

ORDU - ÜNYE - FATSA - AYBASTI YÖRESİNDEKİ ALTIN ARAMALARINA ÇOK DEĞİŞKENLİ İSTATİSTİK YÖNTEMLERİNİN UYGULANMASI VE JEOKİMYASAL YORUMU

Utilization of multivariate statistical techniques in gold exploration: A case study for the evaluation of geochemical data from the region of Ordu-Ünye-Fatsa-Aybasti

NECATİ TÜYSÜZ KTÜ Mühendislik Fak., Maden Müh. Böl., TRABZON

ÖZ: Epitermal altın açısından potansiyel bir bölge olan Ordu-Ünye-Fatsa-Aybasti arasındaki kısımda daha önce saptanan alterasyon sahalarından alınan 165 kayaç örneğinin analiz sonuçları irdelenmiştir. 11 elementin analizi yapılmıştır. Bu çalışmada, analiz sonuçlarına regresyon ve Ana Bileşenler Analizleri gibi çok değişkenli istatistiksel yöntemler uygulanarak anomali sahalarının belirlenmesi ve cevherleşmeler dışında bu anomalilere etki eden yan kayaç faktörünün etkisinin yok edilmesi amaçlanmıştır. Yan kayaç faktörünün dışlanmadığı ilk durumda, altının hiçbir elemente bağlı olmaksızın tek fazda ve sadece Fatsa-Tepeköy civarında olduğu görülmüştür. Ancak, regresyon analizleri sonucu yan kayaç faktörü veri setinden ayrıldığında, altının 3 ayrı fazda ve başka yörelerde de yoğunlaştığı anlaşılmıştır. Altın Fatsa-Zaviköy'de 2 ayrı fazda, ilk olarak bazı metallerle birlikte ikinci olarak da epitermal olarak oluşmuştur. Altın, Tepeköy'de ise aynı şekilde baz metallerle birlikte bulunurken, ayrıca muhtemelen geç evre silis damarlarına bağlı olarak da oluşmuştur. Bu sahalara ek olarak Korgan yöresinde de bir anomali sahası belirlenmiştir.

ABSTRACT: Analytical results of 165 rock chip samples collected from predetermined alteration areas in the region between Ordu-Ünye-Fatsa-Aybasti were evaluated for any possible sort of mineralization. The region appears very promising for epithermal gold deposits. 11 elements were analyzed. The main purpose of this study is to filter out influences related to extraneous factors other than mineralization such as lithology. Therefore, two multivariate techniques, linear regression and principal component analysis were employed. Data before filtering revealed only a single anomalous area around Fatsa-Tepeköy for gold with no association of other elements. However, filtering resulted in delineation of other anomalous areas. In addition, filtered data may imply three different episodes for gold deposition: 1 - gold together with base metals at relatively high temperatures, 2 - gold with epithermal mineralization, 3 - gold only with silica as late stage quartz veins. Hence, multivariate techniques proved to be very successful in removing the background signal caused by different lithological units in the sampling area.

GİRİŞ

Doğu Karadeniz Bölgesi jeolojisi ve tektonik konumu bakımından altın için önemli bir potansiyel bölgedir. Özellikle Üst Kretase ve Eosen volkanikleri epitermal altın cevherleşmeleri açısından ilginç özellikler sunarlar. Altın aramaları daha önce saptanan alterasyon sahalarında yürütülmüş ve yaklaşık 36 km² lik bir alanda 165 kayaç örneği toplanmıştır. Bu örnekler 11 element için analiz edilmiştir. Bu çalışmada element konsantrasyonlarının hangi faktörlere bağlı olduğu araştırılmış ve anomali alanları saptanmıştır. Bunun için Ana Bileşenler Analizi (PCA=Principal Component Analysis) ve regresyon analizi teknikleri kullanılmıştır. Jeokimyasal anomaliler, genelde değişik faktörler sonucunda oluşabilirler. Kayaç tipleri, cevherli kayaçların üstündeki malzeme kalınlığı, bitki örtüsü, hidrolik rejim, iklim gibi faktörler jeokim-

