

## **ÖNSÖZ**

Yerbilimleri/Geosound'un 48 ve 49. sayıları birlikte yayınlandı. Halen süren çeşitli olumsuzluklar ve makale gelişindeki daralmalar böyle bir uygulama yapmamızı zorunlu hale getirmiştir. 20 yılı aşkın bir süredir bir avuç insanın üstün gayreti ile yayınlanabilen Yerbilimleri/Geosound'un bundan sonraki geleceğinde de belirsizlikler bulunmaktadır. Yorulan kadromuza taze güç katılmaz ise muhtemelen de halen yazışmaları süren makalelerle bir sayı daha yayinallyip, belki de bizden bu kadar diyebiliriz.

Bu sayımızda 14 makaleye yer verilmiş olup, bunların 2'si yabancı dildedir. Günümüzde bilimsel dergilerin yaşatılması zorlaşmakta olup, herşeyin elektronik ortamlara taşınması ile belki de bir süre sonra sistem tamamen değiştirebilecektir.

Yillardır yayın hayatımı südürememize imkan veren kişi ve kuruluşlara, makale gönderen değerli araştırmacılara ve tüm okurlarımıza en derin sevgi ve saygılarını sunuyor, 50. sayımızda buluşmayı diliyoruz.

Saygılarımla,

Yayın Kurulu Adına  
Mesut ANIL  
Baş Editör





GEOSOUND



# YERBİLİMLERİ

## İÇİNDEKİLER / CONTENTS

Criteria for Use of Iron Ores in Blast Furnaces <i>Yüksek Fırında Demir Cevherlerinin Kullanılma Kriterleri</i>	Mehmet TANRIVERDİ, Vedat ARSLAN	1
The Geology and Geochemistry of the Gypsum Deposits in Northern Cyprus <i>Kuzey Kıbrısta Yayılmış Gösteren Jips Yataklarının Jeolojisi ve Jeokimyası</i>	Mehmet NECDET, Mesut ANIL	11
Girit Yayınının Sismolojik ve Bouguer Gravite Anomalisi Verilerine Göre Yorumlanması <i>Interpretation of the Cretan Arc With Seismological and Gravity Data</i>	Tolga GÖNENÇ, Mustafa AKGÜN, Mustafa ERGÜN	51
Göndelenözü Dere (Akdağmadeni - YOZGAT) Boyunca Derekumu Örneklerinde Kurşun - Çinko - Bakır Dağılımı ve Anomali Sahalarının Belirlenmesi <i>Geochemical Dispersions of Lead-Zinc-Copper in the Stream Sediment</i> <i>Samples Collected Along the Göndelenözü Valley (Akdağmadeni - YOZGAT)</i> <i>and Identification of Anomaly Terrains</i>	Zafer Akın TÜRKBEN, Ahmet GÖKCE	69
Heyelan Hassasiyet Haritalarının Hazırlanmasında Çok Ölçülü Karar Analizi Yönteminin (Çöka) Kullanımı: Ayvalık (Balıkesir) Örneği <i>Use of the Multi-Criteria Decision Analysis Method for Preparing</i> <i>Landslide Susceptibility Maps: An Example from Ayvalık (Balıkesir)</i>	Aykut AKGÜN	87
Kil Minerallerinin Kantitatif ve Kalitatif Analizlerinde FTIR (Fourier Transform Infrared) Spektroskopı Yönteminin Önemi <i>The Significance of the FTIR (Fourier Transform Infrared) Spectroscopy</i> <i>Method for Qualitative and Quantitative Analysis of Clay Minerals</i>	Fevzi ÖNER	103
Küçük Menderes Nehri Kıyı Sulak Alanının Hidrojeokimyasal Değerlendirilmesi <i>Hydrogeochemical Assesment of Küçük Menderes River Coastal Wetland</i>	A. Melis SOMAY, Şevki FİLİZ	113

Maşatdağı Diyasporik Boksitlerinin Jenetik Yorumu, Alanya, Antalya, Türkiye <i>Genetic Interpretation of the Masatdagı Diasporic Bauxites, Alanya, Antalya, Turkey</i>	Sedat TEMUR	129
Gnaysların Mineralojik ve Jeokimyasal Özelliklerinin Köprübaşı (Manisa) Uranyum Yatağı Oluşumuna Etkisi <i>The Effect of Mineralogic and Geochemical Features of the Gneisses on the Formation of Köprübaşı (Manisa) Uranium Deposit</i>	Hülya KAÇMAZ, M. Eran NAKOMAN	149
Batı Anadolu'daki Jeotermal Alanlar ve Jeodinamik Konumları <i>Geothermal Field in Western Anatolia and Their Geodynamic Positions</i>	Murat TOKÇAER, M. Yılmaz SAVAŞÇIN	159
Adana Güneyinde Yer Alan Geç Miyosen Resif Çökellerinin Sondaj Karotlarındaki Ostrakodlarla Ortamsal Analizi <i>Environmental Analysis of Late Miocene Reefal Sediments of South Adana with Ostracods in the Drilling Cores</i>	Ümit ŞAFAK	179
Çimento Sanayii Hammadde Ocağı Üretim Planlaması <i>Production Planning of Raw Material Quarry in Cement Industry</i>	Hayyer YALNIZ, Ahmet Hakan ONUR	211
Kalite Kontrol Grafikleri Oluşturmak İçin Bir Bilgisayar Yazılımının Geliştirilmesi ve Mermer Sektöründe Denenmesi <i>A Software for Creating Quality Control Charts and Applying to Marble Industry</i>	Özgür AKKOYUN	227
Görüntü İşleme Yöntemleri İle Kaya Külesi Özelliklerinin Tespit Edilebilirliğinin Araştırılması <i>Investigation of Determination of Rock Mass Properties by Image Processing Methods</i>	Doğan KARAKUŞ, Ahmet Hakan ONUR	237

**CRITERIA FOR USE OF IRON ORES IN BLAST FURNACES**

**Mehmet TANRIVERDİ, Vedat ARSLAN**

*D.E.U., Mining Engineering Department, Izmir/Turkey*

**ABSTRACT :** *In this study, the usage and suitability of individual iron ores depending on their quality parameter have been investigated theoretically by the application of Flint's effective carbon rate formula to some actual plant operating conditions.*

*Similarly, sintering of these ores was also studied and finally suitability was assessed as a triple mixture of lump ore + pellet + sinter instead of lump ore sintered material only.*

**YÜKSEK FIRINDA DEMİR CEVHERLERİNİN KULANILMA  
KRİTERLERİ**

**ÖZET :** *Bu çalışmada, bazı fiili tesis sonuçları kullanılarak, Flint'in Efektif Karbon Oranı formülü yardımıyla demir cevherlerinin kalite parametreleri üzerinden yüksek fırın için uygunluğu ve kullanılabilirliği araştırılmıştır.*

*Benzer şekilde bu cevherlerin sinterlenerek kullanımı da incelenmiş ve son olarak cevherin tek başına parça veya sinterlenmiş olarak kullanım yerine üçlü karışımında, parça cevher+sinter+pellet olarak uygunluğu araştırılmıştır.*

lump ores are as given in Table 2.

**Table 2.** Composition of the pellets, sintered and lump ores used in the mixture

	Lump Ore (Wt %)	Pellet (Wt %)	Sinter (Wt %)
Fe	66.26	67.15	56.63
SiO <sub>2</sub>	2.60	1.29	5.75
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.96	0.52	1.17
CaO	0.04	0.11	7.36
MgO	0.02	0.94	2.49
S	0.04	0.04	0.06
K <sub>2</sub> O	0.10	0.08	0.24

Liquid Metal Content (ton/day)= Total Iron in Burden(Fe)/0.97

Slag Quantity (ton/day)=Total Impurities (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+CaO+MgO+ SiO<sub>2</sub> not from hot metal) in Burden /0.97

The effective carbon ratio given in Table 3 was found by calculation; the others resulted from practical evaluations.

In order to observe sensitivity of the method used in this study, the results obtained from the actual blast-furnace along with the theoretical calculations are shown in Table 4.

As seen in Table 4, there is a very close correlation between the experimental and theoretical values.

**Table 3.** The base parameters for blast furnace

Coke Specifications		Coke Ash Analysis	
Ash (%)	11.65	CaO (%)	2.61
Fixed Carbon (%)	87.22	MgO (%)	0.84
Sulfur (%)	0.80	SiO <sub>2</sub> (%)	45.38
		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	24.21
		K <sub>2</sub> O (%)	1.63
Blast Furnace		In Hot Metal	
Coke Rate (Kg/NTHM)	524	Si (%)	0.99
Blast-Furnace Fixed Carbon Rate (kg/NTHM)	296	S (%)	0.05
Slag Basicity	0.98		
Sulfur in Slag	0.98		

In these three sets of studies, the Flint's effective carbon ratio formula was used. The operating conditions for the blast-furnace are given in Table 3 and the hot metal and slag quantities are calculated by the following empirical formula.

## 2.1. The Results of Lump Ore Feeding into Blast-Furnace

Charging only lumpy iron ores into the blast furnace is not a practically used method. However, some theoretical calculations are done for blast furnace in

**Table 4.** Theoretical (calculated) and practical results for blast furnace.

Blast-Furnace's Results		
Parameters	Theoretical	Practical
Hot Metal (ton/day)	1544.2	1582.6
Hot Metal/Total Burden (%)	41.9	42.9
Slag Rate (Kg/NTHM)	325.0	310.4
Coke Rate (Kg/NTHM)	554.7	536.6

order to compare the various types of ores. The results are shown in Table 5.

If 320 kg/NTHM slag formation at the actual running conditions of the blast-

**Table 5.** Results of Calculations Based on Lump-Ore Feeding of the Ores into the Blast-Furnace.

Sample	Coke Rate Kg/NTHM	Total Slag Kg/NTHM	Total Sulfur in Burden Kg/NTHM	S not from hot metal and slag Kg/NTHM	Total Alkali in Burden	
					From Coke Kg/NTHM	From Mineral Kg/NTHM
S 1	621	348	7.02	2.61	1.18	1.12
S 2	527	170	4.73	2.57	1.00	2.05
S 3	571	250	6.11	3.16	1.08	1.54
S 4	563	255	5.08	2.08	1.07	5.68
S 5	802	412	32.91	27.87	1.52	5.37
S 6	656	259	19.59	16.05	1.25	3.22
S 7	628	246	15.81	12.40	1.19	3.97
S 8	701	269	26.60	23.47	1.33	1.72
S 9	667	227	24.58	21.86	1.27	2.12
S 10	846	697	19.09	11.26	1.61	1.96
S 11	638	404	5.69	0.73	1.21	4.73
S 12	724	591	6.41	0.38	1.38	1.23
S 13	627	383	5.54	0.79	1.19	1.04
S 14	552	218	5.06	0.93	1.05	1.78
S 15	515	143	4.45	2.05	0.98	1.14
S 16	514	144	4.45	1.70	0.98	0.73
S 17	506	125	4.19	1.97	0.96	1.75

furnace is taken to be the optimum value, 6 types of ores seem to give higher quantity of slag. When these results are evaluated with respect to the analysis of the ores given in Table 1, one can see that in all cases, their  $\text{SiO}_2$  content was considerably high. Their impurity oxide contents rather than iron contents controlled the slag formation.

For example, although the S4 ore had low Fe content, low contents of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and  $\text{SiO}_2$  gave rise to low slag formation. Therefore it is not correct to evaluate the ores only with respect to their Fe-content.

Similarly, comparing the ores with respect to the impurities that they will cause problems in the blast-furnace, the ores numbered S5-S10, seemed to bring about more S into the furnace than their slag can absorb (or dissolve).

Therefore it is obvious that these ores need to have additives to help the slag formation. In addition to that, the ore S4 which seems to be suitable for use in terms of the slag content and S-ratio appears to contain a considerable quantity of alkali. According to these results, only ores with numbered S2, S3, S14, S15, S16 and S17 appears to be suitable to be charged into the blast-furnace.

## 2.2. The Results of Feeding the Ores as Sinter into the Blast-Furnace

The results obtained by feeding the iron-ores 100% as sintered under previously set conditions into the blast furnace are given in Table 6, for comparison with each other. It seems from the table that the sintering process may get

rid of especially Sulfur Problem although there is not much difference in the slag formation. Therefore, the ores S6, S7, S8 and S9 can be used after sintering instead of using in lump form.

## 2.3. Use of Iron Ores as a Triple

### Mixture of Lump + Sintered +Pellet

At this stage of studies, the analyses of the lump, sintered and pelletized ores were used. If the charge resulted in the formation of less slag than the proposed level of 320 kg/NTHM, in order to see the amount of sulfur kept by the slag, the total slag content was increased to approximately 320 Kg/NTHM along with the slag-forming additives. The amount of specific coke that has been used up and the ratio of the adjusted slag sulfur content was also calculated (Table 7 & 8).

### 2.3.1. The Use of Mainly Lumpy Ore in the Triple Mixture

In this part of the study, taking into account the working conditions of a modern blast-furnace, assuming that lump-ores can be charged into the furnace as 20% of the total charge, the sinter ratio and the pellet ratio were taken as 60% and 20% respectively. The results obtained are given in Table 7. As seen from the results, by using good quality sintered and pelletized ores, the high level of slag formation from the low grade lump-ores seems to be avoided.

However, the sulfur and likewise impurities are going to be a problem for some ores. Therefore, sintering remains the only route for ores containing sulfur.

**Table 6.** Studies Carried Out by Sintering All the Ores (100%).

Sample	Lump Ore (Kg/NTHM)			Sinter Basicity	Sinter (kg/NTHM)		
	Coke Rate	Total Slag	S not from hot metal and slag		Coke Rate	Total Slag	S not from hot metal and slag
S 1	621	348	2.61	1.10	525	370	1.47
S 2	527	170	2.57	1.20	483	184	1.65
S 3	571	250	3.16	1.20	497	249	1.55
S 4	563	255	2.08	1.10	501	267	1.15
S 5	802	412	27.87	1.09	530	408	0.84
S 6	656	259	16.05	1.09	504	270	1.41
S 7	628	246	12.40	1.09	501	261	1.31
S 8	701	269	23.47	1.20	501	268	1.42
S 9	667	227	21.86	1.10	493	218	1.53
S 10	846	697	11.26	0.99	613	702	1.32
S 11	638	404	0.73	1.09	533	429	0.44
S 12	724	591	-0.38	1.00	576	610	-0.97
S 13	627	383	0.79	1.00	536	405	0.58
S 14	552	218	0.93	1.09	499	243	1.59
S 15	515	143	2.05	1.19	481	171	1.69
S 16	514	144	1.70	1.18	481	170	1.82
S 17	506	125	1.97	1.18	478	152	1.84

### 2.3.2. The Use of Mainly Sintered Ore in the Triple Mixture

The results displayed in Table 8 represent the sintering examples which seem to be the most effective method in dealing with the sulfur problem.

In calculations, basicity ratio of sinter was taken to be 1.4 and sinter weight percentage in the blast furnace charge was 74%. The lump ore amount was chosen to be 12% of the charge whereas the pellet percentage was 14. From the result of the Table 8, the grades of the ores seem to be become more important and the sulfur

problem seems to be reduced. However, using very much of low grade iron ore as a sinter causes more slag formation. Therefore although sintering the ores and using in blast furnace after blending with suitable ore and pellet seem to be best, still some of the sinters seems to be not suitable as a blast furnace charge.

## 3. CONCLUSIONS

The following conclusions were driven from this study;

- It is necessary to evaluate the possible use of ores in respect to their chemical compositions, the actual running

Table 7. The Calculated Blast-Furnace Data with 20 % of Charge as Lump Ore .  
∞

Sample	Charge Ratios			Metallic Burden			Re s u l t s Kg/NTHM			According to Monitored Slag Quantity			
	Lump (%)	Sinter (%)	Pellet (%)	Basicity	Coke Rate	Slag Rate	Sulfur	Alkali	From Met		Coke Rate	Slag Rate	S Kept by the Slag (%)
									From Coke	Burden			
S 1	20	60	20	1.2	512	255	5.21	0.97	2.89	538	323	1.52	
S 2	20	60	20	1.3	508	244	4.89	0.96	3.04	538	324	1.43	
S 3	20	60	20	1.4	519	263	5.17	0.98	2.94	542	323	1.50	
S 4	20	60	20	1.2	508	248	4.90	0.96	3.70	537	323	1.43	
S 5	20	60	20	1.1	553	267	0.21	1.05	3.67	574	323	3.06	
S 6	20	60	20	1.1	523	237	7.80	0.99	3.26	556	324	2.34	
S 7	20	60	20	1.2	517	234	7.06	0.98	3.42	551	324	2.11	
S 8	20	60	20	1.4	543	266	9.10	1.03	2.98	564	323	2.72	
S 9	20	60	20	1.3	530	243	8.82	1.01	3.04	561	324	2.65	
S 10	20	60	20	0.8	548	305	7.42	1.04	3.03	554	321	2.23	
S 11	20	60	20	1.1	517	261	4.98	0.98	3.52	541	323	1.45	
S 12	20	60	20	1.2	530	298	5.09	1.01	2.93	539	321	1.45	
S 13	20	60	20	1.1	514	260	4.94	0.98	2.85	538	323	1.43	
S 14	20	60	20	1.2	503	236	4.88	0.96	2.97	537	324	1.43	
S 15	20	60	20	1.2	495	219	4.75	0.94	2.85	536	325	1.41	
S 16	20	60	20	1.2	493	212	4.65	0.94	2.72	537	325	1.38	
S 17	20	60	20	1.2	491	208	4.66	0.93	2.94	536	325	1.39	

Table 8. The Calculated Blast-Furnace Data with 74 % of Charge as Sintered Ore

Sample	Charge Ratios		Metallic Burden Basicity	Results Kg/NTHM			According to Monitored Slag Quantity					
	Lump (%)	Sinter (%)		Pellet (%)	Rate	Slag Rate	Sulfur	From Coke	From Met Burden	Coke Rate Kg/NTHM		
S 1	12	74	14	1.3	521	331	5.87	0.99	1.87	521	331	1.62
S 2	12	74	14	1.2	483	167	4.29	0.92	2.50	544	327	1.31
S 3	12	74	14	1.2	486	187	4.43	0.92	2.15	539	326	1.33
S 4	12	74	14	1.2	496	234	4.72	0.94	5.00	530	324	1.39
S 5	12	74	14	1.3	528	370	5.80	1.00	4.77	528	370	1.43
S 6	12	74	14	1.2	498	242	4.94	0.95	3.29	530	324	1.45
S 7	12	74	14	1.2	496	235	4.79	0.94	3.82	530	324	1.41
S 8	12	74	14	1.3	495	227	75	0.94	2.28	533	324	1.40
S 9	12	74	14	1.2	489	197	4.57	0.93	2.53	538	326	1.37
S 10	12	74	14	1.3	591	611	8.79	1.12	2.37	591	611	1.36
S 11	12	74	14	1.3	524	372	4.99	0.99	4.28	524	372	1.21
S 12	12	74	14	1.3	560	546	5.31	1.06	2.00	560	546	0.88
S 13	12	74	14	1.3	523	369	4.92	0.99	1.78	523	369	1.20
S 14	12	74	14	1.2	493	219	4.77	0.94	2.28	534	325	1.41
S 15	12	74	14	1.2	482	157	4.21	0.91	1.82	547	328	1.29
S 16	12	74	14	1.2	481	161	4.19	0.91	1.46	545	328	1.28
S 17	12	74	14	1.2	480	144	4.13	0.91	2.21	551	328	1.28

conditions of the blast-furnace, and additional materials in the charge to the blast furnace.

- It is possible to define the desired suitable properties of the ores which will be mixed with the other ores to be used in the blast-furnace for hot metal production. The mixing will be also with respect to the form the charged ore; as lumpy ore, sintered ore or pellet.

- In this method, it is also possible to apply computer technology to prepare the required recepies for the suitable and workable ore mixtures and at the same time control the operational variables in the actual plant.

#### 4. REFERENCES

- Flint, R.V., 1962. *Effect of Burden Materials and Practices on Blast Furnace Coke Rate, Blast-Furnace and Steel Plant.* (Paper presented at Chicago Regional Technical Meeting of American Iron and Steel Institute, September 27, 1961).
- Griffen, J., 1954. *The Cost Effects in Basic Iron Blast-Furnace Practice of Ash and Sulphur Levels of Coke, Island Creek Coal Sales Company, Huntington, West Virginia.*
- TDCI, Iron and Steel Company of Turkey, Annual Report, 1988, Ankara, Turkey.
- Hayness, D., Hill, B., 1988. *Development in Sintering Technology at Apple by Frodingham, Iron Making Conference.*
- Ricketts, J.A., 1988. *Statistical Process Control in Iron Production, the Development of Blast-Furnace Operating Guidelines, Iron Making Conference.*
- Belyshow, O.N., et. all., 1985. *Effect of Coke Strength on Blast-Furnace Performance, Metallurgist (USSR), Fuel, Moscow.*

THE GEOLOGY AND GEOCHEMISTRY OF THE GYPSUM DEPOSITS  
IN NORTHERN CYPRUS

Mehmet NECDET

Geology and Mines Department, Ankara Avenue,  
Lefkoşa/Turkish Republic of Northern Cyprus

Mesut ANIL

Çukurova University, Dept. of Mining Eng., 01330 Balcalı, Adana, Turkey

**ABSTRACT :** Upper Miocene (Late Messinian) gypsum deposits in Northern Cyprus are the equivalents of the Upper Evaporites within other Mediterranean evaporite basins. Most of these gypsum facies are of primary origin and are the products of a submarine deposition. Selenitic gypsum consisting of coarse crystals indicate shallower environment while laminated and banded gypsum deposits consisting of fine-grained crystals are indicative of a relatively deep aqueous environment. Evaporite deposition, which was started as nodular anhydrite and carbonate precipitation then changed to gypsum as a result of intense high salinity processes. Fine calcite particles in this facies up to rice size are products of lagoon or lacustrine environment. Gypsum nodules most of which were observed in exploratory water wells indicate the presence of a tectonic activity prevailed in the basin following the completion of evaporate deposition. Sulfur nodules at the base of gypsum deposits are indicative of anaerobic bacterial activity at the beginning of deposition. Strontium enrichment detected in microprobe studies reveals that terrestrial waters fed the basin predominantly. In addition, isotope works indicate that sea water also played an important role in formation of Northern Cyprus gypsum deposits like in other Mediterranean evaporite basins.

KUZEY KIBRISTA YAYILIM GÖSTEREN JİPS YATAKLARININ  
JEOLOJİSİ VE JEOKİMYASI

**ÖZET :** Kuzey Kıbrıs'da yayılım gösteren Üst Miyosen (Geç Mesiniyen) yaşı jips yatakları diğer Akdeniz basenleri içerisinde yer alan evaporit yataklarının üst evaporit serilerinin eşdeğeridir. Bu jips fasiyelerinin büyük çoğunuğu birincil oluşumlu olup, sualtı çökeliminin ürünleridir. İri kristallerden oluşan selenitik jipsler siglaşan bir su ortamını, ince taneli kristalli laminalardan oluşan laminational ve tabakalı jipsler ise göreceli olarak daha derin bir su ortamını işaret ederler. Nodüler anhidrit, karbonat şeklinde başlayan evaporit çökelimi ortamının daha sonra yoğunlaşan deniz suyu beslenmesiyle gelişen süreçler sonucunda karbonatların jipse dönüştüğü izlerini taşır. Bu fasiyede yer alan jips çökellerinin içerdiği pırıngı tanesi büyüklüğe kadar ulaşan ince karbonat kırıntıları da göl tipi bir çökelim ortamının ürünleridir. Büyüklük çoğunuğunun yeraltısu arama sondajlarında gözleendiği jips molozları ise evaporit

*çökelmanının tamamlanmasından sonraki basen şartlarında hüküm süren tektonik aktiviteye işaret eder. Jips yataklarının tabanında gözlenen küküt nodülleri ise basen ortamının, başlangıçta anaerobik bakterilerinin hükmü sürdüğü indirgen bir ortamın varlığının kanıtıdır. Mikroprop incelemelerinde gözlenen Stronsiyum zenginleşmeleri, jips'in çökeldiği basenin belli dönemlerde karadan gelen sularla; sınırlı olarak yapılan izotop incelemelerinde ise Kuzey Kıbrıs'ta görülen jipslerin de diğer Akdeniz basenlerindeki gibi aynı deniz suyu kaynağından beslendiği kanaatine varılmıştır.*

## 1. INTRODUCTION

The Cyprus Island is one of the best studied regions in the world since it is one of the rare areas that host the oceanic crust (Henson, Browne and Mc Ginty, 1949; Pantazis, 1967; Weiler, 1969; Lapièvre, 1972, 1975; Simonian and Gass, 1978; Robertson and Woodcock, 1979; Baroz, 1979; Swarbrick, 1980; Varga and Moores, 1985; Murton, 1986; Ketin, 1987; Constantinou, 1995; Hakyemez et al., 2000; Necdet, 2002). According to some authors, Arabian and European plates were uplifted due to their convergence and as a result Mediterranean Sea was separated from the Indo-Pacific Ocean. Northerly movement of plates gave rise to formation of narrowing of the Mesopotamia basin and its disconnection with the Paratethys Ocean resulting in deposition of first marine type evaporates in this region (Gvirtzman and Buchbinder, 1977). Consequently, evaporate deposition in Cyprus took place in several isolated basins. Messinian evaporates on the Cyprus Island are indicative of water level change of the Mediterranean Sea, local tectonic activity and some geologic processes in the subduction zone (Robertson et al., 1995). Collision of Africa and Arabian plates resulted in isolation of all upper Miocene

Mediterranean basins and formation of suitable conditions for evaporate deposition. Local tectonic activities governed global changes in climate and sea level evaporate formation and the boundaries of pre-Messinian rocks (Vail et al., 1984, Robertson et al., 1991). Thus, the gypsum deposits in Cyprus were formed in the upper Miocene ( $5.96 \pm 0.02$  Ma) and, like in other basins in the Mediterranean region. They were deposited under different climate conditions and in close association with tectonism.

In northern Cyprus, along a 150-km east-west extending belt, there are totally 22 sizable gypsum deposits and numerous gypsum occurrences of varying sizes. Among them, only two have been continuously operated while others were exploited time to time. The total apparent gypsum reserve of the northern Cyprus is about 244 million tones (Table 1). In spite of this huge reserve, only a few pits are currently operated. The production from these pits is used in domestic cement industry and some part is exported. It seems to be necessary that this reserve should be used for obtaining products with high additive value such as plaster stone that is important for the building industry.

Geologic studies on evaporatic deposits

*THE GEOLOGY AND GEOCHEMISTRY OF THE GYPSUM DEPOSITS  
IN NORTHERN CYPRUS*

**Table 1.** Main gypsum deposits in Northern Cyprus with their reserve, location, structural features, lithology and some comments.

	Name of deposit	Reserve (ton)	Exposure area (m <sup>2</sup> )	Location	Structure	Lithology	Comments	References
1	Altinova region Including: - Pınarlı - İskeli - Çukurova - Akova	13,358,000 ND 864,000 ND  Tot:	900,000 30-40 km, NE of LeRoşa (Fig. 7)  ~14,250,000	Within the Altinova syncline, gypsum, showing in some cases dome structures; gypsum outcropping with varying sizes anticline (monoclinal) and lenticular exposure	Pebble and blocks of reef Quaternary age and the Holocene secondary limestone, chalk, dark colored sandy-silty marls, selenitic gypsum and fine grained laminated gypsum layers are found.	-Due to discontinuities as a result of rising of Plio-Quaternary sequence, canal waves are formed. The common facies type: banded selenitic gypsum in the deposit, thickness change from a few cm to 170 cm and total thickness of gypsum levels, 30 m, with measured lithostatigraphic columnar section and at middle- lower part of Altinova gypsum deposit (Fig. 6).		Gass (1960); Baroz (1979); Necdet (2002)
2	Yarköy-Kalecik Including: -Mermertepe -Açitepe -Hacı Paşal site -Kilittepe -Karataştepe -Küçüksu site -Karamağara Hill -Yel Değirmeni site -“49” th Hill	18,438,827 5,901,640 6,978,330 4,444,313 1,964,223 778,327 377,746 294,400 212,194  Tot : 39,390,000	315,000 209,375 187,500 192,500 60,000 48,750 22,000 22,500 10,000  Tot : 1,067,625	At 30 <sup>th</sup> km of the LeRoşa- Karpaz road (Fig. 7)	Limestone-chert and ophiolitic units in pebble and block sizes are exposed in western flanks of the Kargatuzu Hill	-Extending from Yarköy to Kalecik (7 km x 500 m) -The basement of Kalecik syncline prior to evaporation, also represented with the Yazittepe formation. -The discordant basement with gypsum deposits -Late Quaternary age completely cover the gypsum deposits. -Thickness of gypsum layers, varying from 1-2 cm to 3-4 m and total thickness is 30-40 m.		Bear (1963); Necdet (2002)

Table 1. Con.

3	<b>Lefkoşa region</b> including: - Çamlıbel and Kozan - Akdagtepe (Türkeli) - Yılmazköy- Mermertepe - Kanlıköy- Karatepe - Haspolat - Aslanköy - Around Lefkoşa (Nicosia)	ND A few millions 12,707,00 0 500,000 60,000 931,000 401,170 ND NEV 100,000 NEV Tot: <b>14,140,000</b>	within the Çamlıbel syncline extremely affected from tectonic activities due to rising of the Cyprus island by the Pliocene period and between the gypsum deposits, no continuity. Gypsum deposition, generally NW-SE direction and within the folding axis extending as an arc. Laminated gypsum produced coarse crystalline gypsums of selenitic and banded type.	Brown marl, chalk, earth colored marl, silty-sandy marl, calcareous marl and limestones of the Yazılıtepe formation form the basement of evaporates. Globigerina-bearing marl-chalk that change to light brown marl, chalk and chalky marl levels and continue to the top with marl, chalk and chalky marl. Gypsum in these deposits are fine- grained, thick bedded and of selenitic type. -In addition, laminated gypsum pebble and blocks, and also coarse selenitic gypsum blocks of 1 m in diameter.	The northerly dipping Degermenlik fault activated by the end of Miocene, neither symmetrical nor linear, displaying an E-W orientation parallel to the Besparmak (Girme) Mountains. Thrust faults developed in Plio- Quaternary, giving rise to formation of three subsequent landslides on the syncline and, forming the units discordant to each other. Possibly formed by faulting of allochthon selenitic gypsum blocks deriving from basal conglomerate of the Çamlıbel formation and gypsum facies of early Messinian marl and chalks at the base of evaporate deposits. Selenitic gypsum crystals of secondary origin, locally observed within the marl and chalk units into blocks by intense tectonic activities. Total thickness of thin laminated gypsum at the base between 0 and 6 m while overlying selenitic gypsum layers: 0.2 m thickness and total thickness: 0.8 m. Basin analyses revealing the presence of sponge spicules in poorly sorted, elliptical marl pebbles within a pervasive matrix
---	---	--	---	--	---

*THE GEOLOGY AND GEOCHEMISTRY OF THE GYPSUM DEPOSITS  
IN NORTHERN CYPRUS*

Table 1. Con.

4	Girne mountain region including: - Yukarı Duman-Zekidoğduçlupe - Kaynakköy - At the vicinity of the Mehmetçik-Balalan road	100,000 NEV Could be economic Tot: 100,000	Large blocks of Jurassic-upper Cretaceous Hilarion limestones of the Tripa Group as thrust to each other, exposed at the flanks of Zekidoğduçlupe hill. Exposed along a NW-SE trending strike slip fault. Not continuous, due to intense tectonism.	Early Messinian marls of the Yaziltepe formation comprise the basement of gypsum deposition. -Related to the surficial alteration, development of coarse karstic crystals in cauliflower shape, above the massive gypsum bodies, massive selenitic gypsums swallowtail and fish backbone twinning are very common.	Deposition of the debris, as a result of rapid uplifting of the Girne Mountains in the Quaternary period. Crystal size in this selenitic type gypsum deposit changes from 1-2 mm to 7-10 cm. The biggest of thick beds (60 cm, thick) rarely observed. Twin crystals, having up to 10-15 cm. very common in gypsum layers. Swallowtail and fish backbone twinning in several part of the long and coarse crystalline selenitic gypsums, named as Grass Gypsum, from a shallow environment. Dissolution voids between the layered gypsums, with 15-20 cm limestone blocks and coarse pebble and conglomerates of the Hilarion formation.
				Ducloz (1972); Baroz (1979); Peryt (1996); Necdet (2002)	
5	Karpaz Peninsula Including: - Kaleburnu - Gelinçik - Around Gazimagosa-Dipkarpaza	3,362,800 1,882,700 NEV Tot: 5,245,500	NE of cyprus (Fig. 7) 300,000 ND Tot: 390,00	Because of intense tectonic activity, blocks of various sizes separated from the main deposit Selenitic and banded gypsum. Selenitic gypsums in massive appearance.	Tectonism particularly in the Plio-Quaternary period intensely affected the Karpat region and due to strike slip faults trending various directions, gypsum deposits, thrust onto each other and they gained a complex structure. Early Pleistocene calcarenites of the Giripınar (Atalasa) formation and Holocene secondary limestones, at the top of deposit.
				Necdet (2002)	

Table 1. Con.

			Gypsum layers, locally alternated with marl and chalk units and overlain by limestones and selenitic gypsum pebbles of the Gürpinar (Ayalasa) formation. -Both opaque and crystalline gypsums, observed. -Thickness of gypsum layers: 10-45 cm.	Dark brown shale on the east part corresponding to the Mozi formation and pillow lavas of the Trodos complex comprise the pre-evaporate basement. The porous Lefke (Koronia) limestones with abundant fossil content overlie these units. Thick-bedded selenitic and crystalline laminated gypsums in massive appearance also overlie the Lefke limestones. Cemented selenitic gypsum pebble and debris within the secondary limestones of Holocene age. The outcrop of gypsum deposit with a thickness of 5-10 m and width of 15-20 m. Selenitic gypsum crystals, locally in size of 2-15 cm and this type of gypsums frequently displays swallowtail twinning.	Pantazis (1967); Neeendet (2002)
6	Lefke	ND 50-100 thousands	750 m from the city center and 700-800 m S of the Taşlıtepe hill and on both sides of the Gemlikonagi creek. A result of intense tectonic activity prevailed during Plio-Quaternary, units such as marl and largely deformed shale.	Marl and chalky units of the middle Eocene Paha formation comprise the basement of gypsum deposits around the Akinci village. To the top, Pliocene limestones of 2 m thickness	Pre-evaporate rocks with plutonic and volcanic rocks of the Trodos Massive and the Akilepe (Pakna) formation of the Lefkara (Yigitler) group and ended with the Messinian Salinity Crisis, and with extremely compact and cemented silty marls and limestones of the Letkoşa formation of the Mersarya Group. Dominated by thin and laminated gypsum of massive appearance and selenitic gypsum filling the fracture and fissures. A limited amount of saccharoidal gypsums, also observed at the margins of basin.
7	Akinci	Few hundred thousands	1,500,000 Dev Yırtıkları site 2 km NE of the Akinci village		Gass, (1960); Hakyemez et al., (2000); Neeendet (2002)

ND: Not determined  
NEV: No economic value

in Cyprus were started in 1900's by the study on the economic potential of the Larnaka salt lake deposits in southern Cyprus (Bellamy, 1900). Then, several gypsum deposits particularly in northern Cyprus were investigated regarding their facies descriptions and lithostratigraphic relations with other units deposited before or after the evaporation (Bellamy and Jukes-Brown, 1905; Henson et al., 1949; Moore, 1960; Carr and Bear, 1960; Gass and Cockbain, 1961; Pantazis, 1967; Knup and Kluyver, 1969; Weiler, 1969; Zomenis, 1972; Baroz, 1979; Eaton, 1987; Orszag-Sperber et al., 1989; Follows, 1990; Payne, 1995; Robertson et al., 1995; Hakyemez et al., 2000).

