, bu kırıntılı istifler aynı zamanda yüzeye düşen yağışın sızması ve yer altı suyuna katılmasını sağladıklarından, bu kırıntılı örtünün sıyrıldığı alanlarda düşen yağış doğrudan yüzeysel akışa geçmekte, bu da sellenmeleri tetiklemektedir. Artan sellenme, Van Gölü'ne ulaşan askıda katı madde miktarının artmasına, gölün su kalitesine olumsuz etkide bulunmasına ve göl tabanındaki sedimantasyon hızının artmasına neden olmaktadır. Bu tür erozyonel riskler, göl çevresinde yürütülen pomza, skorya konisi, traverten, Ahlat Taşı ve diğer taş ocağı işletmeleri için de geçerlidir.

Metalik maden işletmesi olarak Özalp civarı ile Van'ın doğu kesimlerinde çok sayıda krom ocağı işletilmiş olup halen bazı ocaklarda üretim faaliyeti sürmektedir. Krom dışında, Gevaş dolayında bulunan Pb-Zn oluşuklarından geçtiğimiz yıllarda birkaç bin ton üretim yapılmış, bu bölgedeki rezerv

geliştirme çalışmaları devam etmektedir. Aynı bölgede bulunan demir oluşukları henüz işletmeye alınmamıştır. Çaldıran ile İran sınırı arasında kalan alanlarda bulunan krom, demir, mangan ve birkaç Pb-Zn oluşuğu ise zaman zaman işletilseler de, üretim miktarı fazla değildir. Bu işletmelerin bulunduğu alanlarda üretim artığı yığınlar (pasa) asitli su drenajı açısından kontrol altında tutulmalıdır.

Erciş'in kuzeyinde bulunan Zilan Vadisi 80'li yıllardan itibaren jeolojik ve jeofiziksel (gravite, manyetik, rezistivite) açıdan incelenmiştir. Bu bölge, son yıllarda ortaya konan Volkanojenik Masif Sülfid oluşukları nedeniyle artan bir ilgi ile araştırılmaya devam edilmektedir. Bu oluşukların bulunduğu alanlar aynı zamanda aktif Çaldıran Doğru Altımlı Fay sistemi tarafından kesilmektedir. Bu derin kırık sistemleri bölgede jeotermal akışkanların da taşıyıcısı olduklarından, bu bölge, maden oluşukları kaynaklı asitli su drenajı açısından en riskli alanları oluşturmaktadır. Bu bölgedeki alterasyon zonları, uydu görüntüleri üzerinde de kolayca saptanabilmektedir. Uydu görüntüleri üzerinden yapılan çevresel değerlendirmeler ilgili konu başlığı altında verilmiştir.

Doğal radyoaktivite kaynaklı riskler

Van Gölü havzasında sinirdim sistemi kanserlerine sık rastlanıldığı çeşitli bilimsel platformlarda dile getirilmiştir. Eylül 1994 ve Haziran 2000 arasında YYÜ Tıp Fakültesi Patoloji anabilim dalına başvuran 19.130 hastanın %11'ine kanser tanısı konmuştur; hastaların %61 erkek, %39'u kadın olup erkek/kadın hasta oranı 1.59 olarak belirlenmiştir. Erkeklerde en sık görülen kanser türleri mide (%18,6) ve deri (%14,4), kadınlarda ise özafagus (%17,9) ve mide olmaktadır; kadın hastalarda gastrointenzital kanser vakaları oranı % 40'ı bulmaktadır

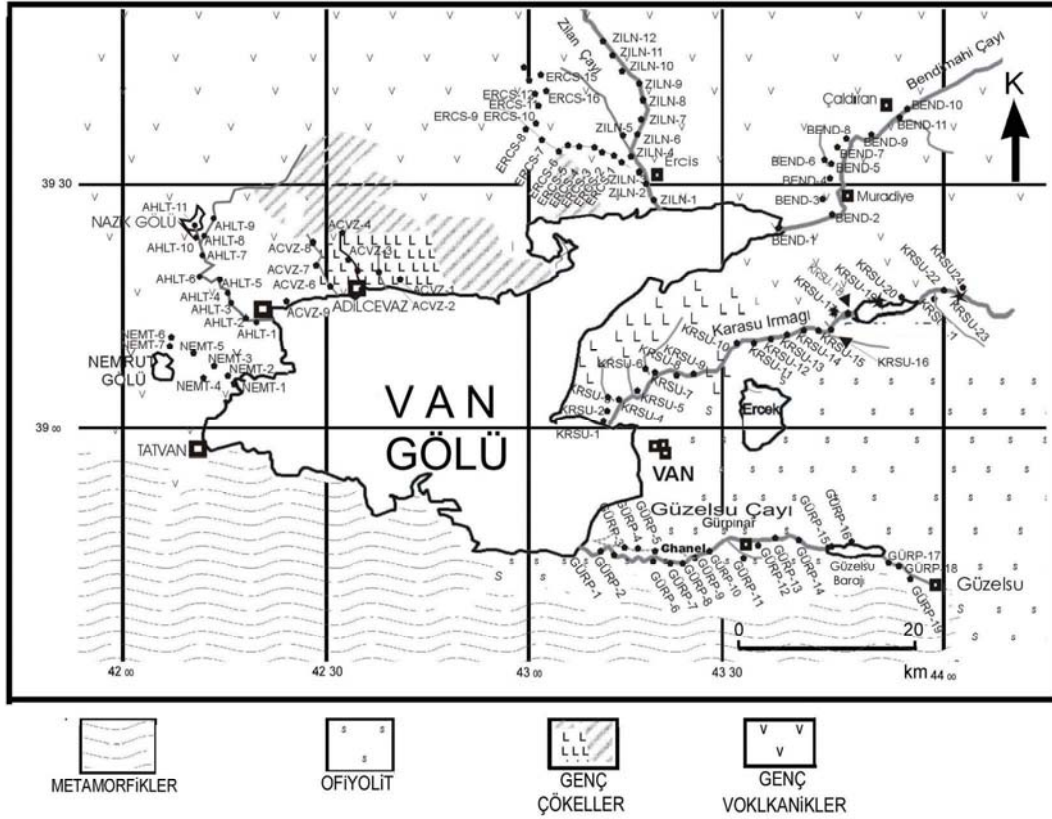
Çizelge 11. Van Gölü Havzası Kayaçları Yüzey Gama ve Doz Hızı Ölçüm Değerleri (Tolluoğlu ve diğ., 2004'ten değiştirilerek).

