



Doğu Türkiye (Van Bölgesi) Krom Cevherlerinin Jeokimyasal Özellikleri ve Platin Grubu Element (PGE) İçerikleri

Geochemical Properties and Platinum Group Element (PGE) Contents of Eastern Turkey (Van Area) Chromitite

Kurtuluş GÜNAY¹, Ali Rıza ÇOLAKOĞLU²

¹Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Maden Etüt ve Arama Dairesi, 06800 ANKARA

(e-posta: kurtulusgunay@gmail.com)

²Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 65080 VAN

(e-posta: arc.geologist@yyu.edu.tr)

ÖZ

Doğu Anadolu (Van) krom cevherleşmeleri, Doğu Anadolu Yığılım Karmaşığı'nda (DAYK) doğu-batı uzanımlı peridotit birimler ile ilişkilidir. Dört ayrı sahadan ve bu sahalara ait farklı mostralardan alınan cevher örnekleri üzerinde yapılan (tüm kayaç) ana oksit, iz ve Platin Grubu Element (PGE) analizleri sonucunda, cevherleşmelerin ortalama tenörü Mehmetalan sahası (n=11) % ~45 Cr₂O₃, Mollatopuz sahası (n=15) % ~31 Cr₂O₃, Yukarıbalçıklı sahası (n=12) % ~43 Cr₂O₃ ve Alabayır sahasında (n=4) % ~36 Cr₂O₃ olup, aynı örneklerin ortalama ΣPGE içerikleri Mehmetalan sahasında 194 ppb, Mollatopuz sahası 86 ppb, Yukarıbalçıklı sahasında 287 ppb ve Alabayır sahası 122 ppb olarak tespit edilmiştir. PGE içerikleri açısından tüm cevher örneklerinde Pd grubuna (Pd, Rh, Pt) karşın Ir grubu (Ir, Os, Ru) elementlerin belirgin derecede zenginleştikleri görülür. Bu durum ülkemizde gözlenen birçok krom cevherleşmesinin PGE içerikleri ile uyumludur. Ultramafik tektonitler ile ilişkili kromititlerin ΣPGE içerikleri, kümülat kayaları ile ilişkili bantlı kromititlerin ΣPGE içeriklerinden önemli derecede yüksektir. PGE analizlerinde en yüksek değer ΣPGE=627 ppb ile Yukarıbalçıklı sahası YB-CO2 nolu örnekten elde edilmiştir. İncelenen sahalarda en yüksek PGE içerikli örneklerin Yukarıbalçıklı sahasında bulunması ve bu sahaya ait parlak kesitlerde yaygın kataklastik zonların varlığı ve kromitlerin makaslama zonu içinde budin şekilli gözlenmesi, PGE'lerin daha etkin deformasyon etkileri altında zenginleştiklerine işaret etmektedir.

Anahtar kelimeler: Kromit, platin grubu elementler, yığılım karmaşığı, Van

ABSTRACT

Eastern Anatolia (Van) chromite deposits are associated with an east-west trending units of peridotite in the Eastern Anatolia Accretionary Complex (EAAC). The samples taken from four different areas were analyzed for

their trace, major oxides and PGE contents. The average content of chromite ore as follows: Mehmetalan (n=11) 45.3 wt. % Cr₂O₃, Mollatopuz (n=15) 31 wt. % Cr₂O₃, Yukarıbalçıklı area (n=12) 43 wt.% Cr₂O₃ and Alabayır (n=4) 36.5 wt. % Cr₂O₃. The average of ΣPGE results of same group samples contain 194 ppb, 86 ppb, 287 ppb, and 122 ppb respectively. Ir group (Ir, Os, Ru) elements show significantly enrichment compare to Pd group elements (Pd, Rh, Pt). ΣPGE of chromitites host in ultramafic tectonites are much more abundant compared to banded chromitite host in cumulates. This results are comparable with all Turkey chromitite ore. In Yukarıbalçıklı area, both existence of abundant cataclastic zones in the polished sections and boudin shaped ore within shear zones contain high ΣPGE values (e.g. Sample No:YB-CO2; 627 ppb). This enrichment indicate that multi stage of deformation may have been effected for PGE enrichment.

Key words: Chromite, platinum group elements, accretionary complex, Van

GİRİŞ

Türkiye’de ofiyolit ve ofiyolitik melanjdan oluşan kayaç toplulukları geniş alanlar oluşturur. Bu alanların içinde önemli krom cevherleşmeleri yer almaktadır (örneğin, Elazığ-Malatya, Bursa-Eskişehir, Denizli-Muğla, Adana-Hatay-Kahramanmaraş). Bu yataklardaki krom cevherleşmeleri üzerinde ayrıntılı çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Engin ve Hirst, 1970; Engin vd., 1982; Uçurum vd., 2000; Engin, 2001; Uçurum vd., 2006; Uysal vd., 2007a-b; Uçurum vd., 2007; Uysal vd., 2009a-b-c; Akbulut vd., 2010). Ancak bu çalışmanın konusunu oluşturan alanlarda Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü’nün (MTA) yaptığı ön jeolojik etütlerin dışında, krom cevherleşmelerinin jeolojik - jeokimyasal özellikleri ile PGE (Platin Grubu Element) içerikleri konusunda yapılmış herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Ofiyolitler üzerinde yapılan çalışmalar petrojenez açısından önem taşıdığı kadar, metalojenezleri açısından da büyük önem taşımaktadır. Ofiyolit oluşumuna ait bilgi birikiminin artması ve bazı maden yataklarının ofiyolit grubu kayaçlarla köken ilişkilerinin olduğunun anlaşılması, maden yatakları açısından ofiyolitlere olan ilginin artmasına neden olmuştur (Engin, 2001). Ofiyolitlerin ultramafik kesimlerinde var olan podiform kromit yatakları ülkemizin ekono-

mik kalkınmasında önemli bir yere sahiptir. Bu sebeple ülkemizin ofiyolit birimlerinin gözlemlendiği ana yerleşimler boyunca birçok alanda krom madenciliği arama ve üretim faaliyetleri devam etmektedir.

Podiform Kromit Yatakları, ilk kez Thayer (1960, 1964) tarafından ultrabazik komplekslerin içinde küçük kütleler halindeki düzensiz dağılmış kromit mercikleri olarak tanımlanmıştır. Alpin tipi ofiyolitler ve ilişkili krom yatakları Türkiye’nin de içinde bulunduğu Alp Orojenez Kuşağı boyunca gözlenen ofiyolitler ve ofiyolitik melanjlar içinde gözlenmektedir (Gökçe, 2009). Lertzolitik bileşimli manto malzemesinin kısmi ergimesi sırasında tüketilmiş artık kayaçlar oldukları düşünülen harzburjit ve dünitler içinde krom yataklarının oluşumu oldukça tartışmalı olup bugüne kadar bu konuda çeşitli görüşler ileri sürülmüştür (Thayer 1964, 1969; Dickey 1975; Lago vd., 1982; Stowe, 1987; Leblanc, 1991; Leblanc ve Nicolas, 1992; Zhou vd., 1996, Arai vd., 2004). Levha tektoniği kuramından hareketle podiform kromitlerin boninitik bileşimli bazik eriyiklerin tektonit harzburjitler ile tepkimesi sonucu meydana geldikleri görüşü ön plana çıkmaktadır (Zhou ve Robinson, 1997; Zhou vd., 1998).

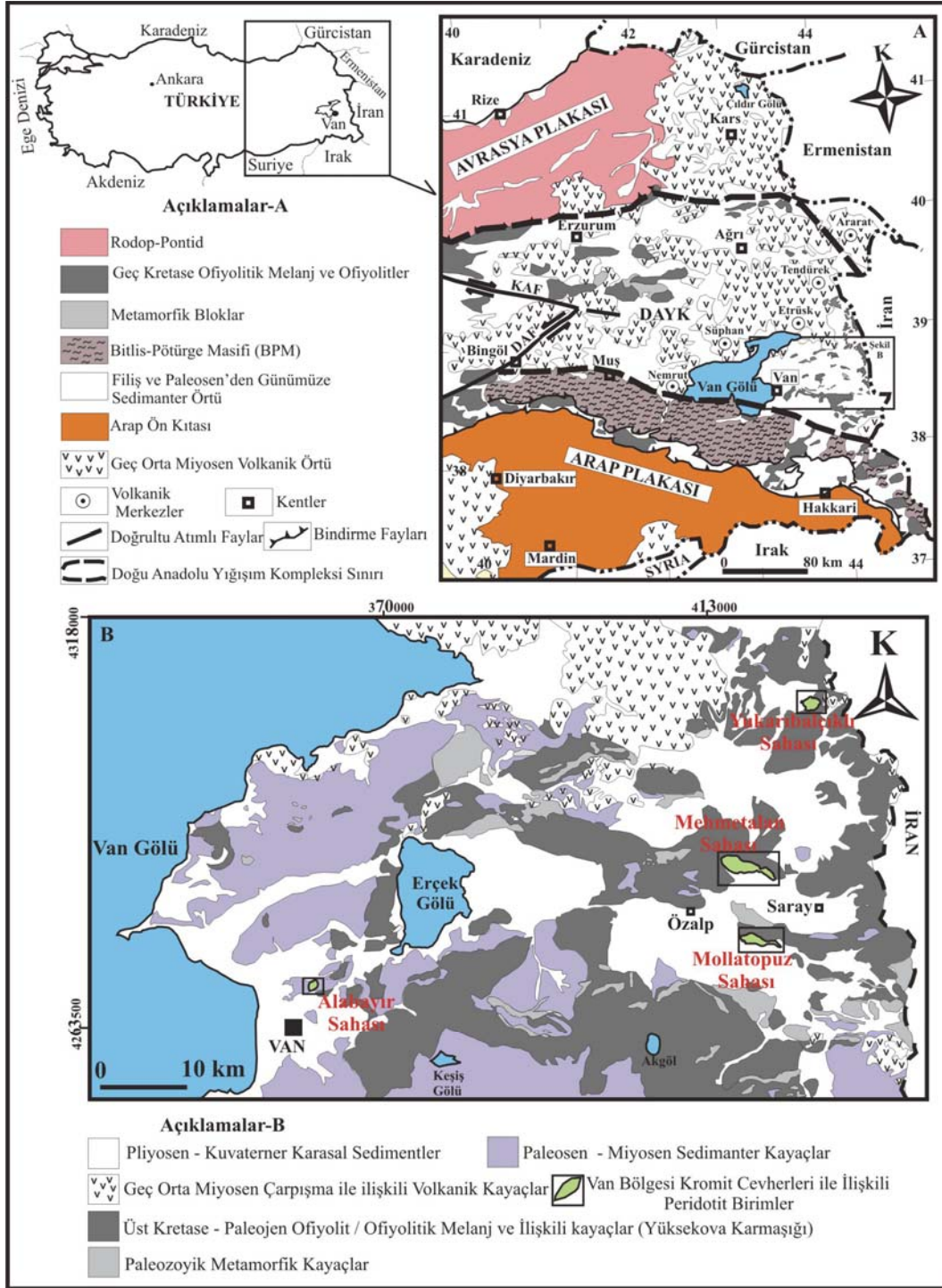
Bu çalışma ile Van Gölü'nün doğusundan İran sınırına kadar uzanan ve Başkale K52 - K51 ve Van K50 paftalarının içinde bulunan dört ayrı sahada gözlenen (Doğu-Türkiye) krom cevherleşmelerinin, jeolojik (mineralojik-petrografik) - tüm-kayaç jeokimyasal özellikleri ve ayrıca PGE içerikleri incelenmiş, ülkemizdeki farklı alanlarda yapılan çalışmalar ile karşılaştırılmıştır.

GENEL JEOLJİ

Doğu Anadolu Yüksek Platosu (DAYP) Arap ve Avrasya plakalarının arasında gelişen, Orta Miyosen'de başlayıp günümüzde de halen devam etmekte olan çarpışma süreçleri ile biçimlenmektedir (Yılmaz, 1993; Bozkurt, 2001). DAYP'nin bu kıtasal çarpışma süreçleri ile ilişkili olarak domsal bir şekil aldığı ve 2 km yükseldiği bildirilmektedir (Barazangi vd., 2006; Şengör vd., 2008). Çalışma alanlarının içinde bulunduğu bölge Geç Kretase - Oligosen döneminde, kuzeye doğru Avrasya kıtası altına dalan Neotetis okyanusal litosferi üzerinde gelişen bir yığışım melanjinin 'Doğu Anadolu Yığışım Kompleksi' (DAYK) (Şengör vd., 2003; Keskin, 2005; Şengör vd., 2008) güneydoğu kesimini oluşturur. Arap ve Avrasya plakaları arasında kıtasal ve okyanusal kabuk parçalarının bileşimini yansıtan DAYK kuzeyde Avrasya plakası, güneyde ise Arap plakasının kuzey kenarında bulunan Bitlis Pötürge Masifi ile sınırlandırılmaktadır (Keskin, 2005; Şengör vd., 2008). DAYK içerisinde yer alan ofiyolitik birimler Triyas - Miyosen aralığında bölgede etkinliğini sürdüren Neotetis okyanusal litosferinin kalıntılarını temsil etmektedir (Şekil 1). Bu ofiyolitik birimler, yığışım karmaşığı içerisinde yaklaşık doğu - batı uzanımlı dilimler halinde, okyanusal litosfer kalıntı-

larının alt kesimlerinin gözleendiği genel olarak peridotit, gabro ve peridotitleri kesen izole, yer yer rodenjitleşmiş dolerit (diyabaz) dayklarının birlikteliğinden oluşmaktadır. Bu birlikteliğin dışında okyanusal kabuğun üst zonlarını oluşturan pelajik sedimentler (radyolarit, çamurtaşı) ve yer yer bazaltik mega bloklar yığışım karmaşığının fliş sekansları ile tektonik ilişkili olarak yer alırlar. Yığışım kompleksin kuzeyinden güneyine doğru gidildikçe filişin gençleştiği, çevresinin de Kretase'den Oligosen'e doğru sığlaştığı ve kuzeyde Oligosen yaşlı birimlerin uyumsuz bir örtü olduğu bildirilmektedir (Şaroğlu vd., 1980; Tüysüz ve Erler 1995). Tüm bu birimler ile birlikte dağınık bir şekilde yer alan metamorfik bloklar, Anatolid-Torid mikrokıtalarının parçaları olarak değerlendirilmektedir (Göncüoğlu vd., 1997; Okay ve Tüysüz, 1999). DAYK'ın kuzey ve batısı çoğunlukla çarpışma ile ilişkili genç volkanik kayalar ile örtülüdür.