In this study, geology, geochemistry and facies properties of gypsum deposits in northern Cyprus were determined and discussed, as well as their economic potential was evaluated.

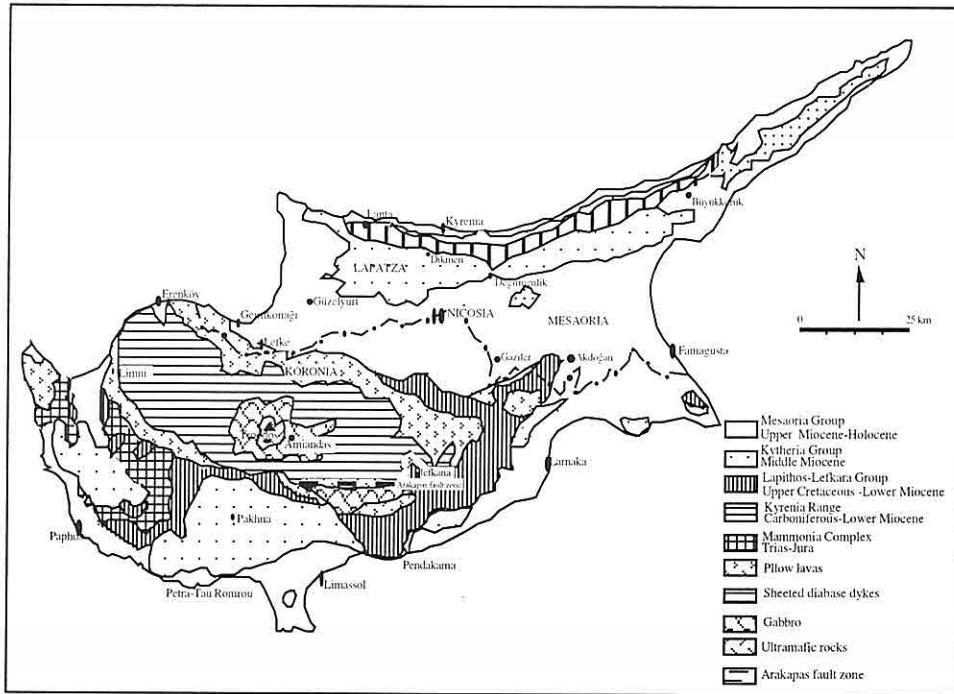
## 2. GENERAL GEOLOGY AND STRATIGRAPHY

Geologically, the Cyprus Island is composed of five different structural tectonic zones, from north to south (Figure 1): (1) Girne Mountains or Beşparmak Mountains, (2) Meseria group, (3) Trodos Massive, (4) Mamonya complex and (5) Limasal forest complex and Arakapes fault line (Ketin, 1987).

The Trodos ophiolitic massive exposing in central and southern parts of the island is composed of Triassic-upper Cretaceous mafic-ultramafic magmatic rocks (Figure 1). It is surrounded with deep-sea sediments with ages ranging from early Campanian to upper Miocene,

which change to shallow marine carbonates. The sedimentary cover surrounding the Trodos Massive is called as Lefkara Group (Pantazis, 1967), but the equivalent units in northern Cyprus were defined as the Yiğitler Group (Hakyemez et al., 2000). The rocks of the Yiğitler Group are ended with gypsum occurrences. Middle Triassic-upper Cretaceous Mamonya complex exposing west and southern parts of the Trodos Massive consists of volcano-sedimentary units (Lapièrre, 1972, 1975; Robertson and Woodcock, 1979; Swarbrick, 1980). In addition, being one of the interesting areas of the Cyprus Island, Limasal forest complex and Arakapes fault line at southern flank of the Trodos Mountains are the focus of attention of many scientists (Simonian and Gass, 1978; Murton, 1986; Varga and Moores, 1985).

The following two main regions for evaporite deposition can, tectonically and stratigraphically, be considered in northern Cyprus: (a) Sedimentary rocks at north of the Trodos ophiolite; (b) Sedimentary rocks in the vicinity of the Girne (Beşparmak) Mountains. The Dardere (Ovgos) fault zone comprises the boundary between these two regions (Figure 2). This zone with a length of 120 km extends through the whole island towards the east. The N-S compression formed by this fault zone, which was active from middle Miocene to Quaternary, resulted in a significant folding and faulting in the vicinity of the Girne Mountains and thrusting of rocks of the Tripa and Lapta Groups onto the Değirmenlik Group (Robertson et al.,



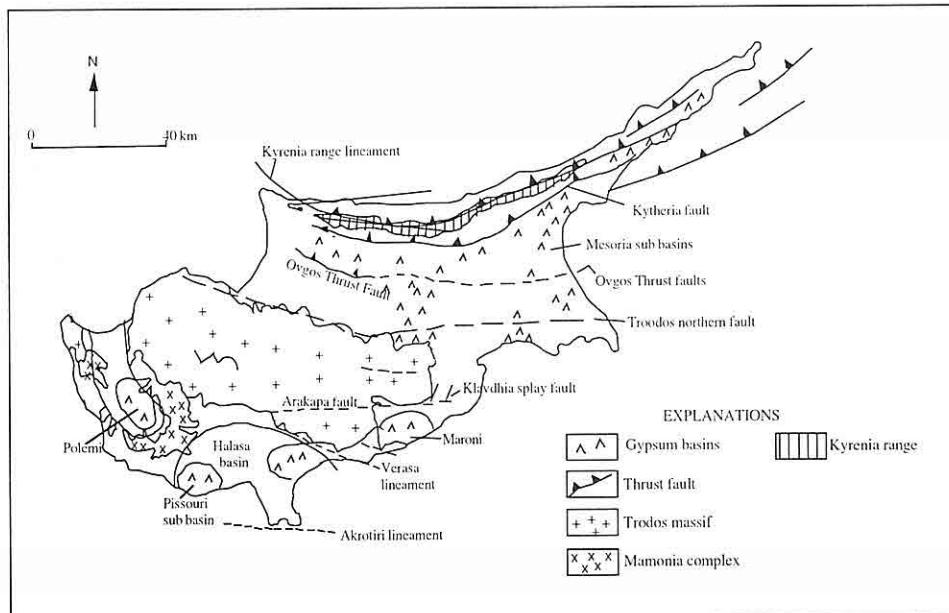
**Figure 1.** Main rock units exposing in the Cyprus Island (Ketin, 1987).

1995; Harrison et al., 2001). Evaporate deposition during the late Miocene took place in basins governed by these faults (Figure 2). This stage corresponds to cessation of tectonic activity (Robertson et al., 1995).

The beginning of Pliocene is represented with significant deposition and tectonic activity. During this period, the Trodos Massive was uplifted and marine conditions were dominated in the northern Cyprus and as a result, pelagic sediments (Maserya Group) were deposited in several basins between the Trodos Massive and Girne (Beşparmak) Mountains. Then, two main tectonic stages were developed at the end of

Pliocene. The first is NE extending left lateral strike slip faulting on the Dardere fault and the second is the uplifting of all the Cyprus Island due to its collision with the Eros Sea mount that lasted from the beginning of Pleistocene to Holocene. Cyprus has been continuously uplifted during the Pliocene and character of deposition changed from marine to shallow environments, and finally the island was completely out of water. Deformations in Quaternary were generally developed in NW direction and subordinately in N-NE directions. These activities resulted in formation of strike slip faults, which are on top of each other on the Dardere (Ovgos) fault. Thus, silty

**THE GEOLOGY AND GEOCHEMISTRY OF THE GYPSUM DEPOSITS  
IN NORTHERN CYPRUS**



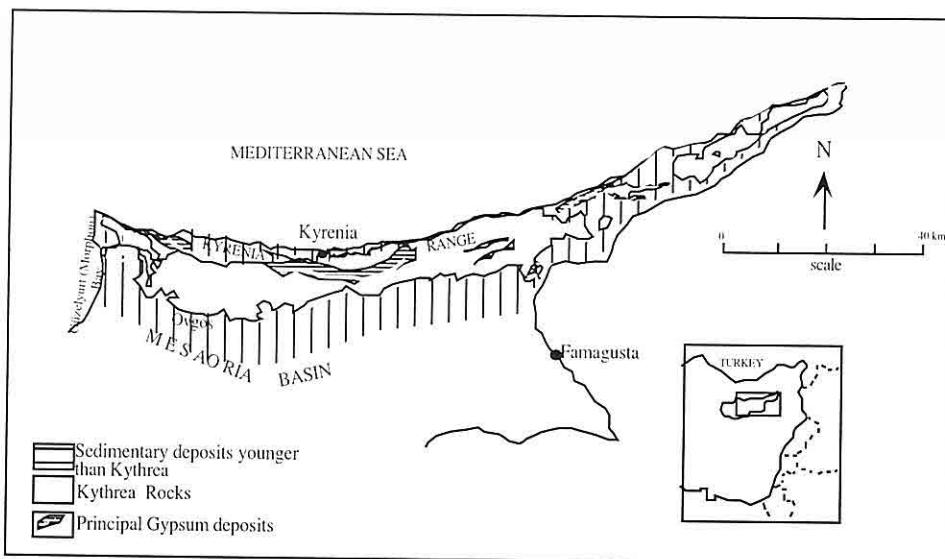
**Figure 2.** The structural elements in Messinian related with evaporite deposition in gypsum sub basins (Robertson et al., 1995).

marl deposits of Plio-Quaternary age have been leveled with lower Miocene chalk and limestones. No post-Pliocene faulting is observed in the Dardere zone (Harrison et al., 2001).

The Girne or Beşparmak Mountains in northern part of the island are mostly composed of E-W extending Tripa and Lapta Groups within the Girne Mountain Series (Figure 3). They consist of allochthonous or sub-allochthonous rocks of Jurassic-upper Cretaceous age. Upper Cretaceous-Paleocene volcanic rocks of the Lapta group are also included to the mountain series. In addition, Oligo-Miocene Değermenlik Group rocks of turbiditic character surrounding all these units also belong to this series (Henson et al., 1949; Weiler, 1969, Baroz, 1979;

Hakyemez et al., 2000). Rocks of the Değermenlik Group, that are ended with gypsum deposition, start with upper Oligocene alluvial fan deposits and continue with turbiditic clastic rocks to the top. The Yazılıtepe formation in the group comprises the base of gypsum deposition and evaporate deposits ending with the Mermertepe formation are also included to the same group. Rocks of Değermenlik (Kythrea) Group are exposed in an area of 1500 km<sup>2</sup> (Figure 3).

The Neogene units are exposed in an area between the Beşparmak (Girne) Mountains at north and the Trodos Massive at south, as well as north and southern flanks of these two belts. They are composed of 2000-m evaporate-reef limestone sequence of Oligo-Miocene to



**Figure 3.** Distribution of the Değirmenlik Group rocks and surrounding young and old units (Weiler, 1969).

Holocene age that was deposited in shallow marine and terrestrial environments. In this area, units of the Maserya group extending from Güzelyurt gulf at west to Gazimağusa at east are made of rocks deposited in shallow marine and delta environments.

### 2.1. Sedimentary Rocks at the Base of Gypsum Deposits

The Yazılıtepe formation comprises the basement of gypsum deposition within the Değirmenlik Group of the Oligocene-Miocene age. Different names were given for the formation of gypsum facies: (a) the Lapatza Gypsum Lens (Henson et al., 1949); (b) the Lapatza formation (Weiler, 1969); (c) the Lapatza Series (Baroz, 1979); and (d) the Yazılıtepe formation (Hakyemez et al., 2000). Chronologic correlation, constructed on the basis of

previous lithostratigraphic studies on the rocks of Değirmenlik Group, is given in Table 2. Stratigraphic and environmental features with fossils content of the Oligo-Miocene series of the Değirmenlik Group are shown in Figure 4.

The Yazılıtepe formation is composed of gray-brown marl, chalk, chalk-marl, manganese-bearing chalk and laminated mudstone, clayey limestone, sandstone and marls that are all deposited in a shallow environment. Chalk observed at the base of gypsum series is thin to medium bedded, light gray and dirty white colored. Thin to medium bedded clayey limestones are generally laminated and show smooth, platy surfaces. Sandstones are also thin to medium bedded, parallel and cross-laminated. The Mermertepe site and Türkeli-Akdağ hill at W and SE of the Yılmazköy village, the area between

*THE GEOLOGY AND GEOCHEMISTRY OF THE GYPSUM DEPOSITS  
IN NORTHERN CYPRUS*

**Table 2.** Lithostratigraphic correlation of the rocks from the Değirmenlik Group.

		Henson et al., (1949)	Dueloz (1968)	Knup and Kluyver (1969)	Weiler (1969)	Baroz (1979)	Hakyemez et al., (2000)
MIOCENE	Upper	Tortonian	Messinian		Lapatza Formation <<Kythrea Flysch>>	<<Lapatza Series >>	Mermertepe Gypsum For.
						Davlos (Kaplica) Formation	Yazılıtepe For. Yazılıtepe For. Yılmazköy For. Kaplıca For. Esentepe For. Kozan For. Dağyolu For.
	Late	Serravallian	Dhali Grup	LEFKONUK GROUP		Trapeza (Beşparmak) Formation	
			Lapatza Formation	Lapatza Formation		Panağra (Geçitköy) For.	Geçitköy For.
	Middle	Lang	Kythrea Formation	Kythrea Formation		Flamoudi (Mersinlik) Formation	
		Burdigal.				Klepini (Arapköy) Formation	Tirmen Formation
	Lower	Aquitianian					Klepini Formation
						Bellapais (Beylerbeyi) Formation	Bellapais Formation
OLIGOCENE	Early						Büyüktepe Formation
		Upper				Basement Conglomerate	
EOCENE		Late					

AGE	GROUP	LITHOLOGY	ENVIRONMENT	FOSILLS	
				NANNOPLANKTON	MICROPALAEONTOLOGY
Chatian	Langhian Serravallian	Tortonian	OPEN MARINE	<i>Triquetrorhabdulus rágosus</i> <i>Discoaster pentaradiatus</i> <i>Discoaster berggreni</i> <i>Discoaster brounderi</i> <i>Discoaster challengerii</i> <i>Discoaster neohamatus</i> <i>Discoaster variabilis</i> <i>Helicosphaera kampineri</i> <i>Rhabdosphaera procera</i> <i>Calcidiscus macinnyrei</i> <i>Scyphosphaera conica</i> <i>Scyphosphaera campanula</i> <i>Scyphosphaera recurvata</i> <i>Scyphosphaera amphora</i> <i>Hayaster perplexus</i>	<i>Globigerina gr. woodi</i> <i>G. nepenthes</i> <i>G. decoraperta</i> <i>G. bulloides</i> <i>Globigerinoides bollii</i> <i>Globigerinoides cf. ruber</i> <i>Globigerinoides obliquus extremus</i> <i>Globigerinoides trilobus sacculifer</i> <i>Globigerinoides mitra</i> <i>Globigerinoides bulloideus</i> <i>Orbulina suturalis</i> <i>Orbulina universa</i> <i>Globorotalia obesa</i> <i>Globorotalia cf. pseudomiocenica</i> <i>Hastigerina siphonifera</i> <i>Globigerinoides spp.</i>  <i>Globigerinanus gr. sudri</i>
	D E Ğ İ R M E N L İ K (KYTHREA)			<i>Sphenolithus heteromorphus</i> <i>Helicosphaera kampineri</i> <i>Discoaster variabilis</i> <i>Calcidiscus leptoporus</i> <i>Scyphosphaera amphora</i>	<i>Orbulina suturalis</i> <i>Globigerinoides trilobus sacculifer</i> <i>Orbulina spp.</i>  <i>Pracorbula sicana</i> <i>P. transitoria</i> <i>Globigerinoides trilobus sacculifer</i> <i>Globigerina praebulloides</i> <i>Globoquadrina dehiscens</i> <i>Globigerinoides cf. primordius</i>  <i>Turborotalia opima opima</i> <i>Globigerina venezuelana</i> <i>G.praebulloides praebulloides</i> <i>Catapsydrax dissimilis</i> <i>Globigerina spp.</i> <i>G. er. gortanii</i> <i>Nodosariidae</i>
				<i>Helicosphaera recta</i> <i>Sphenolithus distentus</i> <i>Sphenolithus ciperoensis</i> <i>Helicosphaera euphratis</i> <i>Sphenolithus moriformis</i> <i>Sphenolithus conicus</i>	<i>Turbolatia opima opima</i> <i>T. opima nana</i> <i>Globigerina gr. ciperoensis</i> <i>G. ciperoensis anguliofficinalis</i> <i>G. tripartita</i> <i>G. praebulloides</i> <i>G. venezuelana</i> <i>G. selli</i> <i>Catapsydrax dissimilis</i>
				(Lower Miocene)	

Figure 4. Stratigraphic succession of the Oligo-Miocene series in Northern Cyprus  
(from Çuhadar et al., 1997).

Çınarlı and Altınova villages 40 km NE of Lefkoşa and the Alçıtepe site in the Kalecik village 40 km NE of Gazimağusa are the best exposing sites of the Yazılıtepe formation. The Çınarlı-Altinova deposits, the largest gypsum deposit in northern Cyprus, are observed in an area known as the Altınova Syncline (Baroz, 1979). The Yazılıtepe formation, forming a thick sequence (1000 m) under the gypsum deposits in this syncline is composed of beige siltstone, brown marl, chalk-marl, limestone and chalk. Strike and dips of layers in this formation are N80°E and 28°NW, respectively. As shown from lithostratigraphic sections taken from Kıraklıtepe site 750 m N of Altınova (Figures 5,6) This formation was deposited in late Tortonian-early Messinian. In their study on stratigraphy of the Altınova area (Çuhadar et al., 1997; Figure 6), depositional environment changed from open sea to semi-closed marine conditions by the end of the Tortonian period. Gypsum deposition around the Kalecik region is found within the Kalecik syncline. In this area, the Yazılıtepe formation is composed of chalky marl, light brown marl, mudstone and chalk interlayers and beige marls with secondary gypsum crystals. Northwest part of the deposit is faulty and northwest section of syncline is eroded. The thickness of Yazılıtepe formation around Heybetep NW of the deposit site is only 30 m while it attains a thickness of up to 80-100 m in Alçıtepe at northeast. The contact between the Yazılıtepe and Mermertepe formations in the Kalecik area is in late Tortonian-early Messinian.

Stratigraphic studies in the Altınova part of the deposit reveal that depositional environment by the end of Tortonian changed from off shore to semi-closed marine conditions. Fossil content of chalk interbedded, brown marls of the Yazılıtepe formation 15 km NW of Lefkoşa also yields early Messinian age.

### 3. GYPSUM DEPOSITS IN NORTHERN CYPRUS

Gypsum deposits in northern Cyprus extend from Lefke at west to Kalembernu at east and they are formed within the Mermertepe formation. In an area extending 40 km from the Zekidogdu tepe hill at south of the Beşparmak Mountains to Akıncılar at south, there are gypsum occurrences of varying sizes. However, there is no gypsum deposit at northern section of the Beşparmak (Girne) Mountains. Most part of deposits at south is within the Masarya basin (Figure 3).

There are a number of 22 gypsum deposits are observed in the region and most of them are small occurrences (Figure 7, Table 1). Most of these deposits are exposed on the surface while the one between Demirhan and Düzova is buried. In addition, there are several gypsum deposits in the Karpas peninsula. Properties of the main Gypsum Deposits and their location (Figure 7), as well as their geological features of important gypsum deposits are summarized in Table 1.

#### 3.1. General Features of Gypsum Facies

The facts that sulfate evaporate, such as gypsum, have different deposition types and a complex depositional history

EPOCH	LITHOLOGY	LEVEL IN MEASURED	EXPLANATIONS
Early Messinian	Marly gypsum T22 Clay-mudstone T20 Chalk Marl	Marly gypsum T22 Clay-mudstone T20 Chalk Marl	<i>Orbulina universa</i> d'Orbigny; <i>Orbulina sturalis</i> Brönniman; <i>Globigerinoides obliquus obliquus</i> Bolli; <i>Globigerinoides ruber</i> (d'Orbigny); <i>Globigerinoides bulloideus</i> Crescenti; <i>Globigerinoides ruber</i> (d'Orbigny); <i>Globigerinoides obliquus obliquus</i> Bolli; <i>Orbulina universa</i> d'Orbigny; <i>Orbulina sturalis</i> Brönniman; <i>Orbulina bilobata</i> (d'Orbigny)
	Chalk with sandy layers T16 T14	Chalk with sandy layers T16 T14	<i>Globigerinoides obliquus obliquus</i> Bolli; <i>Orbulina universa</i> d'Orbigny; <i>Globigerinoides bulloideus</i> Crescenti; <i>Globigerinoides ruber</i> (d'Orbigny); <i>Globorotalia obesa</i> Bolli; <i>Hastigerina siphonifera</i> (d'Orbigny); <i>Globigerinoides obliquus extramus</i> Bolli & Bernudez; <i>Globigerinoides trilobus trilobus</i> (Reuss) <i>Globigerinoides ruber</i> (d'Orbigny); <i>Globigerinoides trilobus sacculifer</i> (Brady); <i>Globigerinoides trilobus trilobus</i> (Reuss); <i>Globigerinoides obliquus extramus</i> Bolli & Bernudez; <i>Globorotalia scitula</i> Brady; <i>Globorotalia miocenica</i> Palmer
	T13 T11	T13 T11	<i>Globigerinoides trilobus sacculifer</i> (Brady); <i>Orbulina universa</i> d'Orbigny; <i>Orbulina sturalis</i> Brönniman; <i>Globorotalia scitula</i> Brady; <i>Globorotalia plesiotumida</i> Blow & Banner; <i>Globigerinoides nephentes</i> Todd; <i>Globorotalia obesa</i> Bolli; <i>Hastigerina siphonifera</i> (d'Orbigny); <i>Orbulina bilobata</i> (d'Orbigny); <i>Globorotalia miocenica</i> Palmer; <i>Globigerinoides trilobus trilobus</i> (Reuss)
Late Tortonian	Marl T5 T1	Marl T5 T1	<i>Globigerinoides ruber</i> (d'Orbigny); <i>Globigerinoides trilobus sacculifer</i> (Brady); <i>Globigerinoides bulloideus</i> Crescenti; <i>Globorotalia obesa</i> Bolli; <i>Orbulina sturalis</i> Brönniman; <i>Globigerinoides trilobus trilobus</i> (Reuss); <i>Globigerinoides obliquus obliquus</i> Bolli; <i>Globigerinoides obliquus extramus</i> Bolli & Bernudez; <i>Globorotalia scitula</i> Brady; <i>Hastigerina siphonifera</i> (d'Orbigny); <i>Globigerinoides acostaensis</i> Blow; <i>Hastigerina siphonifera</i> (d'Orbigny); <i>Globigerinoides obliquus obliquus</i> Bolli; <i>Globorotalia scitula</i> Brady

Figure 5. Lithostratigraphic columnar section measured from the Kıractepe section at the Northeast of Altınova village (Necdet, 2002).

**THE GEOLOGY AND GEOCHEMISTRY OF THE GYPSUM DEPOSITS  
IN NORTHERN CYPRUS**

AGE	LITHOLOGY	ENVIRONMENT	FOSSILS	
			NANNOPLANKTON	MICROPALEONTOLOGY
TORTONIAN	MESSINIAN	SEMI CLOSED	<i>Amaurolithus tricorniculatus</i> <i>Amaurolithus delicetus</i> <i>Sphenolithus verensis</i> <i>Helicosphaera kampneri</i>	Ulvigerinidae Cibicidinae
D E Č I R M E N L I K	Gypsum Loose sandy layers Marl Loose sandy layers Chalk Sandy marl Marl Chalk	OPEN MARINE	<i>Amaurolithus amplificus</i> <i>Amaurolithus delicatus</i> <i>Discoaster neorectus</i> <i>Discoaster brouweri</i> <i>Helicosphaera kampneri</i>  <i>Discoaster pentaradiatus</i> <i>Helicosphaera kampneri</i> <i>Discoaster cf. calcaris</i> <i>Scyphosphaera pulcherina</i> <i>Calcidiscus leptoporus</i>	<i>Globigerina bulloides</i> <i>Globigerina ovachitensis</i> <i>ovachitanis</i> <i>Globigerina gr. praebulloides</i> <i>Globorotalia obesa</i> <i>Orbulina suturalis</i> <i>Orbulina bilobata</i> <i>Orbulina universa</i> <i>Globorotalia cf. acastaensis</i> <i>Globorotalia gr. fohsi</i> <i>Globigerina woodi</i> <i>Globigerina cf. nepenthes</i> <i>Globigerina decoraperta</i> <i>Globigerinoides bulloides</i> <i>Globigerinoides obliquus extremus</i> <i>Globigerinoides gr. trilobus</i> <i>Globigerinoides milra</i> <i>Hastigerina siphonifera</i> <i>Globigerinoides cf. ruber</i>

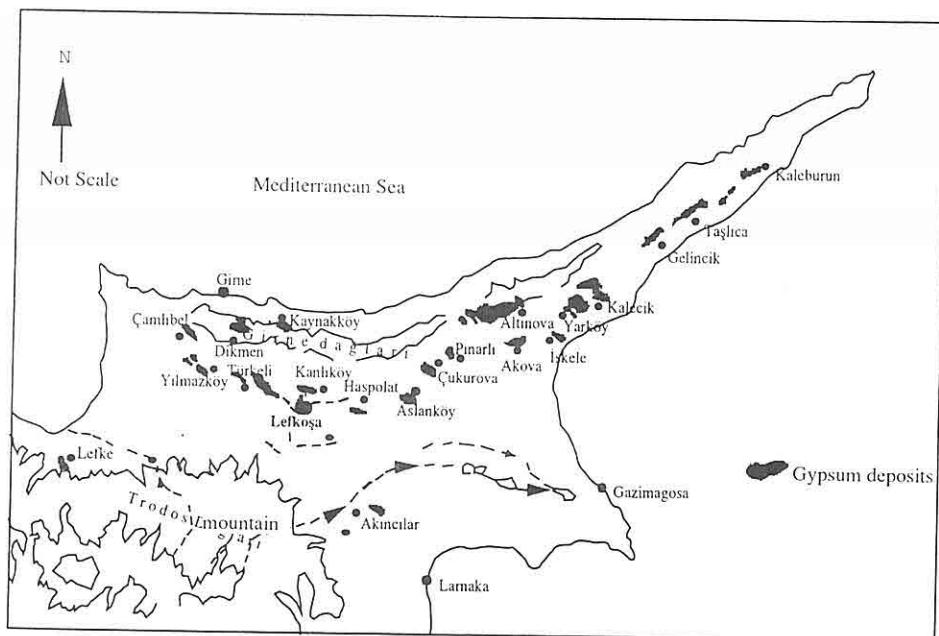
**Figure 6.** Lithostratigraphic columnar section at middle – lower part of Altınova gypsum deposit (Çuhadar et.al.,1997).

necessitates the nomenclature of facies with different morphology. The primary gypsum facies represents the gypsum precipitated from the seawater and it has not undergone any diagenetic change. Selenitic or fine-grained laminated gypsum are the best examples of this facies. Summary and main characteristics of different gypsum lithofacies are given in Table 3, as well as in Figures 8 to 13.

### 3.2.The Relation between Gypsum Facies and Depositional Environment

Selenitic gypsums that characterize the

shallow depth conditions are of primary origin and they are found in all the deposits (Hardie, 1984). Enterolithic texture encountered in crystalline laminated gypsums around the selenitic gypsums reflects that environment was in contact with atmosphere during the deposition. Swallowtail and fish backbone twinning within the selenitic gypsums are indicative of high organic material content and low pH (acidic). As the organic content increases, the amount of gypsum roses is also increased (Warren, 1999). The absence of gypsum roses in gypsum



**Figure 7.** Existing of the main gypsum deposits in Northern Cyprus area (Necdet, 2002).

deposits in northern Cyprus indicates that salty water in the environment has a moderate organic material content. The absence of discoidal gypsum crystals that are characteristic of rose-type depositional environment may show that gypsums of northern Cyprus were deposited in a limpid basin that is connected to the sea.

The absence of horizontal bedding of gypsum-arenite levels in the Altınova and Türkeli deposits may yield that the deposition was not always in a subaqueous environment, but affected from surface processes time to time. Secondary selenite filling the dissolution voids in gypsums and faceted selenitic gypsums layers clearly indicate open surface conditions. The presence of anhydrate with chicken

wire texture at the upper level of the Altınova deposit indicates deposition in a sabkha environment (Warren, 1999). Nodular and recrystallized gypsums observed in this deposit are products of early diagenesis. The presence of carbonate type sediments is an evidence of contact with atmosphere. Deposition was first started with carbonates and then changed to gypsum precipitation. These occurrences are named as gypsiferous limestone facies (Warren, 1999). Desiccation cracks on the crystalline laminated gypsums are another evidence for atmosphere contact. The presence of marl or globigerina-bearing chalk layers among the gypsum facies indicates that deposition environment was connected to

*THE GEOLOGY AND GEOCHEMISTRY OF THE GYPSUM DEPOSITS  
IN NORTHERN CYPRUS*

**Table 3.** Summary and main characteristics of lithofacies encountered in the Northern Cyprus gypsum deposits.

	Lithofacies	Colour	Minerals	Comments	References
1	Selenitic gypsum	bright, colourless, gray and even light black. Local pink or green between the crystals are due to bacterial effect	-Consisting of transparent minerals and mica plates. -Twinning, such as swallowtail and fish backbone twinning are very common. -Crystals with triangular or prismatic shapes represent shallow and brackish environments. - The length of crystals of banded selenitic gypsum subspecies changes from 1-2 cm to 10-30 cm -Selenitic gypsum crystals show a distinctive layering in vertical direction	-The most significant facies of all the Mediterranean Messinian -This facies may display both massive and layered structure. -On the basis of size of crystals, these autochthonous gypsums are described as Sabre, Grass and Skeletal gypsums (Fig. 8). -The most important feature of Selenitic gypsums is that they can freely grow from brine waters -Salty water in the environment is separated into parts with different densities and that solar energy is not sufficient for condensation of salty water at the bottom. -Twinning stands for high organic material content and low pH conditions. (Figs. 9a and 9b). -Vertical radial distribution of twin selenitic crystals in this facies of shallow and primary origin reflects a primary growth from unsaturated solution.	Sonnenfeld, (1984); Peryt (1996); Robertson et al., (1995); Eaton, (1987); Hartlieb and Eugster (1971); Neddet (2002)
2	Fine-grained-laminated gypsum	Beige, dark gray and brown -May also be in black color due to surface water alteration	- Gypsum crystals; - Selenitic gypsums in wavy, laminated gypsums yield that water level changed time to time; - In microcrystalline laminae, growing gypsum crystals and burrow and fill traces are common.	-Also named as stromatolitic gypsum, algal stromatolites or gypsumiferous stromatolites; -Reflecting sulfate deposition in photic zone; -Environment is in contact with atmosphere; -This laminate facies, which is known as Marble Facies in Cyprus and as Balatino in Italy, is found at the base of gypsum deposition; -Thickness of laminae is 1-3 mm; Deposition can be seen in both massive appearance and as layers of 2-60 cm thickness; -Wavy, foliation and cross bedding in fine-grained gypsums indicate that depth of deposition was in close association with wave action (Fig. 10). -Carbonate clastics and coarse sand particles, locally observed in the laminated gypsums, as a reworking process in the basin; -Sulfur nodules and sulfur rosettes of 2-3 cm at the base of fine crystalline laminated gypsums; -This type of occurrences, formed in anoxic environments	Warren, (1999); Eaton (1987); Blanc-Valeronne et al. (1998); Pierre et al. (1998); Marsaglia and Tribble (1999); Warren (1999); Neddet (2002)

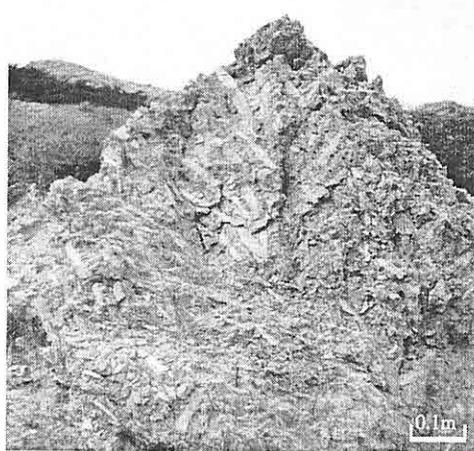
Table 3. (Cont.)

3 <b>Saccharoidal gypsum</b>	-white colour	Gypsum crystals of sugar size	- Crystals do not form large volumes and their occurrence is limited to margins of basin. - Gypsum crystals at sand size, locally occurring as coarse pebbles in massive gypsums (Fig. 11).	Needet (2002)
4 <b>Discoidal gypsum</b>	Non observed	-Discoidal or lenticular gypsum crystals	- Gypsum crystals deposited on mud flats; - These crystals are formed by dissolution and recrystallization of gypsum-arenite prisms in the vadose zone. - They could be a few mm to tens of cm in size; - This facies is not observed in northern Cyprus although it is found in south.	Warren (1999); Needet (2002)
5 <b>Alabaster secondary</b>	white to grey colours and dominated milky white colour	-Fine crystalline and marble-like gypsums of secondary origin (Fig. 13).	- They are observed in as massive and very thick levels (7-20 m) in northern Cyprus;	Needet (2002)
6 <b>Satin spar</b>	white colour	-Gypsums with a fibrous texture	- Product of a widespread dissolution; - Gypsum crystals generally fill the fractures and parallel to the bedding; - Opening of fractures may be due to tectonism and lowering of sediment load and increasing of hydrostatic pressure as well. - Satin spar veinlets occur by substitution, indicating a good hydration.	Warren (1999); Needet (2002)
7 <b>Nodular secondary gypsum</b>	white to grey colours	-Nodular and recrystallized gypsum; -Anhydrite nodules grow from center to outer part In this facies	- Product of early diagenesis; -Anhydrite laths forming in a later stage push, fold, brake and shift the previous laths; - They are formed by capillary in the upper phreatic zone under the sabkha surface as nodular, displacement or replacement character. - These inter-sediment crystal growths are formed in tidal flat or in tidal sediments; - With continuing $\text{CaSO}_4$ saturation, nodules are grown (Fig. 14) and they join to each other to form enterolithic folding and chicken wire texture	Shearman and Fuller (1969); Warren (1999); Needet (2002)

*THE GEOLOGY AND GEOCHEMISTRY OF THE GYPSUM DEPOSITS  
IN NORTHERN CYPRUS*

Table 3. (Cont.)