Table 11: Surface gamma and dose Speed values of the rocks in Lake Van Basin (Modified from Tolluoğlu et al., 2004 a)

Kayaç Tipi Ölçüm no	Yüzey γ (cps)	Doz Hızı ($\mu\text{R/h}$)	Kayaç Tipi ve Ölçüm No	Yüzey γ (cps)	Doz Hızı ($\mu\text{R/h}$)	Kayaç Tipi ve Ölçüm No	Yüzey γ (cps)	Doz Hızı ($\mu\text{R/h}$)	Kayaç Tipi ve Ölçüm No	Yüzey γ (cps)	Doz Hızı ($\mu\text{R/h}$)
Bitlis Masifi Kayaçları			Ofiyolitik Kayaçlar			Miyosen-Pli. Genç Çökeller			Genç Volkanitler		
Şist GEV-5	86	8	Serpantinit GEV-1	49	5	Kireçtaşı ER-9	28	3	Riyolit ÇAL-1	198	15
Şist GEV-6	125	9	Serpantinit GEV-4	69	5	Kireçtaşı SIH-1	40	3	Pomza NEM-1	122	10
Şist KUZ-1	109	8.5	Serpantinit GÜR-1	58	5	Kumtaşı YAT-1	28	2.5	Pomza NEM-4	156	14
Şist KUZ-2	118	10	Spilitik Lav SIH-2	97	7	Kumtaşı GÜR-1	58	5	Bazalt ADİL-1	118	10
Gnays KÖP-1	116	10	Serpantinit ER-1	48	4	Kumtaşı ER-5	33	3	Bazalt ERC-1	90	8
Gnays KÜÇ-1	95	8	Serpantinit ER-2	53	5	Alüvyon ER-6	38	3.5	Bazalt TIM-1	130	11
Albitit HİZ-1	136	11	Serpantinit ER-4	68	5	Göl çökelleri ER-8	38	3.5	Bazalt BEND-1	113	10
			Serpantinit ER-7	55	5	Göl çökelleri ER-10	48	4	Bazalt MUR-1	88	8
						Alüvyon GEV-3	23	2	Bazalt (skorya) TEN-1	40	4

Saha çalışmalarında genel ortalamalara göre daha yüksek değerler belirlenmiş olmakla birlikte su örneklerinin analizi sonucu alınan örneklerde U konsantrasyonunun 0.29 - 8.57 ppb. arasında değiştiği saptanmıştır. Yerküre ortalamasının 10^{-2} - 10^{-1} ppb arasında değiştiği göz önüne alınırsa, yüzey sularındaki U konsantrasyonunun bu değerleri yüksek sayılmaktadır. İçme suyu olarak kullanılacak kaynağın U konsantrasyonunun 10

ppb'den daha düşük olması gerekir. Ancak yüzey sularındaki radyoaktivitenin UNSCEAR, ICRP, ve BEIR gibi uluslar arası kuruluşlar tarafından belirlenen sınır değerlerini (10 ppb) aşmadığı görülmüştür. Ancak sulardaki radyoaktivitenin sınır değerleriyle ilişkili tam bir fikir birliği sağlanmamıştır. Havzada yürütülen hidrojeokimyasal çalışmaların örnek dağılımı Şekil 7'de gösterilmektedir.



Şekil 7: Van Gölü Havzasında yürütülen hidrojeokimyasal çalışmaların örnek lokasyon dağılım haritası (Tolluoğlu ve diğ., 2004'ten).

Figure 7: Location map of the hydrogeochemical studies (From: Tolluoğlu et al., 2004 a)

Tartışma

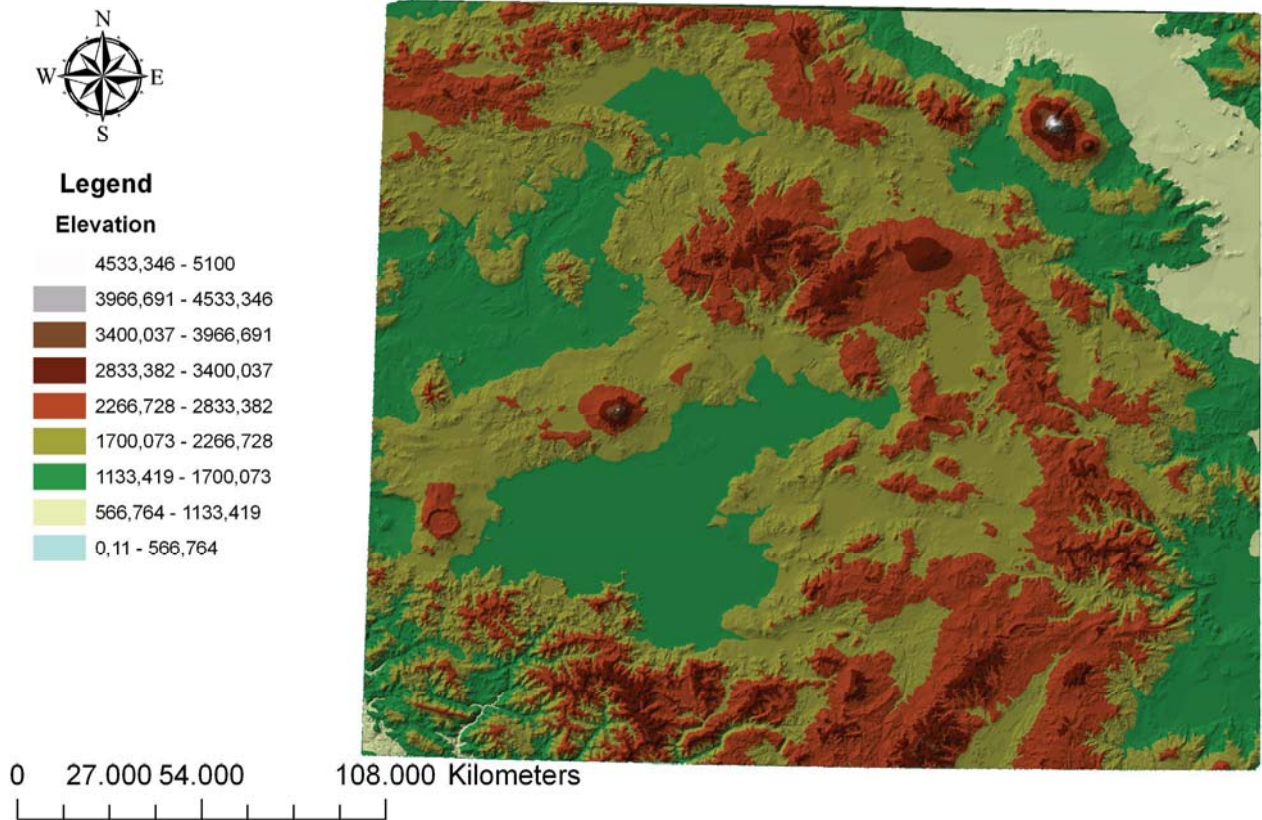
A.B.D Federal Hükümetine bağlı EPA (Envirment Protection Agency) 30 ppb gibi son derece yüksek değerler belirlemişken, EWA (Europen Water Agency 2004 yılında 1 ppb – 3 ppb arasındaki uranyum konsantrasyonlarının kabul edilebilir değerler olduğunu açıklamıştır. Ancak, çeşitli ülkelerde ve farklı kuruluşlarda, sulardaki uranyum içeriğinin en üst seviyesinin ne olacağına dair farklı kabuller vardır. Almanya Federal parlamentosu 2004 yılında her türlü şişelenmiş mineralli su içindeki U konsantrasyonunun 1 μ / lt'yi geçmemesi gerektiğini belirten yasayı kabul etmiştir. Uranyumun içme sularındaki değerlerinin ise 1 μ / lt (= 1ppb) geçmemesini gerektiğini savunan güncel bilimsel