Van kromitleri yığışım kompleksinde yaklaşık D-B uzanımlı görülen serpantinleşmiş peridotitler içerisinde yer almaktadır. Çoğunlukla ultramafik tektonit birimlerden oluşan bu ofiyolitik dilimler, genellikle fliş sekansları ile tektonik dokunaklıdır. Pliyosen-Kuvaterner sedimanları ile yer yer örtülüdürler. Bu ofiyolitik dilimler üzerinde dokanak halinde bulunan örtü kayaları (yer yer ofiyolit çakıllı kumtaşları ile arakatlı marn, şeyl) tektonizmadan etkilenmişlerdir. Özellikle büyük yığışım komplekslerinde peridotit istiften daha dayanımlı olan dayk ve gabroyik kayaların gösterdikleri budinaj yapıları dikkat çekicidir ve bu tür yapılar yığışım dinamiğinin ana unsurlarından biri olarak değerlendirilmektedir (Cawood vd., 2009).



Şekil 1. A) Doğu Anadolu Yığılım Karmaşığı ve çalışma alanı genel haritası (Şengör vd., 2003; Keskin, 2005; Şengör vd., 2008'den değiştirilerek). B) Van Gölü Doğusunun genelleştirilmiş jeoloji haritası (MTA, 2007'den değiştirilerek).

Figure 1. A) Eastern Anatolia Accretionary Complex (EAAC) and map of study area (modified from Şengör, et al. 2003; Keskin, 2005; Şengör et al., 2008). B) Generalized geological map of eastern Lake Van (modified from MTA, 2007).

ANALİZ METODU

Çalışma sahalarından toplanan 100 adet kromitit örneğinden toplam 42 tanesi üzerinde tümkayaç ana oksit, iz element ve PGE içeriklerinin analizleri gerçekleştirilmiştir. Cevher örneklerinin ana oksit içerikleri ALS-Chemex (Kanada) laboratuvarında XRF yöntemi ile belirlenmiştir (Çizelge 1). Ana oksitlerle birlikte Çizelge 1’de verilen Co, Ni, Zn ve V iz elementlerinin konsantrasyonları ICP-MS ile ölçülmüştür. Cevher örneklerinin PGE analizleri ALS Chemex (Kanada) laboratuvarında nikel sülfütlü “fire-assay” tekniği ve nötron aktivasyon analiz yöntemleri kullanılarak tespit edilmiştir (Çizelge 2). Analiz yönteminde PGE için dedeksiyon limitleri Pt ve Pd elementleri için 20 ppb, Ir ve Au 1 ppb, Rh 5 ppb, Os 10 ppb ve Ru elementi için 50 ppb dir. Elektron mikroskop görüntüleri Avusturya Leoben Üniversitesinde bulunan Superprobe JEOL JXA 8200 marka cihazdan görüntülenmiştir.

Bu makalenin konusunu oluşturan Van bölgesi kromititleri Van Gölü’nün doğusundan başlayarak İran sınırına doğru sırasıyla Alabayır köyü (C kodlu cevher örnek numaraları), Mehmetalan köyü (ME kodlu cevher örnek numaraları), Mollatopuz köyü (MO kodlu cevher örnek numaraları) ve Yukarıbalçıklı köyü (YB kodlu cevher örnek numaraları) yakınlarında bulunan peridotit birimler ile ilişkilidir. Bu sahalarda genellikle özel işletmeler tarafından açılmış küçük-orta çaplı arama yarımları ve zaman zaman işletilmiş daha büyük ocaklar yer alır. Saha çalışmaları esnasında görülen cev-

herli mostralarda, ocak çevresinde mevcut bulunan cevher yığınlarında masif ve saçınımlı kromit örnekleri mevcuttur. Ancak jeokimyasal analizlerde, işletme için ekonomik olabilecek masif kromit örnekleri tercih edilmiştir. Cevher ve yan kayaçlardaki ana oksit-iz-nadir toprak elementlerindeki farklılıklar, mineral kimyası çalışmaları ve yapı-doku karakteristikleri krom cevherleşmesinin ve dolayısıyla ofiyolitik birimin olduğu tektonik ortamı gün ışığına çıkarabilmektedir (Zhou ve Robinson 1997).

YEREL JEOLJİ

Bölgede incelenen krom yatakları küçük mercekler ve bantlanmalar şeklinde, masif, saçınımlı-bantlı ve nodüler tiplerde bulunur. Kromititler üzerinde yoğun bir tektonizma etkisi gözlenir. Bunun sonucu olarak yer yer budinleşmiş 5-8 cm büyüklüğündeki parçalar yan kayaçlar içinde bulunabilmektedir. Yukarıbalçıklı ve yer yer Mehmetalan sahasındaki kromitler milonitik fay zonu içinde bulunmaktadır. Dört farklı sahadaki kromititler üzerinde egemen doku karakteristikleri; Alabayır sahasında kümülüs, Mehmetalan ve Yukarıbalçıklı sahaslarında bol kırıklı katablastik, Mollatopuz sahasında ise deformasyon çatlakları gösteren yer yer öz şekilli olarak belirlenmiştir (Şekil 2). Özellikle Yukarıbalçıklı sahasında kromit cevheri makaslama zonu içinde gözlenir ve yer yer budin şekillidir. Bu zondan incelenen parlak kesitlerde daha yoğun sülfid minerallerinin (pendlandit, bornit, kalkopirit, millerit gibi) varlığı gözlenmiştir. PGE içerikleri bakımından bu örnekler daha zengindir.

Çizelge 1. Van bölgesi kromitit örneklerinin tüm kayaç ana oksit (XRF) ve iz element (ICP-MS) konsantrasyonları.

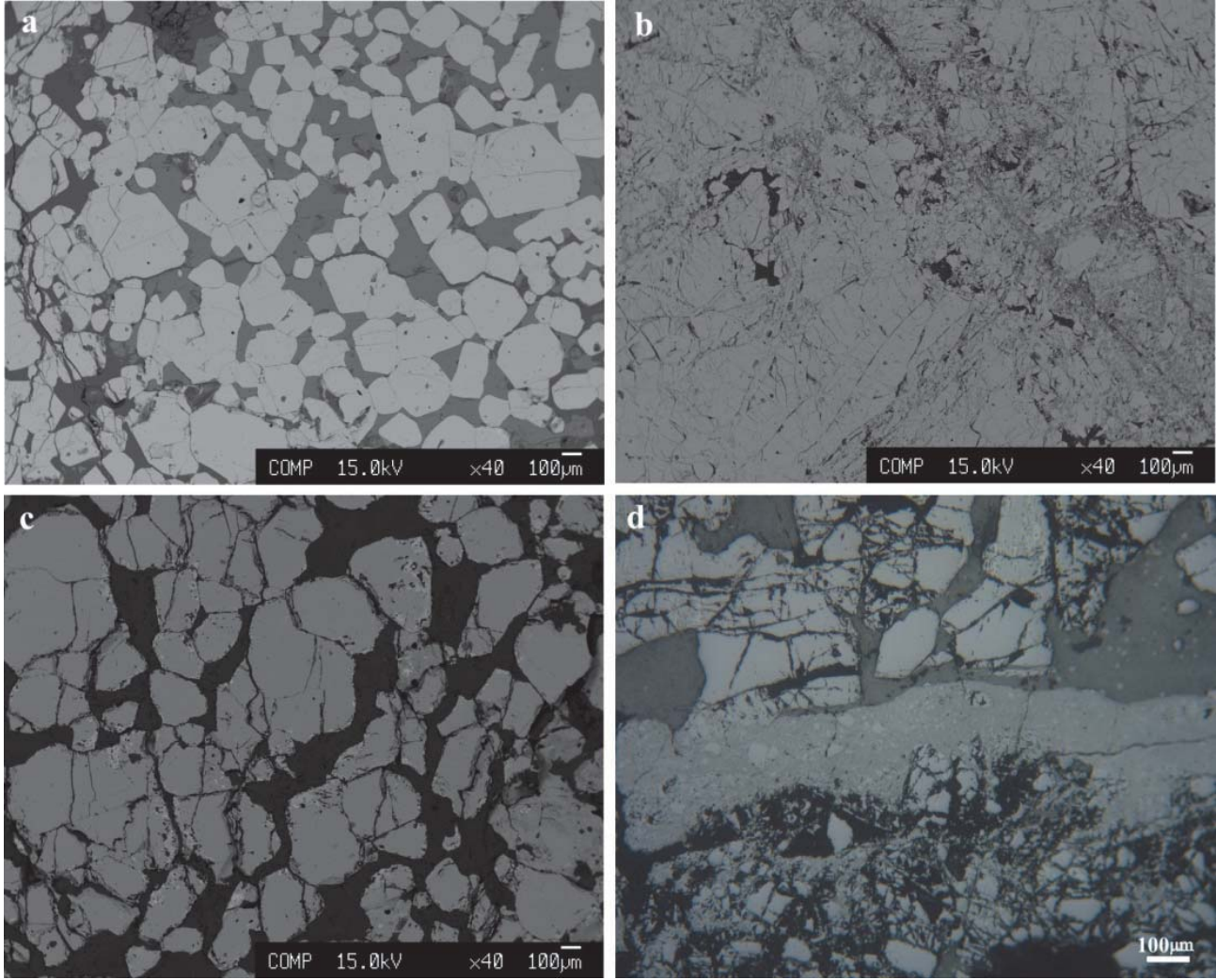
Table 1. Whole rock major oxide (XRF) and trace element (ICP-MS) analyse results of Van region chromitite ores.

Saha	XRF											ICP-MS					
	ÖRNEK No	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	Na ₂ O %	K ₂ O %	Cr ₂ O ₃ %	TiO ₂ %	MnO %	AZ %	Toplam %	Co ppm	Ni ppm	Zn ppm	V ppm
Yukarıbalçıklı	YB-CO1	8.62	15.23	13.05	1.15	18.11	0.02	0.02	40.45	0.29	0.13	1.9	98.99	96	974	270	385
	YB-CO2	7.04	15.65	13.14	1.05	18.16	0.02	0.02	42.24	0.37	0.14	1.69	99.53	98	936	257	373
	YB-CO3	8.14	13.59	13.24	1.32	18.79	0.02	0.01	41.27	0.18	0.12	2.46	99.16	93	977	227	259
	YB-CO4	8.17	14.36	12.75	1.4	18.12	0.02	0.02	42.48	0.25	0.12	1.85	99.56	91	907	229	316
	YB-CL1	8.1	13.69	11.81	1.19	18.5	0.02	0.02	44.01	0.15	0.1	1.99	99.6	87	874	215	350
	YB-CL2	8.4	13.81	12.22	1.25	18.25	0.02	0.02	43.28	0.15	0.1	1.99	99.51	82	826	197	320
	YB-CL3	8.05	14.03	13.99	0.24	19.37	0.02	0.02	41.21	0.14	0.1	1.95	99.13	88	927	201	306
	YB-CL4	6.41	14.52	12.2	0.78	18.5	0.02	0.01	45.02	0.15	0.11	1.79	99.52	87	813	200	288
	YB-CR1	7.37	13.98	12.56	1.09	17.68	0.04	0.02	44.75	0.18	0.12	1.56	99.37	98	893	245	247
	YB-CR2	6.2	14.1	13.05	0.82	17.8	0.02	0.02	45.76	0.12	0.12	1.39	99.42	98	818	245	296
	YB-CR3	7.1	13.56	13.34	0.82	18.72	0.02	0.02	44.27	0.14	0.12	1.42	99.55	107	912	235	336
	YB-CR4	7.25	13.56	14.25	0.54	16.19	0.02	0.02	47.1	0.13	0.13	0.4	99.6	109	811	287	425
Mehmetalan	ME-C1	9.65	14.35	15.01	0.35	18.04	0.02	0.02	37.94	0.14	0.15	3.9	99.59	124	745	324	464
	ME-C2	9.2	11.01	11.51	0.02	20.09	0.02	0.01	44.95	0.1	0.1	2.56	99.58	92	1090	212	162
	ME-C4	12.22	9.12	11.32	0.07	23.86	0.02	0.02	37.94	0.1	0.1	4.84	99.61	92	1540	183	143
	ME-C5	13.01	9.34	12.18	0.02	23.53	0.01	0.01	37.1	0.1	0.12	4.3	99.73	86	1470	247	149
	ME-C6	5.85	11.98	12.11	0.02	18.59	0.02	0.01	49.33	0.12	0.1	1.28	99.43	96	1100	197	222
	ME-C7	5.7	12.31	13.89	1.62	17.1	0.02	0.02	47.48	0.1	0.13	1.22	99.61	118	785	324	248
	ME-C9	6.55	15.08	15.22	0.03	23.98	0.04	0.01	36.43	0.12	0.12	1.45	99.05	104	1120	218	163
	ME-C12	5.55	6.43	15.52	0.04	16.44	0.02	0.02	53.63	0.03	0.13	1.51	99.34	120	776	392	321
	ME-C13	4.75	6.85	16.85	0.02	17.14	0.02	0.02	51.76	0.04	0.15	1.12	98.74	127	628	427	9
	ME-C14	6.27	7.39	15.28	0.02	18.58	0.06	0.01	50.22	0.11	0.13	1.74	99.82	115	798	428	88
	ME-C15	5.75	6.21	15.52	0.06	17.81	0.03	0.02	52.13	0.03	0.14	1.62	99.33	124	788	402	286
	Alabayır	C-C1	15.62	13.11	12.04	1.83	20.08	0.08	0.02	32.75	0.26	0.13	3.63	99.57	95	1120	195
C-C3		10.03	14.03	12.85	0.04	20.61	0.02	0.01	38.75	0.2	0.13	2.86	99.55	90	1090	175	313
C-C4		13.5	12.45	12.52	0.2	22.12	0.02	0.01	34.52	0.2	0.13	4.02	99.71	81	1090	155	185
C-C5		8.41	16.52	13.04	1.75	18.94	0.02	0.01	39.76	0.25	0.11	0.75	99.57	70	846	123	<5
Mollatopuz	MOCG 1	6.43	19.16	18.21	0.03	24.28	0.04	0.02	28.95	0.33	0.13	2.15	99.74	73	948	187	108
	MOCG 2	6.49	15	18.1	0.02	21.06	0.05	0.02	36.43	0.27	0.15	2.26	99.85	87	979	211	124
	MOCG 3	6.34	14.78	17.77	0.02	21.4	0.05	0.02	36.7	0.28	0.15	2.15	99.68	74	922	185	102
	MOCG 4	5.62	13.54	18.51	0.02	19.51	0.05	0.01	39.7	0.25	0.17	2.12	99.52	81	896	220	108
	MOCG 5	5.7	14.7	18.08	0.02	19.44	0.04	0.02	39.01	0.23	0.14	2.08	99.47	74	971	186	159
	MOCK 1	9.86	7.84	11.27	7.1	22.66	0.02	0.01	26.79	0.12	0.21	13.85	99.74	58	847	136	<5
	MOCK 2	10.09	10.52	13	2.83	24	0.04	0.01	30.87	0.19	0.12	7.68	99.37	74	908	172	50
	MOCK 3	11.24	9.23	12.34	3.46	23.73	0.03	0.01	30.55	0.17	0.17	8.94	99.88	73	966	197	<5
	MOCK 4	12.44	8.27	12.95	2.98	22.83	0.02	0.02	31	0.14	0.18	8.16	99	75	1020	179	<5
	MOCK 5	2.54	23.23	14.95	0.23	18.1	0.06	0.02	40.02	0.11	0.11	0.1	99.49	74	747	223	447
	MOCK 6	3.22	26.78	15.71	0.25	23.06	0.05	0.02	30.25	0.11	0.13	0.16	99.75	80	816	240	543
	MOCK 7	10.99	7.18	10.37	7.11	23.53	0.03	0.01	25.51	0.12	0.2	14.55	99.64	66	918	181	<5
	MOCK 8	10.89	5.58	9.1	10.34	23.19	0.02	0.01	20.68	0.08	0.25	18.55	98.73	59	873	172	10
	MOCK 9	13.37	9.11	13.07	2.2	23.63	0.02	0.01	30.22	0.16	0.17	7.36	99.34	73	1055	148	<5
MOCK 10	11.29	7.85	10.76	6.08	23	0.03	0.01	28.02	0.16	0.17	12.8	100.2	68	986	189	109	

Çizelge 2. Van bölgesi kromitlerinin PGE analiz sonuçları.