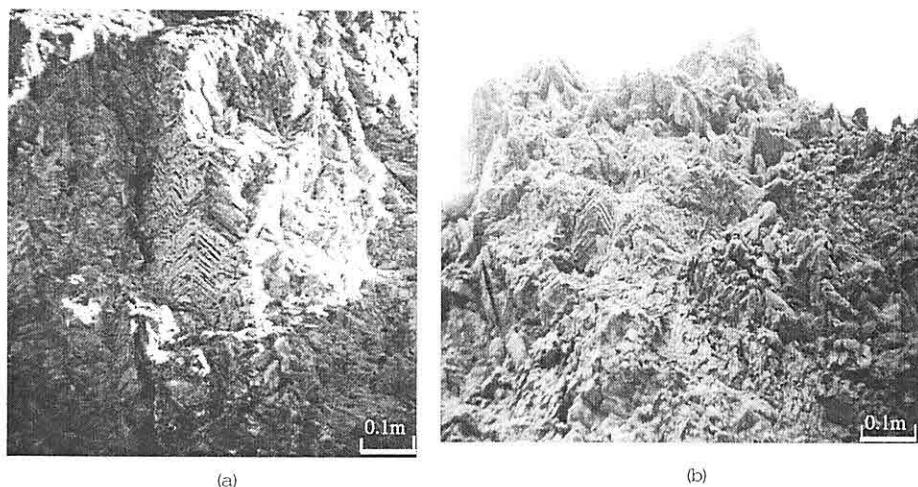
8	Gypsum debris or chaotic selenitic, selenitic gypsum and fine selenitic gypsum and fine laminated gypsums laminated gypsums	Bright, colorless and gray colour	- Selenitic gypsum and fine laminated gypsums	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gypsum facies of secondary origin, formed by redeposition of evaporitic deposits that do not complete their diagenesis process;</li> <li>- This past-diagenetic facies is indicative of tectonic activity;</li> <li>- Marl is the main composition of lithologies of selenitic gypsum and fine laminated gypsums facies while chalk and limestone in a micritic matrix are the secondary components;</li> <li>- This type of facies is observed in gypsum deposits, and has no secondary components.</li> </ul>	Robertson et al. (1995); Necdet (2002)
9	Gypsum sand	dirty white-cream colours	Amorphe formed	<ul style="list-style-type: none"> <li>- This is secondary facies, generally of well-compacted and soft character;</li> <li>- In association with epigenetic uplifting of gypsum deposit, gypsum layers altered by sulfate-bearing waters were redeposited as a pedogenetic occurrence.</li> <li>- They are observed around the Arslanköy and Pinarlı gypsum deposits.</li> </ul>	Necdet (2002)



**Figure 8.** A view from the Sabre, Grass or Skeletal Gypsum Facies in Karpaz Peninsula of Northern Cyprus (Necdet, 2002).

### 3.3. Textural Features of Gypsum

Samples collected from the Altınova, Kalecik, Türkeli, Akova, Pınarlı and Akıncılar gypsum deposits were examined with microprobe and electron microscope. Results indicate that sulfate-bearing evaporative rocks have alabaster, porphyroblastic and satinspar textures. For example, alabaster texture was determined in thin sections of gypsum samples from the Altınova deposit (Figure 14). In this texture, crystals are mostly isograngular, grain boundaries are not sharp and there is not any significant orientation. Texture is developed as a result of direct hydration of anhydrate under phreatic flow conditions with long residence time in water.

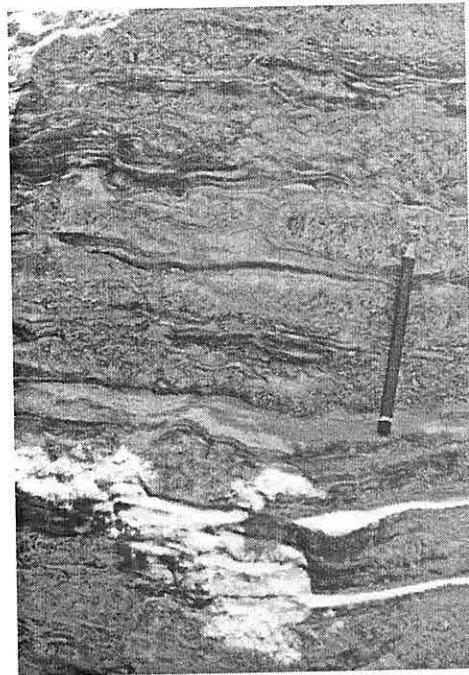


**Figure 9.** A view from "Swallow tail" and "Herringbone" twins in selenitic gypsum from Karpaz Peninsula (a: Kaynak village, b: Beyazburuntepe) (Necdet, 2002).

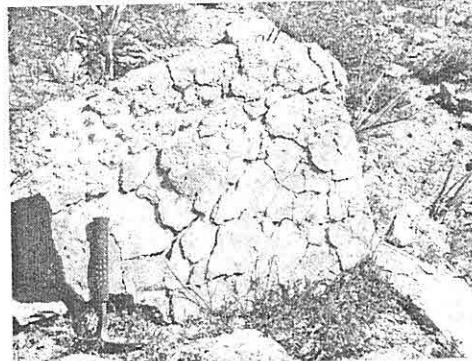
open sea and depth was relatively increased. In the Akova gypsum deposit, globigerina-bearing chalk levels are observed as interlayer.

30

In addition, it is known that gypsums with porphyroblastic texture in many gypsum deposits in northern Cyprus are formed by hydration (Holliday, 1970). In



**Figure 10.** The cross lamination and anastomozing wavy gypsum view from Haspolat gypsum deposit (Necdet, 2002).



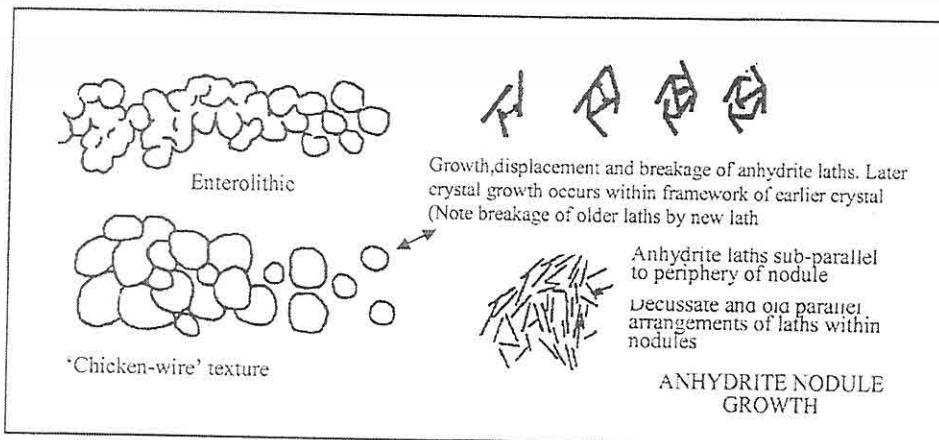
**Figure 12.** Secondary gypsum recrystallization (hexagonal shape) in alabastrin gypsum facies from Kalecik gypsum ( Necdet, 2002).



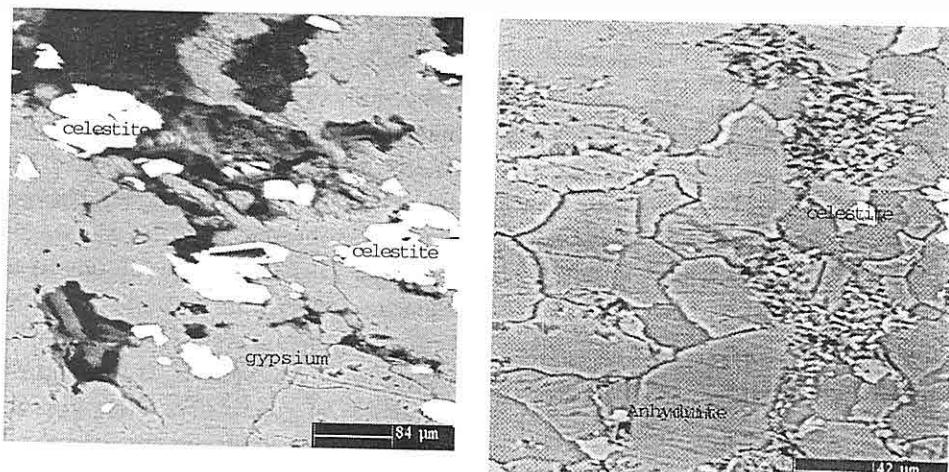
**Figure 11.** A splitted boulder from the gypsum deposit. Saccharoidal gypsum lithofacies of Taşkent gypsum (Necdet, 2002).

some sections prepared from the Altınova gypsums, pnemosaic texture was

observed. As a result of growing and colonization of anhydrate nodules, primary boundaries of nodules are deformed and concentric rings cannot suture around the core. Thus, the texture of nodules changes to porphyroblastic type, as shown by Friedman (1973). The development of pnemosaic texture in a sample from the Altınova gypsum deposit is shown in Figure 15. As shown from figure, boundaries of coarse crystalline gypsum and anhydrate crystals are quite sharp and their optical properties are easily recognized. Celestite inclusions are consistent with their extension (Figure 16). Porphyroblastic texture is observed in most of the crystals from the Türkeli gypsum deposit and coarse celestite inclusions are widely recognized (Figure 17). Similarly, long gypsum crystals with alabaster texture and calcite inclusions are observed in some of the sections prepared from the Pınarlı and Kalecik samples (Figure 18). Satinspar texture was also



**Figure 13.** The crystallization of nodular anhydrite (Warren, 1999).



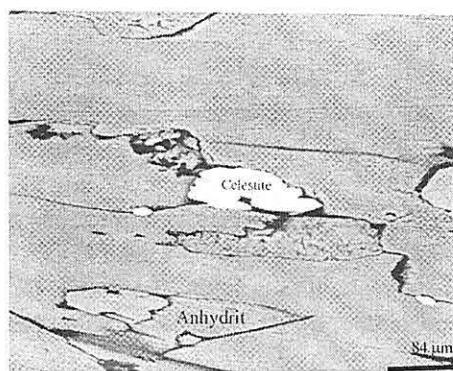
**Figure 14.** Celestite inclusions in alabastrine texture from Altınova gypsum (Necdet, 2002).

**Figure 15.** A penemosaic texture from Altınova gypsum (Necdet, 2002).

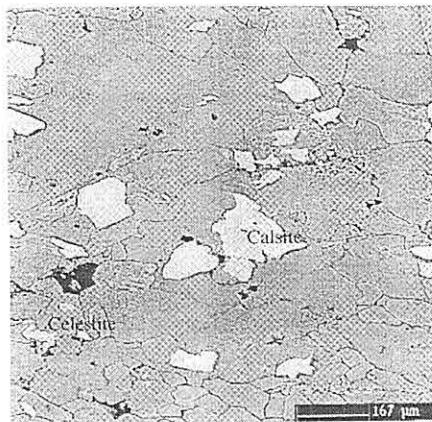
encountered in some sections from the Kalecik deposit (Figure 19). Sulfate-rich solutions (including meteoric waters) moving along the fracture and cracks have given rise to formation of this type of textures.

Fine-grained laminated gypsums taken

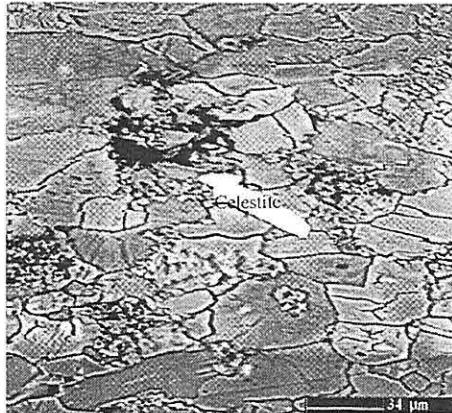
from the Akova gypsum deposit are found to contain significant amount of pore (Figure 20). Electron microscope studies reveal that 20 mm crystalline laminas are alternated with crystalline laminas of 50 mm size. Brown organic compound were observed among the weakly compacted crystals. As known, processes taking place



**Figure 16.** The significant shapes of coarse crystalline gypsum and anhydrite, well concordant together celestite inclusions (Altınova) (Necdet, 2002).

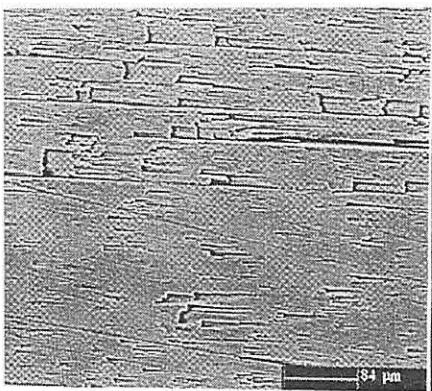


**Figure 18.** The calcite inclusions with elongated gypsum crystals in alabastrine texture from Pınarlı and Kalecik gypsum deposits (Necdet, 2002).



**Figure 17.** Porphyroblastic texture in Türkeli gypsum deposit. The celestite inclusions are significantly occurred (Necdet, 2002).

during burial and diagenesis of water-bearing evaporate minerals, such as gypsum, are more complex than those for halite type minerals. Since these water-bearing minerals loose their formation water during burial, they may also loose

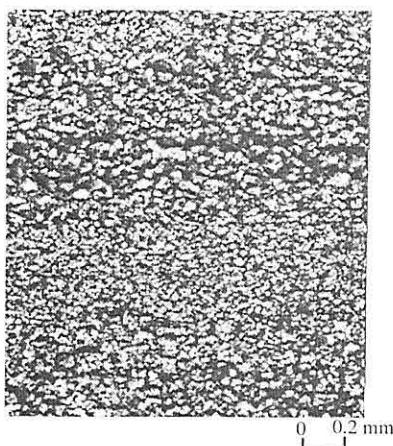


**Figure 19.** Satenspar texture from Kalecik gypsum (Necdet, 2002).

their primary texture. As a result, porous environments are developed. On the basis of microscopic data, this type of burial processes is generally limited in gypsum deposits in northern Cyprus.

#### 4. ANALYTICAL METHODS

In order to better understand the



**Figure 20.** Densely porosity in fine grained laminated gypsum of Akova gypsum deposit (Necdet, 2002).

selenitic and fine-grained laminated gypsum samples collected from the Akova deposit and some other deposits, several thin sections first were studied with polarizing microscope. Then, some of these thin sections were prepared for microprobe analyses and were also used for electron microscope study. The microprobe analyses were performed on samples from the Altınova, Çınarlı, Akova, Türkeli, Serdarlı, Kalecik, Akıncılar and Aslanköy gypsum deposits (Table 4, with SO<sub>3</sub>, CaO, SrO, BaO and PbO contents and their cation values). The wet chemical analyses of some samples were also performed (Table 5). In addition, δ<sup>34</sup>S isotope analyses were conducted on the samples collected from the same deposits (Table 6).

Quantitative electron microscope analyses (with a carbon – coated thickness: about 250 Å) were performed on a Cameca SX – 50 at the University of

California, USA. The operating conditions were 15 keV and 10 nA beam current, using a rastered beam with an approximately 2 micrometer diameter (60,000 X). The following calibration standards were used in conjunction with conventional ZAF matrix corrections to convert background subtracted intensities to concentrations: CaSO<sub>4</sub> (for S and Ca), SrSO<sub>4</sub> (for Sr), BaSO<sub>4</sub> (for Ba), and PbF (for Pb). Each analyse line (k-α for S and Ca, L-α for Sr and Ba, and M-α for Pb) and its corresponding background were measured for 10 s.

Sulfur isotope determinations are preformed on an Isoprime ®; He flow through gas ratio mass spectrometer interfaced with an automated Carlo Erba ® elemental analyser at the University of California, USA. Samples containing approximately two micromoles of sulfur were reweighed into tin capsules using a Denver Instrument microbalance. The elemental analyser combusted the samples in a stream of high purity oxygen and converted the sulfur to SO<sub>2</sub>. SO<sub>2</sub> is carried by the helium stream through a chromatography column to separate it from other gases and introduced into the isotope ratio mass spectrometer. The sample isotope ratio is determine relative to a pulse of purity reference gas injected into the mass spectrometer just prior to the arrival of the SO<sub>2</sub> pulse from the chromatography column. Isotope ratios are calibrated relative to IAEA reference materials NZ – 1 and NZ-2 and are reported in per mil (‰) notation relative to the CDT standard. The general precision of our analyses is ± 0.3‰.

*THE GEOLOGY AND GEOCHEMISTRY OF THE GYPSUM DEPOSITS  
IN NORTHERN CYPRUS*

**Table 4.** Results of microprobe analyses conducted on gypsum and celestite crystals from Northern Cyprus gypsum deposits.

	Sample	SO <sub>3</sub>	CaO	SrO	BaO	PbO	Total	S	Ca	Sr	Ba	Pb	Total
ALTINNOVA ( <sup>a</sup> ; 10)	gyp	56.16±1.11	40.97±0.53	0.08±0.05	0.030±0.019	0.07±0.05	97.30±1.40	0.989±0.005	1.031±0.014	0.001±0.001	0.000	0.000	2.022±0.009
	cel	42.85±1.55	0.70±0.17	54.53±0.87	0.50±0.11	0.08±0.09	98.65±1.89	0.997±0.009	0.023±0.005	0.981±0.030	0.013±0.015	0.001±0.001	2.007±0.018
CINARLI ( <sup>a</sup> ; 6)	cel	43.32±0.65	2.44±2.42	52.87±4.51	1.97±0.49	0.00	98.65±1.85	0.989±0.006	0.079±0.078	0.933±0.087	0.023±0.006	0.000	2.023±0.011
	gyp	55.84±1.35	40.70±0.98	0.08±0.06	0.02±0.02	0.08±0.12	96.72±1.76	0.989±0.009	1.030±0.026	0.001±0.001	0.000	0.000	2.021±0.017
AKOVA ( <sup>a</sup> ; 10)	gyp	57.23±0.78	41.07±0.42	0.09±0.03	0.01	0.05±0.06	98.46±1.07	0.994±0.003	1.0178±0.009	0.001±0.001	0.000	0.000	2.013±0.006
	cel	42.97±1.16	0.40±0.07	56.21±0.63	0.24±0.12	0.20±0.14	98.65±1.25	0.993±0.005	0.264±0.501	1.0034±0.013	0.003±0.002	0.002±0.001	2.015±0.009
TURKELİ ( <sup>a</sup> ; 4)	gyp	55.13±0.69	41.18±0.87	0.08±0.04	0.02±0.01	0.09±0.01	96.49±1.48	0.983±0.004	1.049±0.011	0.001±0.001	0.000	0.000	2.034±0.007
	cel	43.07±2.10	3.15±2.91	50.27±4.20	3.76±0.90	0.21±0.15	98.06±0.62	0.987±0.010	0.101±0.089	0.892±0.106	0.045±0.012	0.002±0.002	2.027±0.019
SERDARLI ( <sup>a</sup> ; 20)	gyp	55.43±0.86	40.98±0.63	0.06±0.04	0.03±0.02	0.06±0.05	96.55±1.33	0.980±0.004	1.041±0.010	0.001±0.001	0.000	0.000	2.028±0.007
KALECIK (upper) ( <sup>a</sup> ; 20)	gyp	53.98±0.80	39.71±0.17	0.14±0.03	0.01±0.1	0.05±0.04	93.82±0.93	0.987±0.003	1.038±0.010	0.002±0.001	0.000	0.000	2.027±0.007
KALECIK (lower) ( <sup>a</sup> ; 40)	gyp	56.078±1.48	39.89±0.73	0.06±0.05	0.02±0.02	0.08±0.08	96.01±2.05	0.996±0.005	1.011±0.014	0.001±0.001	0.000	0.000	2.008±0.010
Akinciilar ( <sup>a</sup> ; 30)	gyp	56.46±1.39	39.86±1.00	0.08±0.07	0.05±0.02	0.08±0.02	96.61±2.06	0.997±0.005	1.005±0.020	0.003±0.001	0.000	0.000	2.006±0.011
Aslanköy ( <sup>a</sup> ; 20)	gyp	55.50±1.01	39.18±0.34	0.10±0.04	0.03±0.02	0.09±0.03	94.88±1.14	0.998±0.004	1.005±0.013	0.001±0.001	0.000	0.001±0.001	2.005±0.009
		.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

<sup>a</sup>: Number of analysis; gyp: gypsum; cel: Celestine.

Gypsum and celestine standards.

	SO <sub>3</sub>	CaO	SrO	BaO	PbO	Total	S	Ca	Sr	Ba	Pb	Total
CaSO <sub>4</sub> std	57.75	41.51	0.21	0.00	0.15	99.63	0.993	1.019	0.003	0.000	0.001	2.015
Si <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> std	43.41	0.07	55.49	0.56	0.00	99.54	1.001	0.002	0.989	0.007	0.000	1.998

**Table 5.** Results of chemical analyses (%) conducted on gypsum samples from Northern Cyprus.

Sample No	SO <sub>3</sub>	MgO	CaCO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Anhydrite	Dihydrate	Crystal water	Insoluble residue
1	46.18	0.00	0.21	0.90	2.66	95.94	20.08	-
2	42.06	0.43	4.82	2.53	1.88	88.06	18.43	-
3	40.22	0.58	7.39	2.81	1.33	84.81	17.75	-
4	44.15	0.00	0.69	2.51	1.66	92.84	19.43	-
5	41.99	0.57	3.72	2.73	0.56	89.59	18.75	-
6	47.92	-	-	-	7.16	93.98	19.67	1.85
7	44.79	-	-	-	0.71	95.42	19.97	0.98
8	42.05	-	-	-	4.37	95.94	20.08	0.89
9	44.79	0.14	2.07	0.25	2.63	92.98	19.46	-
10	45.54	0.00	0.89	0.14	3.80	93.12	19.49	-
11	45.97	0.00	0.31	0.20	3.24	94.75	19.83	-
12	44.91	0.29	1.71	0.15	2.73	93.12	19.49	-
13	43.26	0.86	4.11	0.64	2.68	89.64	18.76	-
14	43.10	0.00	5.15	1.05	2.59	89.40	18.71	-

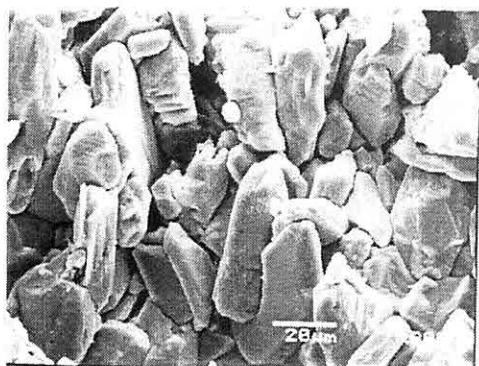
Sample No. 1 is fine grained laminated gypsum, sample Nos. 2-5 are selenitic gypsum, sample Nos. 6-9 are white recrystallized nodular gypsum, sample Nos. 10-11 are fine grained, middle to thick bedded and calcite-bearing gypsum, sample Nos. 12-14 are selenitic gypsum. (-) no analysis is available. In addition, the first 88 samples belong to Kalecik Alçıtepe and Mermertepe and sample Nos. 9-14 are from the Altınova-Çınarlı gypsum deposits. Analyses were carried out at BEM Quality Control Laboratories.

**Table 6.** The  $\delta^{34}\text{S}$  results obtained from the main gypsum deposits of Northern Cyprus (Necdet, 2002).

Name of the deposits Triolit	CDT%0	Permil	Canon	Diablo
Altinova		24,74		
Altinova near Çınarlı deposits		22,18		
Akova		22,73		
Türkeli-Akdağtepe		21,86		
Türkeli-Native sulphur		-17,13		
Serdarlı		22,50		
Kalecik (Lower part)		22,50		
Kalecik(middle part)		22,08		
Kalecik (upper part)		21,97		
Kalecik (occurrence) Selenitic gypsum		22,53		
Kalecik-fine grained laminated gypsum		22,78		
Akıncılar- fine grained laminated gypsum		22,44		
Akıncılar-fine grained massive gypsum		22,63		
Aslanköy		22,88		

## 5. MICROSCOPIC INVESTIGATIONS

Microscopic investigations indicate that fine-grained laminated gypsums of 20 and 50  $\mu\text{m}$  size form porous environments (Figure 21).

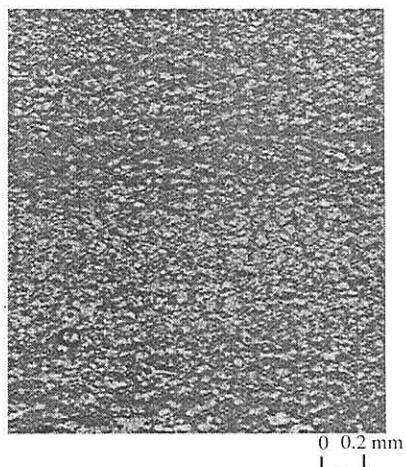


**Figure 21.** The dense porosity conditions in 20 micron and 50 micron laminate assemblages (Necdet, 2002).

It is shown that although laminas of 20  $\mu\text{m}$  have a tight texture, they are loosely compacted among the crystals of 50  $\mu\text{m}$  and there are organic materials. In these samples, porosity was determined as 42%. As known, porosity is due to the fact that gypsum crystals loose some of their water during the burial and diagenesis. It is stated that sulfate minerals show a complex structure so that they change their primary structure by loosing water and then gain a porous character (Eaton, 1987).

Samples from the globigerina-bearing chalk layers observed between 80-100 cm levels in most of the gypsum deposits in northern Cyprus are found to be extremely porous under crossed nicol and

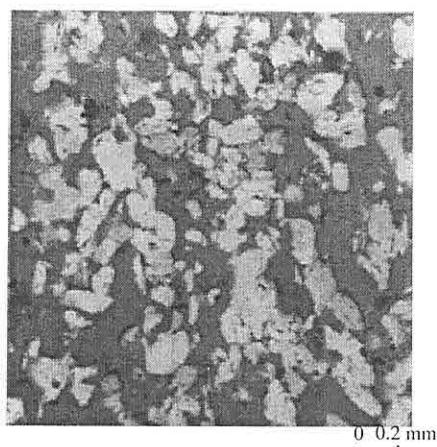
particularly, the porosity of fine grained laminated (stromatolitic) gypsums was determined as high as 46% (Figure 22).



**Figure 22.** Porosity conditions in fine grained laminated gypsum reaching the proportion of % 46 (Akova) (Necdet, 2002).

This is also evident for that fine-grained, laminated gypsums are good aquifers for groundwater. In addition, alabaster, porphyroblastic and satinspar textures were also identified. Especially in Altınova gypsum samples, textures with no distinctive crystal boundaries, optic property and orientation are frequently encountered. This type of texture is called as alabaster texture (Figure 23). It is thought that alabaster texture is formed in evaporitic environments in contact with water by hydration of anhydrite and porphyroblastic gypsums under phreatic conditions (Holiday, 1970).

In microscopic studies, celestite ( $\text{SrSO}_4$ ) inclusions were also observed. Carlson (1987) explained this



**Fig. 23.** Alabastrin texture from Altinova gypsum deposit (Necdet, 2002).

phenomenon as an environment of Sr enrichment during transformation of anhydrite ( $\text{CaSO}_4$ ) to gypsum ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Strontium together with Bicarbonate, chloride and sulfate dissolved as a result of physical, chemical and biogenic alteration of exposing rock combine with sulfate to form inclusions in the evaporate minerals. Lattice structure of anhydrite that crystallizes in orthorhombic system is suitable to hold  $\text{SrSO}_4$  while that of gypsum crystallizing in monoclinic system is not suitable for such mechanism. Therefore, since all of Sr released during transformation of anhydrite to gypsum is not captured by anhydrite, most part of it mixes with sulfate-bearing meteoric waters (Carlson, 1987; Warren, 1999).

Pnemosaic texture was determined in some of thin sections prepared from gypsum samples taken from the Altinova-Çınarlı deposit. As a result of growth and colonization of anhydrite nodules, primary boundaries of crystals are folded and thin

contoured surfaces cannot able to surround all parts of the crystal. This gives rise to transformation of nodular anhydrite to porphyroblastic anhydrite (Friedman, 1973). In some sections, coarse crystalline gypsum crystals with sharp contacts are observed in long and coarse shapes. In electron microscope studies, coarse and long celestite inclusions were also detected. Warren (1999) describes this type of texture with elongated anhydrite crystals as the gypsum ghost. Long and needle-like crystals observed in some of the sections from gypsum samples of the Kalecik deposit indicate the presence of satinspar texture. These needle-like structures are most probably formed by precipitation from the meteoric waters moving in fracture and cracks.

## 6. GEOCHEMICAL STUDIES

Chemical analyses indicate that most of sulfate minerals in gypsum deposits in northern Cyprus are gypsum ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) and anhydrite percent is between 0.56 and 7.16% (Table 4). Lower and upper limits of  $\text{SO}_3$  content in gypsums used in the cement industry were determined as 34 and 45%. Average  $\text{SO}_3$  content of northern Cyprus gypsum deposits is about 40% and then can be used as cement additive. Comparison of gypsum deposits in Turkey and northern Cyprus by means of  $\text{SO}_3$  content yields that they have similar chemical compositions (Uz et al., 2000).

Microprobe analyses (Table 5) indicate that there is a negative correlation between  $\text{SrO}$  and  $\text{CaO}$  (Figure 24). This is explained with increasing of  $\text{CaO}$  in

seawater during the evaporation and holding of strontium by calcium and thus, Sr in gypsum decreases as Ca increases. However, there is a positive relation between SO<sub>3</sub> and CaO (Figure 25). As clearly shown from Table 5, SrO values of samples from the Kalecik, Akıncılar and Aslanköy gypsum deposits are higher than those of other deposits. This may indicate that some fresh water is fluxed from the continent (Warren, 1999; Necdet, 2002).

## 7. ISOTOPE STUDIES

Use of sulfur isotope in formation of sulfate minerals is only possible with processes such as bacterial, organic and inorganic reactions. It is pointed out that S<sup>+6</sup> should be reduced to S<sup>+3</sup>. This type of reduction is very common at low temperatures (<50°C). Consequently, sulfur reducing bacteria, such as Desulfouibrio and Desulfotomaculum, are formed by reduction of sulfate and anaerobic oxidation of hydrogen and organic materials (Hoefs, 1987). Sulfur reduced by bacterial processes is distinctive with its isotopic composition lighter than -10‰ although δ<sup>34</sup>S values up to 60‰ are also observed. However, studies on sulfur isotopic composition of rocks on the earth crust reveal the following distribution (Hoefs, 1987):

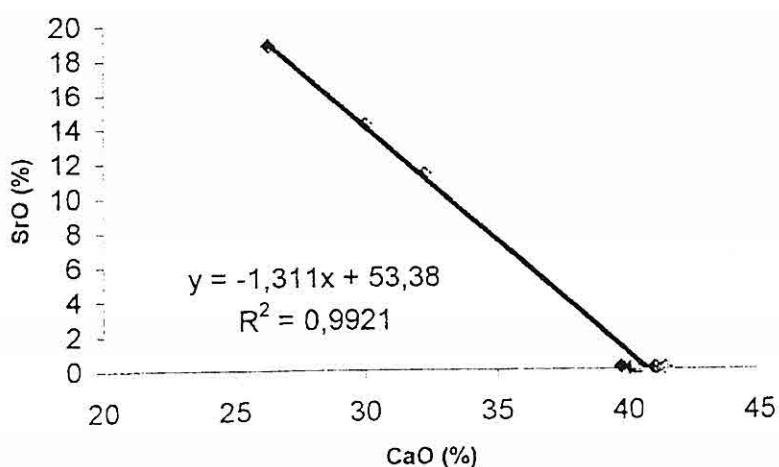
- \* If a rock has a δ<sup>34</sup>S isotopic composition of less than -10‰, it indicates that sulfur is reduced with bacterial processes;
- \* If δ<sup>34</sup>S content is 0 or very close to 0, sulfur has a magmatic origin;
- \* δ<sup>34</sup>S contents higher than +10‰ indicate that sulfur is reduced with organic

and inorganic reactions taking place in seawater (Hoefs, 1987).

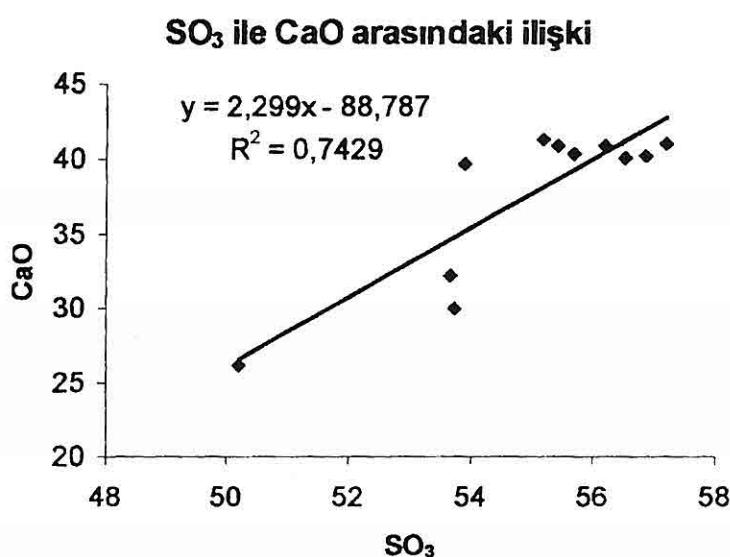
Therefore, one can consider that the positive δ<sup>34</sup>S isotope values of the gypsum deposits in northern Cyprus (Table 5) are due to sulfur reduced by inorganic or organic reactions in seawater. These values are consistent with average δ<sup>34</sup>S contents (22.7‰) of Tertiary evaporate (Warren, 1999). Negative isotope values yielded by natural sulfur nodules from the base of Türkeli gypsum deposit are probably due to sulfur reduced by bacterial activity. Evaluation of results (Table 5) yields that gypsum deposits in northern Cyprus are of marine origin. δ<sup>34</sup>S isotope contents of core samples from wells drilled in the Eastern Mediterranean in the frame of Deep Sea Drilling Project are between 19.3 and 23.5‰ (Table 6). These values are very similar to those from the gypsum deposits in northern Cyprus.