araştırmalar da mevcuttur (Eupais, 2004). Burada ülkeden ülkeye değişen U sınır değerlerinden başka, sınır değerlerde zamana bağlı değişiklikler de görülmektedir. Örneğin EPA (30 ppb) açıklamalarından önce A.B.D.'de farklı kuruluşlar genellikle 10 ppb gibi bir sınır değerini benimsemekteydi. Bu nedenle söz konusu 10 ppb'lik sınırın gerçek anlamda bir tehlike sınırı olarak kesin kabulü çok bağlayıcı değildir. Yeni saha araştırmaları ve sağlıklı tıbbi istatistiklerle karşılaştırılması sonucu bu değerlerde yukarı veya aşağı değişimler olabilir. Gerçek anlamda geçerli bir sınır değer belirlenmesi için saha çalışmalarının tüm büyük akarsu havzaları bazında tamamlanıp sonuçlarının karşılaştırılması gerekmektedir (Tolluoğlu vd., 2005 a,b).

Van Gölü Kirliliği ile İlgili Yapılan GIS ve RS İşlemleri

Tanım olarak eğim, iki nokta arasındaki mesafenin o noktalar arasındaki yükseklik farkına bölünmesi ile elde edilen açının trigonometrik fonksiyonlardan biri olan tanjant'a dönüştürülmesi ile bulunan yükseklikten kaynaklanan arazi terimidir. Eğim yönelimleri ise eğime bağlı olarak arazinin güneş ışığını ne oranda yansıttığı veya güneş ışığının arazinin değişik kesimlerinde

görülme oranıdır. Van gölüne ait eğim ve eğim yönelimleri haritalarının hazırlanması aşamasında yaklaşık olarak, 8 adet 1/100.000 ölçekli topoğrafik harita kullanılmıştır. Bu haritalar içinde bulunan yaklaşık olarak 108 adet 1/25.000 ölçekli haritaların münhanileri veya eş yükselti eğrileri sayısallaştırılmıştır. Bu sayısallaştırma işleminden sonra özel yazılımlar kullanılarak havzaya ait TIN (Triangulated Irregular Network) bulunmuştur (Şekil 8).

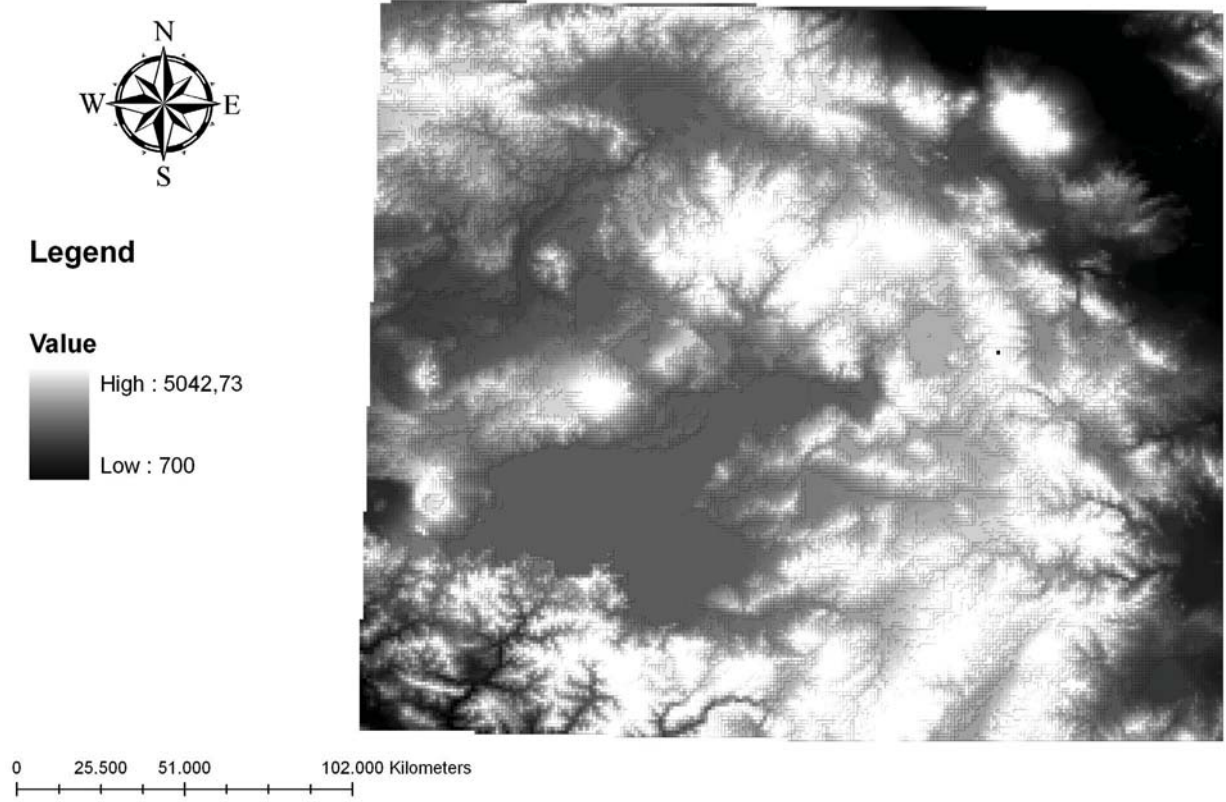


Şekil 8: Van Gölü Havzasının TIN Modeli.

Figure 8: TIN model of the Lake Van Basin.