Table 2. PGE values of the Van region chromitites.

Saha	Örnek No	NAA-ppb							ΣPGE
		Au	Pt	Pd	Rh	Ru	Ir	Os	
Yukarıbalçıklı	YB-CO1	1	60	<20	10	120	61	60	311
	YB-CO2	1	60	<20	12	280	105	170	627
	YB-CO3	2	<20	<20	8	60	33	30	131
	YB-CO4	2	<20	<20	10	120	58	60	248
	YB-CL1	1	<20	<20	7	90	42	40	179
	YB-CL2	1	<20	<20	5	120	44	50	219
	YB-CL3	1	40	<20	7	100	44	50	241
	YB-CL4	1	<20	<20	9	150	66	100	325
	YB-CR1	<1	30	<20	9	120	58	60	277
	YB-CR2	<1	<20	<20	8	120	59	60	247
	YB-CR3	<1	50	<20	9	160	61	70	350
	YB-CR4	<1	20	<20	11	140	54	70	295
Mehmetalan	ME-C1	2	90	40	22	100	48	40	340
	ME-C2	1	30	<20	6	60	40	40	176
	ME-C4	1	<20	<20	7	<50	25	30	62
	ME-C5	2	<20	<20	6	50	29	40	125
	ME-C6	1	<20	<20	7	120	56	70	253
	ME-C7	4	<20	<20	8	140	65	80	293
	ME-C9	3	<20	<20	7	120	54	70	251
	ME-C12	4	<20	<20	<5	60	30	30	120
	ME-C13	3	<20	<20	<5	50	50	50	150
	ME-C14	3	<20	<20	6	80	66	70	222
	ME-C15	2	<20	<20	<5	70	33	40	143
Alabayır	C-C1	2	<20	<20	<5	60	22	20	102
	C-C3	<1	<20	<20	7	80	33	30	150
	C-C4	2	<20	<20	6	60	27	20	113
	C-C5	<1	<20	<20	7	60	28	30	125
Mollatopuz	MOCG 1	2	<20	<20	7	<50	17	20	44
	MOCG 2	2	<20	<20	6	<50	17	20	43
	MOCG 3	2	<20	<20	7	<50	19	20	46
	MOCG 4	<1	<20	<20	9	<50	20	30	59
	MOCG 5	2	<20	<20	6	50	20	20	96
	MOCK 1	2	<20	<20	<5	<50	13	20	33
	MOCK 2	179	<20	<20	<5	<50	15	20	35
	MOCK 3	2	<20	<20	<5	<50	15	20	35
	MOCK 4	2	<20	<20	<5	<50	13	20	33
	MOCK 5	2	<20	<20	8	180	76	120	384
	MOCK 6	1	<20	<20	9	140	79	110	338
	MOCK 7	3	<20	20	<5	<50	13	20	53
	MOCK 8	<1	<20	<20	<5	<50	11	20	31
	MOCK 9	<1	<20	<20	<5	<50	13	20	33
MOCK 10	1	<20	<20	<5	<50	12	20	32	



Şekil 2. Dört sahaya ait kromitlerin parlak kesit elektron mikroskop görüntüleri (a,b ve c) ve polarizan mikroskop görüntüleri (d). a) Alabayır sahası kümülüs dokulu özşekilli kromitler, b) Mehmetalan sahası yüksek kromit içerikli kataklastik dokulu cevher, c) Mollatopuz sahası deformasyon çatlakları gösteren yarı özşekilli bantlı cevher d) Yukarıbalçıklı sahasında gözlenen kataklastik ve yer yer milonitik zonlu cevher.

Figure 2. Electronic images of polished sections belongs to four different areas chromitite (a,b ve c) microscopic view (d). a) Alabayır area cumulus textured chromites b) Mehmetalan area cataclastic textured high-chromite ore, c) Mollatopuz area subhedral banded ore showing deformation cracks d) Yukarıbalçıklı area chromite ore showing locally cataclastic and mylonitic zones.

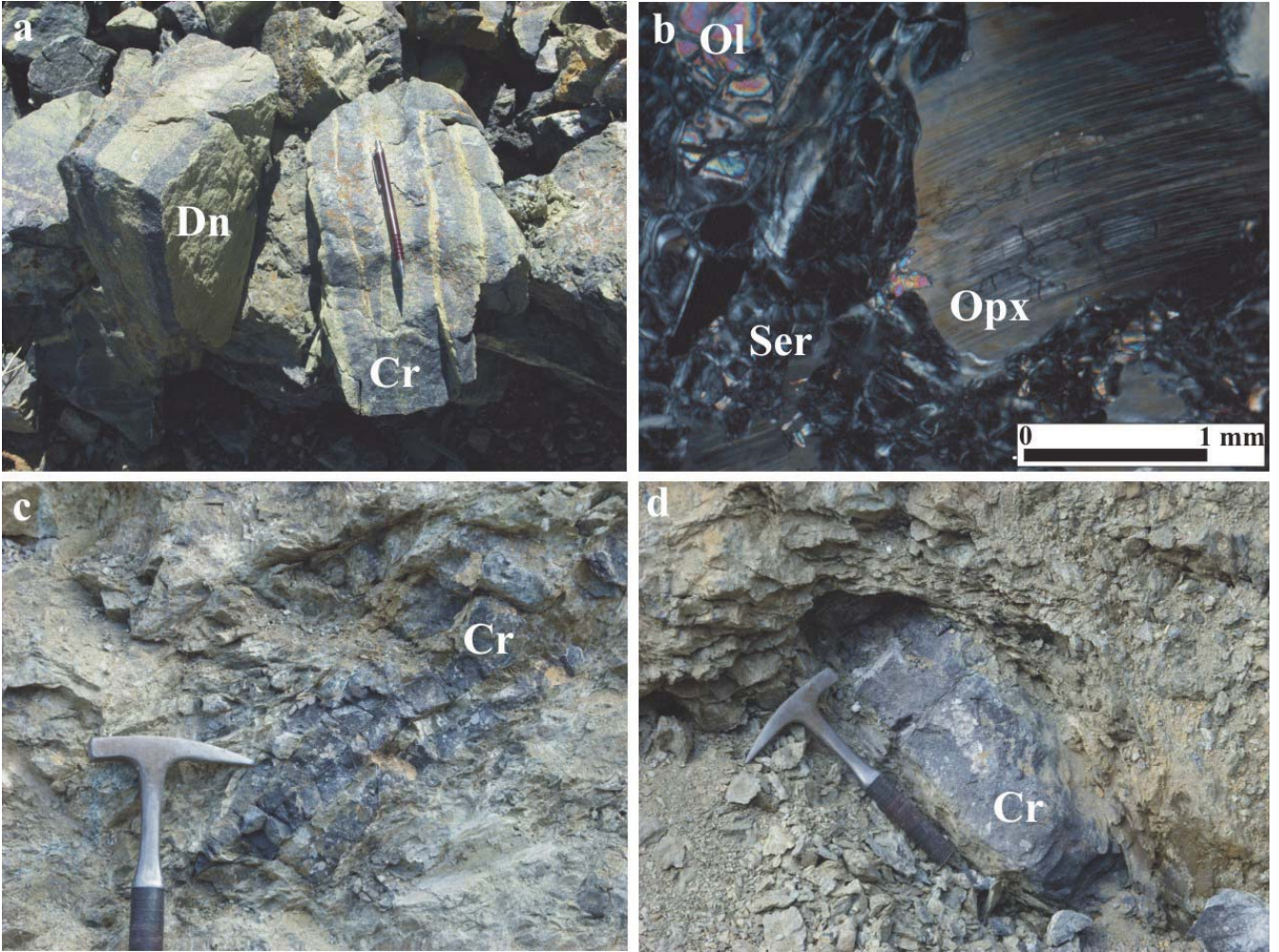
Kromit cevherlerinin yan kayaçları Mollatopuz sahasının kuzey kesimlerinde (MOCK5-6 kodlu cevher örnekleri dışındaki MOCK kodlu örnekler, Şekil 3a) kümülat dünit, Alabayır, Mehmetalan, Yukarıbalçıklı ve Mollatopuz sahası güney zonunda ise tektonit

harzburjitlerden oluşmaktadır (Şekil 3b). Cevherleşmelerin yan kayaçlarında yoğun serpantinleşme görülür. Bazı kromit mercleklerinin belirli yüzeylerinde izlenebilen dünitik kılıf, genellikle cevherler ile birlikte parçalanmış iken cevherlerin harzburjitik yan

kayaç içindeki ezik zonlarında ise tanımlanamayacak derecede milonitik bir yapı kazanmıştır (Şekil 3c,d). Serpantinleşmiş bu milonitik zonlar kataklazmaya uğramış kromitit, dünit ve harzburjitlerden oluşur.

Podiform kromititlerin en karakteristik yapı unsurlarından biri olan nodüler cevherleşme, çalışılan sahalarda içerisinde sadece Mehmetalan bölgesinde görülmüş-

tür. Bu saha yaklaşık 10 km devamlılığa sahip peridotit birimleri içeren, cevherleşme açısından bölgedeki en potansiyel alanlardan biridir. Bu alandaki nodüler cevherler, serpantinleşmiş bir matriks içinde 0.5 mm – 2 cm çapında kromit nodüllerinin düzensiz dağılımından oluşur (Şekil 4).



Şekil 3. a) Kümülat dünitler içinde gözlenen bantlı kromitler, b) kromit cevheri yankayaçlarını oluşturan tektonit dokulu harzburjitlerdeki ortopirosenlerde gözlenen king bantları c-d) milonitik zonlarda parçalanmış boudin şekilli masif krom cevheri. Dn (dünit), Cr (kromit), Ol (olivine), Ser (serpantin), Opx (ortopirosen).

Figure 3. a) Banded chromitites in cumulate dunites b) king bands in orthopyroxenes of tectonite textured harzburgite c-d) boudin shaped chromite ore developed on mylonitic zones. Dn (dunite), Cr (chromite), Ol (olivine), Ser (serpentine), Opx (orthopyroxene).



Şekil 4. Mehmetalan sahasında bulunan nodüler krom cevheri.

Figure 4. Nodular chromite ore in Mehmetalan area.

TÜM KAYAÇ (Cr₂O₃ – PGE) JEOKİMYASI

Analizi yaptırılan cevher örneklerinin sahalara göre dağılımı Memetalan sahası (n=11), Mollatopuz sahası (n=15), Yukarıbalçıklı sahası (n=12) ve Alabayır sahası (n=4) dır. Bu analizler sonucunda % ~53 Cr₂O₃ içeriği ile en yüksek krom tenörü Mehmetalan sahasındaki cevherleşmelerden elde edilmiştir (Örnek No: ME-C12). Krom cevherinin sahalara göre ortalama tenörü Mehmetalan sahası % ~45 Cr₂O₃, Yukarıbalçıklı sahası % ~43 Cr₂O₃, Mollatopuz sahası % ~31 Cr₂O₃ ve Alabayır sahasında % ~36 Cr₂O₃ olarak tespit edilmiştir. Bu analizlerde en yüksek toplam PGE=627 ppb ile Yukarıbalçıklı sahasından (Örnek No: YB-CO2) elde edilmiştir. Elde edilen diğer sonuçlarda da Yukarıbalçıklı sahasındaki kromit örneklerinin PGE içeriklerinin diğer sahalara göre daha yüksek

olduğu görülmektedir. Ortalama PGE içeriklerinin sahalara göre dağılımları Yukarıbalçıklı sahası 287 ppb, Mehmetalan sahası 194 ppb, Alabayır sahası 122 ppb ve Mollatopuz sahası 86 ppb olarak tespit edilmiştir.

Kromit cevheri örneklerinin XRF analizleri, özellikle cevherleşmenin tenörünün, tüm kayaçdaki Si, Al, Fe içeriklerinin ve krom cevherinin kullanılacağı teknolojik alanların belirlenmesi için önem taşımaktadır. Bu analizlerle birlikte ICP-MS ile ölçümlenen önemli geçiş metallere olan Zn, V, Ti ve Co gibi iz elementlerin % Cr₂O₃'e göre korelasyonları, bu elementlerin magmatik ayırılma süreçlerinde sergiledikleri özellikleri yansıtır. Ni elementi bir magmatik ergiyik içinde Ni minerallerini oluşturmasının yanı sıra, Fe ve Mg elementlerinin yerini alarak, özellikle olivin ve kromit daha az

oranda piroksen ve manyetit yapılarına girebilmektedir. Co elementi ise iyonik özelliklerinin Ni elementine çok benzemesi nedeniyle Ni'in yer aldığı tüm minerallerin yapılarına girebilmektedir (Faure, 1994). Magmatik ayrışmada V ve Zn elementleri ise kromitle uyumlu iken, olivinle uyumsuz bir element davranışı sergiler. V ve Zn elementinin Cr_2O_3 'e göre pozitif bir korelasyon sergilemesi kromitin modal mineralojik özelliğinden kaynaklanmaktadır (Zhou vd., 1998). Analiz sonuçlarında kromitlerden elde edilen Ni, Co, V, Zn element değerlerine karşı % Cr_2O_3 değerlerinin dağılımlarına bakıldığında, genel olarak Ni elementinde negatif bir korelasyon, Co, Zn ve V elementlerinde ise pozitif korelasyonlar görülmektedir (Şekil 5). Ni, Co, V ve Zn gibi elementlerde görülen düzensiz dağılımlar, geçiş metallerinin ikincil süreçlerdeki yüksek hareketliliği sebebiyle de meydana gelebilir. Kromit cevherleri için Cr, Al, Fe^{+3} , Fe^{+2} ve Mg, kromit mineralinden kaynaklanan; Si, Mg, Ni ve Ca ise gang minerallerinden kaynaklanan elementler olarak bilinmektedir. Artan Cr_2O_3 değerine karşılık, cevher örneklerinin tamamında görülen negatif Ni determinasyon katsayı değeri ($R^2=0.2$), azalan gang içeriği ile doğru orantılıdır. Negatif Ni değerlerine karşın güçlü pozitif Co determinasyon katsayı değeri ($R^2=0.6$) kromitin kafes yapısında Co elementinin Ni elementinin yerini almasından kaynaklanabilir. Vanadyum elementindeki zayıf pozitif değerlere rağmen Zn elementindeki güçlü pozitif değerler bu elementlerin magmatik ayrışmada olivinin kristal yapısına girmektense kromit kristal kafeslerinde yer aldıklarını gösterebilir.