## 8. DISCUSSION

The following two main regions can, tectonically and stratigraphically, be favorable for the evaporite formation in northern Cyprus: (i) Sedimentary rocks at north of the Trodos ophiolite; (ii) Sedimentary rocks in the vicinity of the Girne (Beşparmak) Mountains. Consequently, evaporite deposition during the late Miocene took place in basins governed by the Dardere (Ovgos) fault zone comprises the boundary between these two regions (Figure 2). Indeed, the structural elements are important factors in formation and preservation of gypsum deposition in the Mesarya basin in the



**Figure 24.** The relationship between SrO - CaO content in Northern Cyprus gypsum deposits (Necdet, 2002).



**Figure 25.** The proportion of SO<sub>3</sub> by CaO content of Northern Cyprus gypsum (Necdet, 2002).

## THE GEOLOGY AND GEOCHEMISTRY OF THE GYPSUM DEPOSITS IN NORTHERN CYPRUS

northern Cyprus. Because the uplifting developed around the Mesarya basins that desiccated prior to the Messinian Salinity Crisis were acted as barriers for seawater intrusion into the basins and protected evaporite formations from erosional, divisive and terminator physical processes, which are possibly to occur during the diagenesis. Structural and paleogeographic factors, which probably gave rise to formation of evaporite deposition in late Messinian, are only detected in Cyprus but also in Syria as narrow basins (Eaton, 1987).

### 9. DEPOSITIONAL MODEL FOR THE GYPSUM FACIES

Considering the lithologies of

evaporates deposited in subaqueous environments, the depth of gypsum deposition could be estimated. Energy conditions of the environment, density layering of gypsum deposition and photic zone characteristics are important parameters in determining depth of deposition (Eaton, 1987). Depths of evaporate deposition together with physical processes and environment conditions are shown in Figure 26.

Fine crystalline laminated gypsum represents for low energy environments, where gypsum crystals transported via gravity currents can accumulate and grow. Selenitic gypsum was deposited in the photic zone of the basin (at a depth generally less than 10 m).

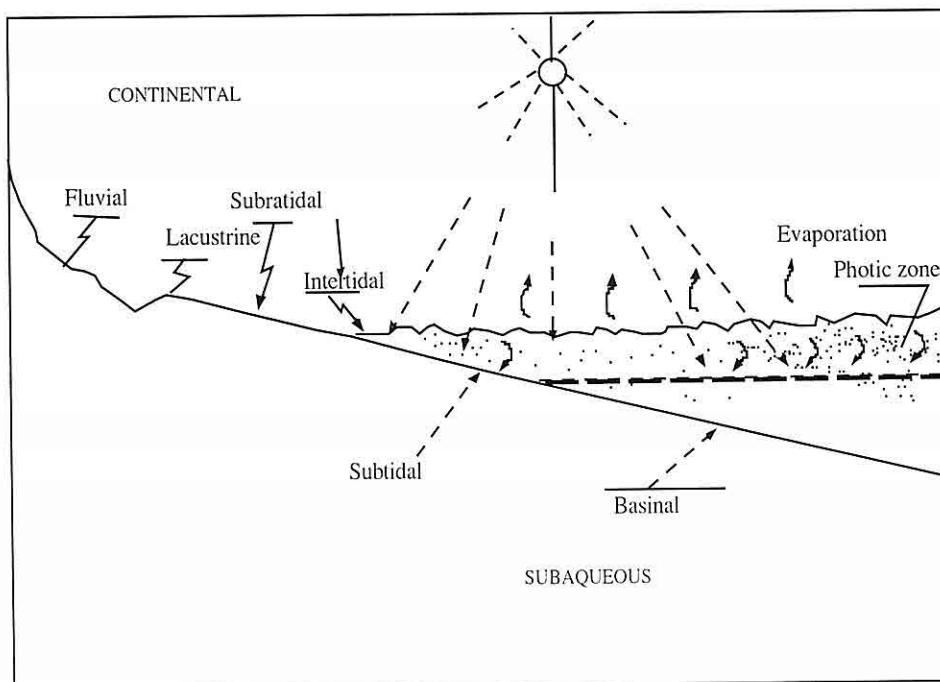


Figure 26. Physical process through evaporite deposition (From Eaton, 1987).

Gypsum crystals transported into the anaerobic salty waters were decomposed by sulfur reducing bacteria living below the photic zone and resulted in formation of sulfur nodules (Friedman, 1972; Sonnenfeld, 1984).

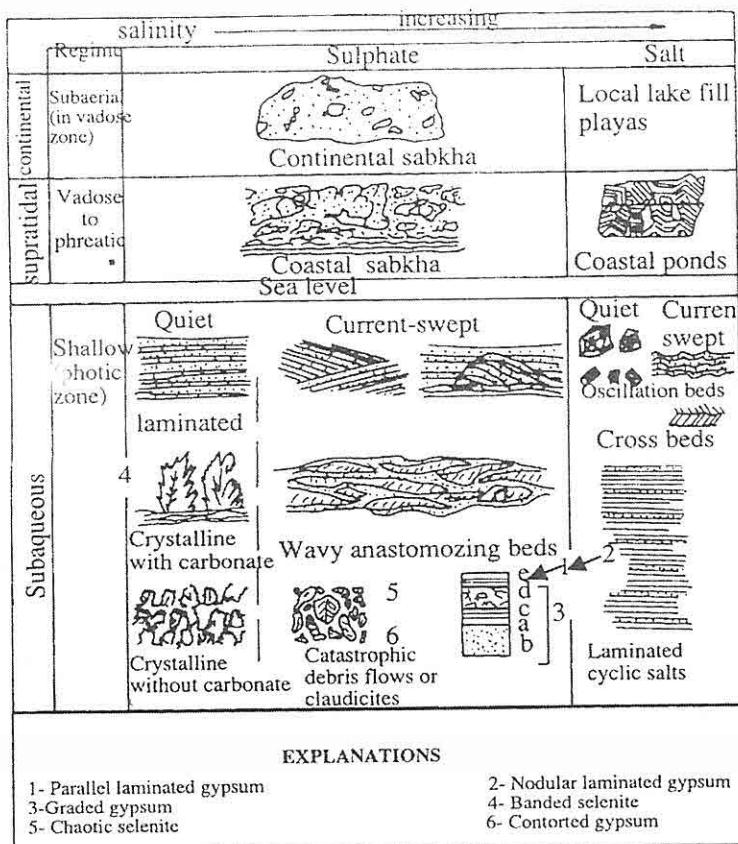
Slide-related folding observed in thin laminated gypsums is the product of relatively deep-water conditions where gravity processes are dominant. So formed laminated gypsums are rarely detected around the Mermertepe site in the Kalecik gypsum deposit. As known, vertical crystal growth on the salty basin margins results in development of needle-like gypsum crystals at the water surface and crystalline laminated gypsums at the margins. Gypsum crystals forming on shallow basin margins and broken with wave actions supply gypsum sand (gypsum-arenite) to salty lagoons (Eaton, 1987). Gypsum-arenite interlayers observed in the Türkeli and Kalecik-Şirintepe deposits are formed in this way. Water depths of evaporate deposition and facies types relevant to environmental conditions are schematically given in Figure 27.

It is known that gypsum deposition took place along a shallow barrier as a result of evaporation of seawater with a normal salinity. Holser (1979) states that evaporation ratio of seawater is 2 m/year in the Cyprus Island where semi-arid climate conditions are prevailed. On the basis of this ratio, anhydrite precipitation is 1.2 mm per year and 120 cm for 1000 years. Adaptation of this calculation to the Cyprus conditions reveals that precipitation is  $120 \times 100 / (100 - 38) = 194$

cm/1000 years, considering a 38% volume decrease in transformation from primary gypsum to secondary anhydrite. This simple calculation indicates that an evaporate layer of 2 m could be formed in every 1000 years. As known, when seawater loses 1/3 of its initial volume via evaporation, gypsum could be precipitated. This corresponds to a sea level lowering of 1.5 km for the Mediterranean Sea which was isolated during the evaporate deposition. According to Eaton (1987), in order to form for a 30-m gypsum deposit, the environment should be fed by a water column of 40.000 m. Therefore, as the lowering of sea level continued and the island is uplifted, water pressure on structural elements was decreased. This resulted in local gypsum deposition from waters flushing into the basin without complete desiccation. All these findings are evident for gypsum deposition in rugged basin conditions in Cyprus (Debenedetti, 1982). Hypothetic schematic sections for the formation of gypsum facies in Cyprus are given in Figure 28.

## **10. KARSTIFICATION AND OTHER DEFORMATIONS**

One of the main features of sulfate-bearing evaporates such as gypsum is that they are easily dissolved by interaction with meteoric or surface waters and then transform to other minerals by alteration. Gypsum or anhydrite dissolved during circulation of meteoric or surface waters may give rise to opening of spaces within the deposit. This type of porous structures observed at the surface may collapse at



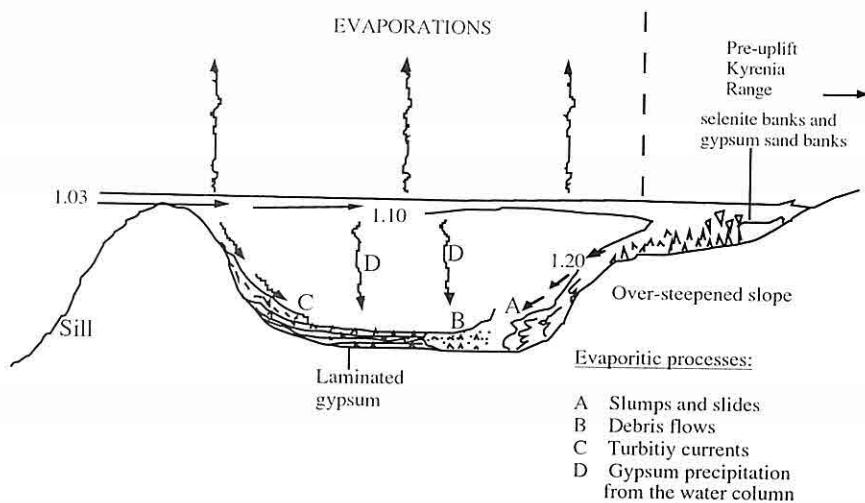
**Figure 27.** Evaporite precipitation related physical process and relation between subaqueous deposition depth and facies relations (Schreiber et al, 1976 in Eaton, 1987).

depths due to weight of overlying layers and as a result structures with larger voids are formed. Swelling or volume increase is another characteristic feature of gypsum. Gypsum is folded and shrank and form dome-like structures due to water within it and pressure applied from both sides. These dome-like structures may be 1-2 cm to 1-1.5 m in size.

## 11. CONCLUSIONS

The gypsum deposits in the Cyprus

Island are found in Upper Evaporates of the Messinian Salinity Crisis. This corresponds to evaporite deposition in basins around the Mediterranean region developed in association with tectonic processes as a result of collision between Africa and European plates. As in all the Mediterranean basins, tectonic activity prevailed in the region of Cyprus gave rise to development of secondary basins and barriers suitable for gypsum deposition. Basins of gypsum deposition in Messinian



**Figure 28.** Schematic – hypothetical model for the entire gypsum depositions of Northern Cyprus evaporite basins (Eaton, 1987 and Robertson et al., 1995).

age were formed under the control of subduction zone at south of Cyprus Island. Gypsum deposits forming on tectonically active zones are developed on the borders of plate or tectonic phases (Robertson et al., 1995).

Gypsum deposits in northern Cyprus are observed in secondary Mesarya basins extending parallel to the Girne (Beşparmak) Mountains. These deposits are found in the Yazılıtepe formation of the Değirmenlik Group, which represents a shallow deposition environment. This formation is composed of units deposited in a time interval between late Tortonian and early Messinian. It is also concordant with the Mermertepe formation of late Messinian age.

Upper Miocene uplifts developed as a result of strike slip faults around Cyprus were acted as barriers for intrusion of seawater necessary for evaporative

deposition. Regression of seawater on this hilly topography also resulted in leakage necessary for deposition. These structural lineaments were played an important role in deposition of gypsums in the basin and completion of diagenetic process.

Water depth in gypsum deposition in northern Cyprus was not more than 50 m and deposition was intense in the photic zone (10 m). Selenitic gypsums were deposited in the shallowest part while fine-grained laminated gypsums were characteristic of a deeper environment. Gypsum arenite facies is formed on the margins of basin by reworking and redoposition processes. The significant difference between allochthon and autochthon facies is due to changes in basin anatomy. This change reflects tectonic movements related to orogenic phases. As a result of these tectonic

## THE GEOLOGY AND GEOCHEMISTRY OF THE GYPSUM DEPOSITS IN NORTHERN CYPRUS

activities, deposition conditions were locally annihilated and relief areas were formed. The process was completed by transportation of eroded gypsum blocks into these subsidence sites.

Nodular gypsum (anhydrite) texture observed in the Altınova deposit indicates that deposition took place at the water level time to time and evaporates precipitated as carbonates transformed to sulfate under saline conditions. Microprobe studies conducted on gypsum and anhydrite samples reveal some strontium enrichment, which is indicative of fresh water flux from the continent.

Evaporate basins in the Mediterranean region form large deposits. In comparison to modern occurrences, these deposits are quite larger with respect to their thickness and distribution. This is due to the fact that climate conditions during deposition of these units were extremely warm and the presence of shallow and large sea bodies around the continents gave rise to rapid formation of platform carbonates and related evaporitic minerals.

Messinian Salinity Crisis in the Mediterranean region was believed to take place in a time period of 0.3-0.6 Ma. However, recent studies indicate that the time interval for the change in environmental conditions in the Mediterranean basins, such as desiccation to marine conditions, was at least 0.5 Ma and the transition in the basins took place in less than 10 ka (Rouchy and Saint-Martin, 1992; Krijgsman et al., 1999). One of the modern evaporitic basins resembling the Mediterranean Messinian

is shown in the Gulf of Karabogaz. In addition, selenite growth and gravity-based transportation processes are also observed in brine lakes of Peru (Eaton, 1987). Miocene deposits in Red Sea, Jurassic evaporites in the Gulf of Mexico, Permian Delaware basin (Texas) and Permian Zechstein basin (Germany) are some of regions with tectonic and environmental conditions similar to those in Messinian Salinity Crisis in the Mediterranean region (Hoefs, 1987). Evaporitic processes in these basins are largely consistent with upper Miocene evaporitic deposits in the Mediterranean basins.

### 11. ACKNOWLEDGMENTS

The authors wish to express their appreciations to Dr. Peter Schiffman and Dr. Robert Zierenberg, University of California, USA for performing our microprobe and sulfur isotope analyses, respectively. They especially thank Dr. Mehmet F. Taner for improving by carefully editing our manuscript. Constructive comments provided by EGM editor, Dr. Jeremy Richards, are also appreciated. They are also indebted to Dr. Ozen Kilic and Dr. Nil Yapici, of the Mining Engineering of Cukurova University, for reading the paper in draft and helpful suggestions. They thank Cukurova University Scientific Research Projects Directorate for supporting this study (project no. FBE 1988 D22).

### 12. REFERENCES

Baroz, F., 1979. *Étude géologique dans*

- le Pentadaktylos et la Mesoria (Chypre Septentrionale). Thèse de Doctorat d'Etat (Vols.1-2). Université de Nancy.* 434, 365 pages. (unpublish).
- Bear, 1963. Geological Map of Cyprus, scale 1/250 000. Geological survey department of cyprus*
- Bellamy, C.V., 1900. A description of the Salt Lake of Lamaca. Quart. Journ. Geol. Soc. (56), 745 - 758 and Phil. Magaz. L. 352 - 356.*
- Bellamy, C.V., and Jukes-Brown, A.J., 1905. The Geology of Cyprus. William Brendon and Son Ltd., Printers, Plymouth, 72 pages.*
- Blanc-Vallorene, M.M., Rouch, J.-M., Pierre, C., Badaut-Trauth, D. and Schuler, M., 1998. Evidence of Messinian Nonmarine Deposition at site 968 (Cyprus Lower Slope) [Eds: Robertson, A.H.F., Emeis, K.-C., Richter, C. and Camerlenghi, A.J. .Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results.160, 437 – 446.*
- Carr, J.M and Bear, L.M, 1960. The Geology and Mineral Resources of the Peristerona-Lagoudhera area. Geol.Surv.Dept.Cyprus. 2:79.*
- Carlston, H. E., 1987. Celestite replacements evaporites in the Salina Group. Sediment. Geol., 54:93-112.*
- Constantinou, G., 1995. Geological map of Cyprus; Scale, 1: 250000, Geological Survey Department of Cyprus.*
- Çuhadar, Ö., Akça, N., Teymur, S., İlcez, İ.H., Alaygut, D., 1997. KKTC, Besparmak Dağları Kuzeyindeki Miyosen yaşılı birimlerin stratigrafisi, petrografisi ve jeokimyasal değerlendirmesi. TPAO Arama ve Araştırma Merkezi Grubu Başkanlıklar, Ankara. 36 s.*
- Debenedetit, A., 1982. The problem of the origin of the Salt Deposits in the Mediterranean and of their relations to the other salt occurrences in the Neogene of the contiguous regions. Marine Geology.49: 91 – 114.*
- Ducloz, C., 1972, The geology of the Bellapais-Kythrea area of the central Kyrenia range. Cyprus Geological Survey Bulletin, 6:75.*
- Eaton, S., 1987. The sedimentology of Mid to Late Miocene carbonates and evaporites in Southern Cyprus. PhD thesis (unpublished) , University of Edinburgh, 240 p.*
- Follows, E.J., 1990. Sedimentology and tectonic setting of Miocene reef and related sediments in Cyprus, Ph.D. thesis, Edinburgh University, 384 pp.*
- Follows, E.J and Robertson, A, H, F., 1991. The role of the local tectonics versus global sea level change in the Neogene evalution of the Cyprus active margin. Spec. Publs. Int. Ass. Sediment, 12:331-369.*
- Friedman, G.M, 1972. Significance of Red Sea in problem of evapotites and basinal limestone. Am Assoc.Petroleum Geologists Bull., 56:1072-1086 .*
- Friedman, G.M, 1973. Petrographic data and comments on the depositional environment of the Miocene sulfates and dolomites at sites 124,132 and 134, Western Mediterranean Sea, (W.B.F.Ryan and K.J. Hsü et al. initial Reports of the Deep Sea Drilling Project).13: 695 – 708.*
- Gass, I.G, 1960. The geology and*

*THE GEOLOGY AND GEOCHEMISTRY OF THE GYPSUM DEPOSITS  
IN NORTHERN CYPRUS*

- mineral resources of the Dhali area. Mem. Geological survey department of Cyprus. Gass, I.G. and Cockbain, A.E., 1961.
- Notes on the occurrence of Gypsum in Cyprus. Overseas Geology and Mineral Resources, 8: 279-287,
- Gvirtzman, G and Buchbinder, B., 1977. The desiccation events in the Eastern Mediterranean during Messinian times as compared with other Miocene desiccation events in Basins around the Mediterranean. (B.Biju-Duval and L.Montadert, editors). In International Symposium on the Structural History of the Mediterranean Basins, Split-Yugoslavia., Editions Technip, pp 411-420.
- Hakyemez, Y., Turhan, N., Sönmez, İ., Sümengen, M., 2000. Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'ni Jeolojisi. MTA. Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara, 44s.
- Hardie, L.A., 1984. Evaporites: marine or nonmarine ?. American Journal of Science, 284; 193-240.
- Hardie, L.A., and Eugster, H.P., 1971. The depositional environment of Marine Evaporites: A case for shallow, clastic accumulation. Sedimentology, 16, 187-220p.
- Harrison, R.W., Newell, W., Bathanlı, H., Panayides, I., Toroslu, A., Tsolakis, E., Necdet, M and Mcgeehin, J.P., 2001. Tectonic framework and Late Cenozoic tectonic history of the Northern of Cyprus (United States Geological Survey Cyprus report) Unpublished, 49 pp.
- Henson, F.R.S., Brownene, R., McGinty, J., 1949. A synopsis of the stratigraphy and geological history of Cyprus. Quart. Journ. Geol. Soc. London, 105 p.
- Hoefs, J., 1987. Stable isotope geochemistry (Third edit.), Springer Verlag, 241 p.
- Holliday, D.W., 1970. The petrology of secondary gypsum rocks; A review: J.Sediment.Petrology, 40:734 – 744.
- Holser, W.T., 1979. Mineralogy of evaporites (R.G.BURNS editor). In "Marine Mineral;" Minerolog.Soc.America Short Course Notes, 6:211-294.
- Ketin, İ., 1987. Anahatanya Kıbris'in jeolojisi ve Güney Anadolu ile bağlantısı outlines of the geology of Cyprus and its comparison with the Southern Anatolia. Yerbilimleri, 14: 207- 229.
- Knup, P.E. and Kluyver, H.M., 1969. Geological map of the Central Kyrenia Range, 1/25.000, to accompany the Cyprus Geol. Surv.Dept., Nicosia. Mem9 (Unpubl.).
- Krijgsman, W., Hilgen, F.J., Raffi, I., Sierra, F.J. and Wilson, D.S., 1999. Chronology, causes and progression of the Messinian salinity crisis. Nature, 400: 652-655.
- Lapierre, H., 1972-1975. Les formations sedimentaires et Eruptives des Nappes de Mamonia et leurs Relations avec le massif de Troodos (Chypre occidentale). Mem. Soc. Geol.Fr., 123:132.
- Marsaglia, K.M. and Tribble J.S., 1999. Petrography and Mineralogy of the Uppermost Messinian Section and the Pliocene / Miocene boundary at Site 975. Western Mediterranean Sea (R.ZAHN,M.C.COMAS and A. KLAUS

- editors). In: Proc. ODP Sci. Results, College Station, TX (Ocean Drilling Program), 161:3-20.*
- Moore, T.A., 1960. The geology and mineral resources of the Astromeritis - Kormakiti Area. Mem. Geol. Surv. Cyprus. No: 6.*
- Murton, B.J., 1986. Anomalous Oceanic Lithosphere formed in a Leaky Transform Fault :Evidence from the Western Limassol Forest Complex, Cyprus. J. Geol. Soc. London, 143 :845-854.*
- Necdet M, 2002. Kuzey Kıbrıs Jips Yatakları, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 329 s (unpublished).*
- Orszag-Sperber, F., Rouchy, J.-M and ELLION, P., 1989. The sedimentary expression of regional tectonic events during the Miocene-Pliocene transition in the Southern Cyprus Basins. Geol. Mag., 126:291-299.*
- Pantazis, T.M, 1967. The geology and mineral resources of the Pharmakas Kalavasos Area: Mem Geol. Surv. Dept. Cyprus, 8:1 - 190.*
- Payne, A.S., 1995. Neogene tectonic and sedimentary evolution of the Polis Graben System, West Cyprus, Ph.D. thesis, University of Edinburgh.*
- Peryt, T.M., 1996. Sedimentology of Badenian (Middle Miocene) Gypsum in Eastern Galicia, Podolia and Bukovina (West Ukraine). Sedimentology, 43:571-588.*
- Pierre, C., Rouchy, J.-M. and Blanc-Valleron, M.-M., 1998. Sedimentological and Stable Isotope Changes at the Messinian-Pliocene boundary in the Eastern Mediterranean( A.H.F.Robertson, K.Emeis, C.richter, and A.Camerlenghi editors). In: Proc. ODP, Sci. Results, 160, College Station, TX (Ocean Drilling Program), 3-8.*
- Robertson, A.H.F., Eaton, S., Follows, E.J., and Mc Callum J.E., 1991. The role of local tectonics versus global sea - level change in the Neogene evolution of the Cyprus active margin. Spec. Publs. Int. Ass. Sediment., 12:331-369.*
- Robertson, A.H.F., Eaton, S., Follows, E.J. and Payne, A.S., 1995. Depositional processes and basin analysis of Messinian evaporites in Cyprus, Terra Nova, 7:233-253.*
- Robertson,, A.H.F., and Woodcock, N.H., 1979. Mamonia complex Southwest Cyprus: Evolution and emplacement of a Mesozoic continental margin. Bull. Geol. Soc. America,Boulder. 90: 651-665.*
- Rouchy, J.M and Saint Martin, J.P., 1992. Late Miocene events in the Mediterranean as recorded by carbonate-evaporite relations. Geology, 20: 629-632.*
- Shearman, D.J. and Fuller, J.G., 1969. Anhydrite diagenesis, calcitization and organic laminites, Winnipegosis Formation, Middle Devonian, Saskatchewan. Bull. Can. Pet. Geol., 17: 496-525.*
- Simonian, K.A. and Gass, I.G., 1978. Arakapas Fault Belt, Cyprus:A Fossil Transform Belt. Geol. Soc. Am. Bull., 89: 1220-1230.*
- Sonnenfeld, P., 1984. Brines and evaporites. Academic Press.Newyork, NY, 631 pages.*
- Swarbrick,R.E.,1980. The Mamonia*

*THE GEOLOGY AND GEOCHEMISTRY OF THE GYPSUM DEPOSITS  
IN NORTHERN CYPRUS*

- Complex of S.W.Cyprus:A Mesozoic Continental Margin, and its Relationship with the Troodos Complex (A.PANAYIOTOU editor). In: Ophiolites Proc.Int. Ophiolite Symp., Nicosia,pp.86-92.*
- Uz, B., Eren, R.H., Yavuz, O., Özdamar, S.,Esenli, F.and Manav, H., 2000. Karabük – Ovacık Havzası (Kuzey Anadolu) alçıtaşı oluşumunun jeolojik ve teknolojik incelenmesi ve Türkiye genelinde karşılaştırılması. III.Uluslararası Kongresi Bildiriler, Ankara, 191-207.*
- Vail, P.R., Hardenbol, J. and TODD, R.G., 1984. Jurassic unconformities, chronostratigraphy and sea-level changes from seismic stratigraphy and biostratigraphy (J.S. SCHLEE editör). In "Interregional Unconformities and Hydrocarbon Accumulation". Mem, AmAssoc. Petrol.Geol., 36:I29 - 144.*
- Varga, R.J. and Moores, E.M., 1985. Spreading Structure of the Troodos Ophiolite,Cyprus.Geology, 13:846-850.*
- Warren, J., 1999. Evaporites, their evolution and economics. Blackwell Science. 438 pages.*
- Weiler, Y. 1969 . The Miocene Kythrea flysch basin in Cyprus. Giornale di Geologia (2 ) XXXV,fasc. IV.*
- Zomenis, S.L., 1972. Stratigraphy and Hydrogeology of the Neogene Rocks in the Northern Foothills of the Troodos Massif. Bull. Geol. Surv. Dept., Cyprus, 5:22-90.*



## GİRİT YAYININ SİSMOLOJİK VE BOUGUER GRAVİTE ANOMALİSİ VERİLERİNE GÖRE YORUMLANMASI

Tolga GÖNENÇ, Mustafa AKGÜN, Mustafa ERGÜN

D.E.Ü. Jeofizik Mühendisliği Bölümü, İzmir/Türkiye

**ÖZET:** Doğu Akdeniz Bölgesi'nin neotektoniğini, Afrika Plakası, Arap Plakası ve Avrasya Plakasının göreceli hareketleri denetlemektedir. Bölge, Anadolu Plakasının Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFS) boyunca batıya kaçması ve bu plakanın Yunan Kesme Zonunun etkisi ile Güney- Batı yönlü hareketi ile şekillenmektedir. Girit ada yayı ve buradaki dalma-batma zonu plaka hareketlerinin etkileşim mekanizması ile sürecini günümüzde halen devam ettirmektedir. Dolayısıyla günümüzde devam eden tektonizma özelliklerini ortaya koymak ve bölgeye genel bir tektonik model oluşturmak için 23-28 boyamları / 33-38 enlemleri ile sınırlılmış çalışma alanında sismoloji ve gravite verileri irdelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda, sismolojik veriler USGS'ten, gravite verileri ise 1971-74 Shakleton çalışmalarından sağlanmıştır.

Sismolojik çalışmalarında, USGS' ten 1973-2004 (32Yıllık) yıllarına ait tüm sismolojik ham veri seti elde edilmiştir. Bu veriler Mag 3 şeklinde 6579 adet deprem verisi olarak sınıflandırılmıştır. Daha sonra depremler yıllara, büyüklüklerle, derinliklere göre istatistiksel olarak incelenmiştir. Elde edilen bulgular ile Girit adası ve çevresi sismolojik açıdan değerlendirilmiştir. Bölgede baskın olarak, %95.3 oranında büyütüğü 3-5 arasında, %85.9 oranla da derinliği 0-60 km arasında depremler mevcuttur. Orta derinlikteki depremler (60-200 km) özellikle 24-26 boyamları ile 38-36 enlemleri arasında kalan alanda gözlenmiştir. En derin deprem verisi 180-190 km civarında saptanmıştır. Girit yayının batı ve doğu kanatlarında (23-24 / 26-28 boyamları) ise derinliğin bu kadar fazlalaşmadığı, ortalama 100 km civarında kaldığı görülmektedir. Dolayısıyla bu sonucu desteklemek beraberinde ana dalının modelini ortaya koymak için çok yoğun depremlerin gözlediği 0-50 km odak derinliklerine ait depremler elimine edilerek 60-200 km arası odak derinlikli depremler 3 boyutlu olarak modellenmiş ve dalının fiziksel ana görüntüsü ortaya konmuştur. Bir diğer uygulamada, dalıyla ilgili ana mekanizmayı ortaya koymak amacıyla yapılan derinlik kesitinde de dalının 180 km' ye kadar devam ettiği, 100 km civarında büükmenin olduğu, dalın eğiminin, dalın ilk kısmında ortalama 30° ikinci kısmında ise max 40°-43° arasında olduğu sonucu ortaya çıkmıştır.

Bu veriler ışığında çalışmanın ikinci kısmında bölgeye ait 10 km örnekleme aralığına sahip Bouguer Gravite Anomali verileri elde edilmiştir. Sonraki aşamada bölgenin batimetrik ve tektonik bilgilerini kullanarak winGlink modelleme programında modelleme uygulaması yapılmıştır. Modellerin sismolojik bulgular ile uyumlu olduğu görülmüştür.

## INTERPRETATION OF THE CRETAN ARC WITH SEISMOLOGICAL AND GRAVITY DATA

**ABSTRACT:** Neotectonics of the Eastern Mediterranean is still active and the motion of the African Plate, Arabian Plate and the Eurasian Plate controls it. Therefore, to create the subduction model of the Cretan Arc, Seismological data (USGS) and gravity data (from 1971-74 Shackleton Cruise) of the region, which is defined by the 23-28 longitudes and 33-38 latitudes were collected.

In the seismological studies, 6579 pure records were classified as magnitude 3. After this application, all records were investigated to depth, years and magnitude with statistical methods to specify the seismological characteristic of the Cretan Arc. According to distribution of data which were classified as magnitude 3, region was characterized by the magnitude between 3 and 5 (%95.3 of the all data) and depth between 0 and 60km (%85.9 of the all data).

In the second step, gravity anomaly data, which is supported by the bathymetric and tectonic knowledge, were interpreted to compare the gravity models with seismological results the main aim of this study.

Finally, the characteristics of the region were described with seismological and gravity data the seismological models and the gravity models were supported each other.

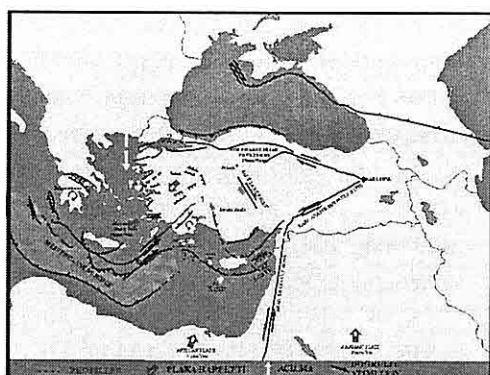
### 1. SİSMOTEKTONİK VE DEFORMASYON

Doğu Akdeniz'in neotektoniği, Avrasya, Arap, Afrika plakaları, mikro plakalar ve blokların kontrolü altındadır (Şekil 1). Çok küçük bir alanda çarışma, dalma-bindirme, yay gerisi açılma, çek-ayır zonları gibi bir çok tektonik olay gözlemlenmektedir. Arap plakası yılda ortalama 18mm, Afrika plakası ise yılda ortalama 8mm Avrasya'ya doğru hareket etmektedir (Reilinger vd., 1997; Mc Clusky vd., 2000.). İki plaka arasındaki hız farkı Ölüdeniz transform fay zonu boyunca temel doğrultu atımının nedenini oluşturmaktadır. Bu etki Anadolu-Ege plakasının Zagros bölgelerinden doğuya ve

KAF (Kuzey Anadolu Fayı) zonu boyunca batıya doğru kaçmasına neden olmaktadır. Anadolu- Ege bölgesindeki plaka hareketlerindeki zenginlik, KAF'tan kuzeye ve Kafkas birleşme noktası arası ile Doğu Anadolu Fay (DAFH) zonundan güneye doğru olan kısım, GPS verileri ile açılığa kavuşturulmuştur (Reilinger vd., 1997; Mc Clusky vd., 2000.).