TIN verileri esas olarak bölgeye ait topoğrafik veriler ile oluşturulan ve yükseltileri prizmatik şekilde gösteren 3 boyutlu havza modelidir. Ancak bu model ile yapılacak olan eğim analizlerinin erozyon açısından riskli bölgeleri tam olarak yansıtmaması amacı ile TIN

modellerinden itibaren DEM (Digital Elevation Method) modelleri oluşturmak gereklidir (Şekil 9). DEM modelleri havzanın dijital yükseklik modelleridir ve eğim ile eğim yönelimleri haritalarının oluşturulmasında çok gereklidir.

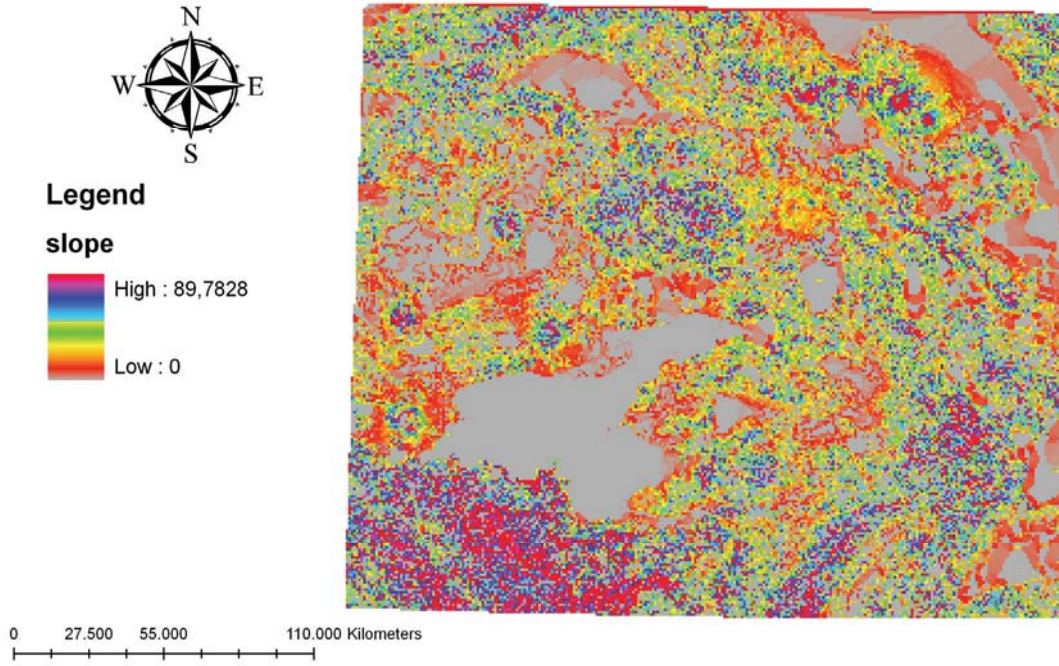


Şekil 9: Van Gölü Havzasının Sayısal Yükseklik Modeli (DEM).
 Figure 9: digital elevation model (DEM) of the Lake Van Basin.

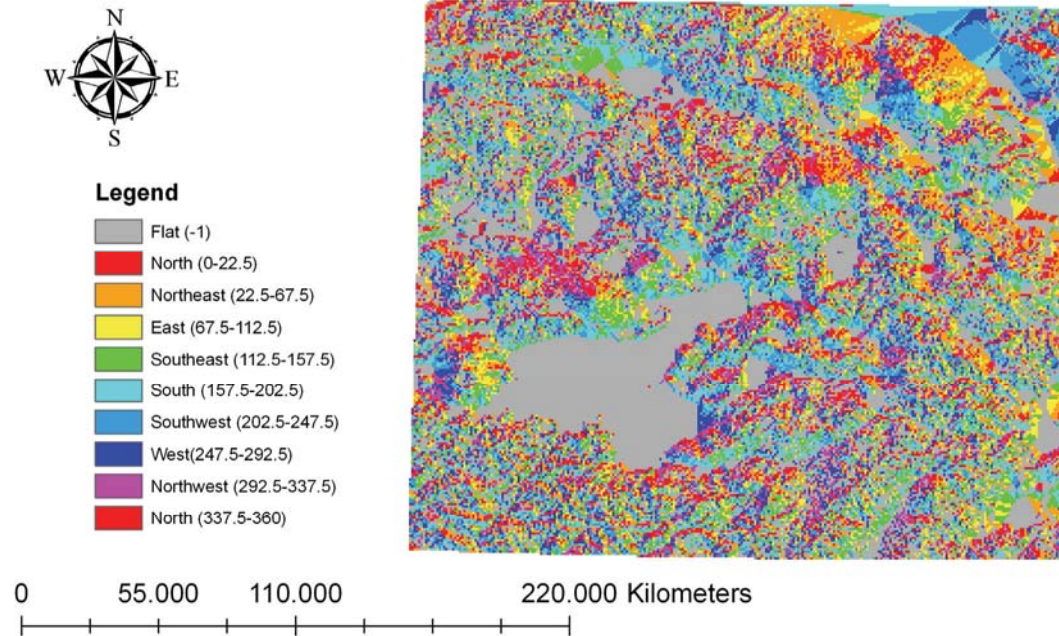
Havzanın DEM modeline bakılarak havzadaki yükselti farklılıklarının konumları ve bunların son alıcı ortam ile ilişkisi hakkında yorum yapma olanağı oluşur. Yüksek alanlarda yürütülecek madencilik faaliyetleri sonucunda üretilen maden atıklarının kontrolü, bu kesimlerin morfolojik özellikleri nedeniyle son derece zordur. Bu atıklardan kaynaklanan çevresel kirlilik yükü, ana akarsu sistemlerine dahil olmadan, çok kısa mesafede hızla ve düzensiz bir akaçlama ağı ile drene olarak alıcı ortama katılacaklardır. Bu nedenle, bu morfolojiye sahip olan alanlarda yürütülecek madencilik faaliyetlerinden

kaynaklanacak atıkların kontrolü yerinde yapılmalıdır.

DEM modelinden itibaren havzaya ait eğim (Şekil 10) ve eğim yönelimleri (Şekil 11) haritaları oluşturularak, havzanın erozyonal yüzeyleri, güneş ışığının yansımaları ve absorbe olma miktarı, yüzey sularının akış yönleri, kar erimesinden kaynaklanan geçici yüzey akışının akış şekli, maden işletmelerinden kaynaklanan zararlı akıntıların drenaj yönelimleri gibi bilgiler elde edilmektedir. Bu görüntüler üzerinden aynı zamanda havzanın akaçlama sınırlarını da belirlemek olanaklıdır.



Şekil 10: Van Gölü Havzasının Eğim Haritası.
Figure 10: Dip map of the Lake Van Basin.