Krom cevherinin kimyasal bileşimi incelenirken, özellikle krom cevherinin kullanım alanlarını belirleyen Cr_2O_3 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 (toplam demir), MgO, ve SiO_2 gibi elementlerin değerlerinin dikkate alınması gerekir. Krom

cevherinin kullanım alanlarını belirleyen bu ana oksit değerleri, günün teknolojik gelişim koşullarına bağlı olarak değerlendirilse de krom cevherinin kullanım alanları için gerekli görülen (DPT, 2000) Krom İhtisas Raporu'ndan alınan ortalama değerler aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

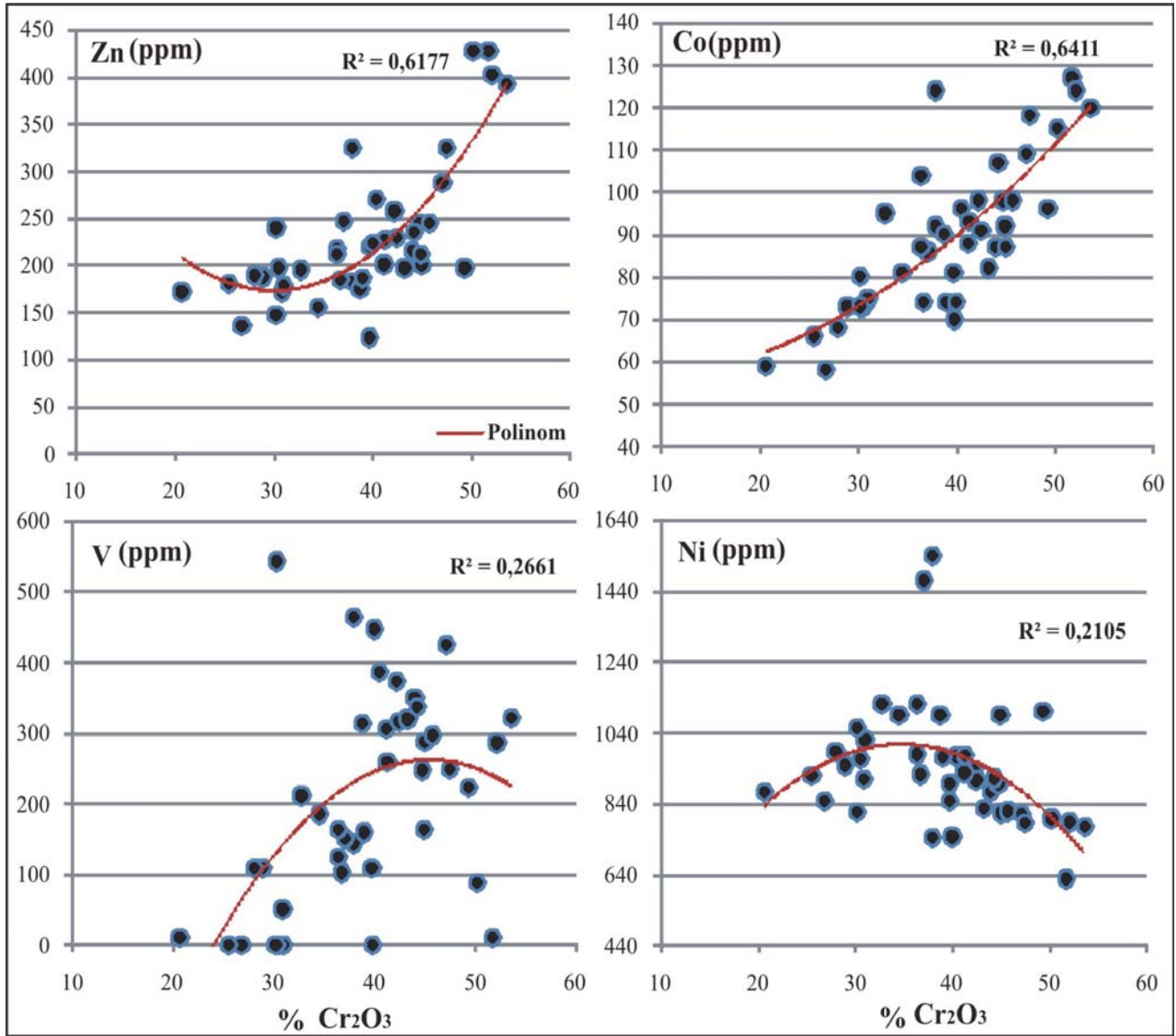
Refrakter sanayiinde kullanılan krom cevherinin Cr_2O_3 tenörünün % 30-40 arasında, Al_2O_3 içeriğinin % 25-32, Cr_2O_3 ve Al_2O_3 içerikleri toplamının ($Cr_2O_3+Al_2O_3$) % 60, SiO_2 oranının ise % 10'un altında olması gerekir. Kromitin yalnız başına refrakter malzeme olarak kullanılması durumunda SiO_2 oranının % 3'ün altında olması gerekir. Metalurji sanayiinde kullanılan krom cevheri için Cr_2O_3 % 34 - 48, SiO_2 % 8 - 12, Al_2O_3 % 8 - 15, MgO değerinin ise % 16 - 22 aralığında olması istenmektedir. Kimya sanayiinde kullanılan krom konsantrisinde aranan özellikler ise Cr_2O_3 % 48 (baz), SiO_2 % 6-7 (tipik), Cr/Fe - 3/1 (tipik) olarak belirtilmektedir. Krom cevheri kalite açısından üç farklı grupta değerlendirilir. Bu değerlendirme Pazar koşulları açısından Cr_2O_3 içeriği % 40'dan az olanlar 3. kalite, Cr_2O_3 içeriği % 40-46 arasında olanlar 2. kalite, Cr_2O_3 içeriği % 46'dan fazla olanlar 1. kalite olarak kabul edilmektedir.

Yukarıdaki sınıflamalar temel alındığında Yukarıbalçıklı (n=12 Ort, % 43 Cr_2O_3) ve Mehmetalan (n=11 Ort, % 45 Cr_2O_3) sahalarındaki kromit cevherleri 2. kalite, Alabayır (n=4 Ort, % 36 Cr_2O_3) ve Mollatopuz (n=15 Ort, % 31 Cr_2O_3) içerikleriyle 3. kalite kromit cevherlerinden oluşur. Bu durumlar özellikle kromit cevherinin rezerv koşullarına bağlı olarak değişiklikler sergileyebilir. Nitekim yüksek rezervli alanlarda kurulan zenginleştirme tesislerinde kromit cevheri Cr_2O_3 açısından nisbeten yüksek tenör seviyelerine ulaştırabilmektedir. Çalışma alanlarındaki krom cevherleşmelerinin ortalama SiO_2 içeriği % 8, MgO içeriği % 20,

Al_2O_3 içeriği % 12 ve toplam demir olarak Fe_2O_3 içeriği %13 olarak tesbit edilmiştir. Bu değer aralıklarında, inceleme alanlarındaki kromit cevherlerinin metalurji sanayinde kullanılacak ana özelliklere sahip olduğu anlaşılmaktadır.

Ana oksit değerlerinin artan Cr_2O_3 değerine karşı hazırlanan korelasyon diyagramları Şekil 6'da sunulmuştur. Bu diyag-

ramlarda artan Cr_2O_3 değerine karşı cevherlerde gang minerallerinde yoğunlaşan SiO_2 ve MgO değerlerinde negatif korelasyon görülmektedir. Tüm cevher örnekleri üzerindeki SiO_2 determinasyon katsayısı değerinin $R^2=0.2$ gibi düşük bir aralıkta olmasına karşın, MgO değeri ise artan Cr_2O_3 değerine karşın $R^2=0.7$ gibi yüksek bir aralıkta negatif korelasyon sergiler. Cevherlerde artan



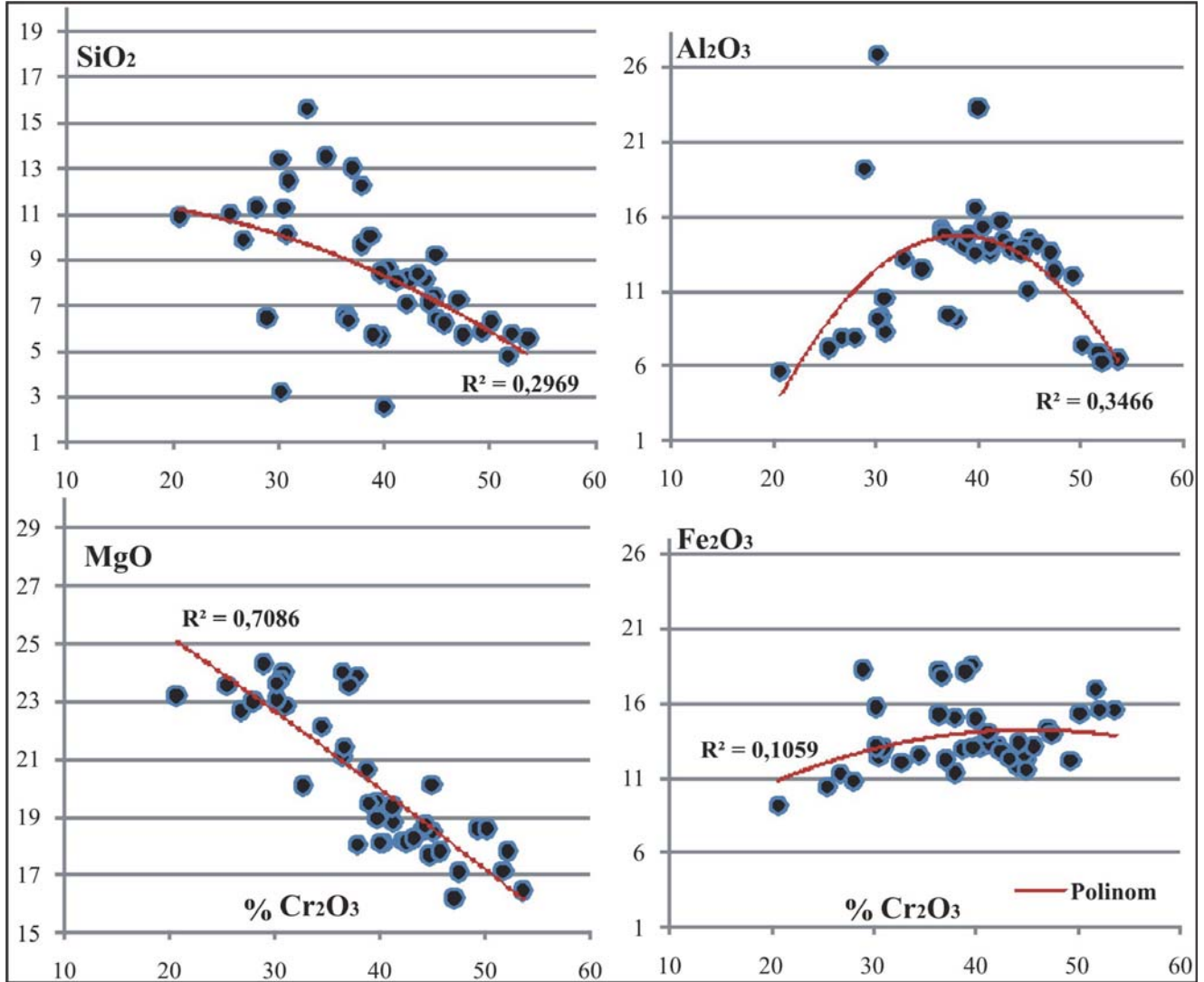
Şekil 5. Ni, Co, V, Zn iz elementlerinin % Cr_2O_3 'e korelasyonları.

Figure 5. The correlation of Ni, Co, V, Zn elements versus Cr_2O_3 wt %.

krom tenörüne karşılık gang minerallerinin miktarındaki düşüş görülen negatif anomalilerin ana sebeplerinden biri olabilir. Bir diğer sebep ise yüzeysel koşullar altında çok hareketli olan Ni ve Mg elementlerinin çeşitli alterasyonlar etkisi ile ortamdan uzaklaşabilme eğilimleri olarak düşünülmektedir. Kromit cevherlerinin Al_2O_3 ve Fe_2O_3 değerlerinde belirgin korelasyonlar izlenmemektedir.