yasal anomali değerlendirmelerinde önemli rol oynarlar. Dolayısıyla, bu faktörlerin aramalara daha da anlam kazandırması için analiz sonuçlarının yorumlanması esnasında ayırt edilmeleri gerekir. Çok değişkenli istatistiksel yöntemler Garrett (1989) tarafından detaylı olarak anlatılmıştır. PCA yöntemi, anomalilerin hangi faktörlerden etkilendiğini belirleyebilir. Doğrusal regresyon analizleri ise filtreleme tekniği olarak kullanılmaktadır (Rose ve diğ., 1970; Draper ve Smith, 1966). Bu çalışmada 2 aşamalı yöntem uygulanmıştır. Birinci aşamada bütün değerler PCA metoduyla yorumlanmış, ikinci aşamada ise diğer faktörlere dokunmadan kayaç faktörü regresyon analizi ile yok edilmiş ve artık (residual) değerlere PCA analizi uygulanmıştır. İstatistiksel analizler STATGRAF programları ile gerçekleştirilmiştir.

JEOLOJİ

Çalışma sahası Doğu Pontidlerin batı kısmında yer alır. Yöre, Mesozoyik ve Alt Kretase'de aktif ada yayı volkanizmasına sahne olmuştur (Gedikoğlu, 1978). Çalışma alanında en yaşlı birim, Üst Kretase yaşlı andezit, bazalt lav ve piroklastlarıdır (Şekil 1). Bu kayalar siyenitik kayalar tarafından kesilirler ve kumtaşı, konglomera ve resifal kireçtaşları ile uyumsuz olarak örtülürler. Paleosen-Eosen ise riyolit, andezit, bazalt ve trakiandezitler ile belirlenir. Aybastı, Gököy ve Fatsa ilçe merkezleri arasında kalan alanın merkezinden başlayarak yaklaşık 30 km. çapında bir saha çalışma sahasını da kapsayan bir paleo-kaldera içerisinde yer alır (Gedikoğlu ve diğ., 1982).

ALTERASYON VE CEVHERLEŞMELER

Arjilik alterasyon bazı kısımlarda oldukça yoğun olarak gelişmiş olup, kuvars damarlarını ve silisleşmiş yan kayacı çevreler. Alunitleşme, piritleşme, limonitleşme ve hematitleşme yer yer oldukça iyi gelişmiştir. Kloritleşme bölgesel olarak yaygın bir şekilde izlenir.

Tepeköy civarında galenit, kalkopirit, sfalerit ve pirit mineralizasyonları alt kotlarda 20-50 cm. kalınlıklarda damarlar şeklinde izlenirken, üste doğru daha önce 1-2 cm lik damarcıklara dönüşürler. Ayrıca, bu kısımlarda baritleşme oldukça yaygındır. Zaviköy de ise ağsal pirit, galenit, sfalerit, tetradrit ve kalkopirit mineralizasyonlarına rastlanılmıştır (İğdir ve Kahraman, 1974).

TEMEL İSTATİSTİKSEL DEĞERLENDİRMELER

Çizelge 1, 11 değişkene ait özel istatistik verileri içermektedir. Yamukluk (skewness) katsayısından da anlaşılacağı gibi bütün dağılımlar pozitif yamukluk göstermektedir. Özellikle altın yüksek yamukluk arzeder. Standart sapmanın 10 katına varan oranlarda bazı çok yüksek değerler mevcuttur. Bu tür yüksek değerler, bazen ilginç anomalileri belirttiğinden bu değerlerin istatistiksel hesaplamalarda göz önünde bulundurulması gereklidir. Ancak, bu yüksek değerler sonuçları önemli derecede çarpıtabilir. Bu olumsuzluk, verilerin tümünün logaritmaları alınarak minimuma indirilmiştir. Yamukluk katsayılarından da anlaşılacağı gibi (Ni hariç) dağılımlardaki asimetri olabildiğince azalmıştır (Çizelge 1).

KORELASYON

Elementler arasındaki ilişki araştırılmış ve en iyi ilişki en yüksek korelasyonla Pb ile Zn arasında saptanmıştır (Çizelge 2). Benzer olarak Pb-Cd, Zn-Cd, As-Ag, As-Sb, Cu-Ag ve Co-Ni arasında iyi ilişkiler saptanmıştır. Burada görülen en ilginç olay hiç bir elemen-

tin altın ile ilişki göstermemesidir. Bu durum, ilerdeki bölümlerde ayrıntılı olarak incelenmiş ve nedenleri araştırılmıştır. Bir başka ilginç sonuç ise hiç bir element arasında önemli bir negatif korelasyon bulunmamasıdır.