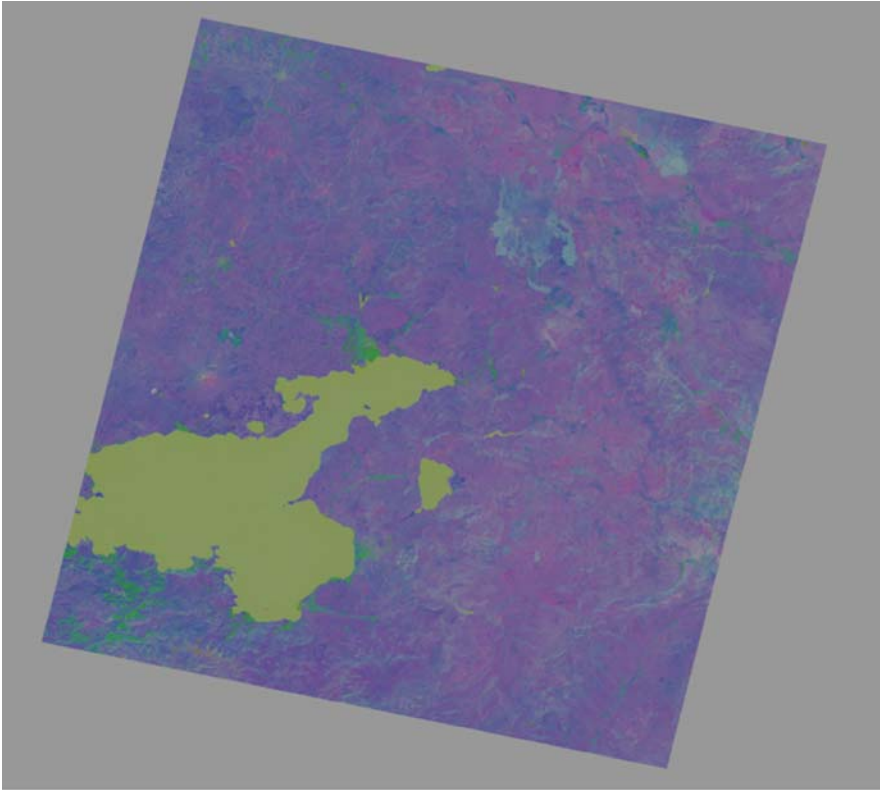
Şekil 11: Van Gölü Havzasının Eğim Yönelimi Haritası.
Figure 11. Slope aspect map of the Lake Van Basin.

Landsat ETM Görüntü Analizleri

Çalışma alanına ait elde edilen ve 7 bant görüntü sağlayan Landsat ETM (Enhanced Thematic Mapper) ve görüntüleri işlenmiştir. Landsat 7 ETM görüntüleri 1999 yılında uzaya NASA tarafından fırlatılan Landsat 7 uydusundan sağlanmaktadır. Bu görüntü sistemi 185 km genişliğinde bir alanda görüntü sağlamaktadır. Pankromatik olarak 15 metre çözünürlükte görüntü sağlayan bu uydu sisteminde, SWIR (Shortwave Infrared) ve VNIR (Visible Near Infrared) bantlarda ise çözünürlük azalarak 30 metre, termal bantlarda ise 60 metreye kadar düşmektedir. Buradaki asıl amaç hidrotermal alterasyon zonlarını belirlemek, yüzey sularında oluşan değişimleri açığa çıkarmak, maden işletmelerinden kaynaklanan demir kirliliğinin alanda meydana getirdiği değişimleri izlemek, alanda bulunan bitki türleri belirlenerek, bu görüntü sistemlerine ait NDVI (Normalized

Differentiated Vegetation Index) belirleyerek bitkilerde meydana gelen değişimleri izlemektir.

Bu analizler için her iki görüntü sistemine ait farklı bantların kompozisyonu ve oranlanmaları gerekmektedir. Öncelikle alanda meydana gelen demir içerikli yerleri belirlemek için Landsat görüntülerine ait 3, 4, 5 ve 7 nolu bantların işlenmesi gerekmektedir. Bunun için bugüne kadar kullanılan ve Kaufmann (1988) tarafından türetilen algoritma kullanılmaktadır. Bu algoritma ile, 7/4 : 4/3 : 5/7 bant oranlaması yapılarak alana ait demir açısından kirlenmiş veya demir içerikli bölgeler ayırt edilmektedir, bant oranlaması sonucunda Şekil 12'deki görüntü elde edilmiştir. Burada kırmızı bölgeler demir açısından zengin olan yerleri, yeşil olan bölgeler ise yoğun bitki örtüsünü göstermektedir.



Şekil 12: 7/4 : 4/3 : 5/7 bant oranlaması yapılarak alana ait demir açısından kirlenmiş veya demir içerikli bölgeler (Kaufmann, 1988'e göre).

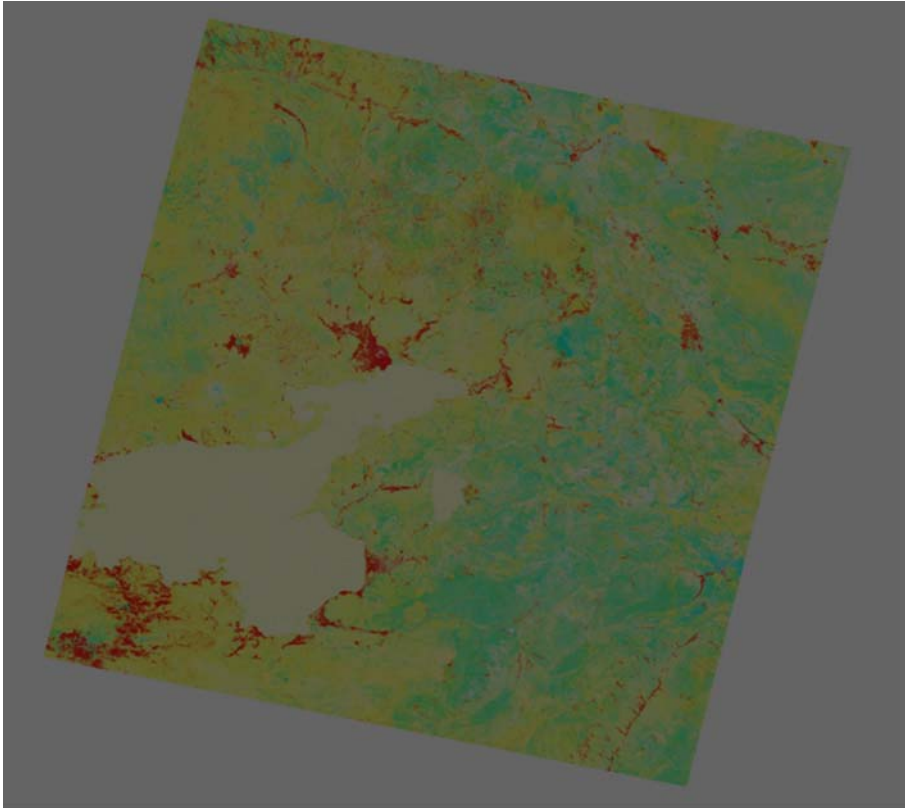
Figure 12: 7/4: 4/3: 5/7 band ratio shows ferric contaminations (after Kaufmann, 1988)