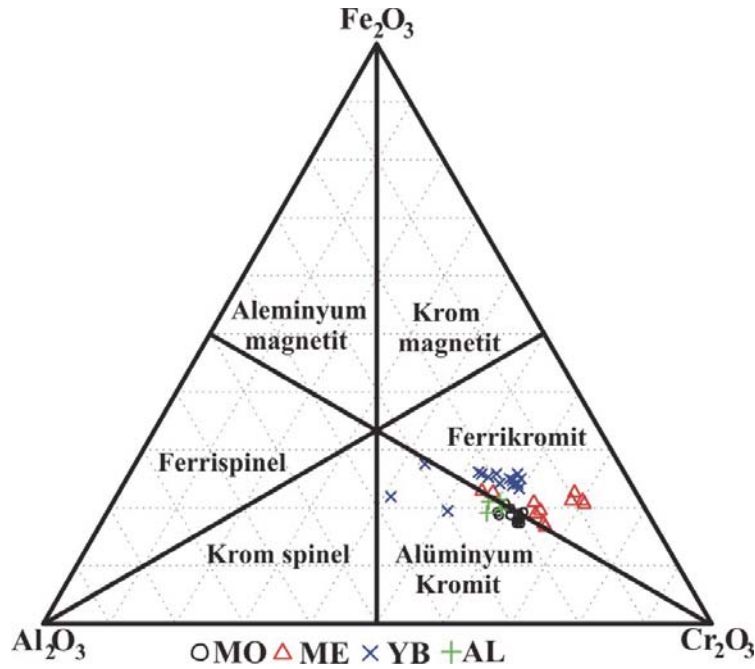
Kromit cevherlerinin Cr_2O_3 , MgO, Al_2O_3 ve TiO_2 içerikleri ile ilgili bir çok sınıflama diyagramı geliştirilmiştir (Dick ve Bullen,

1984; Zhou ve Bai, 1992; Arai, 1992; Kamanetsky vd., 2001; Bonavia vd., 1993; Arai vd., 2004). Bu diyagramların tamamı kromit mineral kimyası sonuçları üzerinden değerlendirilerek kullanılmaktadır. İncelenen kromitlerin Al_2O_3 , Fe_2O_3 ve Cr_2O_3 içeriklerine göre hazırlanan üçgen sınıflama diyagramında tüm kayaç üzerinde yapılan analiz sonuçlarının ferrikromit ve alüminyum kromit sınır bölgelerinde yer aldıkları görülmektedir (Şekil 7).



Şekil 6. Ana oksitlerin Cr_2O_3 'e karşı korelasyon diyagramları.

Figure 6. Major oxides versus Cr_2O_3 diagram.



Şekil 7. Al_2O_3 , Fe_2O_3 ve Cr_2O_3 içeriklerine göre kromitlerin üçgen sınıflama diyagramı (Stevens, 1944).

Figure 7. Ternary major oxide (Fe_2O_3 - Al_2O_3 - Cr_2O_3) nomenclature diagram (Stevens, 1944).

TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Ülkemizde ofiyolitlerle ilişkili krom cevherleşmelerinin gözlemlendiği 111 ayrı kromit ocağından elde edilen ortalama % Cr_2O_3 tenörü, bu ocaklardaki cevherleşmelerin maksimum ve minimum değerleri ayrı ayrı çalışma alanları ve çalışma alanlarını kapsayan toplam Van değerleri ile Şekil 8'de karşılaştırılmıştır. Bu diyagramda en yüksek % Cr_2O_3 tenörünün % 58 ile Muğla bölgesinde olduğu görülmektedir. Ortalama % Cr_2O_3 tenörünün % ~ 28 - 45 aralığında olan Türkiye krom cevherleşmeleri içinde Van bölgesi krom cevherleri ortalama % 38 Cr_2O_3 tenörüne sahiptir.

Son yıllarda yapılan birçok çalışmada ülkemizdeki Kretase ofiyolitlerin yitim zonları ile ilişkili olduğu vurgulanmaktadır (Yalınz ve Göncüoğlu, 1999; Parlak vd., 2002, 2004, 2009; Robertson, 2002; 2004, Robertson vd., 2006, 2007; Sarıfakıoğlu vd., 2009; Göncüoğlu vd., 2010). Bu durum Türkiye'deki kromit

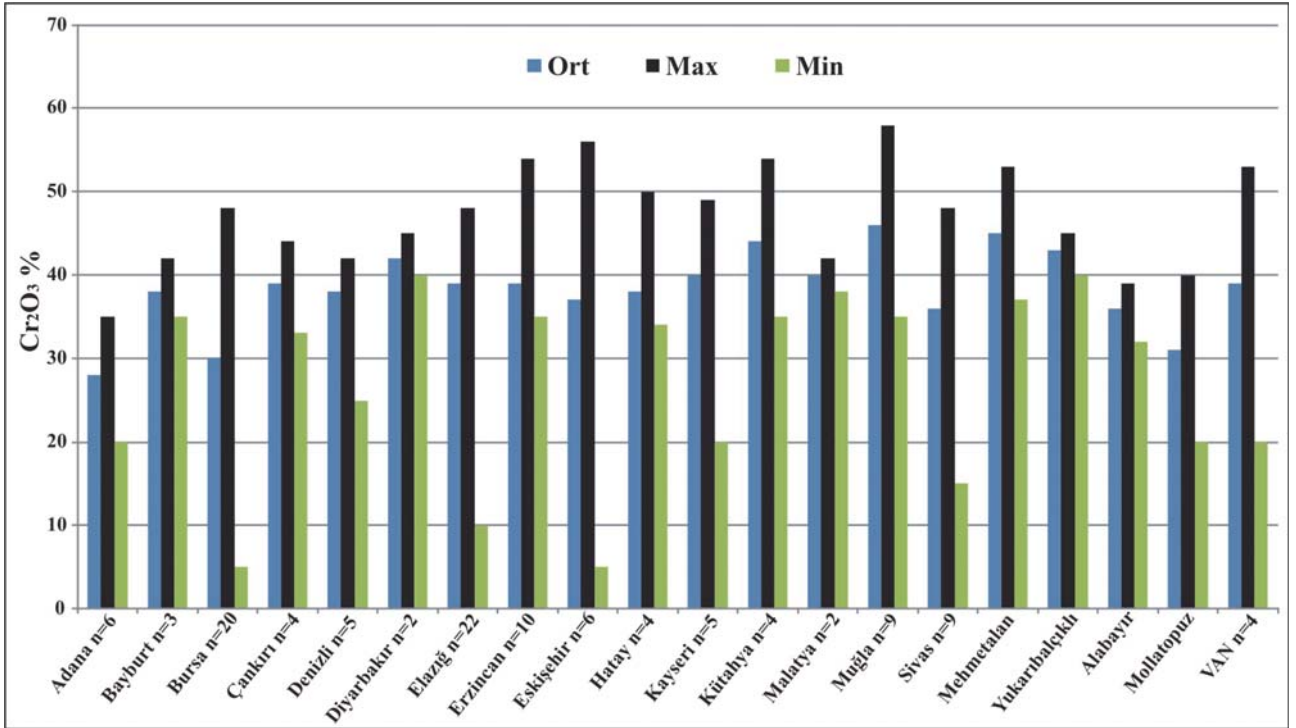
cevherleşmelerinin yitim zonu ile ilişkili bir ortamda oluştuğunu yansıtabilir. Kromit cevherleri üzerinde gerçekleştirilen genel jeolojik araştırmalar ve mineral kimyası çalışmalarından elde edilen bulgular doğrultusunda (Uçurum vd., 2000, 2006; Uysal vd., 2007a-b, Uysal, 2008) ofiyolitler ve ilişkili kromit cevherleşmelerinin de jenetik olarak yitim zonu ile ilişkili bir ortamda oluştuğu ve kromit cevherleşmesinin adayayı veya yay önünden (boninitik magma) yay gerisi bir ortama doğru oluşum sergiledikleri anlaşılmaktadır. Özellikle kromit mineral kimyası çalışmaları doğrultusunda elde edilen ana sonuçlardan biri, yitim zonları ile ilişkili oluşan krom cevherlerinin yüksek $Cr\#$ (>0.60) numarasına sahip olduğudur (Zhou vd., 1996, 1998). Van bölgesi krom cevherlerinden elde edilen en yüksek % Cr_2O_3 tenörü tüm kayaç kimyası çalışmalarında % 53 Cr_2O_3 olarak tespit edilmiştir. Tüm kayaç kimyası sonuçlarına göre bu derece yüksek bir değer üzerinde yapılacak mineral kimyası

çalışmalarında Cr# değerinin 0.60'dan çok daha yüksek çıkacağı düşünülmektedir. Bu doğrultuda Van bölgesine ait krom cevherlerinin de yitim zonu ile ilişkili ortamlarda oluştuğu söylenebilir.

Birbirine benzer fiziksel ve kimyasal özellikler gösteren, PGE'ler Ru, Rh, Pd, Os, Ir ve Pt den oluşmaktadır. PGE'ler değerli olduklarından geçmişten günümüze oldukça önemlidir. Teknolojik gelişmeler ve hızla artan bilgi birikimi bu elementlerin ultramafik kayaların petrolojik evrimi için ayrı bir önem kazanmasına neden olmuş ve bu konuda birçok çalışma yapılmıştır (Örneğin; Naldrett, 1981; Garuti vd., 1997). PGE'ler birlikteliklerine göre iki alt gruba ayrılmıştır. Bunlar İridyum Grubu- IPGE (Osmiyum, İridyum, Rutenyum) ve Palladyum Grubu-

PPGE (Platin, Palladyum, Rodyum) elementlerinden oluşur (Rollinson, 1993). PGE'lerden İridyum Grubu (IPGE) elementler yüksek ergime derecesine, Palladyum Grubu (PPGE) elementler ise düşük ergime derecelerinde sahip olup oldukça farklı davranış sergilerler. PGE'ler bazik ve ultrabazik kayalar içinde ppb seviyesinde bulunurken, bu kayalarla birlikte bulunan kromit ve sülfidler içerisinde de yoğunlaşabilir (Rollinson, 1993).

Pd ve Ir astenosferde aynı seviyede konsantrasyona sahip olduğundan farklılaşmamış malzemenin Pd/İr oranının 1 civarında olması beklenir (Garuti vd., 1997). PGE'lerin petrolojik süreçlerde özgün jeokimyasal davranışları fraksiyonlaşma indeksi olarak bilinen Pd/İr oranı ile belirtilir.



Şekil 8. Ülkemizdeki bazı kromit yataklarının % Cr₂O₃ tenörünün sütun dağılım diyagramı (Bu çalışmadaki % Cr₂O₃ tenörü değerleri dışındaki bütün ocaklara ait % Cr₂O₃ tenör değerleri 2001 yılında yayınlanan DPT VIII. Beş Yıllık Kalkınma Planı Krom Çalışma Grubu Özel İhtisas Raporu'ndan alınmıştır).

Figure 8. Cr₂O₃ wt % column diagram of some Turkey chromite deposits (Except this study, the all other Cr₂O₃ wt.% data taken from DPT VIII. Five Year Development Plan Report).

Pd/Ir oranı magma fraksiyonlaşmasında farklılaşma ile birlikte artış gösterir. Yani Pd/Ir oranı arttıkça magma fraksiyonlaşması ilerlemektedir. Bu çalışmada analizi yapılan örneklerin Pd içeriği bir örnek hariç 20 ppb den düşük değerlerde olup dedeksiyon limitlerinin altındadır. Ir ise en yüksek değer olarak 105 ppb ve ortalama 40 ppb değerlerdedir. Sadece Mollatopuz sahasında iki örnekte Ir değerleri 76-79 ppb olup bu örneklerin Pd/Ir oranlarının 1'den düşük olduğu açıktır. Ancak sonuçlar değerlendirildiğinde Mollatopuz sahasındaki örneklerin Pd değerlerinin Ir değerlerinden daha düşük olacağı beklenmelidir. Mehmetalan ve Yukarıbalçıklı sahaslarında Ir değerleri 22-105 ppb olup ortalama 40 ppb dir. Bu örneklerde Pd değerleri 20 ppb olsa bile Pd/Ir oranı 1'den küçüktür. Buna göre hemen hemen tüm örneklerde Pd/Ir oranı 1 den daha düşüktür. Bu durum Van kromitlerini oluşturan üst mantoda artan kısmi ergime derecesinin varlığına işaret etmektedir.

Kromit örneklerinin (n=42) toplam Σ PGE içerikleri en yüksek 627 ppb olup (Örnek No: YBCO2) ortalama \sim 175 ppb dir. Hesaplamaların tamamında dedeksiyon limiti altındaki değerler dikkate alınmamıştır. Bütün örneklerdeki analiz sonuçlarında Pt, Pd ve Rh elementlerine karşılık Os, Ir ve Ru elementlerinde göreceli bir zenginleşme görülür. Bu zenginleşme Türkiye'de diğer bölgelerde yapılan çalışmalarda elde edilen PGE sonuçları ile uyumludur (Page vd., 1984; Yaman ve Ohnenstetter, 1991; Uçurum vd., 2006; Başpınar, 2006; Uysal vd., 2007a-b, 2009a-c; Akbulut vd., 2010). En yüksek PGE değerleri makaslamaya uğramış fay zonlarında yer alan Yukarıbalçıklı sahasından elde edilmiştir. Yukarıbalçıklı sahasından alınan n=12 örnek için bu ortalama PGE 287 ppb dir. Bu sahadaki PGE' inden Ru 60-280 ppb, Ir 33-105 ppb ve Os 30-170 ppb arasında

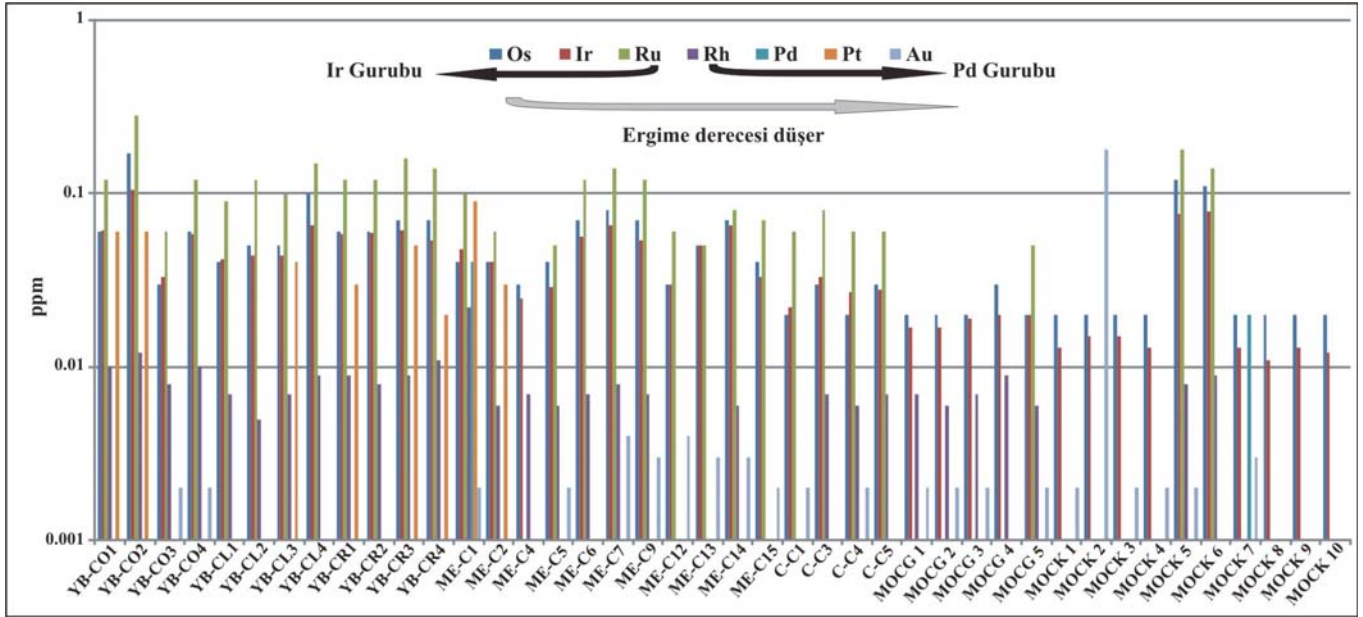
değişim gösterir. Tüm sahalardan elde edilen en yüksek Pt değeri 90 ppb iken (Örnek No: ME-C1) Pd içerikleri bu örnek hariç (40ppb; Bknz Çizelge 2) <20 ppb den düşüktür. Rh değerleri bazı örnekler için 5 ppb dedeksiyon limitinin altında olmakla birlikte diğer örneklerde 5-22 ppb arasında değişim göstermektedir (Çizelge 2). Mehmetalan sahasının örneklerinde (n=11) Σ PGE içeriği \sim 194 ppb dir. Tüm PGE elementlerinin değer aralıklarının gözlendiği tek örnek, bu sahadan alınan ME-C1 nolu örnektir. Bu örneğin Pd/Ir oranı 0.8 dir. Alabayır sahası örneklerinde (n=4) Σ PGE içeriği \sim 122 ppb iken Mollatopuz sahası örneklerinde (n=15) bu değer \sim 86 ppb dir. Ortalama krom tenörlerinin de düşük olduğu bu iki sahaya göre Mehmetalan ve Yukarıbalçıklı sahasları hem krom hem de PGE açısından daha fazla içeriklere sahiptir (Şekil 9). Ancak Mollatopuz sahasından alınan iki örnekte Σ PGE içeriği MOCK5 - 384ppb ve MOCK6 - 338 ppb ile Yukarıbalçıklı ve Mehmetalan sahaslarının örneklerine yakın değerler sunar.