ANA BİLEŞENLER ANALİZİ

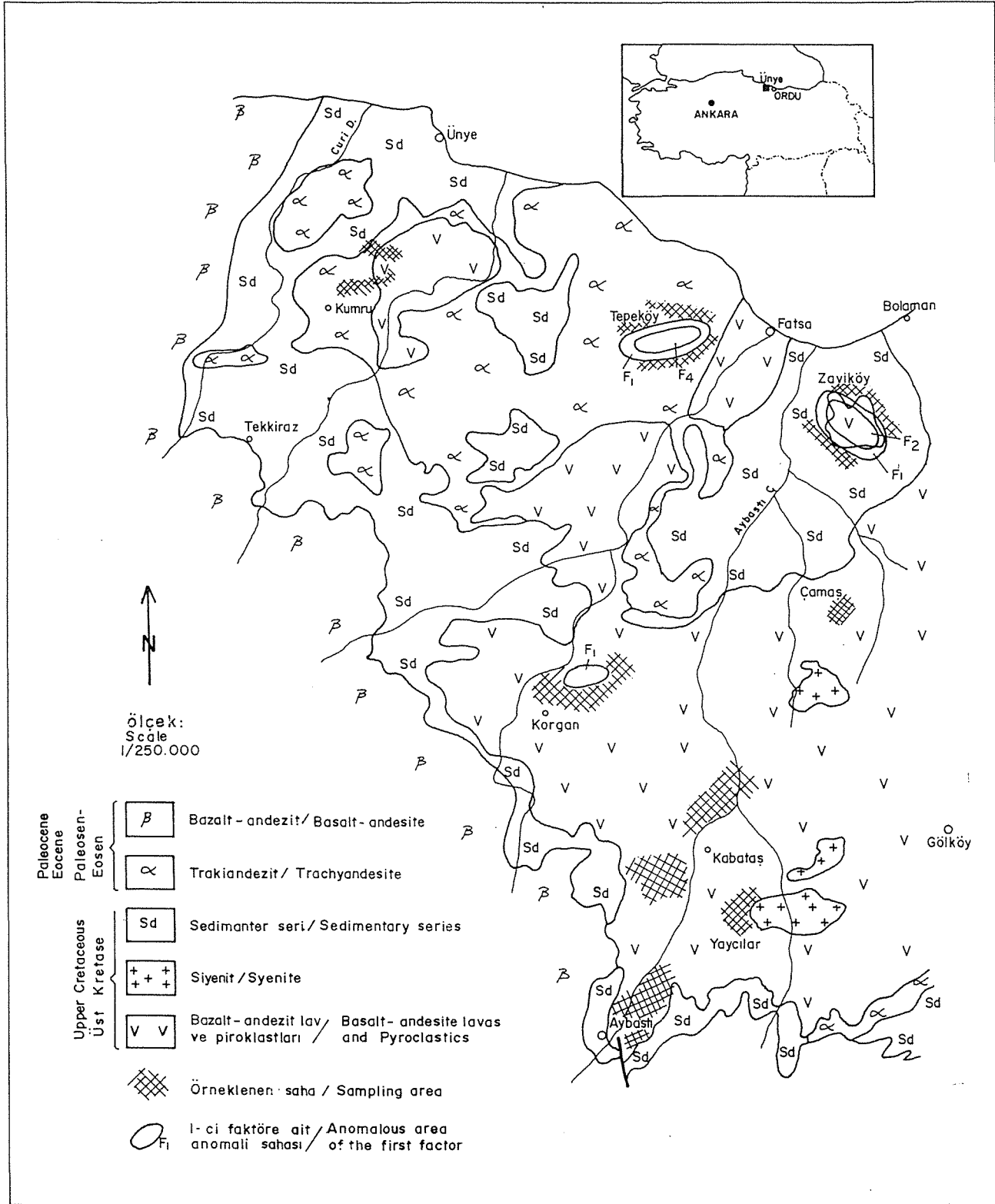
Ana Bileşenler Analiz tekniği, değişken grupları arasındaki en iyi doğrusal değişimleri yansıtan çok değişkenli bir istatistiksel yöntemdir. Buna göre eğer değişkenler arasında hiç bir korelasyon yoksa bu değişkenler birbirleriyle uzaysal olarak ortogonal bir kolumda bulunurlar, yani değişkenlerden geçen doğrular birbirine diktir. Birbirleriyle iyi korelasyon sunan elementler aynı doğru üzerinde yer alırlar ve böylece başlangıçtakinden çok daha az sayıda değişken ile veri setindeki değişimlerin nedenleri araştırılabilmektedir. Bu şekilde bulunan yeni değişkenler faktör olarak isimlendirilir (Çizelge 3).