Bunun yanında yine Landsat görüntü sistemleri sayesinde elde edilen ve Abrams vd. (1983) tarafından üretilen 5/7 : 3/2 : 4/5 bant oranlamasına dayanan algoritma kullanılarak Şekil 13'deki görüntü elde edilmiştir. Bu görüntüde sarı ve turuncu bölgelerin FeO + Kil'ce zengin bölgeler olduğu, yeşil ile görülen bölgelerin ise FeO'ce zengin bölgeler olduğu, kırmızı olan bölgelerin ise sadece kil açısından zengin bölgeler olduğu görülmektedir.

Şekil 12 incelendiğinde havzanın bitki örtüsü açısından oldukça fakir olduğu görülmektedir. Erciş ve Reşadiye GB kesimleri dışında havzanın neredeyse çıplak olduğu söylenebilir. Bu durum, yanlış otlatma ve erozyon kontrolü açısından önemli olan küçük top çalılarının insanlar tarafından yakma amacıyla sökülmesi gibi unsurlarla birleşince havzanın tamamen erozyona açık hale gelmesini sonuçlamıştır. Özellikle, Şekil

10'daki eğim haritasına bakıldığında, bu erozyonun hangi bölgelerde daha yoğun olarak yaşanacağı anlaşılabilir. Şekil 11'de ise erozyon sonucu mobilize olan kırıntılı ve çözeltildeki malzemelerin hangi yöne drene olacakları gösterilmektedir. Aynı şekil üzerinde, havzanın özellikle doğu ve kuzeydoğu kesimlerinin yoğun alterasyon bölgesi olarak değerlendirilebileceği anlaşılmaktadır. Erozyon süreci hızlandıkça bu alterasyon bölgesindeki metalik minerallerde bulunan ana ve eser elementler daha büyük bir hızla alıcı ortama taşınacak ve gölün çevre kalitesini etkileyecektir.

Aynı yorum, Şekil 13 üzerinden de yapılabilir. Bu şekilde dikkat çeken başka bir unsur, havzanın volkanik kayalarla kaplı batı ve KB kesimlerinde killeşmenin çok daha yoğun olduğudur. Dolayısıyla, bu alanlardan taşınan kırıntılılar çok daha fazla kil minerali içerecektir.



Şekil 13: Abrams ve diğerleri (1983) tarafından üretilen algoritma kullanılarak 5/7 : 3/2 : 4/5 bant oranlaması ile elde edilen görüntü.

Figure 13: 5/7: 3/2: 4/5 band ratio according to the algorithm of Abrams et al., 1983.

Genel Değerlendirme ve Sonuçlar

Van Gölü havzasında 1800'lü yılların ortalarından itibaren jeolojik-jeomorfolojik ve petrol amaçlı araştırmalar yapıldığı bilinmektedir. Ancak, Van'daki Yüzüncü Yıl Üniversitesi'nin kurulması ile birlikte öncelikle Ziraat, Hayvancılık ve Su Ürünleri olmak üzere, 2000'li yıllardan bu yana da jeolojik - jeomorfolojik ve hidrojeolojik çalışmalar hız kazanmış, havzada çok sayıda ulusal ve uluslar arası destekli araştırma projesi yürütülmüştür. Bunlardan bazılarında havza sürdürülebilir gelişme kapsamında ele alınmıştır (Kılınçaslan vd., 2003). 2002 yılında tamamlanmış olan Van İli Gelişme Raporu da YYÜ - DPT - Van Yerel Yönetimlerinin ortaklaşa oluşturdukları bir durum raporu niteliğindedir (DPT, 2002). Yine T. C. Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından hazırlanmış olan İl Çevre Durum Raporu, havzadaki insan faaliyetlerinden kaynaklanan çevresel riskleri irdelemiştir (İÇDR, 2002). Bölgedeki sanayi altyapısını irdeleyen Van İl Sanayi Envanteri de YYÜ ile VATSO tarafından hazırlanarak 2006'da yayınlanmıştır (VİSE, 2006). Bunların dışında, 2000 yılından buyana akademik faaliyet sürdüren YYÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü araştırmacıları tarafından yürütülen bilimsel araştırma, Yüksek Lisans çalışmaları ve ulusal - uluslar arası araştırma projeleri sonucunda çok sayıda bildiri, makale ve rapor yayınlanmıştır (Akkaya ve Köse, 2002; Sağlam ve Örçen, 2002; Selçuk ve Çiftçi, 2002; Akça vd., 2002; Çolakoğlu ve Çiftçi, 2005; Çolakoğlu, 2006; Karabıyıkçı vd., 2007) Bu olumlu gelişmelere ve iyi niyetli çabalara rağmen, yapılan bilimsel çalışmaların yerel ve merkezi yönetim tarafından ciddiye alındığı ve ortaya konan bilimsel bulguların her türlü planlama faaliyetinde kullanılmaya başlandığı ise ne yazık ki söylenemez. Aslında bu durumu yöreye özgü bir sorun olarak değil, ülkemizin genel sorunları arasında değerlendirmek daha tutarlı olabilir.

Van Gölü Havzası'nın jeokimyasal ve çevresel parametreleri hem havzada yaygın olan kayaç türlerinin kimyasal bileşimlerinde yer alan

eser elementlerin ayrışması, taşınması ve biyolojik çevrede zenginleşmesi nedeniyle, hem metalik mineralizasyonlara eşlik eden yüksek eser element konsantrasyonlarının asitli su drenajı ile alıcı ortamlara taşınması yoluyla, hem de havzaya drene olan jeotermal çözeltilerin taşıdıkları iyonlar ve eser elementler nedeniyle sürekli değişmektedir. Bu değişimin boyutu ve hızı hakkında şimdiye dek bütüncül bir jeokimyasal alan çalışması yürütülmemiştir. Bu makale de bir alan çalışması niteliği taşımayıp, havzanın çevresel durumuna doğal jeolojik çevrenin olası etkilerini işaret etmek amacıyla oluşturulmuştur.