Ülkemizdeki farklı alanlardaki kromit cevherleri üzerinde yapılan toplam PGE analizlerinin sonuçları ile çalışma alanlarındaki kromit cevherleri üzerinde yapılan PGE analiz sonuçları, uç iki örneğin dışında (Muğla-Harmancık cevherleşmesinde tek örnekte 4115 ppb Pt değeri Uçurum vd., 2000; Hatay-Kahramanmaraş alanı Berit cevherleşmesi tek örnekte 1155 ppb Pt değeri, Kozlu-Erdal, 2007; Kozlu-Erdal ve Melcher, 2007; Kozlu ve Rudashevsky, 2010) yaklaşık değer aralıklarında görülür. Çalışılan birçok sahada ortalama toplam PGE içeriği Uysal vd. (2005, 2007a-b), Uysal, (2008) tarafından Kop dağları (n=36) 198 ppb, Muğla (n=55) 271 ppb, Kahramanmaraş (n=35) 202 ppb, Eskişehir (n=18) 240 ppb, Uçurum vd. (2000,

2006) tarafından Bursa - Eskişehir alanında (n=9) 244 ppb, Muğla Sarıkaya alanında (n=2) 271 ppb, Muğla Sazlı alanında (n=2) 243 ppb, Page vd. (1984) tarafından Os hariç (dedeksiyon limitlerinin altında) Elazığ Batı Kef bölgesi (n=27) 134 ppb, Elazığ Doğu Kef bölgesi (n=4) 99 ppb, Adana Pozantı bölgesi (n=2) 98 ppb, Adana Karsantı bölgesi (n=8) 125 ppb, Yaman ve Ohnenstetter (1991) tarafından Adana Akarca bölgesi (n=11) 260 ppb, Adana Musali bölgesi (n=2) 230 ppb, Adana Yapraklı bölgesi (n=1) 181 ppb, değerleri bildirilmiştir (Şekil 10).

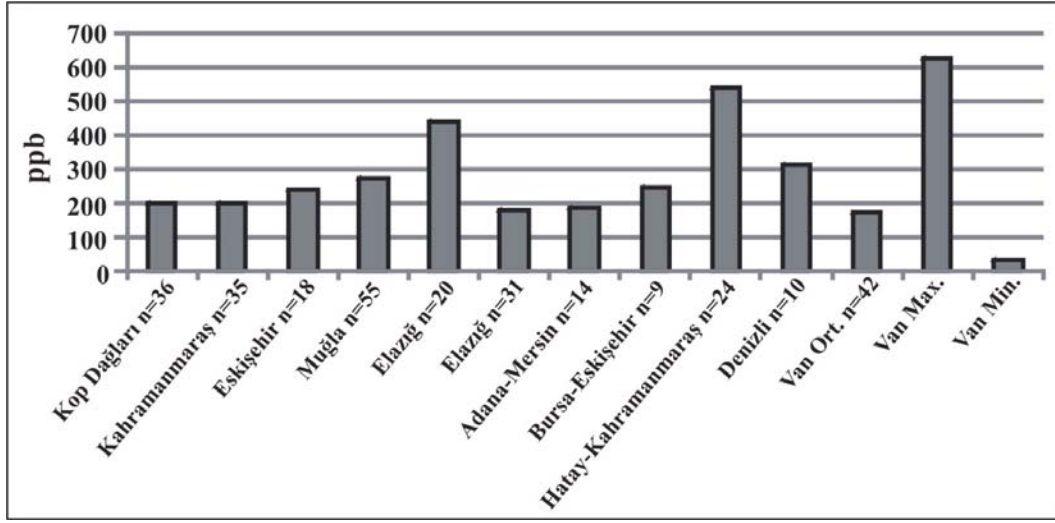
Çalışma alanlarından alınan örneklerin PGE dağılımlarında IPGE'lerin kendi içlerinde yüksek derecede pozitif korelasyonlara sahip olduğu görülmektedir (Şekil 11). Ir'a karşı Os'un polinom determinasyon

katsayısı $R^2=0.9$ ve Ir'a karşı Ru'un polinom determinasyon katsayısı $R^2=0.8$ pozitifdir. Aynı durum Os'a karşı Ru'un $R^2=0.8$ değeri güçlü pozitif eğilim sergiler. Bununla birlikte Ir'un Rh'a karşı determinasyon katsayısının çok daha düşük olduğu görülmektedir. Tüm sahaları kapsayan örneklerin genelinde $R^2=0.3$ determinasyon katsayısı değerinde zayıf bir pozitif korelasyon görülür. IPGE'ler arasındaki yüksek pozitif korelasyonlar bu elementlerin grupsal birlikteliklerini doğrular niteliktedir. Bununla birlikte ergime noktası yanı sıra manto ergiyiklerinde uyumsuzluk derecesi Ir grubuna en yakın olan Rh elementinin (Barnes vd., 1985) zayıf pozitif korelasyon sergilemesi beklenen bir sonuç olmalıdır.



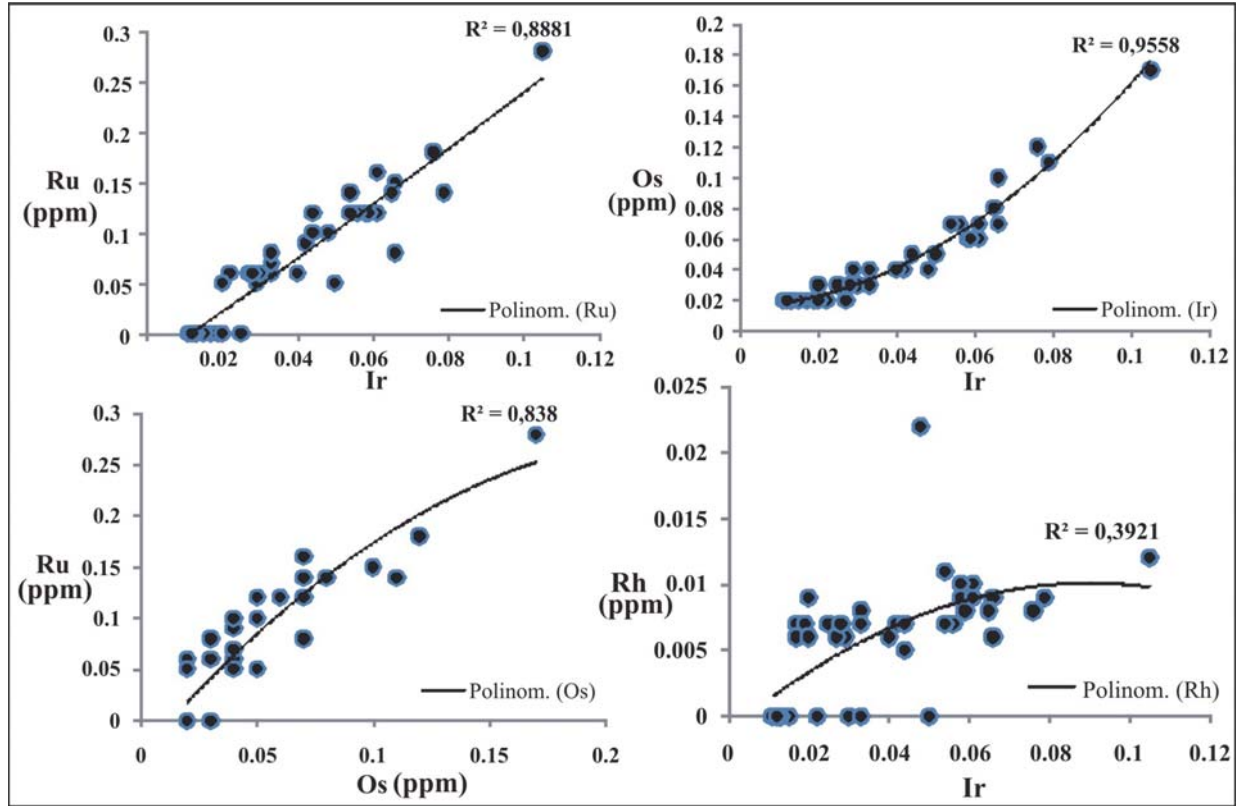
Şekil 9. Çalışılan sahalardaki örneklerin PGE sütun diyagramı (YB-Yukarıbakçıklı, ME-Mehmetalan, C-Alabayır ve MO- Mollatopuz sahalalarının örneklerini temsil etmektedir).

Figure 9. PGE column diagram of study area samples (YB-Yukarıbakçıklı, ME-Mehmetalan, C-Alabayır ve MO- Mollatopuz).



Şekil 10. Ülkemizdeki bazı ofiyolitik kromitlerdeki Σ PGE içeriğinin sütun dağılım diyagramı (n, örnek sayılarını ifade etmektedir, Van dışındaki veriler Page vd., 1984; Yaman ve Ohnenstetter, 1991; Başpınar, 2006; Uçurum vd., 2006; Uysal vd., 2007a-b, 2009a-c ve Akbulut vd., 2010'dan alınmıştır).

Figure 10. Column diagram showing Σ PGE content belong to some ophiolitic chromitite in Turkey (n, defines analysed samle numbers, other data were taken from Page, et al. 1984; Yaman and Ohnenstetter, 1991; Başpınar, 2006; Uçurum et al., 2006; Uysal et al., 2007a-b;2009a-c and Akbulut et al., 2010).

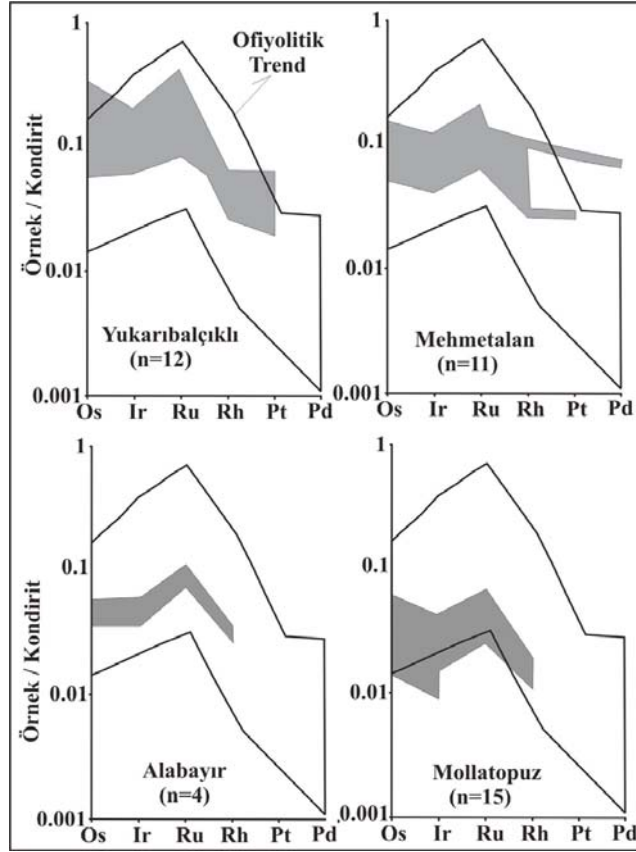


Şekil 11. Ir grubu elementlerin korelasyon diyagramları.

Figure 11. Correlation diagrams of Ir group elements.

PGE'lerin kondirit'e normalize edilmiş örümcek diyagramlarında bu elementlerin azalan ergime dereceleri göz önünde bulundurularak sıralanmaktadır. Bu dizilim sırasıyla Os (3045 °C), Ir (2410 °C), Ru (2310 °C), Rh (1966 °C), Pt (1722 °C), Pd (1552 °C), olarak kullanılmaktadır (Naldrett vd., 1979). Çalışma alanlarından alınan örneklerin PGE değerlerinin kondirit'e normalize edilmiş çoklu element diyagramı Şekil 12'de sunulmuştur. PGE'lerin kondirit normalize değerleri Naldrett ve Duke (1980) den alınmış olup sırasıyla Os (514), Ir (540), Ru (690), Rh (200), Pt (1020), Pd (545) dir. Çalışma alanlarındaki ayrı ayrı sahaların birlikte değerlendirildiği bu diyagramlarda örneklerin PGE dağılımlarının klasik ofiyolitik trend içinde kaldığı görülmektedir. Bu

diyagramlarda PGE'lerin birbirlerine göre sergiledikleri ilişkilerde genel olarak Os'dan Ir'a negatif , Ir ile Ru arasında pozitif , Ru'dan Rh'a negatif bir yönelme görülmektedir. Bu yönelmeler genel ofiyolitik trendin yanı sıra ülkemizdeki farklı alanların (Kahramanmaraş, Muğla, Eskişehir, Kop Dağı) örnekleriyle de uyumlu görülmektedir (Uçurum vd., 2000; Uçurum vd., 2006, 2007; Uysal vd., 2007a-b; Uysal vd., 2009a-b-c). Kondirit normalize diyagramlarında izlenen yönelmelerin varlığını sadece magmatik süreçlere ya da element özelliklerine bağlamak güçtür. Özellikle Pt ve Au'nun alterasyonlar sonucunda hareketli olabileceği bilinmektedir (Barnes vd., 1985).