Çizelge 3'den çalışma sahasındaki element dağılımındaki değişimin % 85 inin 5 ayrı faktöre bağlı olduğu anlaşılmaktadır. Geri kalan değişim; örnek alımı, analiz hataları gibi faktörlere bağlı olabileceğinden hesaba katılmamıştır. Buna göre orijinal element setindeki değişimleri yansıtan ilk iki faktör 2 ayrı cevherleşme fazını (Şekil 2), 4'ncü faktör ise sadece altın cevherleşmesini belirtmektedir. 3'ncü faktör yan kayalardan kaynaklanan değişimleri, 5'nci faktör de benzer olarak siyenit sokulumlarının neden olduğu değişimleri yansıtmaktadır.

REGRESYON ANALİZİ

Elementlerin ortalama değerleri jeolojik ortamlara göre farklı olduğundan, ortam faktörünün element dağılımı üzerindeki etkisi yok edilerek homojen bir ortam oluşturulmalıdır. Böyle bir ortam, kayaç cinslerini belirleyen elementlerin cevher oluşturan elementlere göre regresyonu ile saptanabilir ve bu şekilde daha sağlıklı bir eşik değer hesaplanmış olur. Bir başka deyişle regresyonla hesaplanan değerlerin analiz sonucunda bulunmuş değerlerden çıkarılmasıyla geri kalan değerler (Residuals) gerçek cevherleşmeleri yansıtır. Bonham ve diğ. (1987), Rose ve diğ. (1970) ve Marcotte ve Fox (1990) kayaç faktörünü dışlamak için regresyon analizlerinden yararlanmışlardır.

Co ve Ni değerlerindeki değişimler çalışma sahasında bu tip bir cevherleşme söz konusu olamayacağından tamamen yan kayalardaki farklılıklardan kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla, diğer element değerlerinin bu iki elemente göre regresyonu alınırca, kayaç faktörüne bağlı değişimler veri setinden çıkartılmış olacaktır. Regresyon sonuçları ve bu yöntemin başarılı olup olmadığını



Şekil 1 Ordu-Ünye-Fatsa-Aybastı yöresindeki jeokimyasal anomalilerin jeolojik harita üzerindeki dağılımı (Gedikoğlu ve diğerleri (1982) ile Çınar ve diğerleri (1987) nin çalışmalarından derlenmiştir).

Figure 1 Distribution of the geochemical anomalies superimposed onto the regional geologic map of Ordu-Ünye-Fatsa-Aybastı (Modified from Gedikoğlu et al. (1982) and Çınar et al. (1987)).

Çizelge 1 Temel İstatistik Parametreler.
Table 1 Elementary statistics.

	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum	Yamukluk	Ortalama (\log_{10})	Standart Sapma (\log_{10})	Yamukluk (\log_{10})
Cu (ppm)	434.2	1545.6	7	10000	5.3	1.9	0.7	1.0
Pb (ppm)	699.9	2047.3	10	10000	3.7	1.9	0.8	0.9
Zn (ppm)	760.5	2257.0	10	11520	3.6	1.8	0.9	1.0
Co (ppm)	15.6	9.3	10	68	2.2	1.1	0.2	-0.6
Ni (ppm)	16.0	6.5	10	40	1.0	1.2	0.2	-2.0
Cd (ppm)	31.1	114.4	10	1075	6.8	1.0	0.4	3.3
Sb (ppm)	28.2	94.8	4	600	5.4	0.9	0.5	2.2
Mo (ppm)	7.0	9.6	1	50	2.8	0.6	0.4	0.6
As (ppm)	61.5	96.3	5	1000	6.4	1.5	0.5	-0.2
Ag (ppm)	3.9	13.2	1.0	148	8.8	0.2	0.4	2.3
Au (ppb)	172.9	1149.7	5	13750	10.7	1.2	0.7	1.4

Çizelge 2 Orijinal verilere ait Korelasyon Katsayıları.
Table 2 Correlation coefficients of original data.