Anadolu levhacığındaki tektonik hareketler, KAF 24mm/yıl, DAFH (Doğu Anadolu Fay Hattı) 9mm/yıl olarak tespit edilmiştir (Mc Clusky vd., 2000). Bunun tersine Ege-Mora plakası Avrasya plakasına göre güneybatıya doğru 30mm/yıl (Mc Clusky vd., 2000) deformasyonla tanımlanmıştır. Mora

*GİRİT YAYININ SİSMOLOJİK VE BOUGUER GRAVİTE ANOMALİSİ VERİLERİNE GÖRE YORUMLANMASI*



**Şekil 1.** Doğu Akdeniz Genel Tektoniği  
(Gönenç, T., Ergün, M., 2006).

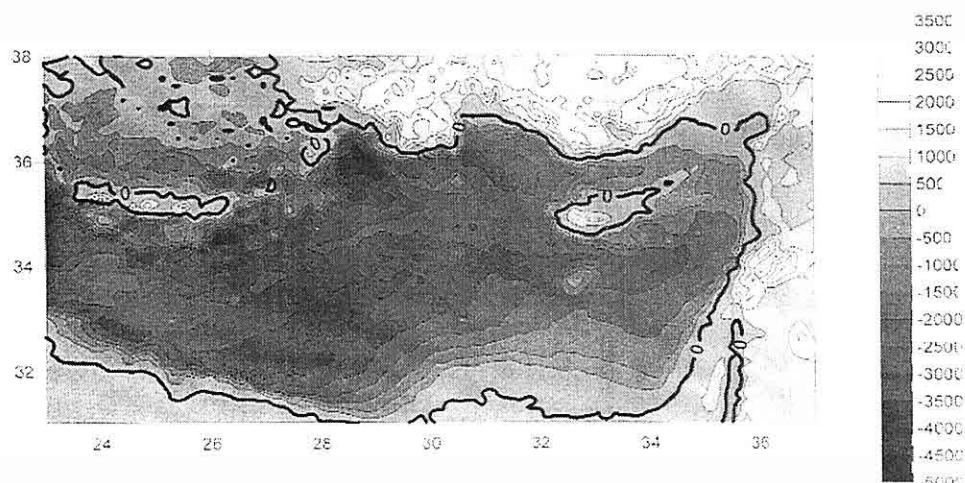
plakası saat yönünde bir hareket gösterirken buradaki deformasyon, kuzey güney yönlü gerilme zonu etkisi altındadır (Mc Clusky vd., 2000). Dikkate alınması gereken bölge GD Ege-GB Türkiye-Rodos bölgesidir. Bu bölge saat yönünün tersine dönerek Girit ada yayına doğru hareket eder.

Isparta açısal zonu bu bölgede Ege, Anadolu ve Afrika plakalarının kesiştiği noktada bulunmaktadır (Şekil 1).

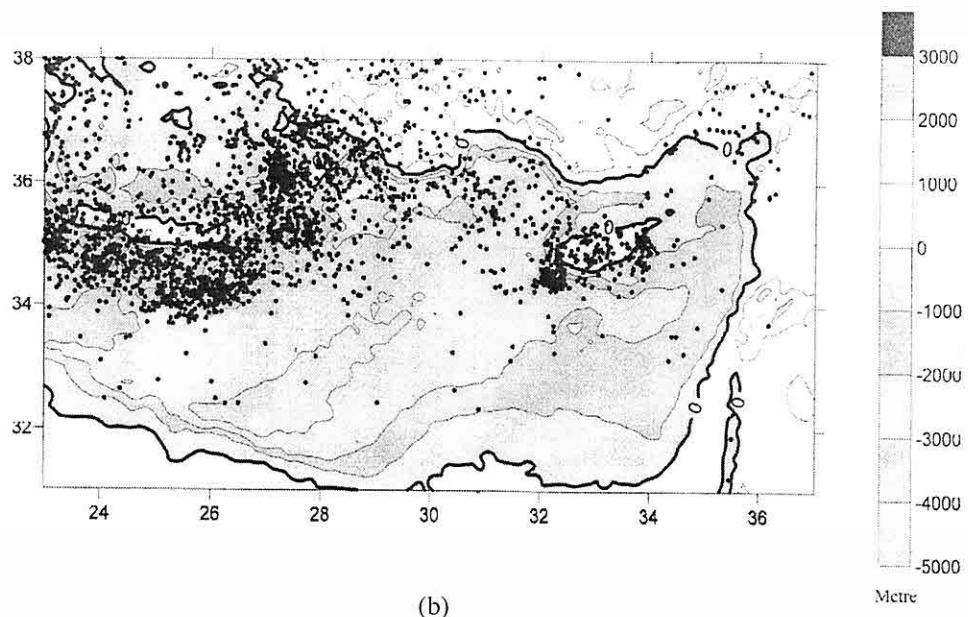
Bu bölge GPS verilerine dayanarak Avrasya'ya göre yılda 10 mm hareket etmektedir (Barka ve Reilinger, 1997; Mc Clusky vd., 2000).

Doğu Akdeniz'de Akdeniz ve Ege Denizi birbirinden ayıran "Girit ada yayı" son derece değişken kotlu taban topografiyasına sahiptir. Faylanma sonucunda oluşmuş sırt ve çukur alanlar birbirini takip etmektedir. Girit ada yayının güney kesiminde Akdenizin en derin yerlerini oluşturan HELEN, PLINY, ve STRABO adlı üç hendek uzanmaktadır. Bu hendeklerin derinlikleri yaklaşık 3500 metreyi bulmaktadır. Rodos adasının doğusundaki hendekte ise derinlik 4000 metreyi aşmaktadır (Şekil 2).

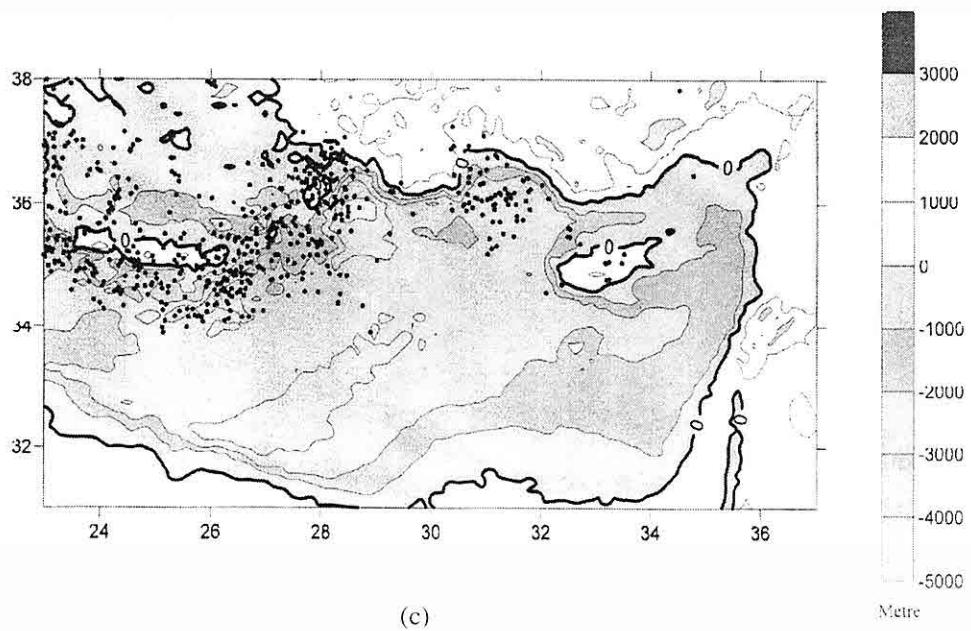
Doğu Akdeniz bölgesindeki USGS



**Şekil 2.** Bölgenin Genel Batimetresi (Metre) ([http://topex.ucsd.edu/cgi-bin/get\\_data.cgi](http://topex.ucsd.edu/cgi-bin/get_data.cgi)).



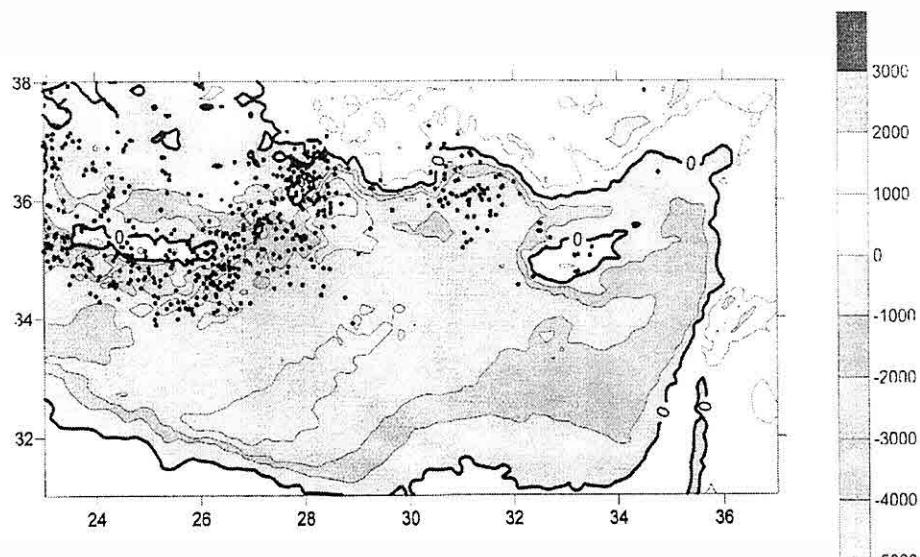
(b)



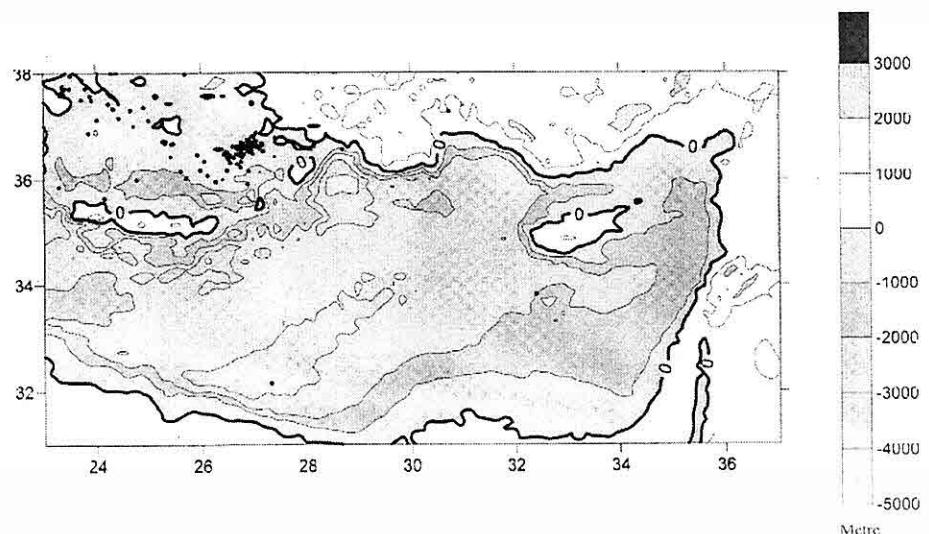
(c)

Şekil 6. Ayrıntılı Odak Derinlik Haritaları b)30-60km, c) 60-100 km

*GİRİT YAYININ SİSMOLOJİK VE BOUGUER GRAVİTE ANOMALİSİ VERİLERİNE GÖRE  
YORUMLANMASI*



(d)



(e)

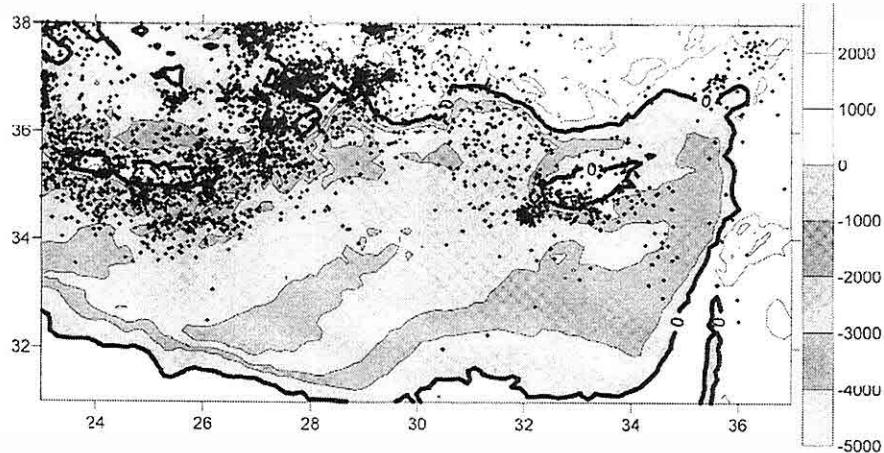
*Şekil 6. Ayrıntılı Odak Derinlik Haritaları d) 100-150km, e) 150-300km.*

**Çizelge 2.** Doğu Akdeniz Deprem Odak Derinliklerine ait istatistikler.

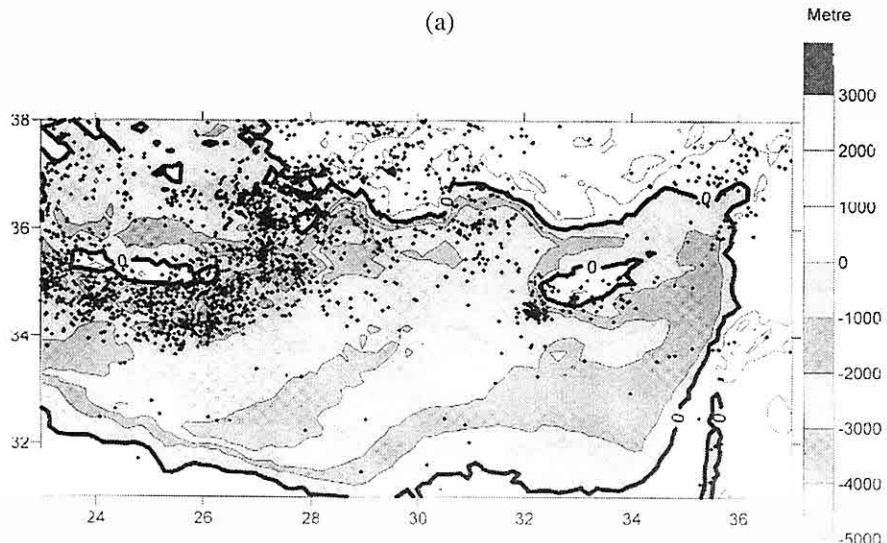
Derinlikler(Km)	%	Deprem Adedi
0	30	61.1
30	60	29.0
60	100	6.1
100	150	2.8
150	300	1.0
<b>Toplam:</b>	<b>100.0</b>	<b>9674</b>

**Çizelge 3.** Doğu Akdeniz Deprem büyüklüklerine ait istatistikler.

BÜYÜKLÜKLER	%	ADET
3-3.9	61,4	4041
4-4.9	36,1	2375
5-5.9	2,4	156
6-6.9	0,1	7
7-7.9	0	0
<b>TOPLAM=</b>	<b>100</b>	<b>6579</b>



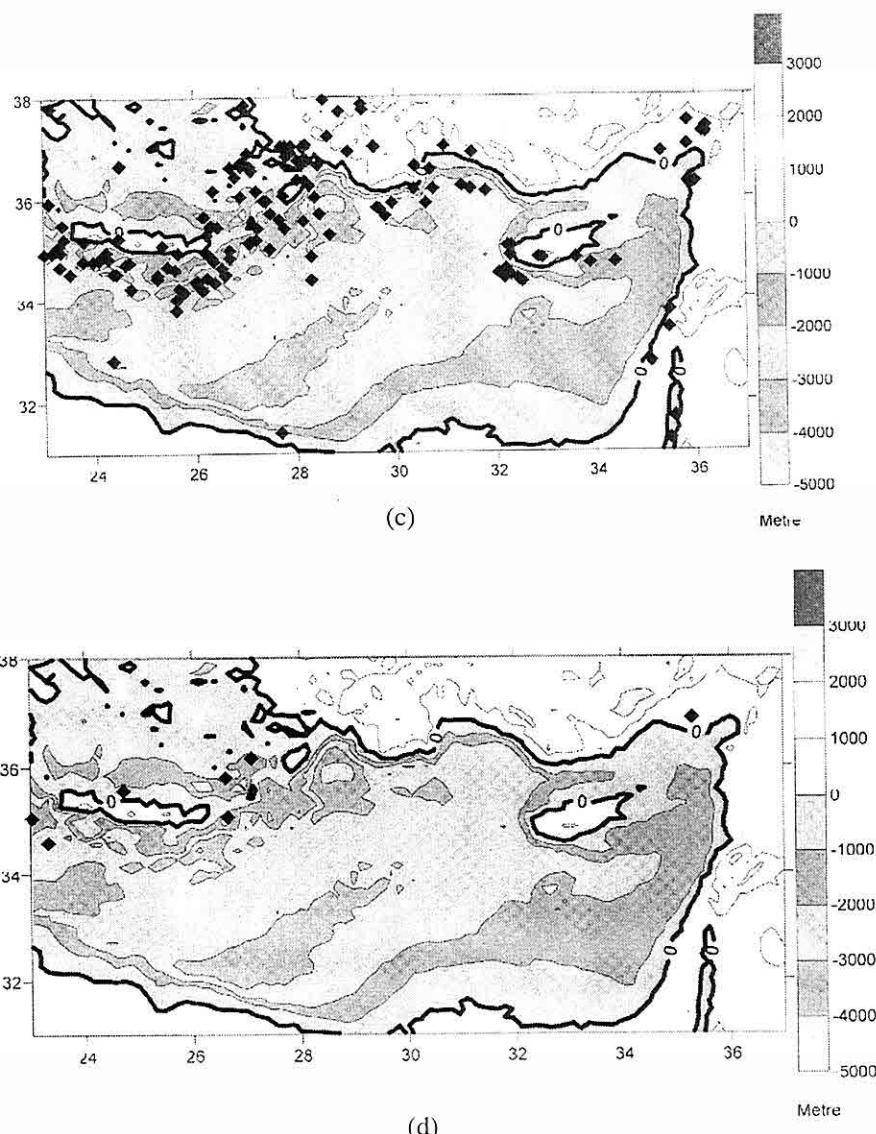
(a)



(b)

**Şekil 7.** Ayrıntılı Episantır Haritaları a) M 3-3.9, b) M 4-4.9, c) M 5-5.9, d) M 6-6.9.

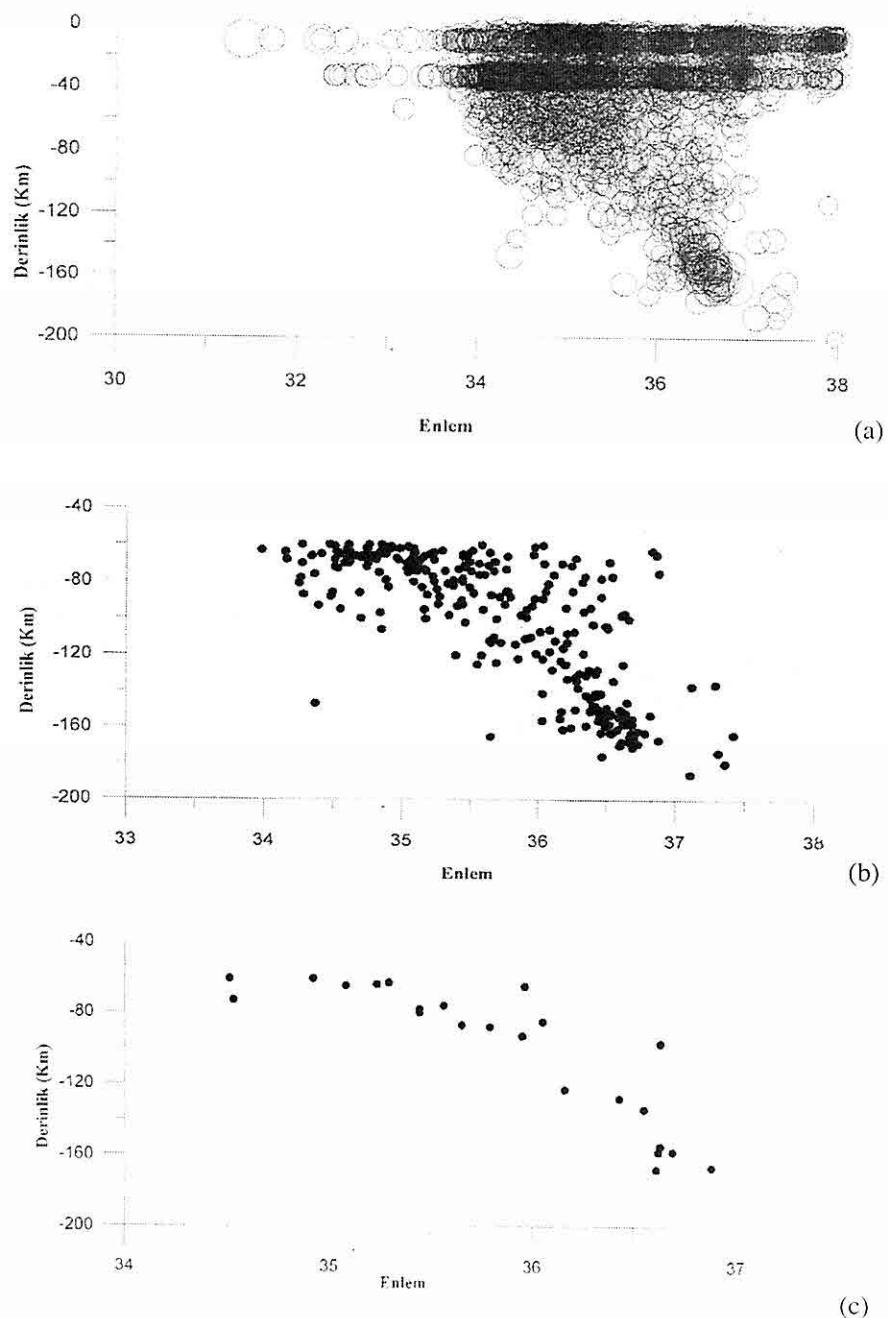
*GİRİT YAYININ SİSMOLOJİK VE BOUGUER GRAVİTE ANOMALİSİ VERİLERİNE GÖRE  
YORUMLANMASI*



**Şekil 7.** Ayrıntılı Episantır Haritaları c) M 5-5.9, d) M 6-6.9.

Bölge genelinde Girit ve çevresinin sismik aktivitesi rakamsal anlamda tanımlandıktan sonra buradaki aktif dalımı fiziksel olarak ortaya koymak için 30-38 enlemleri ile 23-28 boyamları arasında

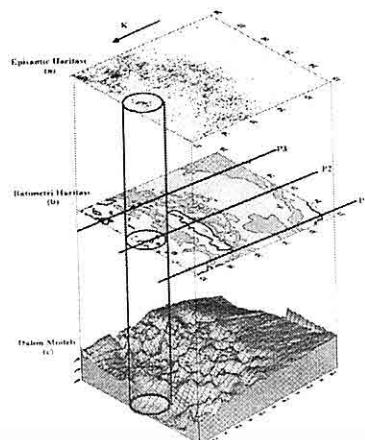
kalan bölge, odak derinliklerine göre çizdirilmiş (Şekil 8a) ve Afrika levhasının Girit Ada Yayı boyunca dalım açısını gözlemleyebilmek için odak derinliklerinin enleme değişimi çeşitli



Şekil 8. Girit Adası ve Çevresine Ait 2 Boyutlu Dalım Modeli.

## GİRİT YAYININ SİSMOLOJİK VE BOUGUER GRAVİTE ANOMALİSİ VERİLERİNE GÖRE YORUMLANMASI

magnitüd aralıklarında incelenmiştir. Ancak karmaşılığın ortadan kaldırılmak ve veri kalabalaklığını sadeleştirmek için veri seti iki aşamada filitrelenmiştir. Filtrelemeden sonra dalım daha net olarak tanımlanmış ve  $M \geq 4$  ve derinliği -40/-200km (Şekil 8b) ve  $M \geq 4.5$  ve derinliği -40/-200km (Şekil 8.c) olmak üzere seçilen kriterler sonucunda daha temiz bir sonuç elde edilmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda litosferin 100 km civarında büüküğü ve hesaplamalar sonucunda 0-100 km arasındaki 1. Kısmın ortalama  $30^0$  civarında eğimle dalım yaptığı, 100-200km arasındaki 2. kısmında maksimum  $40^0$ - $43^0$  eğimle daldığı sonucuna ulaşmıştır. Kriterleri, 60-200 km arasındaki odak derinlikleri olmak üzere 3 boyutlu model (Şekil 9) oluşturulmuş ve buradan dalım mekanizmasında Girit Yayınının doğu ve batı kanatlarının merkez doğrultusuna göre daha az eğimle daldığı beraberinde batı kanadında dalımın sonlandığı gözlenmiştir.

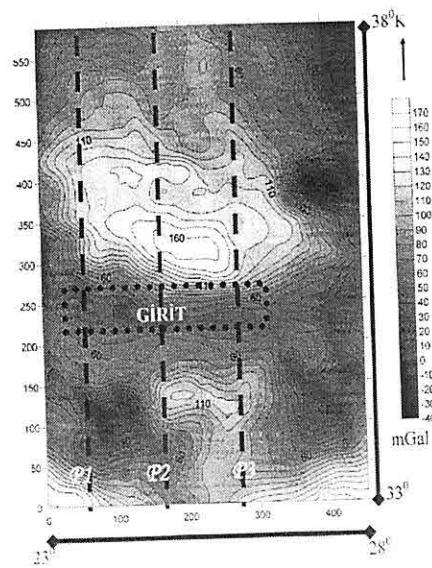


**Şekil 9.** Girit Yayınının Dalımına Ait 3 Boyutlu Modelleme.

Bu mekanizmanın iyi irdelenmesi Güney Batı Türkiye'deki depremlerin çözümleri ve nedenlerinin ortaya konması açısından tartışılmaya açık bir nokta olduğu görüşünü ve elde edilen sonuçlarda alanda oluşan bu derin dalım havzasının tektonik sürecin ileriki dönemlerinde de yorumlarda etkin bir noktası olacağının olgusunu ortaya çıkmıştır.

### 3. GRAVİTE ÇALIŞMALARI

23-28 boyamları / 33-38 enlemleri ile tanımlanmış çalışma alanına ait 10 km örneklemme aralıklı Bouguer Gravite Anomali Haritası (Şekil 10) dalma batma bölgelerine ait değişimleri karakteristik olarak sunmaktadır.



**Şekil 10.** Girit ve Çevresine Ait Bouguer Gravite Anomali Haritası (km) ve Profiller (P1,P2,P3).

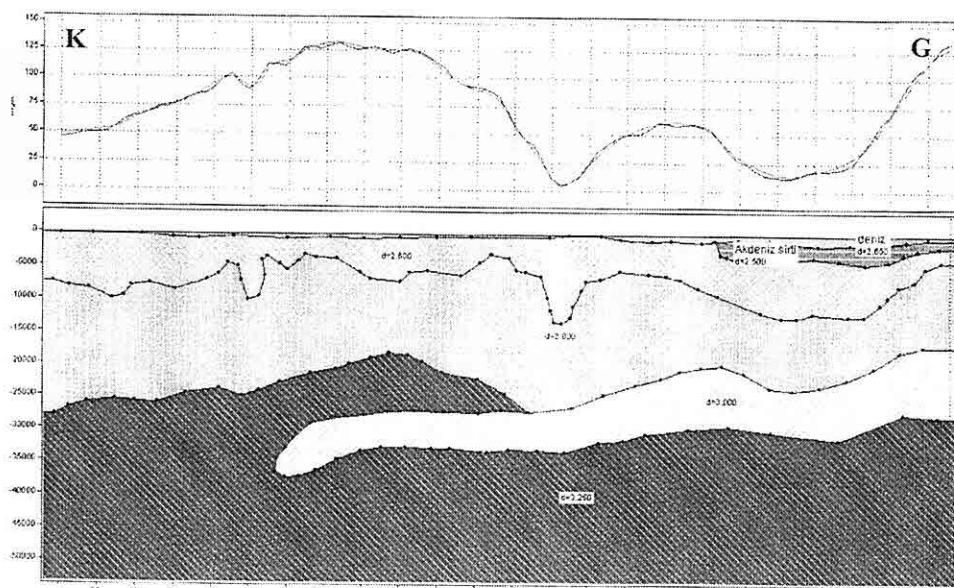
1 ve 2. bölgede Bouguer gravite

anomaly değerlerinin yüksek, aralarında kalan alanında (Girit Adası) bu iki bölgeye göre düşük anomaly değerli kapanımlar göstermesi; Kuzey - Güney doğrultulu dalma mekanizmasının gelişimini işaret etmektedir (Şekil 10). Güneyden gelen okyanusallitosferin, yoğunluğu daha düşük olan kıtasal litosferin altına dalması olası levha tektoniği prensiplerindendir. Bölgeye ait yapıyı ortaya koymak için alınan 1 no'lu profil  $23^{\circ}41'00''$  D (Şekil 11), 2 no'lu profil  $25^{\circ}10'00''$  D (Şekil 12) ve 3 no'lu profil  $26^{\circ}04'00''$  D (Şekil 13) olmak üzere seçilen hatlara (Şekil 9-10) ait kesitler (Şekil 11-12-13) ve model yaklaşımlarından, bölgenin ortalama 30 km kabuk kalınlığına sahip olduğu ortaya konmuştur.

Yapılan modellerde, ortalama kabuk kalınlığının 30 km civarında olduğu tespit edilmiştir. 2 no'lu Profile (Şekil 12) modelde dalının ortalama 150 km'ye kadar devam ettiği, 0-100 km civarında büküldüğü tespit edilmiştir. Tüm profilleri ortak olarak değerlendirdiğimizde 2 nolu profile ait modeldeki dalının daha derine nüfuz ettiği (Şekil 12) ancak 1 no'lu profil (Şekil 11) ve 2 no'lu (Şekil 12) profillere ait Bouguer gravite anomaly modellerinde dalının daha sığda kaldığı ve aynı zamanda bu iki profile ait modellerde dalın eğiminin daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

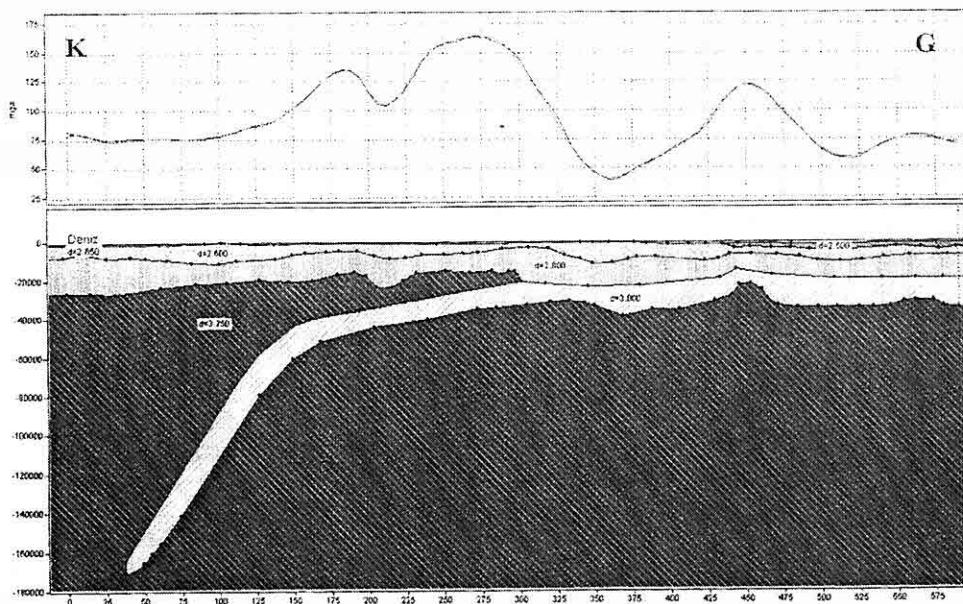
#### 4. DEĞERLENDİRME

Sismolojik çalışmalar sonucunda ortaya

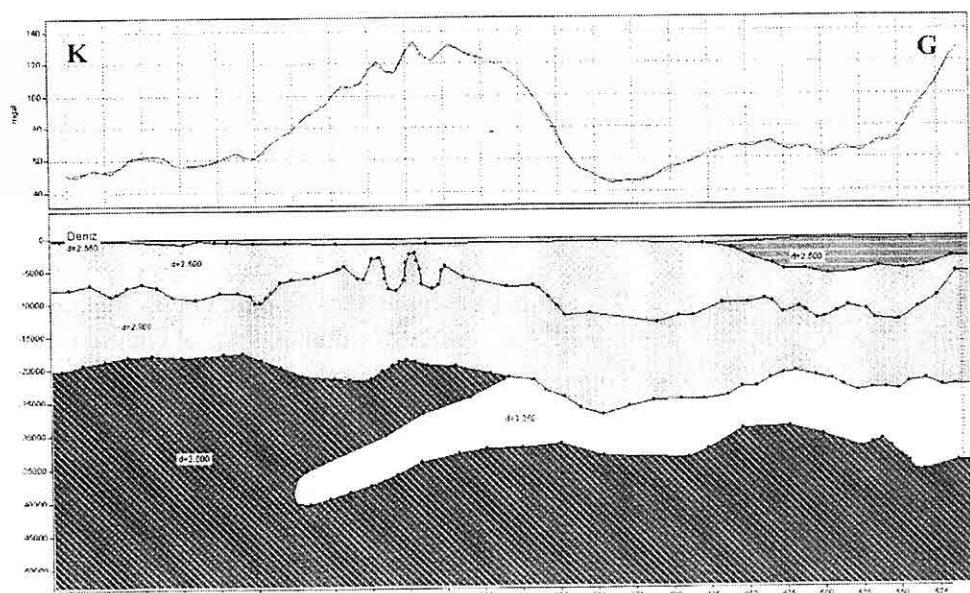


Şekil 11. 1 No'lu Profile Ait Bouguer Gravite Anomali Modeli.

*GİRİT YAYININ SİSMOLOJİK VE BOUGUER GRAVİTE ANOMALİSİ VERİLERİNE GÖRE  
YORUMLANMASI*



*Şekil 12. 2 No'lu Profile Ait Bouguer Gravite Anomali Modeli.*



*Şekil 13. 3 No'lu Profile Ait Bouguer Gravite Anomali Modeli.*

*GÖNENÇ, AKGÜN ve ERGÜN*

**GÖNDELENÖZÜ DERESİ (AKDAĞMADENİ - YOZGAT) BOYUNCA  
DEREKUMU ÖRNEKLERİNDE KURŞUN - ÇINKO - BAKIR DAĞILIMI VE  
ANOMALİ SAHALARININ BELİRLENMESİ**

Zafer Akin TÜRKBEN

*TCDD 4. Bölge Müdürlüğü, Sivas/Türkiye*

Ahmet GÖKCE

*C.Ü., Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Sivas/Türkiye*

**ÖZET:** Akdağmadeni (YOZGAT) bölgesi Türkiye'nin en önemli kurşun-çinko provenslerinden birisidir. Bölgede bilinen Pb-Zn yatakları Çiçekli Tepe, Akçaklı, Aşağıçulhali, Başçatak ve Tad Dereyi yörelerinde bulunmaktadır. Bu yataklar çögünlükla Akdağ Metamorfitleri ile bunları kesen Yozgat Batoliti'ne ait granitoyitlerin sınırlarında olmuşturlar.

Göndelenözü Deresi, Akdağ metamorfitlerini ve granitoyitleri güneyden kuzeye doğru kesen ve Akçaklı yatağı dışında bilinen tüm yataklardan malzeme alan bir deredir. Bölgede yeni yatakların aranmasında dere kumu örnekleri jeokimyası incelemelerinin kullanılabilirliğini belirlemek amacıyla bu derenin kollarından dere kumu örnekleri toplanmış ve Pb-Zn-Cu dağılımları incelenmiştir.