Şekil 12. Kondirit'e normalize PGE'lerin örümcek diyagramları (Kondirit normalize değerleri Naldrett ve Duke, 1980; ofiyolitik trend Uysal vd., 2007 b alınmıştır).

Figure 12. Spider diagrams normalized to condirite (values from Naldrett and Duke, 1980; ophiolitic trend Uysal vd., 2007).

Platin grubu elementler için ilksel manto değerlerinin ppb olarak Os - 3.40, Ir - 3.40, Ru - 5, Rh - 0.95, Pt - 7, Pd - 3.97 (Taylor ve McClennan, 1985; Brugman vd., 1987; Anders ve Grevesse, 1989) olduğu düşünüldüğünde çalışılan sahalardan alınan örneklerin PGE içeriklerinden Ir grubu elementleri, ilksel üst mantoya göre kromititlerde yaklaşık 10 kat oranında zenginleşmiştir. PGE'lerin fiziksel ve kimyasal özellikleri göz önünde bulundurulduğunda bu zenginleşmenin, PPGE'lerden IPGE'lere doğru artma eğilimi sergilediği düşünülebilir. Sülfür/silikat ergiyiklerinde PGE'lerin ayrılanma katsayısı (Kd) değerleri Os>Ir>Ru>Rh>Pt>Pd olarak sıralanmaktadır (Barnes vd., 1985). Bu koşullar altında Ir grubu elementlerin Pd grubu elementlere nazaran ilk kristal fazlarda daha çok yer alacağı söylenebilir. İlksel mantodaki kısmi ergime süreçlerinde Ir grubu elementler, kalıntı mantoda tutulurken Pt, Pd gibi elementler ise bazaltik ergiyikleri tercih etmektedirler (Barnes vd., 1985). Çalışma alanlarımızda kalıntı manto kayaçları olan harzburjitler içinde podlar şeklindeki kromititlerin PGE içerikleri ile kümülat dünitler ile ardalanmalı kromitit bantlarının PGE içerikleri arasında önemli bir fark bulunmaktadır. Tektonit harzburjitler içindeki kromititlerin ortalama Σ PGE içerikleri 208 ppb iken, kümülat dünitler ile ardalanmalı kromitit bantlarının ortalama Σ PGE içerikleri 35 ppb dir. Bilindiği üzere ultramafik kümülat kayaçlarını meydana getiren bazaltik magmadaki gravitatif ayrılanma ürünü olan bantlı kromititlerin, harzburjitler içindeki kromitit podlarına nazaran daha düşük PGE içeriklerine sahip olması, Ir grubu elementlerin kalıntı mantoda tutulmalarından dolayıyla ultramafik kümülatları oluşturan bazaltik magmanın daha düşük IPGE içeriğine sahip olmasından kaynaklanabilir. Bu durum ultramafik tektonit kayaları ile ilişkili krom

cevherlerinde Ir grubu element içeriklerinin daha yüksek değerlerde bulunacağını yansıtabilir. Bu durum tektonitler ve kümülat kayaları ili ilişkili kromititlerin farklı jenezlerinin olabileceğini işaret edebilir. Daha detaylı çalışmalar bu farklılıkların nedenlerini ortaya koyacaktır.

DAYK içinde yaklaşık doğu-batı doğrultulu peridotit birimler ile ilişkili olan Van bölgesi kromititleri ortalama (n=42) % 38 Cr₂O₃ tenöre sahip cevherlerden oluşmaktadır. Buna karşın Mehmetalan ve Yukarıbalçıklı sahalarında % 46'dan yüksek Cr₂O₃ tenörü içeren cevherleşmeler gözlenmektedir. Van bölgesi krom cevherleşmeleri özellikle % 8 SiO₂, % 20 MgO, % 12 Al₂O₃ ve toplam demir olarak %13 Fe₂O₃ içeriği ile metalurji sanayinde kullanılacak ana kimyasal özelliklere sahiptir.

Elde edilen PGE içerikleri günümüz koşullarında ekonomik değildir. Bununla birlikte elde edilen sonuçlardan fay zonlarında daha küçük podlarda bulunan yoğun deformasyona uğramış cevher kütlelerinde daha yüksek PGE içeriklerinin olabileceği bu çalışmadan elde edilen bir bulgudur. Milonitik zonlarda gözlenen bu zenginleşmeler muhtemelen tektonizma etkisindeki süreçlerle meydana gelmiş olmalıdır. Bu süreçler kromitlerin astenosferdeki ilk plastik deformasyonlardan başlayarak ofiyolitlerin kıta üzerine ilerlerken son kırılma deformasyon evrelerine ait tüm karmaşık süreçleri kapsayabilir. Tsoupas ve Economou-Eliopoulos, (2008) tarafından kromitler için en önemli PGM (Platin Grubu Mineral) lokasyonlarının, ofiyolit kompleksler içindeki özellikle makaslama uğramış fay zonları olduğu vurgulanmaktadır. Bu çalışmada da PGE zenginleşmesinin benzer makaslama zonlarında zenginleştiği görülmektedir. Nitekim Ir-grubu PGE'lerdeki bu göreceli

zenginleşme kromitlerin post-magmatik süreçlerden başlayarak gelişen plastik ve kırılmalı deformasyon evreleri yanı sıra, serpantinleşme süreçleriyle de ilişkili olabileceği belirtilmektedir (Tsoupas ve Economou-Eliopoulos, 2008).

KATKI BELİRTME

Bu çalışma TÜBİTAK 108Y209 nolu proje ile desteklenmiştir. Yazarlar Editör Prof. Dr. Kadir Dirik'e ve bu makaleye katkı koyan tüm hakemlere teşekkürü bir borç bilir.

EXTENDED SUMMARY

Ophiolite and ophiolitic mélangé rocks are very widespread along east west trending zone in Turkey. These ophiolitic rocks host significant chromite ore (e.g. in Elazığ-Malatya, Bursa-Eskişehir, Denizli-Muğla, Adana-Hatay-Kahramanmaraş region). In the study area, there is not known any data about chromite ore in literature. But only a few geological studies were performed by General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA). This study is the first report about PGE content and geochemistry of chromitites in this region. The aim of this study is to investigate geological and geochemical character (major, trace and PGE content) of chromite ore existed in four different area between east of Lake Van and Iranian border in the Eastern part of Turkey. Results of this study were also compared with other regions chromitite. The study area covers Başkale K52 - K51 and Van K50 sheets.

These ophiolitic units are located on the SE of Eastern Anatolia Accretionary Complex (EAAC) zone and are interpreted as a remnant of a large accretionary complex which has been developed on the Neotethys ocean lithosphere that has been subducted northward to the Eurasian continent during the Upper Cretaceous-Oligocene (Şengör et al., 2003; Keskin, M., 2005; Şengör et al., 2008). Chromite ore is observed as small lensoidal, boudin

and disseminate-banded types within harzburgite and dunitites. The ore textures are observed as massive, nodular and disseminate-banded type. Totally 100 chromitite samples were collected from four different sites and 42 of them were analyzed for trace, major oxides and PGE content. The distribution of the samples is as follows: Mehmetalan (n=11), Mollatopuz (n=15), Yukarıbalçıklı area (n=12) and Alabayır (n=4). The average content of chromite ores 45 wt. % Cr₂O₃, 31 wt. % Cr₂O₃, 43 wt.% Cr₂O₃ and 36 wt. % Cr₂O₃ respectively. The average values of ΣPGE contain 194 ppb in Mehmetalan, 86 ppb in Mollatopuz, 287 ppb in Yukarıbalçıklı and 122 ppb in Alabayır area.

The average values of chromitite in all area (n=42; 38 wt. % Cr₂O₃) are acceptable as third quality ore in this marketing sector. However, Mehmetalan and Yukarıbalçıklı area chromitites is higher quality and partly >46 wt. % Cr₂O₃ contents can be acceptable as first quality ore. The average content of other major oxides are 8 wt. % SiO₂, 20 wt. % MgO, 12 wt. % Al₂O₃ and total 13 wt.% Fe₂O₃.

PGE content of all chromite samples show distinct enrichment in Ir group (Ir, Os, Ru) elements over Pd group (Pd, Rh, Pt). These results are compatible with all other PGE content of the Turkey chromitites, except some locally enrichment documented in Harmancık-Muğla (Uçurum et al., 2006) and in Kahramanmaraş area (Kozlu-Erdal and Melcher, 2007; Kozlu and Rudashevsky, 2010). The most of the Pd content is less than 20 ppb, and Ir content is between 11 and 105 ppb with average of ~40 ppb for the entire set indicates Pd/Ir is less than 1. This ratio confirm the increasing of partial melting degrees rather than magmatic fractionation in the ore forming magma. Spider diagram of PGE content normalized to chondrite show negative trend from Os to Ir, positive trend between Ir and Ru and repeat negative trend from Ru to Rh. These anomalies coherent with general ophiolite trends and are also compatible with Kahramanmaraş, Muğla, Eskişehir, and Kop Mountain chromitites.

ΣPGE of chromitites host in ultramafic tectonites are much more abundant compared to banded chromitite host in cumulates.

The highest value of ΣPGE (n=42) is 627 ppb (sample No: YBCO2) and with average of ~175 ppb. In this calculation, the values below the detection limit are not considered. In Yukarıbalçıklı area, both existence of abundant cataclastic zones in the polished sections and boudin shaped ore within shear zones contain high ΣPGE values (e.g. Sample No: YB-CO2; 627 ppm). This enrichment indicate that secondary processes may have been effected in the PGE enrichment. All post-magmatic processes until brittle deformation events and serpentinization processes is responsible for the relatively high Ir-group (IPGE) enrichment in Yukarıbalçıklı chromitites (Tsoupas ve Economou, 2008).

DEĞİNİLEN BELGELER

- Akbulut, M., Pişkin, Ö., Arai, S., Özgenc, İ. and Minareci, F., 2010. Base Metal (BM) and Platinum-Group Elements (PGE) Mineralogy and Geochemistry of the Elmaslar Chromite Deposit (Denizli, SW Turkey): Implications for a Local BM and PGE Enrichment. *Ofioliti*, 35, 1-20.
- Anders, E. and Grevesse, M., 1989. Abundances of the elements: Meteoritic and solar. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 53, 197-214.
- Arai S., 1992. Chemistry of Chromian Spinel in Volcanic Rocks as a Potential Guide to Magma Chemistry. *Mineralogical Magazine*, 56, 173-184.
- Arai, S., Uesugi, J. and Ahmed, A.H., 2004. Upper Crustal Podiform Chromitite From The Northern Oman Ophiolite as The Stratigraphically Shallowest Chromitite in Ophiolite and Its Implication for Cr Concentration. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 147, 145-154.
- Barazangi, M., Sandvol, E. and Seber, D., 2006. Structure and Tectonic Evolution of the Anatolian Plateau in Eastern Turkey. *GSA Special Paper* 409, 463-474.
- Barnes, S.J., Naldrett, A.J. and Gorton, M.P., 1985. The Origin of Platinum Group Elements in Terrestrial magmas. *Chemical Geology*, 53, 303-323.
- Başpınar, G., 2006. Guleman (Elazığ) Bölgesi Krom Yataklarının Platin Grubu Element İçerikleri ve Jeokimyası. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Mühendislik Tezi, 138 s (yayımlanmamış).
- Bonavia, F.F., Diella, V. and Ferrario, A., 1993. Precambrian podiform chromitites from Kenticha Hill Southern Ethiopia. *Economic Geology*, 88, 198-202.
- Bozkurt, E., 2001. Neotectonics of Turkey – a synthesis. *Geodinamica Acta (Paris)* 14, 3-30.
- Brugmann, G.E., Arndt, N.T., Hoffmann, A.W. and Tobschall, H.J., 1987. Nobel Metal Abundances in komatiite Suit from Alexo, Ontario and Gorgona Island, Colombia. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 51, 2159-2169.
- Cawood A.P., Kröner A., Collins J.W., Kusy M.T., Mooney D.W. and Windley F.B., 2009. Accretionary orogens through Earth history, Geological Society, London, Special Publications, 318, 1-36.
- Dickey, J. S., 1975. An hypothesis of origin for podiform chromium deposits: *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 39, 1061-1074.
- Dick, H.J.B. and Bullen, T., 1984. Chromian spinel as a petrogenetic indicator in abyssal and alpine type peridotites and spatially associated lavas. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 86, 54-76.
- DPT, 2000. T.C. Başbakanlık, Devlet Planlama Teşkilatı, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı (2001-2005), Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, Krom Çalışma Grubu Raporu. 1-52 s (Yayımlanmamış).
- Economou-Eliopoulos, M., 1996. Platinum-group elements distribution in chromite ores from ophiolite complexes: implications for their exploration. *Ore Geology Review*, 11, 363-381.
- Engin, T. and Hirst, D.M., 1970. The alpine chromeores of the Andızlık-Zımparalık area, Fethiye, Southwest Turkey: *I.M.M. Trans. Sect. B*, 16-29.
- Engin, T., Balcı, M., Sümer, Y. ve Özkan, Y.Z., 1982. Guleman Krom Yatakları ve Peridotit Biriminin Genel Jeoloji Konumu ve Yapısal Özellikleri. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, No:95/96, 77-101.
- Engin, T., 2001. Magmatik Petrojenez, TÜBİTAK Lisans Üstü Yaz Okulu, (ed. Boztaş, D. ve Otlı, N.) 7-12 Haziran, Akçakoca-Düzce, 445-473.
- Kozlu-Erdal, H., 2007. Rutil İçeren Kahramanmaraş Berit Metafiyoliti Kromititleri İçerisinde
- Belirlenen Polifazlı Pd-Pt-Te Mineralizasyonları Konusunda Kısa Not. *MTA Dergisi*, 134, 59-64.
- Kozlu-Erdal, H. and Melcher, F., 2007. Mineralogy and Geochemistry of Platinum-Group Element Enrichments in Berit (Maras) Chromitites, Southeastern Turkey. In: *European Geosciences Union General Assembly*, pdf, abs., 15-20 April, Vienna, Austria.
- Faure, G., 1994. Principles and Applications of Geochemistry. Cambridge ; New York : Cambridge University Press. TN 269 S52415. 1-589 s.
- Garuti, G., Fershtater, G., Bea, F., Montero, P.G., Pushkarev, E.V. and Zaccarini, F., 1997. Platinum-group element distribution in mafic-ultramafic complexes of central and southern Urals: Preliminary results. *Tectonophysics*, 276, 181-194.
- Gauthier, M., Corrivaux, L., Trottier, L.J., Cabri, L.J., Laflamme, J.H.G. and Bergeron, M., 1990. Chromitites Platini feres de l'Estrie-Beauce, Appalaches du sud de Quebec. *Mineralium Deposita*, 25, 169-178.
- Gökçe, A., 2009. Maden Yatakları, Cumhuriyet Üniversitesi Yayınları. No:100, 1-323 s.
- Göncüoğlu, M.C., Dirik, K. and Kozlu, H., 1997. Pre-Alpine and Alpine Terranes in Turkey: explanatory notes to the terrane