	Cu	Pb	Zn	Co	Ni	Cd	Sb	Mo	As	Ag	Au
Cu	1	.36	.34	.09	.05	.53	.59	-.11	.49	.65	0.02
Pb	.36	1	.87	.12	.04	.77	.07	-.02	.00	.29	.09
Zn	.34	.87	1	.26	.16	.74	.11	.06	.02	.25	-.02
Co	.09	.12	.26	1	.65	.07	.13	.10	.12	.02	-.07
Ni	.05	.04	.16	.65	1	.07	.03	.24	.08	-.01	.01
Cd	.53	.77	.74	.07	.07	1	.08	-.07	-.03	.32	-.01
Sb	.59	.07	.11	.13	.03	.08	1	.13	.66	.54	-.01
Mo	-.11	-.02	.06	.10	.24	-.07	.13	1	.05	-.06	-.04
As	.49	.00	.02	.12	.08	-.03	.66	.05	1	.71	.01
Ag	.65	.29	.25	.02	-.01	.32	.54	-.06	.71	1	.06
Au	.02	.09	-.02	-.07	-.01	-.01	-.01	-.04	.01	.06	1

irdeleyen F-testi değerleri Çizelge 4'de verilmiştir. % 95 güvenlik sınırına göre F-testi çizelgelerinden bulunan kritik F değeri ise 3.05 civarındadır. Buna göre Zn ve Mo regresyon değerleri dışında diğer bütün elementlerin regresyon değerleri istatistiksel olarak önemlidirler. Sonuç olarak bu iki element dışındaki elementlerin dağılımı önemli bir oranda yan kayaç faktörüne bağlıdır. Bu durumda eşik değerlerin saptanması artık değerlere göre yapılabilmektedir.

ARTIK DEĞERLERİN ANA BİLEŞENLER ANALİZİ

Regresyon analizi ile kayaç faktörünün neden olduğu element değerlerindeki değişimler giderildikten sonra geri kalan değerlerin Ana Bileşenler Analizi yapılmış ve sonuçlar Çizelge 5'de verilmiştir.

Buna göre, orijinal değerlerin Ana Bileşenler Analizi ile değerlendirilmeleri sonucunda 1. ve 2. faktörlere bağlı cevherleşmelerde görülmeyen altın artık değerlerle

Çizelge 3 Orijinal verilerin ana bileşenler analizleri (her bir sütun bir eigenvektör (faktör) olup % her bir eigenvektörün toplam veri setinde karşıladığı değişimi verir).

Table 3 Principal component analysis of original data.

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
%	31.8	19.5	15.8	9.2	8.6	4.4	4.1	2.44	1.68
Cu	0.43	0.17	-0.11	-0.03	-0.13	-0.60	-0.09	0.24	-0.42
Pb	0.38	-0.40	-0.12	0.05	0.12	0.25	0.13	-0.15	-0.03
Zn	0.38	-0.40	0.01	-0.05	0.11	0.26	0.23	-0.16	-0.11
Co	0.14	-0.09	0.61	0.04	-0.35	0.13	0.34	0.57	0.03
Ni	0.10	-0.09	0.64	0.15	-0.17	-0.17	-0.43	-0.54	0.08
Cd	0.39	-0.36	-0.15	-0.06	-1.3 E-3	-0.29	-0.23	0.08	0.10
Sb	0.32	0.42	0.07	-0.06	0.13	-0.27	0.59	-0.34	0.40
Mo	3.4E-3	0.02	0.37	-0.09	0.88	-0.08	-0.12	0.25	-0.05
As	0.29	0.49	0.08	0.02	8.15 E-3	0.44	-0.08	-0.16	-0.56
Ag	0.40	0.31	-0.12	0.04	-0.03	0.32	-0.44	0.27	0.56
Au	0.02	3.06 E-3	-0.09	0.98	0.13	-0.05	0.08	0.07	-0.02

Çizelge 4 Çoklu Regresyon ve F-testi Sonuçları (Sa:Sabit).