Ön incelemelerin sonuçlarına göre; örneklerin soğuk HCl ile çözülmesi ve atomik absorpsiyon spektrometresi ile analizi şeklindeki bir yöntem, en uygun kimyasal analiz yöntemi olarak, -200 mikron tane boyu ise en uygun tane boyu olarak seçilmiştir.

Örneklerin Pb, Zn ve Cu içerikleri sırasıyla; 16 ile 550 ppm, 30 ile 622 ppm ve 9 ile 84 ppm aralıklarında değişmektedir. Dağılım aralıklarının genişliği bu elementlerin dere kumu örnekleri içindeki dağılımlarının logaritmik olduğunu göstermektedir.

Histogram yöntemiyle yapılan istatistiksel değerlendirmelerde histogramların sağa doğru genişlemiş olmaları nedeniyle "ortalama + standart sapma" yöntemiyle topluluklar ayrılmış ve "ortalama + 2 standart sapma" dan büyük değerler 1. Derece, "ortalama + 1 standart sapma ile ortalama + 2 standart sapma" arası değerler 2. Derece, "ortalama ile ortalama + 1 standart sapma" arası değerler ise 3. Derece anomali topluluklar olarak tanımlanmıştır.

Anomali toplulukların sahadaki dağılımları Pb ve Zn anomalilerinin aynı yerlerde, Cu anomalilerin ise farklı yerlerde konumlandıklarını göstermektedir. Zn anomalileri daha geniş ve daha düzgündür. Ayrıca, 1. Derece ve 2. Derece anomaliler bilinen cevherleşme yerleri ile ilişkili iken 3. Derece anomaliler bilinmeyen ve işletilmeyen, yeni cevherleşmelerle ilişkili olabilir.

GEOCHEMICAL DISPERSIONS OF LEAD-ZINC-COPPER IN THE  
STREAM SEDIMENT SAMPLES COLLECTED ALONG THE  
GÖNDELENÖZÜ VALLEY (AKDAĞMADENİ - YOZGAT) AND  
IDENTIFICATION OF ANOMALY TERRAINS

**ABSTRACT:** Akdağmadeni (*Yozgat*) region is one of the important lead and zinc province in Turkey. The known Pb-Zn deposits of the region are located around the Çiçekli Tepe, Akçaklısla, Aşağıçulhali, Başçatak and Tat Deresi areas. These deposits mostly occurred along the contact between Akdağ metamorphics and intruded granitoids of *Yozgat* Batholith.

*Göndelenözü* Deresi is a stream which cuts the Akdağ metamorphics and granitoids from south to north direction and receives the materials from the known deposits except the Akçaklısla deposit. Stream sediments collected from the branches of this stream and the dispersions of Pb-Zn-Cu have been investigated to see whether the stream sediment geochemistry is useful in exploration of new deposits in this region.

As the results of preliminary investigations; a method of dissolving of samples in cold HCl and analysing of Pb-Zn-Cu in an atomic absorption spectrometry was identified as the most suitable method of chemical analyses and the size fraction of 200 micron was identified as the most suitable grain size fraction.

The Pb, Zn and Cu contents of samples range from 16 to 550 ppm, from 30 to 622 ppm and from 9 to 84 ppm respectively. The large dispersion ranges of values show that the geochemical dispersion of these elements in stream sediments are logarithmic type.

Since the curves on the histogram graphics are extended through the right hand side, the population were identified by "mean and standard deviation method", and the populations in the ranges of "higher than mean + 2standard deviation", "mean + 1standard deviation to mean + 2standard deviation" and "mean to mean + 1standard deviation" are assumed as 1st, 2nd and 3rd grades anomalies respectively.

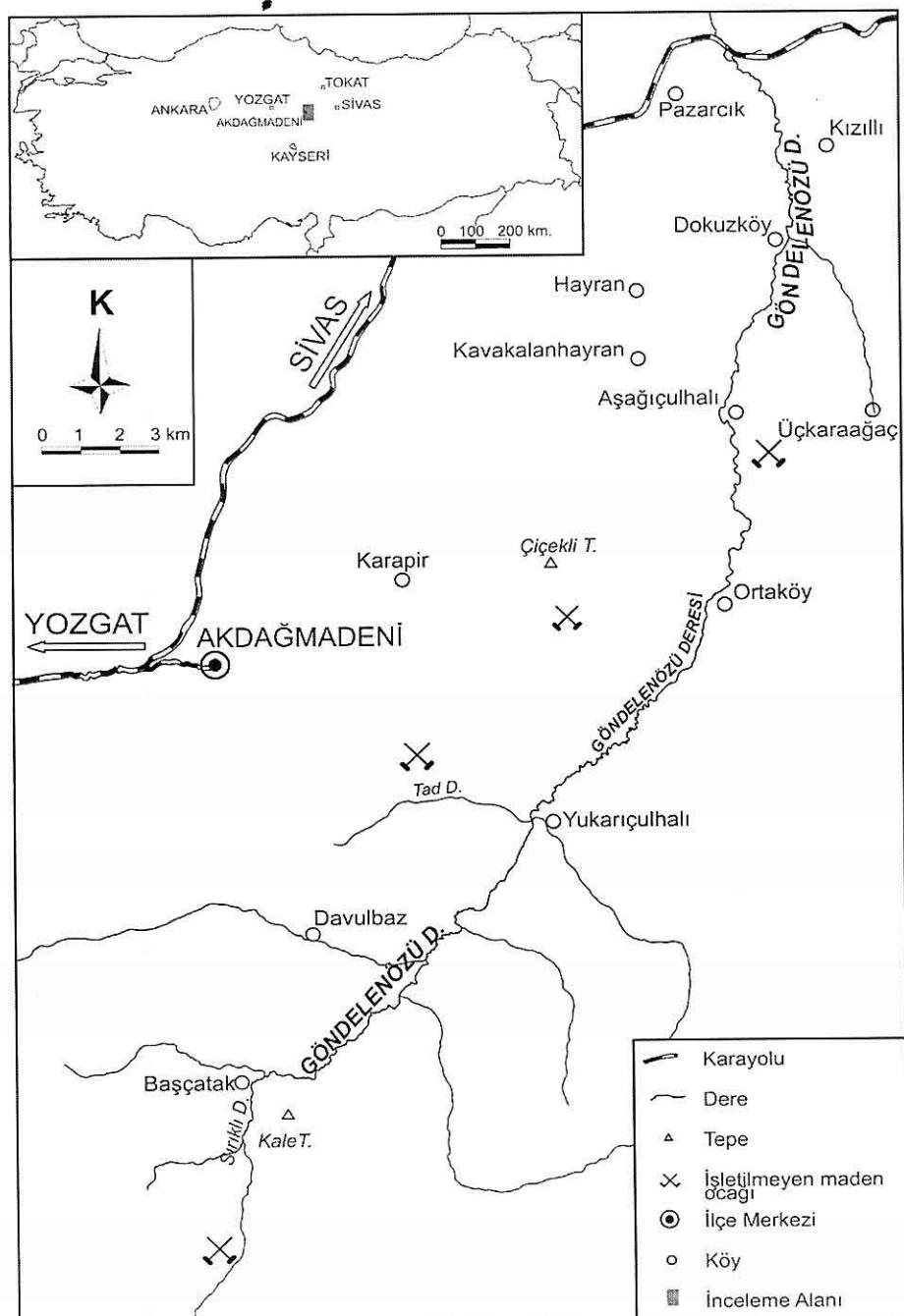
The investigation of the field dispersion of the anomaly populations show that; the Pb and Zn anomalies are located in the same areas while Cu anomalies located in different places. The Zn anomalies are more wide and more regular comparing to those of other elements. In addition, 1st and 2nd grade anomalies are related to the known mineralization areas but 3rd grade anomaly fields may be related to the unknown and unmined, new mineralization fields.

## 1. GİRİŞ

Akdağmadeni (YOZGAT) bölgesi, uzun yıllardır Pb ve Zn cevheri üretilen bir metalojenik provens durumundadır

(Şekil 1). Bölgede bilinen Pb - Zn yatakları Çiçekli Tepe, Akçaklısla, Ortaköy - Aşağıçulhali, Başçatak ve Tat Deresi yörelerinde bulunmaktadır.

## GÖNDELENÖZÜ DERESİ BOYUNCA DEREKUMU ÖRNEKLERİNDE KURŞUN - ÇINKO - BAKIR DAĞILIMI VE ANOMALİ SAHALARININ BELLİRLENMESİ



**Şekil 1.** İnceleme alanı yer bulduru haritası.

**3.3.2. Pb içeriklerinin değerlendirilmesi**

Örneklerin Pb içerikleri ile ilgili istatistiksel değerlendirme çizelgesi (Çizelge 6) ve grafiği Şekil 2' de görülmektedir.

Şekil 2 üzerindeki istatistiksel değerlendirme grafiğinin sağa doğru genişlemiş tek bir topluluğa işaret edebileceği göz önünde bulundurularak veriler "ortalama" (71.21 ppm) - "ortalama

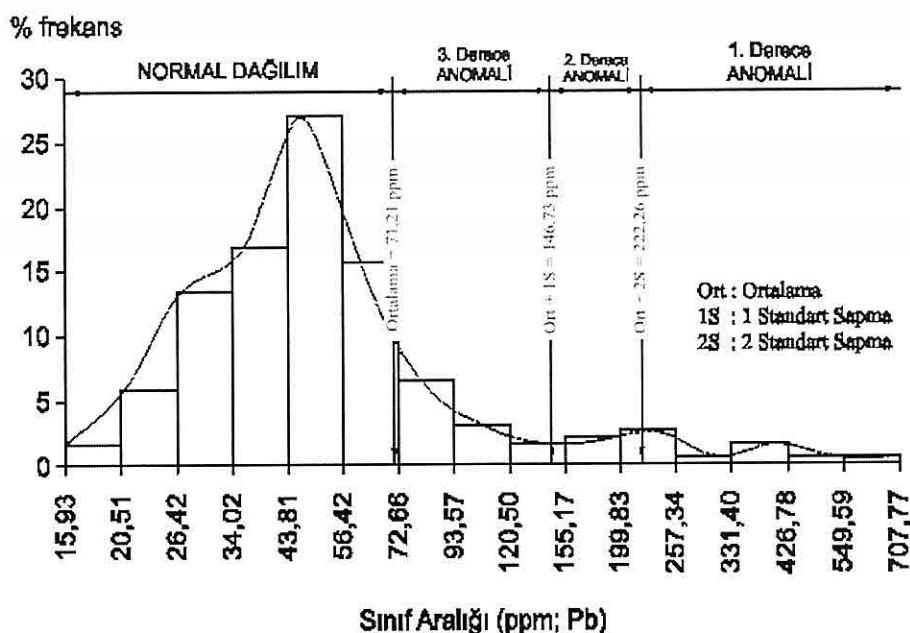
**Çizelge 5.** İki ayrı grupta analiz edilerek tekrarlanmış örneklerde ait analiz sonuçları  
(Ortalama, fark ve % fark değerleri birlikte).

ÖRNEK NO	Cu				Pb				Zn			
	1. Değer	2. Değer	Ort. ± Fark	± % Fark	1. Değer	2. Değer	Ort. ± Fark	± % Fark	1. Değer	2. Değer	Ort. ± Fark	± % Fark
Z-20	32	32	32 ± 0	0	48	48	48 ± 0	0	74	74	74 ± 0	0
Z-40	21	23	22 ± 1	5	303	422	362 ± 60	17	405	409	407 ± 2	0
Z-60	30	30	30 ± 0	0	40	40	40 ± 0	0	65	66	66 ± 1	1
Z-80	19	19	19 ± 0	0	32	48	40 ± 8	20	56	53	54 ± 2	3
Z-100	23	23	23 ± 0	0	32	32	32 ± 0	0	73	70	71 ± 2	2
Z-120	16	16	16 ± 0	0	40	40	40 ± 0	0	136	135	136 ± 0	0
Z-140	16	16	16 ± 0	0	48	48	48 ± 0	0	39	40	40 ± 1	0
Z-160	14	16	15 ± 1	7	72	64	68 ± 4	5	53	54	53 ± 1	2
Z-180	30	30	30 ± 0	0	207	183	195 ± 12	6	253	248	250 ± 3	1

**Çizelge 6.** Derekumu örneklerinde Pb içeriklerinin istatistiksel değerlendirme çizelgesi.

Sınıf Aralığı (ppm)	Frekans	% Frekans	Kümülatif % Frekans
15,93-20,50	3	1,6	1,6
20,51-26,41	11	5,9	7,6
26,42-34,01	25	13,5	21,1
34,02-43,80	31	16,8	37,8
43,81-56,41	50	27,0	64,9
56,42-72,65	29	15,7	80,5
72,66-93,56	12	6,5	87,0
93,57-120,49	6	3,2	90,3
120,50-155,16	3	1,6	91,9
155,17-199,82	4	2,2	94,1
199,83-257,33	5	2,7	96,8
257,34-331,39	1	0,5	97,3
331,40-426,77	3	1,6	98,9
426,78-549,58	1	0,5	99,5
549,59-707,76	1	0,5	100,0
<b>Toplam</b>	<b>185</b>	<b>100,0</b>	

**ĞÖNDELENÖZÜ DERESİ BOYUNCA DEREKUMU ÖRNEKLERİNDE KURŞUN - ÇINKO  
- BAKIR DAĞILIMI VE ANOMALİ SAHALARININ BELLİRLENMESİ**



**Şekil 2.** Derekumu örneklerinde Pb içeriklerinin istatistiksel değerlendirme grafiği

+ 1 standart sapma" (146.73 ppm) - "ortalama + 2 standart sapma" (222.26 ppm) yöntemiyle değerlendirilmiş; 222.26 ppm'den büyük değerler 1. Derece, 146.73 ppm ile 222.26 ppm arası değerler 2. Derece, 71.21 ppm ile 146.73 ppm arası değerler ise 3. Derece anomali olarak tanımlanmıştır. Belirlenen anomali sahalarının harita üzerindeki konumları Şekil 3' te görülmektedir.

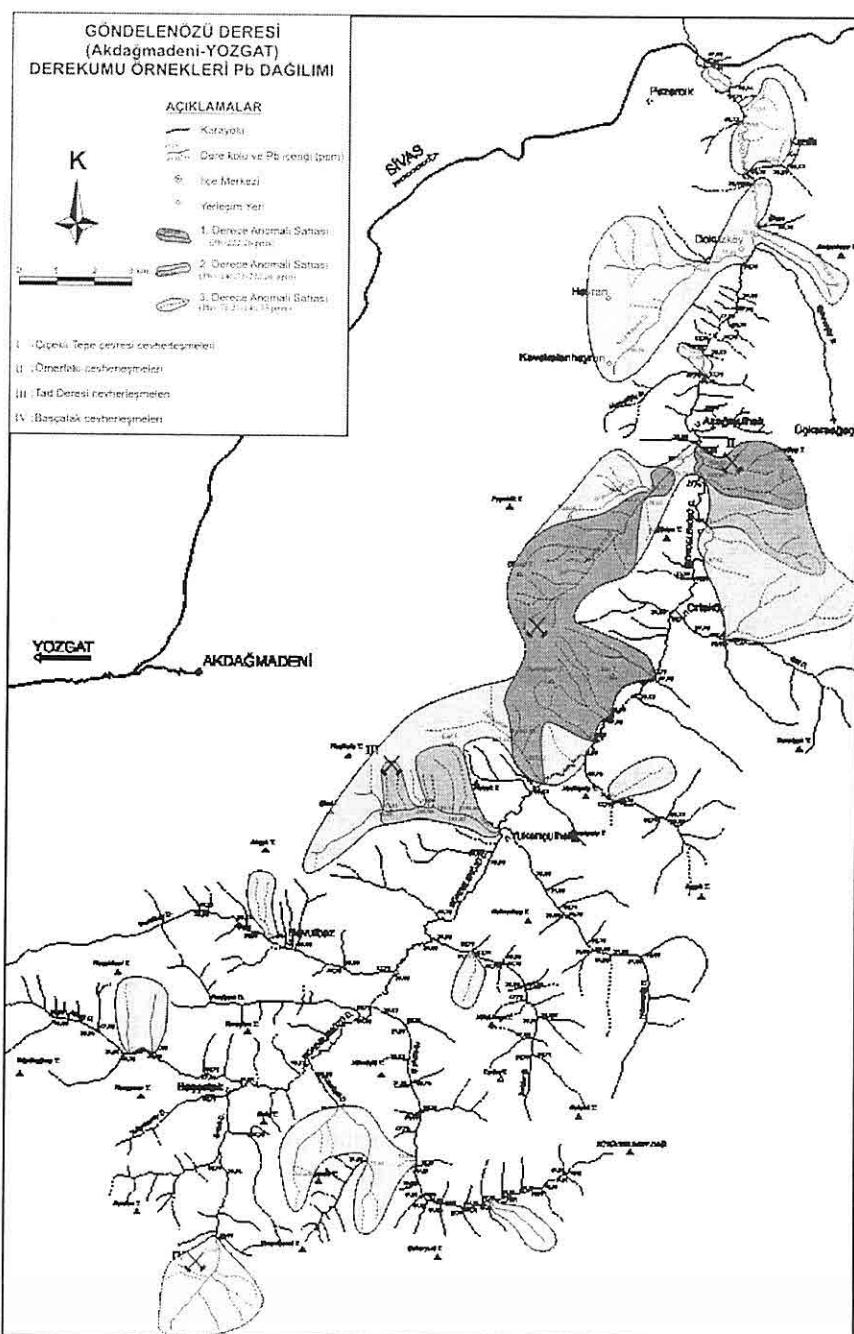
### 3.3.3. Zn içeriklerinin değerlendirilmesi

Örneklerin Zn içerikleri ile ilgili istatistiksel değerlendirme çizelgesi (Çizelge 7) ve grafiği Şekil 4'de görülmektedir. Şekil 4 üzerindeki istatistiksel değerlendirme grafiğinin sağa doğru genişlemiş tek bir topluluğa işaret

edebileceği göz önünde bulundurularak veriler "ortalama" (91,93 ppm) - "ortalama + 1 standart sapma" (174,37 ppm) - "ortalama + 2 standart sapma" (256,81 ppm) yöntemiyle yeniden değerlendirildiğinde; 256,81 ppm'den büyük değerler 1. Derece, 174,37 ppm ile 256,81 ppm arası değerler 2. Derece, 91,93 ppm ile 174,37 ppm arası değerler ise 3. Derece anomali olarak tanımlanmıştır. Bu değerlendirme sonunda belirlenen anomali sahalarının harita üzerindeki konumları Şekil 5' te verilmiştir.

### 3.3.4. Cu içeriklerinin değerlendirilmesi

Örneklerin Cu içerikleri ile ilgili istatistiksel değerlendirme çizelgesi



**GÖNDELENÖZÜ DERESİ BOYUNCA DEREKUMU ÖRNEKLERİİNDE KURŞUN - ÇINKO  
- BAKIR DAĞILIMI VE ANOMALİ SAHALARININ BELİRLENMESİ**

**Çizelge 7.** Derekumu örneklerinde Zn içeriklerinin istatistiksel değerlendirme çizelgesi.

Sınıf Aralığı (ppm)	Frekans	% Frekans	Kümülatif % Frekans
29,57-36,75	7	3,8	3,8
36,76-45,68	17	9,2	13,0
45,69-56,79	33	17,8	30,8
56,80-70,59	47	25,4	56,2
70,60-87,75	32	17,3	73,5
87,76-109,08	18	9,7	83,2
109,09-135,59	5	2,7	85,9
135,60-168,55	8	4,3	90,3
168,56-209,51	5	2,7	93,0
209,52-260,44	4	2,2	95,1
260,45-323,74	2	1,1	96,2
323,75-402,42	3	1,6	97,8
402,43-500,23	3	1,6	99,5
500,24-621,81	0	0,0	99,5
621,82-772,95	1	0,5	100,0
<b>Toplam</b>	<b>185</b>	<b>100,0</b>	

(Çizelge 8) ve grafiği Şekil 6'da görülmektedir. Şekil 6 üzerindeki istatistiksel değerlendirme grafiğinde yüksek ve düşük değerlikli iki ayrı topluluğun birbiri üzerine bindirmiş olabileceği olasılığı göz önünde bulundurularak veriler "ortalama" (24.92 ppm) - "ortalama + 1 standart sapma" (34.09 ppm) - "ortalama + 2 standart sapma" (43.26 ppm) yöntemiyle yeniden değerlendirildiğinde; 43.26 ppm'den büyük değerler 1. Derece, 34.09 ppm ile 43.26 ppm arası değerler 2. Derece, 24.92 ppm ile 34.09 ppm arası değerler ise 3.

Derece anomali olarak tanımlanmıştır. Bu durumda belirlenen anomali sahaları harita üzerine işlenmiştir (Şekil 7).

## 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

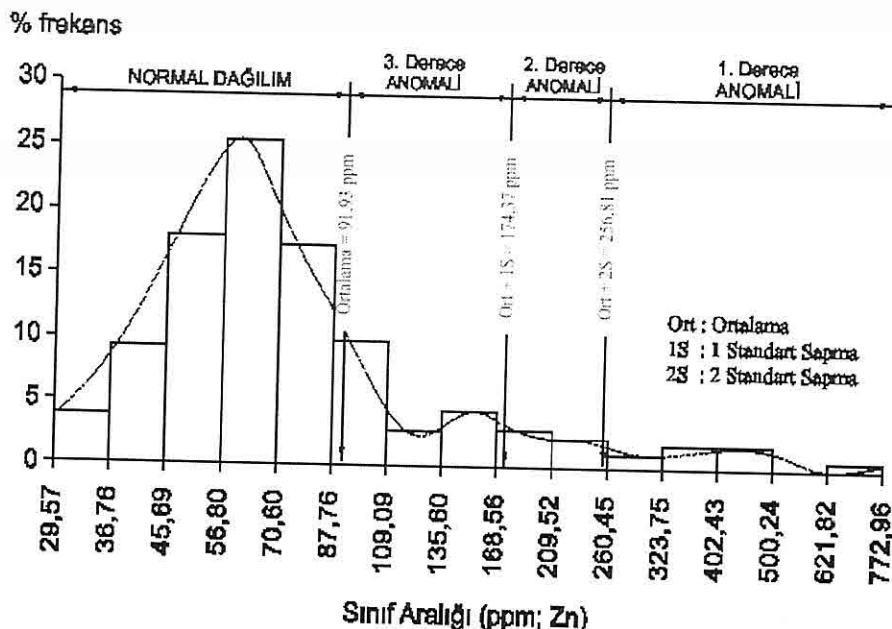
### 4.1. Sonuçlar

i. Toplanan derekumu örneklerinin kimyasal analizi için en uygun kimyasal analiz yöntemini belirlemek amacıyla 4 ayrı yöntem denenmiş ve örneklerin HCl ile çözülmesi ve A.A.S'si ile okunması esasına dayalı bir yöntem (II. yöntem) en uygun yöntem olarak belirlenmiştir.

ii. Yapılan ön incelemelerde "-200 mikron" tane boyu fraksiyonu en uygun fraksiyon olarak belirlenmiştir.

iii. Derekumu örneklerinin Pb içeriği 16 ile 550 ppm arasında, Zn içeriği 30 ile 622 ppm arasında ve Cu içeriği ise 9 ile 84 ppm arasında değişmektedir. Dağılım aralıklarının çok geniş olması nedeniyle dağılımların logaritmik olduğu düşünülmüştür.

iv. İstatistiksel değerlendirme sırasında oluşan çan eğrilerinin Pb ve Zn için sağa doğru genişlemiş olması, Cu için ise yüksek ve düşük değerlikli iki topluluğun birbiri üzerine bindirmiş gözükmesi göz önünde bulundurularak her üç element için de "ortalama", "ortalama + 1 standart sapma" ve "ortalama + 2 standart sapma" değerleri kullanılarak topluluklar ayrılmış ve "ortalama + 2 standart sapma" dan büyük değerler 1. Derece, "ortalama + 2 standart sapma" ile ortalama + 1 standart sapma" arası değerler 2. Derece, "ortalama + 1 standart sapma" ile ortalama " arası değerler ise 3. Derece anomali topluluğu olarak tanımlanmıştır.



**Şekil 4.** Derekumu örneklerinde Zn içeriklerinin istatistiksel değerlendirme grafiği

v. Anomali değerlerin sahadaki örnekleri kullanılarak jeokimyasal dağılımları incelendiğinde; Pb ve Zn anomalilerinin aynı yörelerde oluşturukları, Cu anomalilerinin ise bu iki elementinkinden farklılık gösterdiği, yöredeki cevherleşmelerin Zn bakımından daha zengin olmaları nedeniyle Zn anomalilerinin daha düzgün geliştiği, kirlenme olasılığı bulunmakla birlikte 1. Derece ve 2. Derece anomalilerin doğrudan bilinen cevherleşmelerle ilişkili oldukları görülmektedir.

vi. 3. Derece anomaliler bilinen cevherleşmelerden farklı yerlerde gelişmiş olup henüz işletme faaliyeti bulunmayan ve/veya bilinmeyen özellikle Başçatak tipi (pre-metamorfik) cevherleşmelerle ilişkili olabilecekleri düşünülmüştür.

viii. Bu incelemeler, derekumu

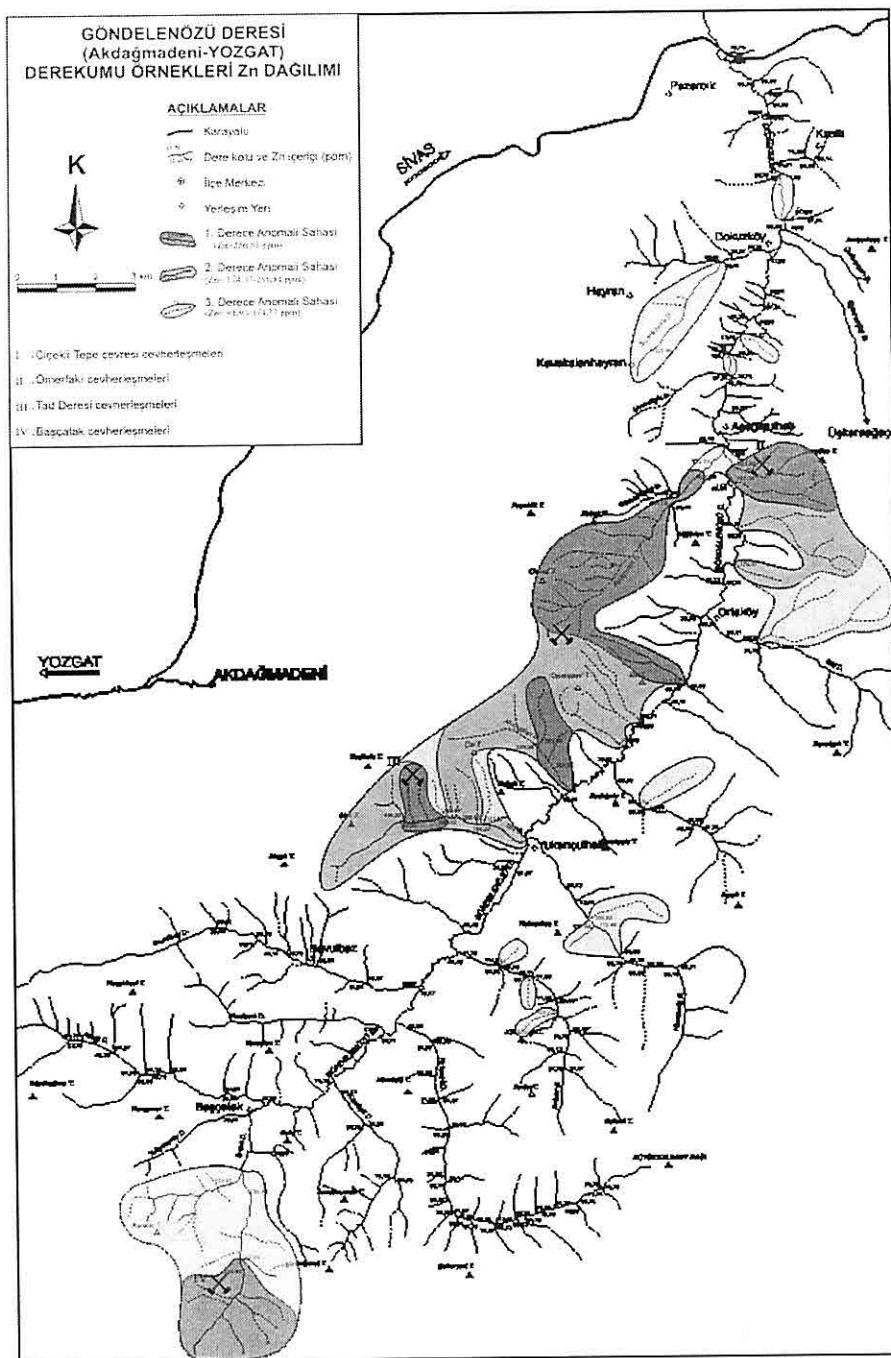
#### 4.2. Öneriler

Bölgede yeni cevherleşmelerin aranmasına yönelik olarak bölgenin diğer kesimlerinde de derekumu örnekleri ile jeokimyasal prospektiyonu yapılması, ayrıca bu çalışma kapsamında belirlenen 3. Derece anomali sahaları, kolüvyon ve toprak örnekleri toplanarak jeokimyasal yöntemlerle irdelenmeli ve 1/2000 veya 1/1000 ölçekli jeolojik harita çalışmaları yapılarak araştırılmalıdır.

#### 5. KATKI BELİRTME

Bu çalışma, Cumhuriyet Üniversitesi

**GÖNDELENÖZÜ DERESİ BOYUNCA DEREKUMU ÖRNEKLERİNDEN KURŞUN - ÇINKO  
- BAKIR DAĞILIMI VE ANOMALİ SAHALARININ BELİRLENMESİ**



Şekil 5. Derekumu örneklerinde Zn anomali topluluklarının dağılım alanları haritası.

**Çizelge 8.** Derekumu örneklerinde Cu içeriklerinin istatistiksel değerlendirme çizelgesi

Sınıf Aralığı (ppm)	Frekans	% Frekans	Kümülatif % Frekans
9,28-10,85	2	1,1	1,1
10,86-12,69	5	2,7	3,8
12,70-14,85	13	7,0	10,8
14,86-17,83	13	7,0	17,8
17,39-20,33	20	10,8	28,6
20,34-23,79	42	22,7	51,4
23,80-27,84	23	12,4	63,8
27,85-32,57	46	24,9	88,6
32,58-38,11	9	4,9	93,5
38,12-44,59	8	4,3	97,8
44,60-52,17	2	1,1	98,9
52,18-61,03	0	0,0	98,9
61,04-71,41	1	0,5	99,5
71,42-83,55	0	0,0	99,5
83,56-97,75	1	0,5	100,0
<b>Toplam</b>	<b>185</b>	<b>100,0</b>	

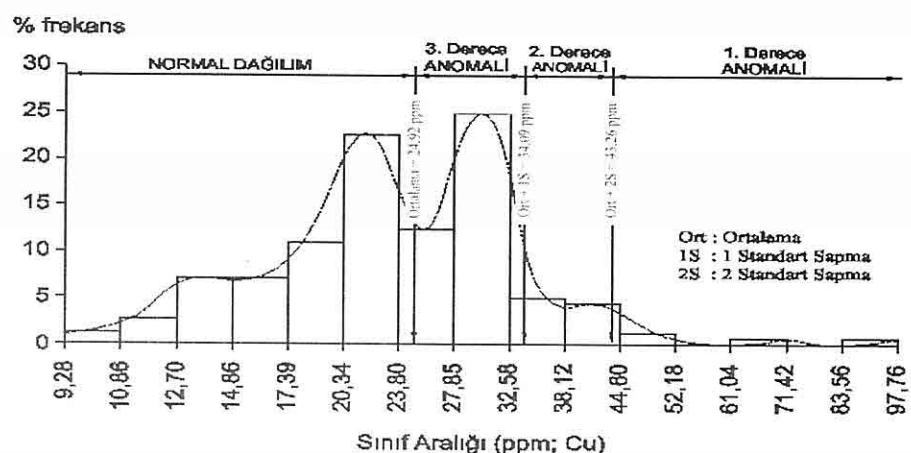
Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı'nda M-223 nolu proje kapsamında kısmen desteklenmiştir. Kimyasal analiz çalışmaları sırasında Kimya Mühendisi Sn. Fatma YALÇIN (C.Ü) yardımcı olmuştur. Teşekkürü borç biliriz.