Şekil 5'te havzanın yer altı kaynaklarının dağılımı ve önemli maden işletmelerin konumları görülmektedir. Bu şekil, Şekil 3 ve Çizelge 10 ile birlikte değerlendirildiğinde havzanın jeolojik ve mineralizasyon çeşitliliği kolayca saptanabilir. Bu çeşitlilik ekonomik olanaklar açısından bir avantaj olarak değerlendirilse de, çevresel etkiler açısından bakıldığında bu çeşitliliğin her birinin bağımsız değişken olarak davranması nedeniyle ortaya çok bileşenli bir çevresel analiz sorunu çıkmaktadır. Bu bileşenlerin artması, yapılması gereken jeokimyasal çalışmaların sayısını ve boyutunu da etkilemektedir.

Havzanın jeolojik konumu değerlendirildiğinde, insan faaliyetlerinden kaynaklanan çevresel etkiler (İÇDR, 2002; Kaplan vd., 2002) dışında, salt doğal jeokimyasal süreçler nedeniyle ortaya çıkan ve süreklilik taşıyan bazı kirlilik unsurlarının bulunduğu, bu kirlilik unsurlarının hızının insan faaliyetleri nedeniyle büyük ölçüde artabileceği anlaşılmaktadır. Bu nedenle, havzada yürütülen madencilik faaliyetleri ile jeotermal kaynakların işletmeciliğinin çok hassas bir şekilde planlanması gerektiği, bu faaliyet ve işletmelerden kaynaklanan atıkların alıcı ortamlara deşarjının olabildiğince engellenmesi veya en aza indirilmesi için gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir.

Deprem doğal bir jeolojik olgu olmakla birlikte, insan yerleşimlerine ve endüstriyel altyapıya olan yıkıcı etkileri nedeniyle bir "Doğal Afet"e dönüşebilir. Aslında bu yönüyle yüksek magnitudlü depremler, sel, kütle hareketleri, yangınlar vb. unsurlar, doğal yaşama olan etkileri açısından birer çevre felaketi olarak algılanabilir. Havzadaki insan yerleşimlerine yıkıcı depremlerin olası etkileri konusunda da bağımsız çalışmalar yürütülmüş, halen de yürütülmektedir (Çiftçi vd., 2004; Selçuk ve Çiftçi, 2002, 2007; Özkaymak ve Köse, 2002; Özvan vd., 2002, vb.). Özellikle yeni toplu yaşam alanları oluşturulurken seçilecek yerleşkelerin belirlenmesinde ve bu alanlardaki yapı tasarımlarında çağdaş mühendislik yaklaşımlarının benimsenmesi çevresel açıdan da önem taşımaktadır.

Van Gölü Havzası yaklaşık 20.000 km²'lik bir doğal yaşam alanıdır. Havzada yaklaşık 1 Milyon insan nüfusu, bunun birkaç katı besi hayvanı ile çok sayıda sulak alanı kullanan doğal yaşam ve bitki çeşitliliği barınmaktadır. Bu havza, en büyük alıcı ortamı Van Gölü olan içe akışlı bir havza olduğundan, bu alıcı ortamın jeokimyasının değişmesi, tüm havzadaki yaşamı derinden etkileyecektir. Bu nedenle, bu havzanın ne tür çevresel riskler altında olduğu zaman yitirilmeden çok ayrıntılı olarak ortaya konmalıdır. Bu çevresel risklerin her biri ayrı ayrı değerlendirilmeli, bunların bitki, hayvan ve insan yaşamına olası etkileri ortaya konmalı, daha sonra da bu çevresel etkiler birbirleri ile etkileşimli olarak değerlendirilerek toplam çevresel etkinin zamana bağlı değişimi modellenmelidir. Bu konudaki nihai hedef havzanın sürdürülebilir çevre yönetim sistemini oluşturmak olmalıdır.

Değınilen Belgeler ve Genel Literatür

- Abrams, M.J., Brown, D., Lepley, L., Sadowski, R., 1983. Remote Sensing for Porphyry Copper Deposits in 78, 591-604 Southern Arizona. *Economic Geology*
- Acarlar, M., Bilgin, E., 1991. Van Gölü doğu ve kuzeyinin jeolojisi, MTA Arşiv No: 9469, 93 s. (yayınlanmamış).
- Ağralı, B., 1966, Erciş-Zilan bölgesinin jeolojisi ve linyit imkanları: MTA Genel Müd. Rapor No: 2766 (yayınlanmamış).
- Akkaya, İ. ve Köse, O., 2002. Van Gölü Havzası'nda deprenselliğın periyodik tekrarlanma olasılığı, 55. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiri Özleri Kitabı, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, p.12, Ankara.
- Bell, F. G., 1998. *Environmental Geology, Principles and Practice*. Blackwell Science, ISBN: 0-86542-875-1
- Bowen, H.J.M., 1966. *Trace Elements in Biochemistry*. Academic Press.
- Bowie, S.H.U., 1973. *Methods, Trends and Requirements in Uranium Exploration in Uranium Exploration Methods*. Proceedings of Panel, Vienna, 57-65.
- Çiftçi, Y., Selçuk, L., Özvan, A., Akkaya, İ., Şengül, A., Aras, B., 2004; *Seismic Risk Analysis For The Settlements In The Basin Of Lake Van, Turkey*, 5th ISEMG, Selanik-Yunanistan.
- Çolakoğlu, A.R., and Çiftçi, Y., 2005. *Alteration and Mineralization Marks in the Joint Systems Devoloped In Front of The Thrust Zone of Yüksekova Melange Complex (North of Van)*. 40 th Anniversary Geology Symposium, 27-30 September 2005, p. 108-109, KTU, Trabzon.
- Çolakoğlu, A. R., 2006. *Hasbey (Bitlis Masifi-Van) Pb-Zn Cevherleşmesinin Mineral Parajenezi ve Deformasyon Dokuları*. 59. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara, 20-24 Mart, 2006. s. 131-132.