- map of Turkey. *Annales Geologique de Pays Hellenique* 37, 515-536.
- Göncüoğlu, M.C., Sayit, K. and Tekin, U.K., 2010. Oceanization of the northern Neotethys: Geochemical evidence from ophiolitic melange basalts within the İzmir-Ankara suture belt, NW Turkey. *Lithos* 116, 175-187.
- Kamenetsky, V.S., Crawford, A.J. and Meffre, S., 2001. Factors controlling chemistry of magmatic spinel: an empirical study of associated olivine, Cr-spinel and melt inclusions from primitive rocks. *Journal of Petrology*, 42, 655-671.
- Keskin, M., 2005. Domal uplift and volcanism in a collision zone without a mantle plume: Evidence from Eastern Anatolia, URL: <http://www.mantleplumes.org/Anatolia.html>
- Kojonen, K., Zaccarini, F. and Garuti, G., 2003. Platinum-Group Elements and Gold Geochemistry and Mineralogy in the Ray-Iz Ophiolitic Chromitites, Polar Urals. In: Eliopoulos, D.G. et al. (eds.). *Mineral Exploration and Sustainable Development*, Millpress Rotterdam Netherlands, 599-602.
- Kozlu, H. and Rudashevsky, V.N., 2010. Geochemistry of the Platinum-Group Minerals (PGM) in the Chromitites from Elbistan-Berit Mantle/Transition Zone and Kızıldağ (Hatay) Ophiolite, SE-S Turkey. *Ontario Geological Survey, 11th International Platinum Symposium*, June 21-24.
- Lago, B.L., Rabinowicz, M. and Nicolas, A., 1982. Podiform chromite ore bodies: a genetic model. *Journal of Petrology*, 23, 103-125.
- Leblanc, M., 1991. Platinum-group Elements and Gold in Ophiolitic Complexes, Distribution and Fractionation from Mantle to Oceanic Floor. In: Peters, T. et al. (eds.). *Ophiolite Genesis and Evolution of The Oceanic Lithosphere*, Oman, Kluwer, Dordrecht, 231-260.
- Leblanc M. and Nicolas, A., 1992. Ophiolitic Chromites, *Intl. Geol. Rev.* 34, 653-686.
- McElduff, B. and Stumpfl, E.F., 1990. The chromite deposits of the Troodos complex, Cyprus - Evidence for the role of a fluid phase accompanying chromite formation. *Mineralium Deposita*, 26, 307-318.
- Melcher, F., Grum, W., Thalhhammer, T.V. and Thalhhammer, O.A.R., 1999. The giant chromite deposits at Kempirsai, Urals: constraints from trace element (PGE, REE) and isotope data. *Mineralium Deposita*, 34, 250-272.
- MTA., 2007. 1/100000 Van Bölgesi Jeoloji Haritası.
- Naldrett, A.J., Hoffman, E.L., Green, A.H., Chou, C-L., Naldrett, S.R. and Alcock, R.A., 1979. The Composition of Ni-Sulfide Ores With Particular Reference to Their Content of PGE and Au. *Canad. Mineral.*, 17, 403-415.
- Naldrett, A.J. and Duke, J.M., 1980. Platinum Metals in Magmatic Sulfide Ores. *Science*, 208, 1417-1424.
- Naldrett, A.J., 1981. Platinum-Group Element Deposits. In: Cabri, L.J. (eds.). *PGE Mineralogy, Geology, Recovery*. Canadian Institute of Mineralogy and Metallogeny, 23, 197-231.
- Okay, I. A. and Tüysüz, O., 1999. Tethyan sutures of northern Turkey. *Geological Society, London, Special Publication*, 156, 475-515.
- Page, N. J., Engin, T., Singer, D. A. and Haffty, J., 1984. Distribution of platinum-group elements in the Batı Kef chromite deposit, Güleman-Elazığ_ area, Eastern Turkey: *Economic Geology*, 79, 177-184.
- Parlak, O., Höck, V. and Delaloye, M., 2002. The supra-subduction zone Pozanti-Karsanti ophiolite, southern Turkey: evidence for high-pressure crystal fractionation of ultramafic cumulates. *Lithos*, 65, 205-224.
- Parlak, O., Höck, V., Kozlu, H. and Delaloye, M., 2004. Oceanic crust generation in an island arc tectonic setting, SE Anatolian orogenic belt (Turkey). *Geol. Mag.* 141 (5), 583-603.
- Parlak, O., Rızaoğlu, T., Bağcı, U., Karaoğlan, F. and Höck, V., 2009. Tectonic significance of the geochemistry and petrology of ophiolites in southeast Anatolia, Turkey. *Tectonophysics*, 473, 173-187.
- Robertson, A.H.F., 2002. Overview of the genesis and emplacement of Mesozoic ophiolites in the Eastern Mediterranean Tethyan region. *Lithos* 65, 1 - 67.
- Robertson, A.H.F., 2004. Development of concepts concerning the genesis and emplacement of Tethyan ophiolites in the Eastern Mediterranean and Oman regions. *Earth-Science Reviews* 66, 331-387.
- Robertson, A.H.F., Ustaömer, T., Ünlügöç, Ü. C., Parlak, O., Taşlı, K. and Inan, N. 2006. The Berit transect of the Tauride thrust belt, S Turkey: Late Cretaceous-Early Tertiary accretionary and collisional processes related to the South-Neotethys. *Journal of Asian Earth Sciences*, 27, 108-145.
- Robertson, A.H.F., Parlak, O., Ustaömer, T. and Ünlügöç, U., 2007. Role of Late Mesozoic subduction and Palaeogene collision in melange genesis and ophiolite emplacement in the 9 Anatolides of western and central Turkey. *European Geosciences Union General Assembly, Vienna-Austria*, 15 - 20 April 2007. *Geophysical Research Abstract*, vol 9, 01429.
- Rollinson, H.R., 1993. *Using geochemical data : Evaluation, Presentation, Interpretation*, Longman Scientific & Technical, Newyork, 353 s.
- Stevens, R. E., 1944. Composition of Some Chromites of the Western Hemisphere. *Amer. Min.* 29, 1-34.
- Stowe, C. W., 1987. *Evolution of Chromium Ore Fields*. New York: Van Nostrand-Reinhold, 340 s.
- Sarıfakıoğlu, E., Özen, H. and Winchester, J.A., 2009. Petrogenesis of the Refahiye Ophiolite and its Tectonic Significance for Neotethyan Ophiolites Along the İzmir-Ankara-Erzincan Suture Zone. *Turkish Journal of Earth Sciences* . 18, 187-207.
- Şaroğlu, F., Güner, Y., Kidd, W.S.F. and Şengör, A.M.C., 1980. Neotectonics of Eastern Turkey: New evidence for crustal shortening and thickening in a collision zone. *EOS*, Vol. 51, 17,360.
- Şengör, A.M.C., Özeren, M.S., Keskin, M., Sakıncı, M., Ali Değer Özbakır, A., D. and Kayan, İ., 2008. Eastern Turkish high plateau as a small Turkic-type orogen: Implications for post-collisional crust-forming processes in Turkic-type orogens. *Earth-Science Reviews* 90, 1-48.
- Şengör, A.M.C., Özeren, M.S., Zor, E. ve Genç, T., 2003. Doğu Anadolu Litosfer Mekanizmasına Yeni Bir Yaklaşım. *Kuvaterner*

- Çalıştay IV, İTÜ Avrasya Yerbilimleri Enstitüsü, 29-30 Mayıs, Tübitak, 100-109.
- Taylor, S. R., and McClennan, S. M., 1985. The continental crust; its composition and evolution: Oxford, UK, Blackwell Scientific, 312 s.
- Thayer, T.P., 1960. Some Critical Differences Between Alpine Type and Stratiform Peridotite Gabbro Complexes: 21st Inter. Geol. Congr., Copenhagen, Repts., 13, 247-259.
- Thayer, T.P., 1964. Principal Features and Origin of Podiform Chromite Deposits and Some Observations on the Guleman-Soridağ District, Turkey: Economic Geology, 59, 1497-1524.
- Thayer, T.P., 1969. Gravity Differentiation and Magmatic Replacement of Podiform Chromite Deposits. In: Wilsoon, H.D.B., ed., Magmatic Ore Deposits, Econ. Geol. Mon. 4.
- Tsoupas, G. and Economou-Eliopoulos, M., 2008. High PGE contents and extremely abundant PGE-minerals hosted in chromitites from the Veria ophiolite complex, northern Greece. Ore Geology Review, 33, 3-19.
- Tüysüz, N. and Erler, A., 1995. Geology and geotectonic implications of Kazikkaya area, Kagızman- Kars (Turkey), Proceedings of the International symposium on the Geology of the Black sea Region (Erler, A., Ercan, T., Bingöl, E. and Örcen, S., eds.), September 7-11, Ankara, Turkey, General Directorate of Mineral Research and Exploration and Chamber of Geological Engineers, Ankara, 76-81.
- Uçurum, A., Lechler, P. J. and Larson, L. T., 2000. Platinum-group element distribution in chromite ores from ophiolite complexes, western Turkey: Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy (Section B: Applied Earth Science), 109, 112-120.
- Uçurum, A., Koptagel, O. and Lechler, P.J., 2006. Main-Component Geochemistry and Platinum-Group-Element Potential of Turkish Chromite Deposits, with Emphasis on the Mugla Area. International Geology Review, 48, 241-254.
- Uçurum, A., Lechler, P.J., Arehart, G.B. and Molnar, F., 2007. Platinum-Group Element, Stable Isotope, and Fluid Inclusion Investigation of the Ultramafic Rock-Hosted Gunes-Sogucak Ni-Cu-Sulfide Mineralization in the Gunes Ophiolite, East-Central Turkey. International Geology Review, 49, 169-192.
- Uysal, I., Sadıklar, M.B., Tarkian, M., Karsli, O. and Aydin, F., 2005. Mineralogy and composition of the chromitites and their platinum- group minerals from Ortaca (Muğla-SW Turkey): evidence for ophiolitic chromite genesis. Mineralogy and Petrology, 83, 219-242.
- Uysal, I., Tarkian, M., Sadıklar, M.B. and Şen, C., 2007a. Platinum group- elements geochemistry and mineralogy in ophiolitic chromitites from the Kop Mountains, northeastern Turkey. The Canadian Mineralogist, 45, 355-377.
- Uysal, I., Zaccarini, F., Garuti, G., Meisel, T., Tarkian, M., Bernhardt, H.J. and Sadıklar, M.B., 2007b. Ophiolitic chromitites from the Kahramanmaraş area, southeastern Turkey: Their platinum-group elements (PGE) geochemistry, mineralogy and Os-isotope signature. Ofioliti, 32, 151-161.
- Uysal, I., 2008. Platinum-Group Minerals (PGM) and Other Solid Inclusions in the Elbistan-Kahramanmaraş Mantle-hosted Ophiolitic Chromitites, South-eastern Turkey: Their Petrogenetic Significance. Turkish Journal of Earth Sciences . 17, 729-740.
- Uysal, I., Zaccarini, F., Sadıklar, B., Bernhardt, H.J., Bigi, S. and Garuti, G., 2009a. Occurrence of rare Ru-Fe-Os-Ir-oxide and associated Platinum-group minerals (PGM) in the chromitite of Muğla ophiolite, SW-Turkey. N. Jb. Miner. Abh. 185/3, 323-333.
- Uysal, I., Tarkian, M., Sadıklar, B., Zaccarini, F., Meisel, T., Garuti, G. and Heidrich, S., 2009b. Petrology of Al- and Cr-rich ophiolitic chromitites from the Mugla, SW Turkey: implications from composition of chromite, solid inclusions of platinum-group mineral, silicate, and base-metal mineral, and Os-isotope geochemistry. Contributions to Mineral and Petrology, 158, 659-674.
- Uysal, I., Zaccarini, F., Sadıklar, B., Tarkian, M., Thalhammer, O.A.R. and Garuti, G., 2009c. The podiform chromitites in the Dağküplü and Kavak mines Eskişehir ophiolite (NW-Turkey): Genetic implications of mineralogical and geochemical data. Geologica Acta, 7, 351-362.
- Yalınz, K.M. and Göncüoğlu M.C., 1999. Clinopyroxene Compositions of the Isotropic Gabbros From the Sarıkaraman Ophiolite: New Evidence on Supra-Subduction Zone Type Magma Genesis in Central Anatolia Turkish Journal of Earth Science. 8, 103-112.
- Yaman, S. and Ohnenstetter, M., 1991, Distribution of platinum-group elements of chromite deposits within ultramafic zone of Mersin ophiolite (south Turkey): Bulletin of the Geological Congress of Turkey, 6, 253-261.
- Yılmaz, Y., 1993. New evidence and model on the evolution of the southeast Anatolian orogen. Geological Society of America Bulletin 105, 251-271.
- Zaccarini, F., Proenza, J.A., Ortega-Gutierrez, F. and Garuti, G., 2005. Platinum Group Minerals in ophiolitic chromitites from Tehuiztzingo (Acatlan Complex, Southern Mexico): implications for postmagmatic modification. - Mineral. Petrol. 84, 147-168.
- Zhou M.F. and Bai, W.J., 1992. Chromite deposits in China and their origin. Mineral. Deposita 27, 192-199.
- Zhou, M.F., Robinson, P.T., Malpas, J. and Li, Z., 1996. Podiform Chromitites in the Lobusa Ophiolite (Southern Tibet): Implications for Melt-Rock Interaction and Chromite Segregation in the Upper Mantle. Journal of Petrology, 37, 1, 3-21.
- Zhou, M.F. and Robinson, P.T., 1997. Origin and Tectonic Environment of Podiform Chromite Deposits: Econ. Geol. 92, 259-262.
- Zhou, M.F., Sun, M., Keays, R.R. and Kerrich, W., 1998. Controls On Platinum-Group Elemental Distributions of Podiform Chromites: A Case Study Of High-Cr-And High Al Chromitites from Chinese Orogenic Belts. Geochimica et Cosmochimica Acta. 4, 677-688.

Makale Geliş Tarihi : 16 Mayıs 2011
Kabul Tarihi : 10 Ekim 2011

Received : May 16th, 2011
Accepted : October 10th, 2011