## 6. YARARLANILAN KAYNAKLAR

Çolakoğlu, A.R., ve Genç, Y., 2001. Akdağmadeni (Yozgat) Kurşun-Çinko yatağıının Makro-Mikro dokusal özellikleri ve kökensel yorumu, Türkiye Jeoloji Bületeni, Cilt 44, Sayı 1

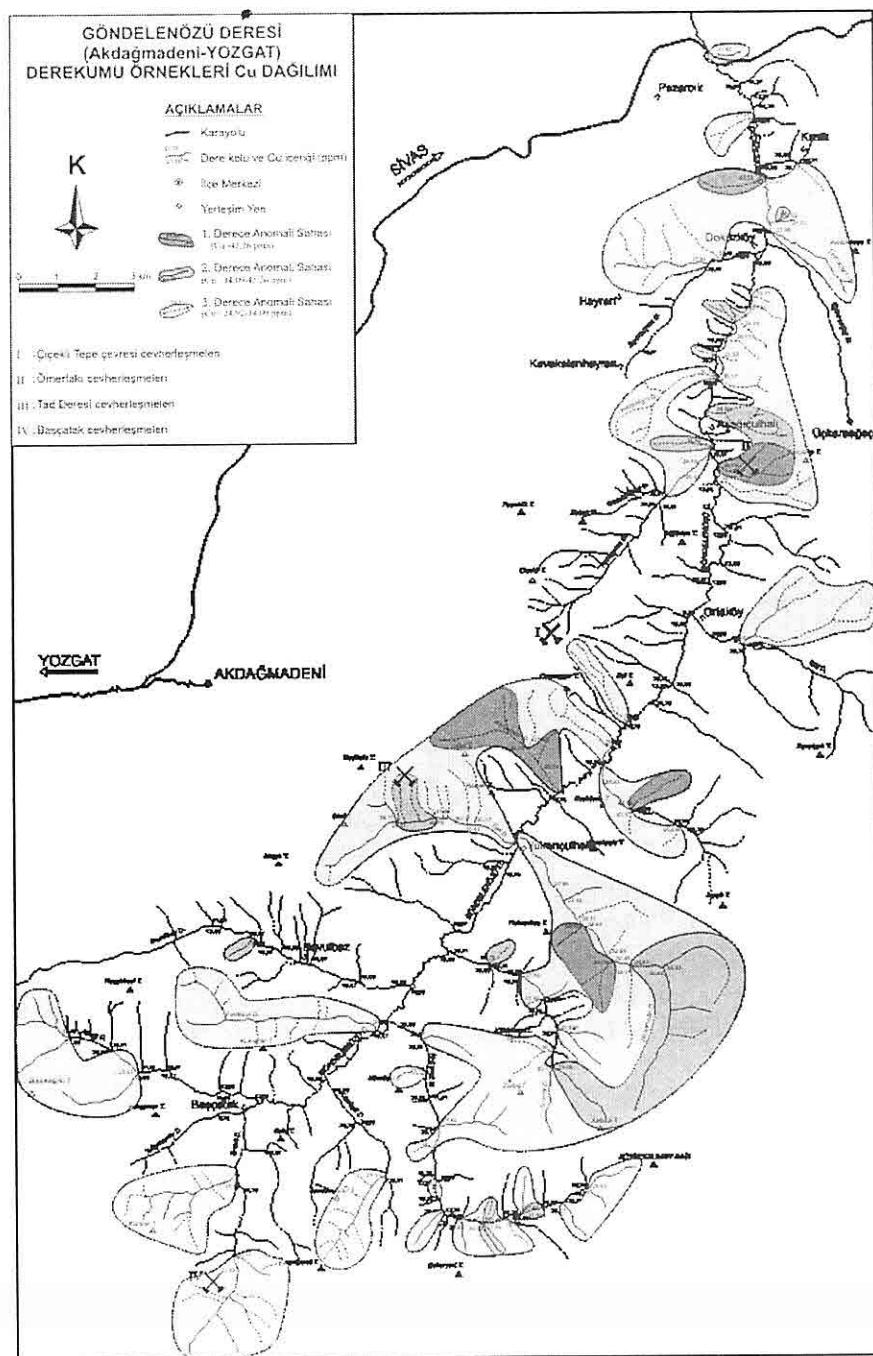
Dökmeçi, İ., 1980. Akdağmadeni yörensinin jeolojisi, MTA Der. Rapor No: 6953, 37s.

Erler, A. ve Göncüoğlu, M. C., 1996. Geologic and Tectonic Setting of the Yozgat Batholith, Northern Central Anatolian Crystalline Complex, Turkey. International Geology Review, vol.38, p.714-726.



**Şekil 6.** Derekumu örneklerinde Cu içeriklerinin istatistiksel değerlendirme grafiği.

**GÖNDELENÖZÜ DERESİ BOYUNCA DEREKUMU ÖRNEKLERİNDEN KURŞUN - ÇINKO - BAKIR DAĞILIMI VE ANOMALİ SAHALARININ BELLİRLENMESİ**



**Şekil 7.** Derekumu örneklerinde Cu anomali topluluklarının dağılım alanları haritası.

- Genç, Y., 1998. Başçatak-Akdağmadeni (Yozgat) Zn-Pb-Cu sulfide deposit: an example of metamorphosed sulfide deposit in the Akdağmadeni Massif. Third int.turkish geol. symp. METU, Ankara, Abstract p. 126.*
- Göncüoğlu, M. C., 1986. Geochronological data from the southern part (Nigde area) of the Central Anatolian Massif: Mi Res. Explorat. Bull., v.105/106, p. 83-96.*
- Özer, S., Özcan, A., Erkan, A., Keskin, A., Keskin, E., Oral, A., Sümmengen, M. ve Tekeli, O., 1980. Kuzey-Anadolu Fayı - Kırşehir Masifi arasındaki temel jeolojisi, MTA Derleme Rapor No: 6722, 139s. (yayınlanmamış).*
- Sağiroğlu, A., 1982. Contact metasomatism and ore deposits of Akdağmadeni, Yozgat, Turkey: Londra Univ. (yayınlanmamış), Doktora tezi, 324 s.*
- Sağiroğlu, A., 1984a. Akdağmadeni (Yozgat) cevherleşmelerinde görülen değişik skarn oluşuklarının özellikleri ve irdelenmesi, TJK Bül., C27, 69-80.*
- Sağiroğlu, A., 1984b. Akdağmadeni-Yozgat kontakt metazomatik yataklarında sıvi kapanım çalışmaları, TJK. Bült., 27/2, 141-144.*
- Sağiroğlu, A., 1984c. Akdağmadeni-Yozgat kurşun-çinko yataklarında cevherleşme, Jeoloji Müh. Odası Bült., 27, 15-29.*
- Şahin, B. ve Erkan, Y., 1994. Akdağmadeni Masifi metamorfitleri, Yukarı Çulhali - Başçatak kesimini petrolojik özellikleri, MTA Dergisi, No: 116 s. 21-28.*
- Şaşmaz, A., 1996. Ortaköy-Aşağı Çulhali (Akdağmadeni-Yozgat) köyleri arasındaki cevherleşmelerin incelenmesi. Jeoloji Müh. Bölümü 30. yıl Sempozumu Bildirileri, Cilt 1, s. 55-66, K.T.Ü.*
- Şaşmaz, A., 1999. Başçatak (Akdağmadeni-Yozgat) Zn-Pb skarnlarının mineralojik ve jeokimyasal özellikleri,*
- Tülümen, E., 1980. Akdağmadeni bölgesindeki petrografik ve metalojenik incelemeler. K.T.Ü. Doktora Tezi, Yerbilimleri Fakültesi yayını, Trabzon.*
- Yılmaz, A., Uysal, T., Bedi, Y., Yusufoğlu, H., Havzoğlu, T., Ağan, A., Göç, D. ve Aydın, N., 1995. Akdağ Masifi ve dolayının jeolojisi. MTA Dergisi, No:117, 125-138.*

**HEYELAN HASSASİYET HARİTALARININ HAZIRLANMASINDA ÇOK  
ÖLÇÜTLÜ KARAR ANALİZİ YÖNTEMİNİN (ÇÖKA) KULLANIMI:  
AYVALIK (BALIKESİR) ÖRNEĞİ**

Aykut AKGÜN

*D.E.Ü., Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İzmir/Türkiye*

**ÖZET:** Bu çalışmada, çok ölçütlü karar analizi (ÇÖKA) yöntemi kullanılarak Balıkesir iline bağlı Ayvalık ilçesi ve yakın çevresinin 1/25.000 ölçekli heyelan hassasiyet haritalaması yapılmıştır. Bu amaçla litoloji, kayaçların bozulma derecesi, yamaç eğimi, yamaç yönelimi, drenaj yoğunluğu, drenaj hatlarına uzaklık, arazi örtüsü ve bitki örtüsü yoğunlukları heyelanları kontrol eden parametreler olarak kullanılmıştır. Dikkate alınan her bir parametrenin ağırlık değerleri Analitik Hiyerarşî İşlemi (AHİ) yardımıyla belirlenmiş ve elde edilen ağırlık değerleri ait oldukları parametre haritalarına atanmıştır. Ağırlıklandırılmış arametre haritaları, ağırlıklandırılmış lineer kombinasyon yöntemiyle üst üste çakıştırılmış ve böylece inceleme alanına ait bir heyelan hassasiyet haritası elde edilmiştir. Üretilen heyelan hassasiyet haritasının doğruluğunu belirlemek amacıyla arazi gözlemleri, hava fotoğrafları ve uydu görüntülerini yardımıyla çıkarılan heyelan envanter haritası ile heyelan hassasiyet haritası çakıştırılmış ve her bir hassasiyet sınıfına düşen heyelanlı alanlar belirlenmiştir. Heyelan hassasiyetinin, yamaç eğimlerinin yüksek ve yüksek bozulma derecelerine sahip andezit, bazalt ve piroklastik türü kayaçların yeraldığı alanlarda yoğunlaşlığı belirlenmiştir.

**USE OF THE MULTI-CRITERIA DECISION ANALYSIS METHOD FOR  
PREPARING LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY MAPS:  
AN EXAMPLE FROM AYVALIK (BALIKESİR)**

**ABSTRACT:** In this study, landslide susceptibility mapping of the Ayvalık district, Balıkesir (Northwestern Aegean), was carried out using multi-criteria decision analysis technique. For this purpose, lithology, weathering grade of the outcroped rocks, slope, aspect, drainage density, distance to drainage networks, land-cover and vegetation cover density were considered as landslide-controlling parameters. The weight values of these parameters were determined by analytical hierarchy process which is a part of multi-criteria decision analysis and the obtained weight values were assigned to relevant parameter maps. These weighted parameter maps were overlaid using weighted linear combination technique and thus a landslide susceptibility map of the study area was constructed. The high susceptible areas were determined to be steep slopes and the areas where highly weathered andesite, basalt and its pyroclastics exist.

## 1. GİRİŞ

Heyelanlar, bir yamacı oluşturan kaya veya zemin türü malzemelerin ya da yamacı örten molozların yamaç aşağıya doğru hareket etmesi olarak tanımlanmaktadır (Varnes, 1984). Dünya genelinde yapılan araştırmalarda heyelanların, depremlerden sonra en çok can ve mal kaybına neden olan doğal afetlerin başında geldiği görülmektedir (İldır, 1995; Alacantara-Ayala, 2002). Son yirmi yılda ülkemizde de özellikle Doğu Karadeniz bölgesi başta olmak üzere Orta Anadolu ve Güney Batı Anadolu bölgelerimizde meydana gelen heyelanların çok sayıda can ve mal kaybına neden olduğu bilinmektedir (Tarhan, 1995; Gökçeoğlu vd., 2005).

Dünyanın değişik yerlerinde yürütülen heyelan araştırmalarının büyük bir çoğunuğunun, heyelan olması muhtemel yerlerin belirlenmesini amaçlayan heyelan hassasiyet, risk ve zarar değerlendirmesi konularını içeren çalışmalar olduğu görülmektedir (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001). Gelişen bilişim teknolojileri de bu çalışmaların gerçekleştirilmesinde göz ardı edilemez kolaylıklar sağlamaktadır. Son onbeş yıl içerisinde coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılama yöntemlerinde meydana gelen gelişmelere paralel olarak heyelan hassasiyet değerlendirmesi ile ilgili çalışmalarında oldukça artış gözlenmektedir. Bu çalışmalarda araştırmacılar, farklı değerlendirme yöntemlerini kullanarak heyelan hassasiyet haritalaması yapmaktadır. Bu yöntemler arasında dağılım analizi (Wieczorek, 1984)..

88

kalitatif analiz (Soeters ve van Westen, 1996; Aleotti ve Chowdhury 1999), istatistiksel analiz (Gökçeoğlu vd., 2005; Ercanoğlu vd., 2004; Süzen ve Doyuran 2004a,b; Lee ve Min, 2001) deterministik analiz (Kramer, 1986; Gökçeoğlu ve Aksoy, 1996) ve frekans analizi (Lee vd., 2002) gibi yöntemler başta gelmektedir. Son yıllarda sıkça kullanılan yöntemlerden birisi de çok ölçütlü karar analizi yöntemidir (ÇÖKA). Ayalew ve Yamagishi (2005), Ayalew vd. (2004), Komac (2006) ÇÖKA yöntemini kullanarak heyelan hassasiyet haritalaması yapmıştır.

Bu çalışmada, çok ölçütlü karar analizi yöntemi kullanılarak Balıkesir ilçesine bağlı Ayvalık yöreni ve yakın çevresini içine alan 424 km<sup>2</sup>, bir alanın heyelan hassasiyet analizi yapılmıştır. Çalışma alanı olarak Ayvalık ve yakın çevresinin seçilmesindeki amaç, bu yöredeki kayaçlarda yoğun fiziksel bozusma ve hidrotermal alterasyondan dolayı oluşan zayıf zonlarda kütle hareketlerinin meydana gelmiş olması ve bu alanda daha önce bu amaçla herhangi bir haritalama yapılmamış olmasıdır. Bu amaçla, inceleme alanına ait litoloji, bozusma derecesi, yamaç eğimi, yamaç yönelimi, drenaj ağlarına uzaklık, drenaj yoğunluğu, arazi örtüsü ve bitki örtüsü haritaları heyelan oluşumuna neden olan parametreler olarak ele alınmış, bu parametrelerde ait ağırlık değerleri belirlenmiş, bulunan ağırlık değerleri kullanılarak ağırlıklandırılmış parametre haritaları üretilmiştir. Bu haritaların birleştirilmesi sonucunda inceleme alanı için bir heyelan hassasiyet haritası

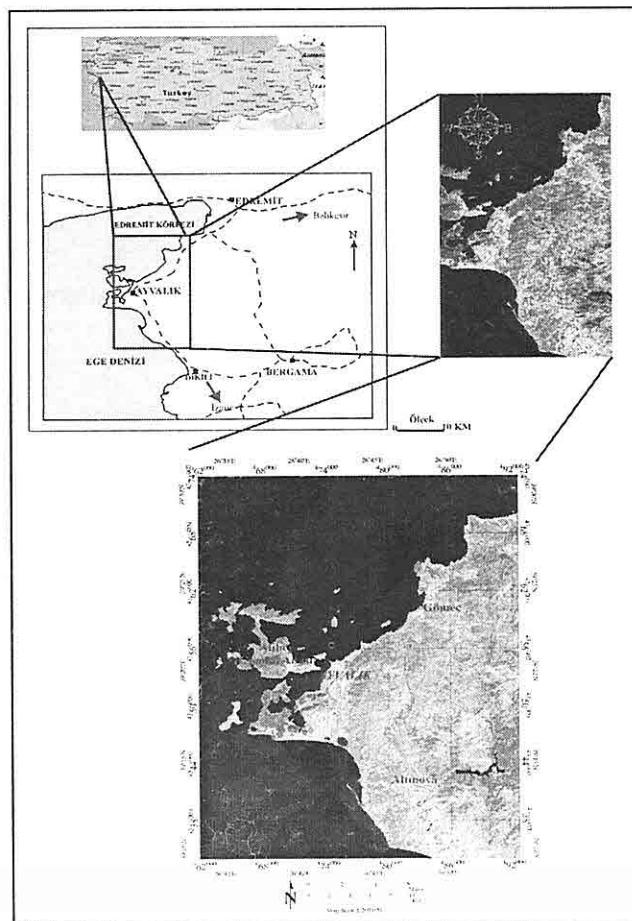
## *HEYELAN HASSASİYET HARİTALARININ HAZIRLANMASINDA ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR ANALİZİ YÖNTEMİNİN (ÇÖKA) KULLANIMI: AYVALIK (BALIKESİR) ÖRNEĞİ*

üretilmiş, sonuç harita inceleme alanında meydana gelmiş heyelan lokasyonları ile karşılaşmıştır ve böylece elde edilen hassasiyet haritasının doğruluğu araştırılmıştır.

### **2. İNCELEME ALANI**

İnceleme alanı, Türkiye'nin Kuzeybatı Anadolu kısmında yer almaktadır, Balıkesir iline bağlı Ayvalık ilçesi ile İzmir iline bağlı Bergama ilçeleri arasında, WGS 84 Datum ve UTM 35N koordinat

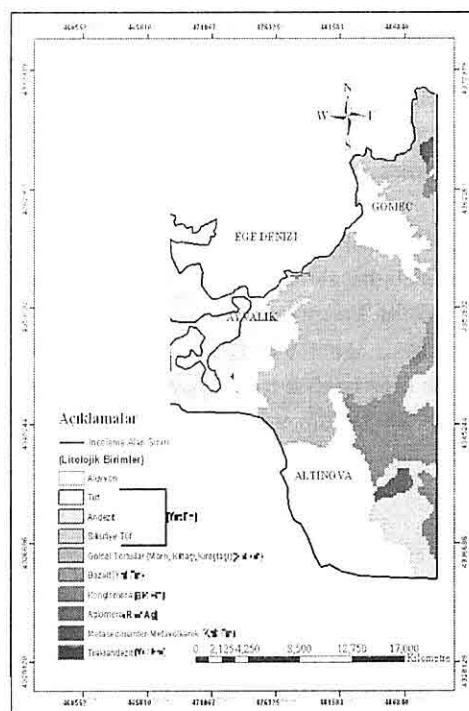
sistemlerine göre Min X: 461590.500, Min Y: 4334022.500, Max X: 492610.500 ve Max Y: 4374084.500 koordinatları arasında yer almaktadır (Şekil 1). İnceleme alanı 1/25.000 ölçekli Ayvalık J17 a2, a3, d2, b1, b4 ve c1 pastaları olmak suretiyle 6 adet topografik haritayı kapsamaktadır. Bu alan, güneyden kuzeye doğru yaklaşık 40 km, doğudan batıya ise ortalama 10 km olup toplam çalışma alanı olarak  $424 \text{ km}^2$ 'lik bir alanı kapsamaktadır.



Şekil 1. İnceleme alanının coğrafi konumu.

### 3. JEOLOJİ

İnceleme alanında MTA'nın 1989 yılında hazırladığı 1/100.000 ölçekli jeoloji haritasından derleme yapılmış ve on litolojik birim ayrılmıştır (Şekil 2). İnceleme alanının jeolojisine ilişkin ayrıntılı bilgiler Ercan vd. (1986) ve Akyürek ve Soysal (1983) tarafından verilmiştir. Bu çalışma kapsamında sayısallaştırılan jeoloji haritasındaki litolojik birimler, Alt Triyas yaşı; Klinik formasyonuna (Knk Fm) ait metavulkanit ve metasedimanter istif metamorfik birimler, Üst Miyosen-Pliyosen yaşı Yuntağ (Ynt Fm) formasyonuna ait birimler andezit, bazalt, tuf, silisifiye tuf ve trakiandezit, Balıca formasyonuna (Blc Fm) ait birimler konglomera, Soma formasyonuna (Sm Fm) ait marn; tuf, kireçtaşı, silttaşısı ve kumtaşısı birimleri gölisel tortullar ve Rahmanlar aglomerasyonuna (Rhm Ag) ait birim aglomera olarak isimlendirilmiştir. İnceleme alanında en genç birim, oluşumları devam eden alüvyonlardır. Bu birimlerin inceleme alanında kaplanmış oldukları toplam alan  $424.00 \text{ km}^2$  'dir. En geniş yayılımı  $164.46 \text{ km}^2$  ile marn, tuf, kireçtaşı silttaşısı ardalanmasından oluşan ve gölisel tortullar olarak isimlendirilen Soma Formasyonuna ait kayaçlar göstermektedir. Alüyon  $111.08 \text{ km}^2$ , tuf  $40.13 \text{ km}^2$ , andezit  $52.77 \text{ km}^2$ , silisifiye tuf  $0.63 \text{ km}^2$ , bazalt  $45.69 \text{ km}^2$ , konglomera  $3.38 \text{ km}^2$ , aglomera  $4.01 \text{ km}^2$ , metamorfik birimler  $1.67 \text{ km}^2$  ve trakiandezit  $0.12 \text{ km}^2$ 'lik alansal dağılıma sahip olduğu belirlenmiştir (Şekil 3).

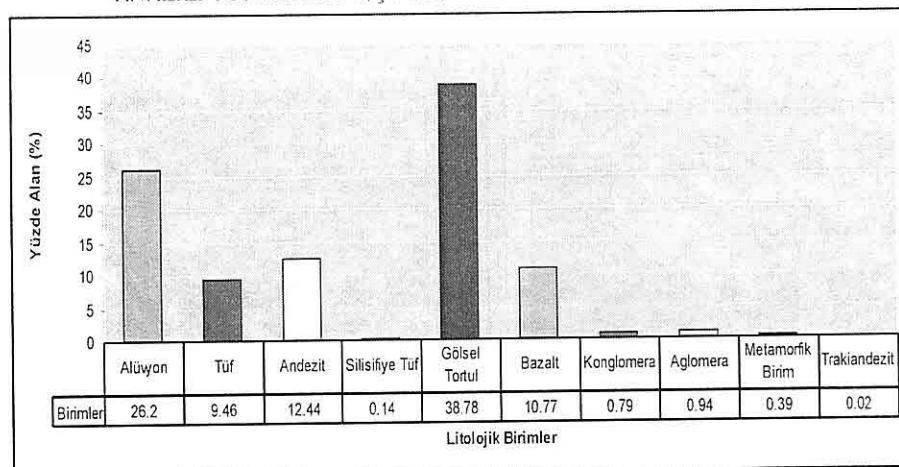


Şekil 2. İnceleme alanına ait litoloji haritası.

### 4. VERİ

Heyelan hassasiyet analizinde kullanılan verilerin başında topografik veri gelmektedir (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001). Bu amaçla, inceleme alanına ait 1/25.000 ölçekli 6 adet topografik harita 10 metre aralıklı olmak üzere sayısallaştırılmıştır. Sayısallaştırılan topografik veriler kullanılarak çalışma alanının sayısal arazi modeli oluşturulmuştur (Şekil 4), yamaç eğimi ve yamaç yönelim verileri bu sayısal arazi modeli yardımıyla elde edilmiştir (Şekil 5a,b). Yine sayısal arazi modeli kullanılarak inceleme alanının drenaj haritası çıkarılmış, daha sonra bu harita kullanılarak drenaj ağı

**HEYELAN HASSASİYET HARİTALARININ HAZIRLANMASINDA ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR ANALİZİ YÖNTEMİNİN (ÇÖKA) KULLANIMI: AYVALIK (BALIKESİR) ÖRNEĞİ**



**Şekil 3.** Litolojik birimlerin alansal dağılımları.

yoğunlaşması olan alanların belirlenmesi amacıyla drenaj yoğunluk haritası elde edilmiş (Şekil 6), aynı drenaj haritası kullanılarak drenaj ağlarına uzaklık haritası üretilmiştir (Şekil 7). İnceleme alanında yüzeylenen kayaların bozulma dereceleri ISRM (1981) tarafından önerilen ayırtma sınıflandırması dikkate alınarak sınıflandırılmış, 1/25.000 ölçüğünde arazide haritalanmış ve bu harita sayısallaştırılarak sayısal bozulma haritası oluşturulmuştur (Şekil 8). MTA'nın hazırlamış olduğu 1/100.000 ölçekli jeoloji haritasından revize edilen jeoloji haritası sayısal formata dönüştürülmüştür. 16.10.2001 tarihinde çekilmiş ve 30 m yersel çözünürlüklü Landsat 7 ETM + görüntüsü kullanılarak ilk kez Rouse vd. (1974) tarafından önerilen;  $(band3 - band4)$   $NDVI = \frac{(band3 + band4)}{(band3 - band4)}$  eşitliğinin uygulandığı "Normalize edilmiş bitki farkı (NDVI)" yöntemiyle bitki yoğunluğu indek verisi yaratılmış, daha sonra bu veri eş aralık yöntemine göre yeniden

sınıflandırılarak bitki yoğunluk verisi elde edilmiştir (Şekil 9).

Aynı uydu görüntüsü üzerinden denetimli görüntü sınıflandırma yöntemiyle arazi örtüsü çıkarılmış ve yerleşim, örtüsüz arazi, örtülü arazi, sulak alan, su kütlesi, tarım arazisi ve zeytin tarım arazisi olmak üzere yedi arazi sınıfı ayırt edilmiştir (Şekil 10).

## 5. YÖNTEM

### 5.1. ÇOK ÖLÇÜTLÜ KARAR ANALİZİ (ÇÖKA)

Çok ölçütlü karar analizi (ÇÖKA), karmaşık karar problemlerinin analizi için kullanılan sistematik işlemler toplamıdır. Bu işlemler, karar problemlerini daha anlaşılabılır küçük parçalara bölmeyi, her bir parçayı analiz etmeyi ve bu parçaları anlamlı bir çözüm üretEBilmek için mantıksal bir çerçevede bir araya getirmeyi kapsamaktadır (Malczewski, 1999). Genel olarak ÇÖKA problemleri altı bileşeni içermektedir (Keeney ve Raiffa, 1976; Pitz ve McKillip, 1984):



KİL MINERALLERİNİN KANTİTATİF VE KALİTATİF ANALİZLERİNDE  
FTIR (FOURIER TRANSFORM INFRARED) SPEKTROSKOPİ YÖNTEMİNİN  
ÖNEMİ

Fevzi ÖNER

Me.Ü., Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mersin/Türkiye

**ÖZET:** *Kıl minerallerinin araştırılmasında, klasik metodlardan X-Ray Diffraktometre (XRD) ve Differansiyal Termal Analiz (DTA) yöntemleri kullanılır. Bunlardan, özellikle X-Ray Diffraktometre yönteminde, X-Ray aygıtlarının hem pahali hemde kullanımının zor olması ülkemizde çok az sayıdaki kurum ve kuruluşta bulunması ve bunlarında çok azının çalışır durumda olması pratikte sorun yaratmaktadır. Buna karşın Fourier Transform Spektroskopı (FTIR) cihazlarının X-Ray aygıtlarına göre daha ucuz ve basit kullanım özelliklerine sahip olması, bir çok kurumun yanında, bütün üniversitelerimizin kimya bölgelerinde standart analitik cihazlar olarak, özellikle organik kimyada yoğun bir şekilde kullanılması ve çögünün çalışır durumda olması bir avantajdır. Bu çalışmada jeolojik malzeme bileşiminin nitel ve nicel olarak belirlemesinde FTIR-Spektroskop yönteminin değişik uygulamaları tanıtılmaktadır.*

THE SIGNIFICANCE OF THE FTIR (FOURIER TRANSFORM INFRARED)  
SPECTROSCOPY METHOD FOR QUALITATIVE AND QUANTITATIVE  
ANALYSIS OF CLAY MINERALS

**ABSTRACT :** *For the investigation of clay minerals classical methods such as X-Ray Diffraction and Differential Thermal Analysis are frequently used. Particularly, due to the high cost and complicated use of the X-Ray equipment, only a limited number of institutions and organizations own this equipment and only a small number of them are in good working condition in Turkey. In contrast, the FTIR-spectroscopy is more cost-effective and present in many institutions and also in the chemistry departments of universities as standard analytical equipment. The scope of this work is to show the application of FTIR method using several examples for the qualitative and quantitative determination of composition of geological materials.*

## 1. GİRİŞ

Yeryüzünde yüzeyleyen kayaçların %70’si tortul kayaçlar olup bunların en önemli ve en büyük kısmını kil olarak tanımlanan jeolojik malzeme oluşturmaktadır. Bir çok jeolojik çalışmanın amacını tortul kayaçların oluşumu ve oluşum esnasında hüküm süren faktörlerin araştırılıp ortaya konulması kapsar. Çünkü petrol, gaz, boksit, kil, kömür vd. gibi ekonomik değere sahip bir çok önemli maden yatağı tortullaşma olayına bağlı olarak oluşmaktadır. Ayrıca günümüzde bir çok çevre probleminin çözülmesinde killer önemli bir yer tutarlar. Bu tür hammaddelerin endüstride kullanılması için belirli fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip olmaları istenir. Bu özelliklerden en önemlisi de hammaddenin mineralojik bileşimidir. Jeolojik malzemenin nitel ve nicel mineralojik bileşiminin ortaya konması için bir çok yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları; Polarisan Mikroskop, X-ışını kırınımı (XRD), Diferansiyel Termal Analizi (DTA), Raster Elektron Mikroskop (REM) ve Fourier Transform Infrared (FTIR) yöntemleridir. Bunlardan mikroskopik yöntem, kaba taneli minerallerden oluşan kayaçların mineralojik bileşiminin ortaya koymakta önemli bir rol oynar. Bu yöntemle kil gibi ince taneli malzemeden oluşan kayaçların mineralojik bileşiminin belirlenmesi olanaksızdır. İnce taneli malzemelerden özellikle kil minerallerinden oluşan kayaçların mineralojik bileşiminin kantitatif ve kalitatif olarak ortaya

koymak için en çok kullanılan yöntem X-ışını kırınımı yöntemidir. Bu yöntemle tüm örnek veya sadece toplam örnekten elde edilen kil fraksiyonu analiz edilir. Özellikle kil minerallerine yönelik kalitatif ve kantitatif çalışmalarla ilk önce tüm örnekten, ince taneli malzemenin ( $<2\mu$ ) değişik yöntemler (santrifüj, pipet analizi) kullanılarak kazanılması zorunludur. Bu şekilde elde edilen örneklerin ayrıca karbonat ve organik maddededen de arıtılması gereklidir. Bu işlemlerin yapılması durumunda bile yapılacak nicel saptama kısımidir (semi quantitative) Rösch (1968). Çünkü bu yöntemde minerallerin kristalize durumu, tane boyutu gibi parametreler nicel analizlerde önemli bir role sahiptirler. Rösch (1968), Thorez ( 1975) ve Wilson (1987) kil minerallerinin kalitatif ve kantitatif olarak belirlenmesinde X-ışını kırınımı yönteminin kullanımını detaylı bir şekilde ele almışlardır. Kil minerallerinin belirlenmesinde sıkça kullanılan yöntemlerden biride Diffrensiyal Termal analizdir (DTA). Bu yöntemde örnek belirli bir süre içinde belirli aralıklarda 50-1000 °C arasında ısıtılır. Bu işlem esnasında ortaya çıkan termik reaksiyonlar mineraller için karakteristik olup bunların belirlenmesinde kullanılır. Kil minerallerinin analizlerinde DTA yöntemi kullanımı Mackenzie (1957, 1984b) ayrıntılı bir şekilde verilmiştir. Bu yöntemler dışında kil minerallerinin doku, morfoloji, büyümeye ve tanelerin birbiriley olan ilişkileri gibi özelliklerini araştırmak için Taramalı Elektron Mikroskop (SEM)

## *KİL MINERALLERİNİN KANTİTATİF VE KALİTATİF ANALİZLERİNDE FTIR (FOURIER TRANSFORM INFRARED) SPEKTROSKOPI YÖNTEMİNİN ÖNEMİ*

ve Transmisyon Elektron Mikroskop (TEM) gibi yöntemler kullanılmaktadır.

Yukarda kısaca anlatılan klasik metodlardan X-ışını yöntemi, kil analizlerinde en yoğun kullanılan yöntemlerin başında gelir. Ülkemizde çok az sayıdaki kurum ve kuruluşun laboratuarlarında X-Ray aygıtları bulunur ve bir çoğu da çalışır durumda olmadıklarından (araştırma sonucu elde edilen bilgi) bu yöntemle analiz etme imkanı zor ve pahalıdır. Bu da bu tür cihazlarının pahalı olmaları ( $>150.000$  US\$) ve kullanımlarının ancak soğutma sistemi, mekan, bakım gibi bazı özel şartların yerine getirilmesi durumunda mümkün olmasından kaynaklanmaktadır.

Fourier Transform Infrared Spektroskop (FTIR) yöntemi de tortul kayaçların birleşiminin nitel ve nicel olarak belirlenmesi için sıkça kullanılan bir yöntemdir. FTIR- Spektroskop aygıtları X-ışını aygıtlarına göre beşte biri kadar daha ucuz, arabaya monte edilerek arazide direkt kullanılabilecek kadar kompakt ve soğutma sistemi veya buna benzer özel durumların sağlanması gerekliliklerini bir aygıttır. Bundan dolayı ülkemizde bir çok kurumun yanında hemen hemen bütün üniversitelerimizin kimya, eczacılık ve çevre bölümlerinin laboratuarlarında bulunan standart analitik cihazlardan biri olup, genellikle tümü çalışır durumdadır.

Bu çalışma kapsamında FTIR-Spektroskop yönteminin yerbilimciler arasında, özellikle tortul kayaçların kil mineralojisiyle ilgilenen meslektaşlara tanıtılması amaçlanmaktadır. Bu amaçla,

yöntem kısa bir şekilde ele alınarak, uygulama alanları ile ilgili örnekler verilerek kullanım potansiyeli üzerinde durulacaktır.

### **2. FOURIER TRANSFORM INFRA-RED (FTIR) YÖNTEMI**

İnfrared ışınması (Kırmızı Ötesi) elektromagnetik spektrumda görünür bölge ve mikro dalga arasında bulunan, dalga boyu  $0.8\text{-}500 \mu\text{m}$  (dalga sayısı  $12500\text{-}20 \text{ cm}^{-1}$ ) olan bir ışımadır. Kırmızı ötesi ışına dalga boyu baz alınarak üç bölgeye ayrılır. Bunlardan dalga boyu  $0.8\text{-}2.5 \mu\text{m}$  ( $12500\text{-}4000 \text{ cm}^{-1}$ ) arasında olan bölgeye yakın kırmızı ötesi,  $2.5\text{-}25 \mu\text{m}$  ( $4000\text{-}400 \text{ cm}^{-1}$ ) kırmızı ötesi ve  $25\text{-}500 \mu\text{m}$  ( $400\text{-}20 \text{ cm}^{-1}$ ) uzak kırmızı ötesi bölge olarak adlandırılır. Katı örneklerin analizlerinde genellikle dalga boyu  $2.5\text{-}25 \mu\text{m}$  olan ışına kullanılır. Herhangi bir madde infrared ışınmaya maruz kaldığında bu enerjinin bir kısmı madde tarafından soğrular. Absorbe edilen bu enerji o maddeyi oluşturan moleküllerin titreşimine neden olur. Soğrulan enerji miktarı ile incelenen maddenin derişimi ve ışına yolunun uzunluğu arasında düzgün bir ilişki vardır. Soğrulan enerji bantlarının yeri yani piklerin dalga boyu konumu incelenen maddenin bileşimi hakkında bilgi verir. FTIR yöntemiyle katı, sıvı ve gaz fazında bulunan maddeler incelenebilir. Klasik FTIR metoduyla katı fazdaki malzemeyi incelemek için, örnek toz haline getirilir, belirli oranlarda Potasyum Bromür (KBr) veya diğer tuzlarla karıştırılıp homojen edilir ve daha sonra belirli bir basınç altında tablette

dönüştürülerek analizi yapılır. Bir örneğin hazırlaması ve analiz yapılması için gereken maksimum süre 30 dakikayı geçmemektedir. Günümüzde tabiet yöntemi olarak adlandırılan bu metodun yanında, Infrared cihazına yapılacak ATR, DRIFT gibi küçük ekleme aksesuarlarla katı örnekler doğrudan ölçülmektedir. Bu tekniklerin kullanımı sayesinde katı fazdaki örneklerin analizlerinin daha kısa bir süre içinde yapılması olasılığı ortaya çıkmıştır. FTIR metodu organik kimyada ve özellikle ilaç sektöründe, bileşiklerin yapılarını veya iki bileşliğin aynı olup olmadığını ortaya koymak için en sık kullanılan yöntemlerden biriyken jeolojik malzemenin analizlerinde nadiren kullanılmaktadır.