Table 4 Results of multiple regression and F-test (Sa:constant).

	Sa	Co	Ni	F-Oranı
Cu	217.2	17.1	-3.1	0.75
Pb	433.6	34.6	-17.1	1.37
Zn	-156.6	69.1	-10.0	6.32
Cd	9.4	0.60	0.77	0.60
Sb	18.48	1.90	1.25	1.77
Mo	1.09	-0.09	0.47	6.16
As	38.7	1.27	0.18	1.45
Ag	4.01	0.06	-0.07	0.09
Au	128.2	-17.5	19.9	0.96

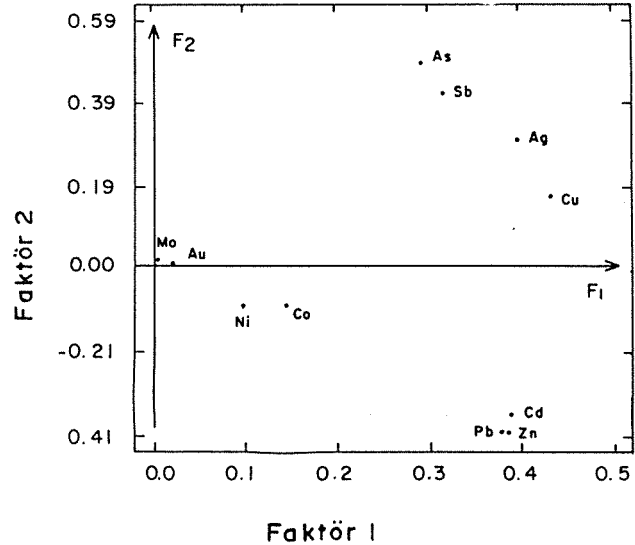
yapılan Ana Bileşenler Analizinde 0.3 ve 0.2 gibi önemli faktör değerleri (eigenvalue) ile bu cevherleşme fazları içerisinde yer almıştır. Buna karşılık Mo 2'nci faz cevherleşmede yer almıştır. Ancak, F-testi Mo için istatistiksel olarak anlamsızdır. Bu fazda Ag'nin devre dışı kalması ise araştırmaya değer bir durumdur.

TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Regresyon analizlerinin ayırtlayıcı olarak kullanıldığı bu çalışma sonucunda altın oluşumunun 3 ayrı fazda gerçekleştiği anlaşılmıştır. Eğer orijinal veriler

Şekil 2 1. inci faktörün 2. inci faktöre göre çizimi.

Figure 2 Plot of 1 st factor versus 2 nd factor.



filtrelenmiş olsaydı, altın oluşumunun sadece 3'ncü faktöre bağlı olarak ve hiç bir elementle ilişkisi olmaksızın gelişmiş olacağı düşünülecekti ve bu da altın aramaları için son derece yanıltıcı bir sonuç doğuracaktı. Ana Bileşenler Analizi yöntemi ile saptanan en düşük ve en yüksek değerler haritalandığında veri setindeki değişime neden olan faktörler çoğu zaman rahatlıkla saptanabilmektedir.

Anomali oluşturan bütün faktör değerleri haritalandığında, 3 ayrı saha önem kazanmaktadır (Şekil 1).

Çizelge 5 Artık Değerlerin (residuals) Ana Bileşenler Analizleri.

Table 5 Principal component analysis of residuals.

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
Cu	0.40	0.07	0.30	-0.04	0.30	-0.40	0.31	-0.62	-0.13
Pb	0.41	-0.22	-0.28	0.08	-0.26	0.27	0.12	0.03	-0.74
Zn	0.36	-0.39	-0.22	-0.11	-0.30	0.28	-0.05	-0.38	0.58
Cd	0.34	-0.40	9.4E-4	-0.10	-1.0E-3	-0.63	-0.41	0.37	0.01
Sb	0.32	0.35	0.26	-0.45	0.18	0.37	-0.57	-0.01	-0.09
Mo	0.07	0.40	-0.82	-0.26	0.20	-0.22	0.03	-0.05	0.05
As	0.24	0.55	0.15	0.08	-0.73	-0.23	0.08	0.10	0.11
Ag	0.42	0.04	0.11	-0.11	0.29	0.20	0.55	0.56	0.26
Au	0.30	0.20	-0.10	0.82	0.27	0.10	-0.29	1.2E-3	0.13