- Degens, E.T., Wong, H.K., Kurtman, F. ve Finckh P., 1978, Van Gölünün Jeolojik Gelişimi: Bir Özet, The Geology of Lake Van (Degens and Kurtman, Eds.), MTA Yayınları No:169, Ankara.
- DPT-2002. Van İli Gelişme Raporu. Aralık-2002.
- Eisenbund M., 1973. Environmental Radioactivity. Academic Press Newyork 542 pp.
- Emre, H., H. Öztürk, Y. Çiftçi, M. A. Işık, N. Haniççi, 2000. The mining activity in Marmara Sea Basin and it's environmental effects on surficial waters and the sea environment, The Symposium of Marmara Sea 2000, 11-12 Nov. 2000, Istanbul / TURKEY.
- (İÇDR): İl Çevre Durum Raporu, 2002(?). T. C. Çevre ve Orman bakanlığı, Ankara.
- Kaplan, C., Özvan, A., Çiftçi, Y., 2002. Van İli Katı Atık Depolama Alanlarının Jeolojisi ve Çevresel Etkileri, 55. Jeoloji Kurultayı, s140, 11-15 Mart 2002, Ankara.
- Karabıyıkoglu, M., Litt, T., Örcen, S., Krastel, S., Kipper, R., 2007. Van Gölü Havzasının Geç Kuvaterner Çökeltme Ortamları, Göl Seviyesi Oynamaları ve İklim Değişiklikleri. TURQUA VI, 16-18 Mayıs 2007, İTÜ-İstanbul.
- Kaufmann, H., 1988. Mineral Exploration along the Aqaba-Levant Structure by use of TM data: concepts, Processing and results. Int. J. Remote Sensing 9,1639-1658.
- Kılınçaslan, T., Gülersoy, N. Z., Levent, T. B., Adızel, Ö., Çiftçi, Y., 2003. Sürdürülebilir Gelişme Kapsamında Van Gölü Kapalı Havzası İçin Yatırım Alanlarının İrdelenmesi, TÜBİTAK VAP Projeleri, No: YDABAG-101Y094
- Korfmann, M., 1976. Tilkitepe. Verlag Ernst Wasmuth, Tübingen, Deutschland
- Köse, O., Gökdere F., Tolluoğlu D., 2005. Van Gölü Havzasının Genel Tanıtımı. 12. Ulusal Kil Sempozyumu Program Kitapçığı 05-09 Eylül, Van , 23-26.
- Köse, M., Uğraş S., Özen S., Bayram İ., Ceran F., Oral H., Polat S., 2001. Van Gölü havzasında kanser sıklığı ve dağılımı. Çukurova Üniversitesi Tıp Fakültesi dergisi 26: 30-36, 2001.
- Leckie, J. O., ve Parks, G. A., 1978. Geochemistry and environmental impact. In: Geology in Environmental Planning, Howard, A. D. & Remson, I., (eds). McGraw-Hill, NY, pp. 276-288.
- Mills, C. F., 1996. Geochemistry and trace element related diseases. In: Environmental Geochemistry and Health with Special Reference to Developing Countries. Geological Society, Special Publ. No: 113, Appleton, J. P., Fuge, R. & McCall, G. J. H., (Eds). Geological Society, London, pp 1-5.
- Özkaymak, Ç. ve Köse, O., 2002. Van İli ve yakın civarı aktif tektoniğine yönelik bulgular?, 55. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiri Özleri Kitabı, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, p.226, Ankara
- Özvan, A., Kaplan, C., Çiftçi, Y., 2002. Van İli Yerleşim Alanının Sıvılaştırma Potansiyeli, 55. Jeoloji Kurultayı, s233-234, 11-15 Mart 2002, Ankara
- Plant, J.A., baldock, J. W. and Smith, B., 1996. The role of geochemistry in environmental and epidemiological studies in developing countries: a review. In Environmental Geochemistry and Health with Special Reference to Developing Countries, Geological Society Spec. Publ. No: 113, Appleton, J. P., Fuge, R. and McCall, G. J. H. (Eds), Geological Society, London, pp. 7-22.
- Sağlam, A., Örcen, S., 2002. Van Formasyonunun Biyofasiyes Özellikleri ve Çökeltme Ortamları. 55. Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri Kitabı. s. 245-246, 11-15 Mart 2002, MTA Kültür Sitesi.
- Selçuk, L., Çiftçi, Y., 2007. Microzonation of the Plio-Quaternary Soils; a study of the liquefaction risk potential in the Lake Van Basin, Turkey. Bulletin of Engineering

- Geology and Environment, V.66, Nr.2, pp.161-176.
- Selçuk, L., Çiftçi, Y., 2002. Yüzüncü Yıl Üniversite Yerleşkesindeki Pliyo-Kuvaterner Yaşlı Görsel Çökellerin Zemin Davranışları Hakkında Ön Değerlendirme. 11-15 Mart 2002, 55. Türkiye Jeoloji Kurultayı.
- Sarı M., 2000; İnci kefali: Bilgiler ve mevzuat; Su Ürünleri Bölümü, Ziraat Fakültesi, YYÜ, Van.
- Sarı M., 2001. Van Gölü İnci Kefali, Stok miktarının Tahmini ve Balıkçılık Yönetim Esaslarının Belirlenmesi, Çekül Bilimsel Dergisi, ISBN 975-6825-01-4, İstanbul
- Thornton, I., & Plant, J. A., 1980. Regional geochemical health and mapping in the U.K. Journal of the Geological Society, 137, 575 – 586.
- Tolluoğlu A. Ü., Eral M., Aytas Ş., Akyıl S., Işık M. A., Aslani M. A. A., Köse O., Çiftçi Y., Türközü D. A., Yüksel A., 2004 a. Natural Radioactivity in Surface Waters in VAN Lake Basin, TURKEY. International Symposium Insinume 2004, In Situ Nuclear - Metrology As a Tool of Radioecology, Radioprotection of The Environment, Albena, BULGARIA, Abstract Book, p. 53, 27-30 September 2004.
- Tolluoğlu A. Ü., Eral M., Aytas Ş., Akyıl S., Işık M. A., Aslani M. A. A., Köse O., Çiftçi Y., Türközü D. A., Yüksel A., 2004 b. Relationship Between Natural Radioactivity and Rock Type in The VAN Lake Basin-TURKEY. International Symposium Insinume 2004, - In Situ Nuclear Metrology As a Tool of Radioecology, Radioprotection of The Environment, Albena, BULGARIA, Abstract Book, p. 19, 27-30 September 2004.
- Tolluoğlu A. Ü., Eral M., Aytas Ş., Akyıl S., Işık M. A., Aslani M. A. A., Köse O., Çiftçi Y., Türközü D. A., Yüksel A., 2005 a. Natural Radioactivity In Surface Waters In Van Lake Basin – TURKEY. X. European Ecological Congress (EURECO-2005) - Kuşadası-AYDIN/TURKEY 08-13 November 2005.
- Tolluoğlu A. Ü., Eral M., Aytas Ş., Akyıl S., Işık M. A., Aslani M. A. A., Köse O., Çiftçi Y., Türközü D. A., Yüksel A., 2005 b. Van Gölü Havzası Kayaçlarında ve Yüzeysel Sularında Doğal - Radyoaktivite? IX. Nükleer Bilimler Ve Teknolojileri Kongresi, İzmir, TÜRKİYE, Bildiri Özetleri Kitapçığı s. 88, 14-16 Eylül 2005.