Bunlar, Fatsa-Zaviköy, Fatsa-Tepeköy ve Korgan sahalarıdır. 1'nci faktör Fatsa-Zaviköy ve Tepeköy ve Korgan sahalarında anomali oluşturmaktadır. Bu faktöre ait en yüksek negatif değerler ise Aybastı-Sarıyar sahasında görülmektedir. Bu faktör, sahada yapılan çalışmalardan da anlaşılacağı gibi yüksek sıcaklıkta oluşmuş, baz metal ve bunlara bağlı altın cevherleşmelerini içermektedir. 2'nci faktöre bağlı cevherleşmeler sadece Zaviköy civarında kendisini göstermektedir. Bu kısımda yapılan incelemelerde enarjit ve tetraedrit oluşumlarına rastlanılmıştır. Ancak, saha kalın bir toprak örtüsü ve sık bir bitki örtüsü ile kapalı olduğundan herhangi bir cevher mostrasına rastlanılamamıştır. Burada ayrıntılı toprak jeokimyası uygun sonuçlar verebilir. Bu faktör, element birlikteliğinden de anlaşılacağı gibi epitermal bir cevherleşmeyi işaret edebilir. 4'ncü faktör ise sadece Tepeköy civarında anomali oluşturmaktadır ve sadece altın oluşumunu belirlemektedir. Altın, olasılıkla geç evre silis damarlarına bağlı olarak oluşmuştur. Bu faktöre ait en yüksek negatif değerler ise Zaviköy civarında kaydedilmiştir. 5'nci faktör ise sadece güneyde Yaycılar yöresinde yüksek Mo konsantrasyonlarına işaret etmektedir. Bu kısımda mostra veren siyenitler Mo için muhtemel kaynaklardır. Buna ek olarak Zaviköydeki birkaç yüksek Mo değerleri de dikkat çeker.

KATKI BELİRTME

Yazar, jeokimya çalışmalarına katkılarından dolayı jeoloji mühendisleri Murat ER, Ali Rıza GÜÇ ve Zeki YILMAZ'a teşekkürlerini sunar.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Bonham, G. F., Rogers, P. J. ve Ellwood, D.J., 1987, Catchment basin analysis applied to surficial geochemical data, Cobeguid Highlands, Nova Scotia: J. Geochem. Explor., 29 (1-3), 259-278.
- Çınar, S., Yazıcı, E.N., Doksanbir, T., Boğuşlu, M., Genç, İ., Yağcı, A., Yıldırım, K., 1987, Ordu-Ulubey-Perşembe-Fatsa yörelerinin jeolojisi ile maden zuhurlarına ilişkin rapor: MTA Rap. No (8452), (yayınlanmamış).
- Draper, N. R. ve Smith, H., 1966 Applied regression analysis: Wiley, New York, NY, 407 s.
- Garrett, R.G., 1989, The chi-square plot, a tool for multivariate outlier recognition: J. Geochem. Explor., 32 (1-3), 319-342.
- Gedikoğlu, A., 1978. Harşit Granit Karmaşığı ve Çevre Kayaçları (Giresun-Doğankent): Doçentlik tezi, K.T.Ü. Trabzon (yayınlanmamış).
- Gedikoğlu, A., Pelin, S. ve Özsayar, T., 1982, Gököy (Ordu) Yöresinde Bir Paleokaldera ile Cevherleşmelerin Konumu Arasındaki İlişkiler: K.Ü. Yer Bil. Der., cilt 2, sayı 1-2, 117-130.
- İğdir, İ. ve Kahraman, İ., 1974, Ordu-Fatsa-Zaviköy yöresinin 1/10.000 ölçekli jeoloji raporu: M.T.A. Derleme No. 6786, 57 s. (yayınlanmamış).
- Marcotte, D. ve Fox, J.S., 1990, The Schefferville area: multivariate analysis and variography used to enhance interpretation of lake sediment geochemical data: J. Geochem, Explor., 38, 247-263.
- Rose, A.W., Dahlberg, E.C. ve Keith, M.L., 1970, A multiple regression technique for adjusting background values in stream sediment geochemistry: Econ. Geol., 65 (2), 156-165.