### **3. INFRARED YÖNTEMİNİN TARİHÇESİ**

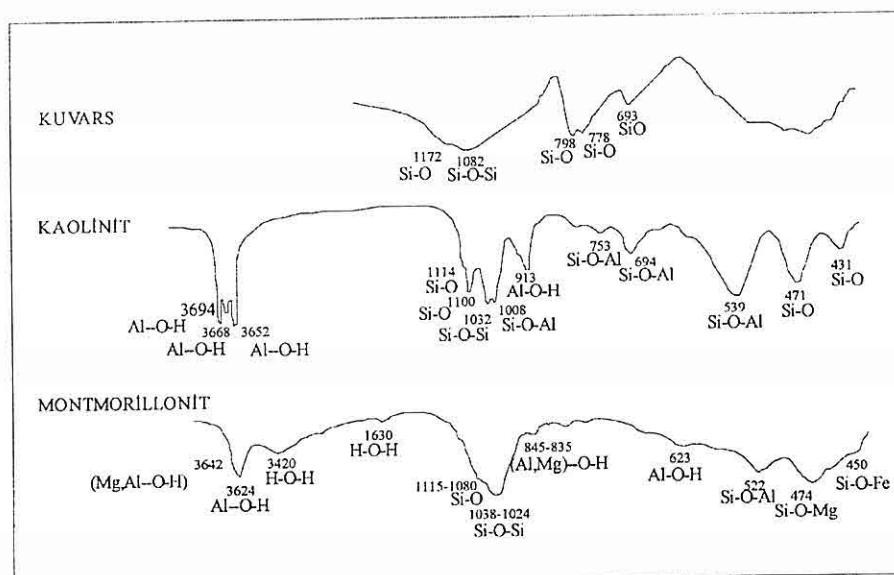
Infrared yöntemini ilk olarak mineral analizleri için kullanan kişilerin başında Lyon ve dig. (1958), Lyon ve dig. (1959) gelmektedir. Bu araştırmacılar bir toprak profilinde yer alan mineralleri belirlemeye çalışmışlardır. Mönke ve dig. (1963) yaptıkları çalışmada karbonat kayaçlarının önemli bileşenleri olan kalsit ve dolomit minerallerinin miktarlarını nitel olarak belirlemişlerdir. Chester & Elderfield (1968), Chester & Green (1968) ise derin deniz çökellerindeki opal ve kuvars miktarlarını nitel olarak belirlemişlerdir. Chester & Elderfield (1971) yaptıkları çalışmada, tortul kayaçların bileşiminde bulunan değişik montmorillonit tiplerini karakterize etmişlerdir. Flemig & Kurze (1973) geliştirdikleri Infrared yöntemiyle

tortul kayaçların yapısında bulunan önemli mineralleri (kuvars, kalsit, dolomit, illit, kaolinit ve klorit) nitel ve nicel olarak belirlemişlerdir. Farmer (1974) ve Van der Marel & Beutelsbacher (1976) çok sayıda mineral spektrumlarını içeren atlaslar yayınlamışlardır. Ganz (1986), Öner (1987), Ganz ve dig. (1990b) geliştirdikleri yeni Infrared yöntemiyle tortul kayaçları oluşturan mineral türlerini ve bunların miktarlarını belirlemesinin yanında, aynı zamanda bu kayaçlar içinde ince taneler şeklinde dağılan organik materyali (kerogeni) tiplerine ayıarak karakterize etmişlerdir.

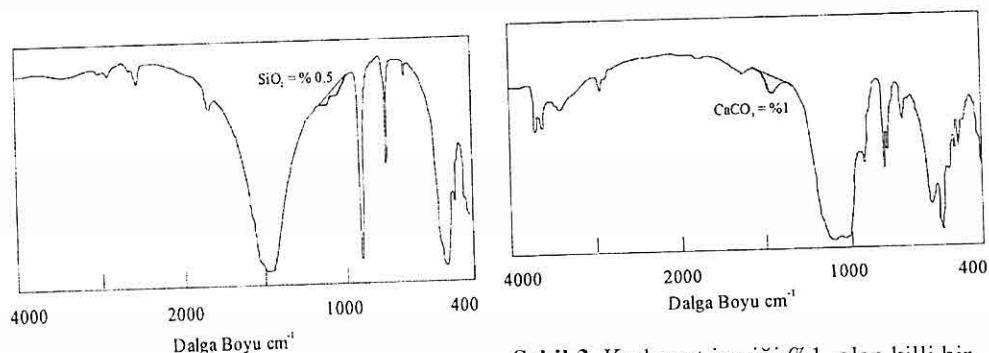
### **3.1 FOURIER TRANSFORM İNFRARED YÖNTEMİYLE KALİTATİF MİNERALOJİK ANALİZLER**

Jeolojik malzemenin bileşiminde Si-O, Al-OH, CO<sub>2</sub>, SO<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub>O gibi molekül grupları bulunur. Bu tür moleküller kızıl ötesi enerjiye maruz kaldıklarında titreşir ve spesifik bölgelerde dorukların ortaya çıkmasına neden olurlar (Şekil 1). Örneğin Al-O-H titreşimleri 3700- ile 3500 cm<sup>-1</sup> ortaya çıkarken, Si-O titreşimleri 1050-950 cm<sup>-1</sup> arasında (silikat piki) ve CO<sub>3</sub> titreşimleri 1500-1400 cm<sup>-1</sup> (karbonat piki) görülürler. Şekil 2 ve 3'de SiO<sub>2</sub> içeriği %0.5 ve CaCO<sub>3</sub> içeriği % 1 dolaylarında olan iki ayrı örneğin (toplam örnek) diyagramı verilmiştir. Bu örneklerin düşük silis ve karbonat içeriği IR-Spektrumlarda 1000 cm<sup>-1</sup> ve 1500 cm<sup>-1</sup> dolaylarında ortaya çıkarlar ve bu yöntemin hassasiyetini (parmak izi) göstermektedirler. IR yönteminde her

KİL MINERALLERİNİN KANTİTATİF VE KALİTATİF ANALİZLERİNDE FTIR (FOURIER TRANSFORM INFRARED) SPEKTROSKOPI YÖNTEMİNİN ÖNEMİ



**Şekil 1.** Kaolinit, Montmorillonit ve Kuvars minerallerini oluşturan moleküllerin değişik dalga boyutundaki titreşimleri.



**Şekil 2.** Silis içeriği %0.5 olan bir karbonat örneğinin FTIR-Diyagramındaki görünümü.

mineralin belirli bir dalga boyutunda ortaya çıkan bir doruk deseni vardır ve o mineral için spesifiktir. Örneğin karbonat minerallerinin tümü için ortak pik olarak

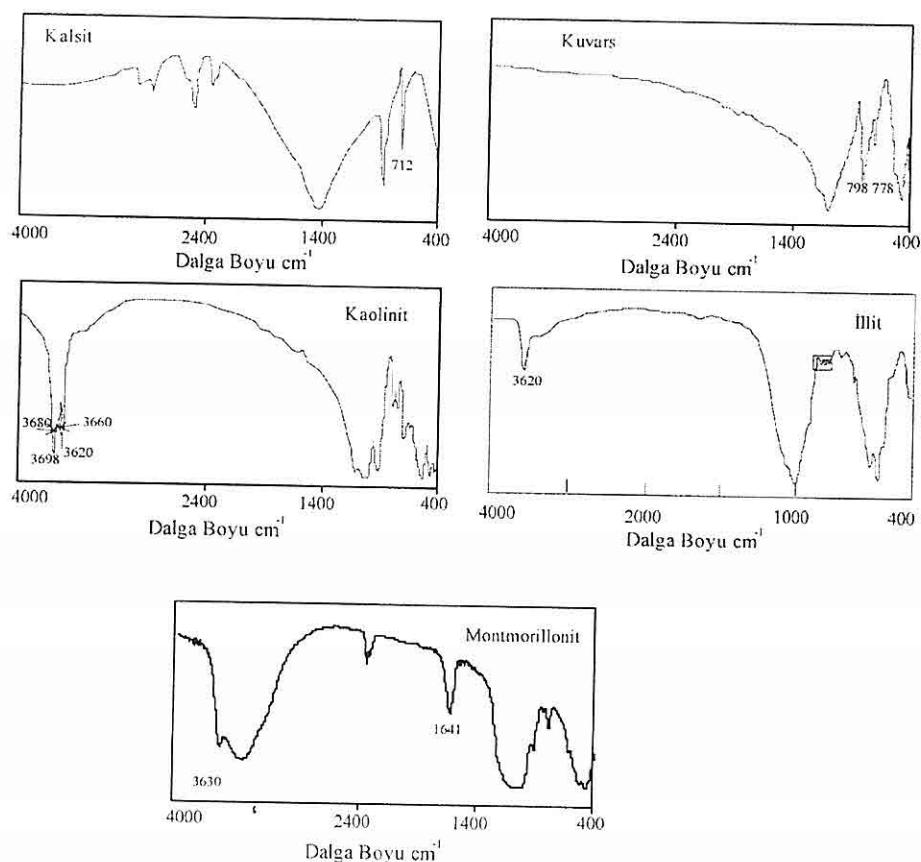
**Şekil 3.** Karbonat içeriği %1 olan killi bir örneğin FTIR-Diyagramındaki görünümü.

adlandırılan ve  $1500 - 1400 \text{ cm}^{-1}$  dolaylarında ortaya çıkan pikin yanında kalsit 712, dolomit 728, siderit 738 ve manyezit  $748 \text{ cm}^{-1}$  de ortaya çıkan piklerle birbirinde ayırt edilirler. Şekil

4'te kayaçların önemli bileşenlerinden olan Kaolinit, Montmorillonit, İllit, , kuvars ve kalsit minerallere ait spektrumlar karakteristik doruklarıuya beraber verilmiştir. Infrared yöntemiyle kalitatif mineralojik analizler yapmak için günümüzde çok sayıda minerale ait Infrared Spektrumlarını içeren atlas (baskı) veya dijital kütüphaneler piyasada bulunmaktadır.

### 3.2. FOURIER TRANSFORM INFRARED YÖNTEMİYLE KANTİTATİF MİNERALOJİK ANALİZLER

Infrared ışımına maruz kalan herhangi bir madde belirli miktarlarda enerji soğurur ve absorbe edilen bu enerji miktarı ile maddenin derişimi (molekül miktarı) arasında beliren bir ilişki vardır. Derişim ne kadar fazla ise soğurulan



**Şekil 4.** Tortul Kayaçların önemli bileşenlerinden Kaolinit, İllit, Montmorillonit, Kuvars ve Kalsit minerallerinin FTIR - Diyagramları.

## KİL MINERALLERİNİN KANTİTATİF VE KALİTATİF ANALİZLERİNDE FTIR (FOURIER TRANSFORM INFRARED) SPEKTROSKOPİ YÖNTEMİNİN ÖNEMİ

enerjide o kadar fazladır. Kantitatif analizler bu ilişki baz alınarak yapılır. Infrared teknigi kullanarak kalitatif analiz yapmak için bütün fiziksel metodlarda olduğu gibi değişik minareler içeren ve bunların faklı derişimlerden oluşan kalibrasyon setleri gerekmektedir. Kantitatif IR analizleri için bu yöntemle elde edilen spektrum daha önce oluşturulan kalibrasyon setlerinde yeralan spektrumlarla karşılaştırılarak mineral miktarları belirlenir. Bu prensibe dayanan ve kantitatif analizler yapmak için kullanılan bazı programlar, cihaz üreticileri tarafından piyasaya sürülmüştür. Şayet oluşturululan kalibrasyon setindeki örneklerin kimyasal bileşimleri varsa (XRF verileri) analize tabi tutulacak örneğin ana element içerikleri istatistik teknikleri kullanılarak belirlenebilir. Şekil 5'te XRF yöntemi kullanılarak elde edilen CaO, MgO ve SiO<sub>2</sub> miktarları ile FTIR yönteminde elde edilen verilerin karşılaştırılmıştır (veriler makalede verilmemiştir). İki yöntem ile elde edilen veriler arasında büyük bir uyum olduğu görülmektedir ( $r > 0,9$ ). Bu yöntemin diğer bir avantajı da, killi kayaçlarda klasik yöntemlerle belirlenen ateşe kayıp miktarlarının da belirlenebilmesidir. Şekil 6'da klasik yöntem (kalsinasyon) ve FTIR analizlerinde elde edilen ateşe kayıp miktarları verilmiştir. Burada da yine her iki yöntemle elde edilen veriler arasında çok iyi bir uyum olduğu görülmektedir.

### 4. SONUÇLAR

Kil içerikli kayaçların analizlerinde

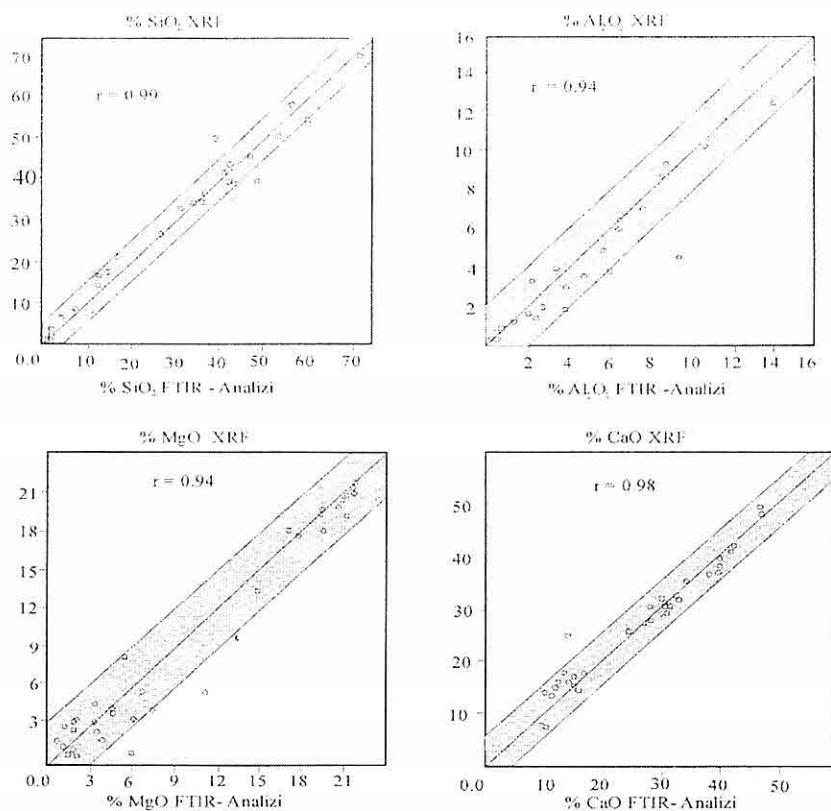
sıkça kullanılan X-ışını kırınımı yöntemine göre Fourier Transform Infrared (FTIR) teknigi önemli avantajlara sahiptir. Bu yöntemle tortul kayaç örneklerinin kil içeriğinin bileşiminin saptanması için bu fraksiyonunun kazanılması gerekmektedir. Infrared spektrumları mineralojik bileşimin dışında ayrıca ana oksit ve organik maddenin (kerogen) tipinin belirlenmesinde kullanılan bilgiler içerirler. Ayrıca kömür gibi büyük bir kısmı organik maddeden oluşan malzemenin içeriği anorganik bileşiklerin türleri ve miktarları toplam örnekten direkt belirlenebilir.

Fourier Transform Infrared (FTIR) analizlerinde kullanılan aletler ve aksesuarları diğer yöntemlerde kullanılan aygıtlarla karşılaştırıldığında daha basit ve ekonomik olup, çalıştırılmaları için mekan, enerji gibi özel bir takım şartların yerine getirilmesine gereksinim duyulmamaktadır. Bu nedenle, bu tür aygıtlarla kil, karbonat gibi bir çok endüstriyel hammaddenin ocaklarda hammaddenin alınımında veya ürüne dönüştürülmeden önceki aşamalarda kalite kontrol işlemlerinde kullanılabilirler.

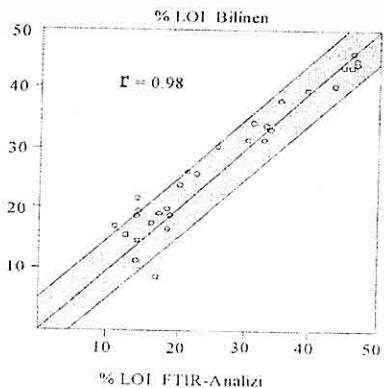
### 5. KAYNAKLAR

Chester, R. & Gren, R. N. (1968): *The Infrared determination of quartz in sedimentary rocks. Chem. Geol., 3, 119-212 Amsterdam.*

Chester, R. & Elderfield, H. (1968): *The infrared determination of opal in siliceous deep sea sediments. Geochim. Cosmochim. Acta 32, 1128-1140, Oxford.*



**Şekil 5.** XRF ve FTIR yöntemleriyle belirlenen CaO, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve SiO<sub>2</sub> miktarları arasında önemli bir uyum görülmektedir.



**Şekil 6.** Klasik (yakma) ve FTIR yöntemiyle belirlenen ateşte kayıp (LOI) değerlerinin karşılaştırılması.

Chester, R. & Elderfield, H. (1971): *An infra-red study of clay minerals. I. The identification of montmorillonite type clays in marine sediments. Chem. Geol.*, 7, 97-105, Amsterdam.

Farmer, V. C. (1974). *The Infrared Spectra of Minerals*. -539 p., London (Mineralogical Society).

Flehmig, W. & Kurze, R. (1973): *Die quantitative Infrarotspektroskopische Phasenanalyse von Mineralgemischen. N.Jb. Miner. Abh.*, 119, 101-112, Stuttgart.

KİL MINERALLERİNİN KANTİTATİF VE KALİTATİF ANALİZLERİNDE FTIR (FOURIER TRANSFORM INFRARED) SPEKTROSKOPI YÖNTEMİNİN ÖNEMİ

- Ganz, H. (1986): *Organisch- und anorganisch-geochemische Untersuchungen an agyptischen Schwarzschiefer/Phosphoritsequenzen. Methodenentwicklung und genetische Model.* Berliner geowiss. Abh., A, 70, 113 S., Berlin.
- Ganz, H., Kalkreuth, W., Ganz, S.H., Öner, F., Pearson, M.J. & Werner, H. (1990b): *Infrared analysis- State of the art.* Berl. Geowiss. Abh., A, 120.2, 1011-1026, Berlin.
- Lyon, R. J. P., Tuddenham, W. M. (1958): *Relation of infrared spectra and chemical analysis of some chlorites and related minerals.* Anal. Chem., 31, 377-380, Washington.
- Lyon, R. J. P., Tuddenham, W. M., Thompsen, C. S. (1959): *Quantitative mineralogy in 30 minutes.* Econ. Geol., 54, 1047-1055, Lancaster.
- Mackenzie, R. C. (1957): *The differential thermal analysis of clays.* Min. Soc. of G.B., 456 S, London.
- Mackenzie, R. C. (1984b): *Orgin and development of differential thermal analysis.* Thermochim. Acta, 73, 307-367.
- Mönke, H. (1963): *Entwicklung, Stand und Möglichkeiten der Ultraspektralphotometrie von Mineralien.* Fortschr. i. d. Miner., 40, 76-123, Stuttgart.
- Öner, F. (1987): *Infrarotspektroskopischer Untersuchungen zu Lithologie und Energiepotential des Dakla Shale in SE-Agypten. Unveröff. Diplomarbeit, 71 S., Technische Universität Berlin.*
- Rösch, H. (1968). *Die quantitative röntgenographische Phasenanalyse -Ein Vergleich verschiedener Analyseverfahren.* N.Jb. Miner. Abh., 108, 271-291, Stuttgart.
- Thorez, J. (1975): *Phyllosilicates and clay minerals. A laboratory handbook for X-ray diffraction analysis.* 582 S (Edition G. Lelotte) Dison, Belgium.
- Van der Marel, H. W. & Beutelsbacher, H. (1976): *Atlas of infrared spectroscopy of clay minerals and their admixtures.*, 396 S. Amsterdam-Oxford-New York (Elsevier).
- Wilson, M. S. (1994): *Clay mineralogy: Spektroskopic and chemical determinative methods.* Chapman & Hall, London.
- Wilson, M. S. (1987): *A Handbook of determinative methods in clay mineralogy.* 305 p. Published by Chapman and Hall in New York.



## KÜÇÜK MENDERES NEHRİ KİYİ SULAK ALANININ HİDROJEOKİMYASAL DEĞERLENDİRİLMESİ

A. Melis SOMAY, Şevki FİLİZ

D.E.Ü., Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İzmir/Türkiye

**ÖZET :** *Hidrojeokimya, sulak alanların su tipini, beslenme-boşalma sınırlarını ve su-kayaç ilişkisinin tanımlanmasına yardımcı olur. Bu çalışmada, Türkiye'nin önemli sulak alanlarından biri olan Küçük Menderes Nehri kıyı sulak alanı araştırılmıştır. Çalışma alanı başlıca Selçuk olmak üzere Efes ve Şirince yörelerini de kapsamaktadır. Su örnekleri 2001 yılında, hidrolojik havza sınırı dahilinde, bulunduğu alanı temsil eden 43 noktadan alınmıştır. Küçük Menderes Nehri deltası oluşurken meydana gelmiş 3 göl ve 1 bataklık, bu sulak alanı temsil etmektedir. Gebekirse gölü, Akgöl ve Kocagöz Gölü karstik mermerler ve yağışlardan beslenmekte ve kanallar ile de Küçük Menderes Nehrine boşalmaktadır. Gebekirse Gölü sulak alanında 92 kuş türü vardır. Eleman bataklığı her kış Küçük Menderes Nehrinin taşıması sonucu sellenmeyecektir ve yazın da kuruyan alan bölgelerde insanlar tarafından tarım amaçlı kullanılmaktadır. Havzanın genelinde hidrojeokimyasal verilere göre dağlık alandan kıyı kesimine doğru su tipi Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> ten Na-Cl ye doğru bir değişim göstermektedir. Selçuk ovasında tuzlama olayı önemli bir problem teşkil etmektedir. Su tipinin değişmesi, ovadaki sulama ve içme suyu amaçlı açılan sondajlardan yapılan aşırı yeraltı suyu çekimine bağlıdır. Bu bağlamda, kıyıdaki deniz suyu girişimi göller ve bataklığı tuzlandırmaktadır.*

## HYDROGEOCHEMICAL ASSESSMENT OF KÜÇÜK MENDERES RIVER COASTAL WETLAND

**ABSTRACT:** *Hydrogeochemical properties help us to identify wetlands water type, discharge and recharge boundary of wetlands, water-rock interactions. In this study one of the most important wetland of Turkey that is Kucuk Menderes River Coastal Wetland was preliminary investigated. The study area includes Selcuk, Ephesus and Sirince. The water samples were collected from the crucial points of hydrological basin boundary of the wetland in 2001. There are 3 lakes and 1 swamp that were formed while Kucuk Menderes River Delta was occurred. Lake Gebekirse, Lake Akgol and Lake Kocagoz recharge from the karstic marble and rainfall; and discharge to the Kucuk Menderes River with channels. There are 92 bird species in Lake Gebekirse wetland. Eleman swamp is submerged every winter by floods from the Kucuk Menderes River and dries in summer and used as agricultural by local people. In general in the whole basin, according to the chemical data from hilly area to the coast, the water type changes between Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> to Na-Cl. The salinization is an important problem in the Selcuk Plain. Changing of the water-types can be explained by excessive pumping of groundwater for drinking and agricultural uses. In this context, the sea water intrusion caused the lakes and swamp saline.*

## 1. GİRİŞ

Hidrolojik bir sistemde sulak alanlar, çok önemli bir yer tutmaktadır. Sulak alan kavramı, yer yüzeyinde oluşmuş olan bataklıklar, sazlıklar, bitkisel bölgeler, yer yüzeyindeki düşük kotlu yerler, nehir, ırmaç, göl ve kıyı bölgeleri ile kenarları kuru alanlar arasındaki yerler için tanımlanan kollektif bir terimdir (Somay, 2001). Ramsar (1987) e göre sulak alanlar; Doğal veya yapay; sürekli veya mevsimsel; durgun veya akan su kütüleleri; acı veya tuzlu; gel-git bölgelerinde suların çekildiği dönemlerde su seviyesi 6 m'yi aşmayan; deniz kesimlerini de kapsayan bütün bataklıklar, turbalık ve suyla kaplı alanlar, tatlı-tuzlu su gölleri, kıyı veya iç bölge deltaları, nehir taşın ovaları, baraj göl ve göletleri, sazlıklar, tuzcul ve tatlı su bataklıklarıdır. Sulak alanlar; su kalitesi kontrolü, sel kontrolü, yeraltı suyu beslenmesi ve boşalması, erozyon kontrolü, besin çeşitliliği ve vahşi hayat, potansiyel rekreatif alanları oluşturdukları için hidrolojik döngünün çok önemli bir elemanıdır. Sulak alanların formasyonu, büyülüğu ve fonksiyonları hidrolojik işlevler ile kontrol edilmektedir. Sulak alan tipindeki farklılıklar, bitki kompozisyonu ve toprak tipi, jeolojik, topografik ve iklimsel etkilerden meydana gelir. Sulak alanlar genelde göller ile bağlantılıdır veya karaların izole edilmiş bölgelerinde oluşabilirler (Fretwell vd., 1996). Hidrojeolojik araştırmalar bize sulak alanın beslenme-boşalma ilişkisini, sulak alanın su tipini, su-kayaç ilişkisini vs. bulmamıza yardımcı olmaktadır.

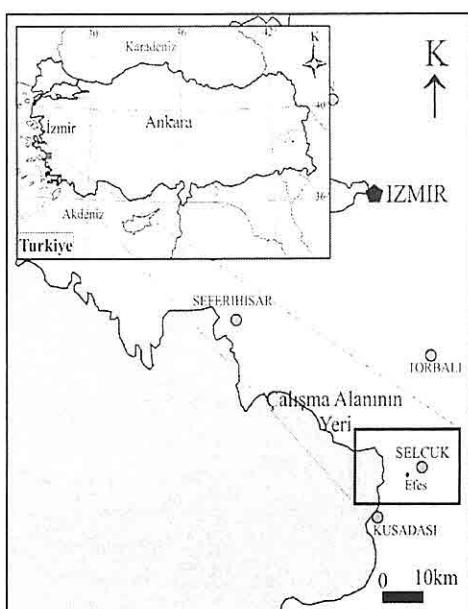
Türkiye'de 70 in üzerinde sulak alan

bulunmaktadır. Ama bunların sadece 9 tanesi (Sultan sazlığı-Kayseri, Seyfe Gölü-Kırşehir, Uluabat Gölü-Bursa, Manyas Kuş Gölü-Balıkesir, Burdur Gölü-Burdur, Kızılırmak Deltası-Samsun, Göksu Deltası-Silifke, Gediz Deltası-İzmir, Akyatan Lagünü-Adana) Uluslararası Öneme Sahip Sulak Alanlar sözleşmesi olan RAMSAR kapsamındadır. Bir sulak alanın "Ramsar Koruma Alanı" altına alınabilmesi için, zoologisi, ekolojisi ve limnolojisi-hidrolojisi göz önüne alınır. Ramsar'ın alt kuruluşı olan ve Türkiye'nin de üyesi olduğu "Akdeniz Sulak Alanları Girişimi: MED-WET", sadece Akdeniz bölgесine ait sulak alanlarda çalışma yapmakta, sulak alanlara ait zoologik, botanik, ekolojik ve hidrolojik envanterler çıkartmakta; bu envanterler ışığında sulak alanları sürdürülebilirliği üzerine görüş bildirmektedir.

Türkiye'de, sulak alanlara yönelik birçok biyolojik ve ornitolojik çalışma yapılmasına karşın hidrojeolojik-hidrojeokimyasal çalışmalar çok fazla değildir. Bu çalışmada Küçük Menderes Nehri Kıyı Sulak Alanı hidrojeokimyasal açıdan araştırılmıştır.

Çalışma alanı İzmir ilinin yaklaşık 70 km güneyinde bulunan Şelçuk ilçesini ve buraya bağlı Şirince, Acarlar ve Belevi köylerini de kapsayan Aşağı Küçük Menderes Hidrolojik Havzasını ele almaktadır (Şekil 1). Bu havza içerisindeki kıyı sulak alanı 3 göl ve 1 bataklık ile temsil edilmektedir. Buradaki ilk çalışma 1973 yılında Devlet Su İşleri'nin (DSİ) Küçük Menderes

## KÜÇÜK MENDERES NEHRİ KİYI SULAK ALANININ HİDROJEOKİMYASAL DEĞERLENDİRİLMESİ



**Şekil 1.** Çalışma Alanının Yeri.

Havzasının bütününde yapmış olduğu çalışmadır. DSİ, 1996 yılında Japon Uluslararası İşbirliği Ajansı (JICA) ile ortaklaşa "Küçük Menderes Nehri Sulama Projesi" isimli bir çalışma yürütmüştür. Bunun dışında Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTU) ile DSİ'nin 2000 yılında ortaklaşa yapmış olduğu jeolojik ve hidrojeolojik raporda da Küçük Menderes Nehri Havzası ayrıntılı incelenmiştir. Fakat bu iki rapor da Küçük Menderes Kıyı Sulak Alanını detaylı olarak incelenmemiştir. Yapılan bu ön değerlendirme çalışmasının amaçları: (i) sulak alanın havza sınırlarının belirlenmesi, (ii) Sulak Alanın ve Aşağı Küçük Menderes Havzası'ndaki suların kimyasını karakterize etmek.

Küçük Menderes Nehri yaklaşık 107

km uzunlukta ve  $3617 \text{ km}^2$  drenaj alanına sahiptir. Ortalama yıllık toplam yağış tüm havza genelinde yaklaşık  $570 \text{ mm/yıl}$  ve ortalama yıllık sıcaklık  $16.7^\circ\text{C}$  tır. Yağışlar, genelde kışın görülür.

### 2. YÖNTEMLER

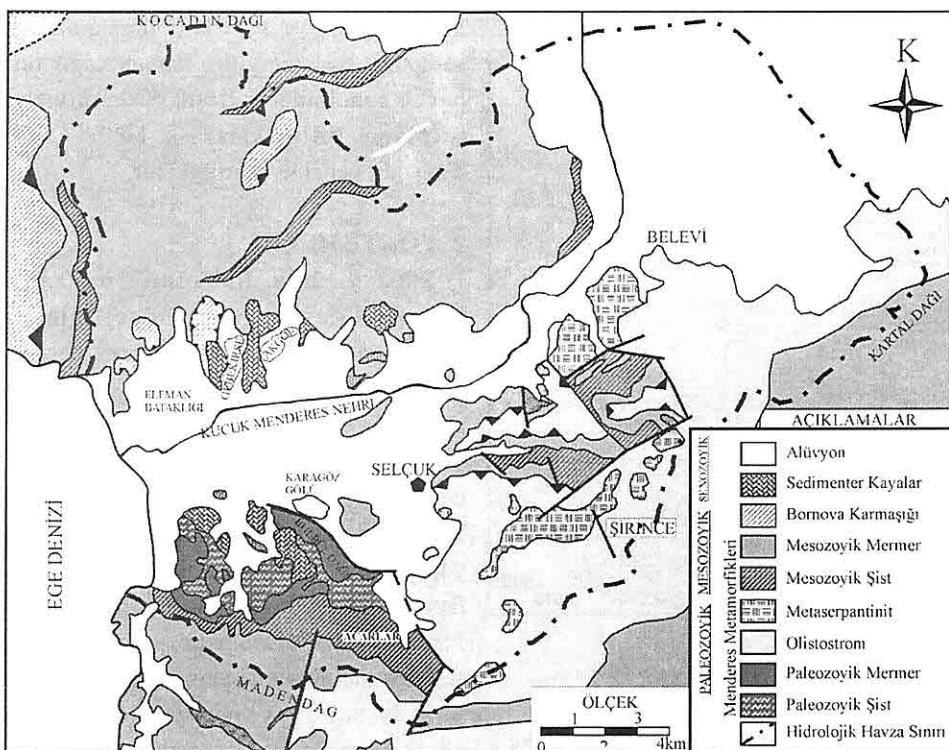
2001 yılında, hidrolojik havzanın hidrojeokimyasal özelliklerini tanımlayabilmek için hem yüzey hem de yeraltı sularından 43 adet su örneği alınmıştır.

pH ve elektriksel iletkenlik (EC) değerleri, arazide örnek alımı sırasında WTW marka pH-EC ölçer ile yerinde yapılmıştır. Kimyasal bileşenler Dokuz Eylül Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Jeokimya Laboratuvarında Apha (1989) standart metodlarında yapılmıştır.

Sodyum( $\text{Na}^+$ ) ve potasyum( $\text{K}^+$ ) atomik absorpsiyon spektrometresi ile; klorür ( $\text{Cl}^-$ ), alkalinitet ( $\text{HCO}_3^{-2}$ ), kalsiyum ( $\text{Ca}^{+2}$ ) ve magnezyum ( $\text{Mg}^{+2}$ ) titrasyon yöntemi ile ve sülfat ( $\text{SO}_4^{-2}$ ) gravimetrik yöntem ile tespit edilmiştir. Su örneklerinin jeokimyasal özellikleri Aquachem (Calmbach, 1997) bilgisayar programı yardımı ile yorumlanmıştır. Ayrıca su tipi ve klorür dağılımı Haritaları Surfer 7.0 (Golden Software, 1999) programı ile çizilmiştir.

### 3. JEOLOJİ VE HİDROJEOLÖJİ

Çalışma alanında temel kayayı Menderes Metamorfikleri oluşturmaktadır (Şekil 2). Bunlar yaklaşık 4 km kalınlıkta metasedimanter istif ile temsil edilirler (Güngör vd..2002). Bu kayaların aşağıdan yukarıya doğru genel sıralanışı şu



Şekil 2. Çalışma Alanına Ait Jeoloji Haritası (Candan ve Dora, 1998' den değiştirilerek).

şekildedir: i) Paleozoyik yaşı mermer/şist ardalanması, ii) Alt Triyas yaşı kuvars ve karbonat metakonglomera seviyeleri içeren şist, iii) Jurasik-Üst Kretase platform tipi kalın mermer, iv) Muhtemel Paleosen yaşı mermerlik olistostrom. Şirince çevresinde, Metaolistostrom birimi matriksi içinde çeşitli sayıda ve büyülükte metaserpantinit blokları bulunmaktadır (Çetinkaplan, 2002). Hidrojeolojik olarak ta, mermerler hariç Menderes metamorfikleri akitlud veya akitard olarak tanımlanmıştır (Nippon, 1996). Mermerler ise, özellikle Kocagöz Gölü ve Zeytinköy çevresinde açıkça görülebilen karstlaşma ve kazandığı

tektonik kırıklar sayesinde akifer özelliği göstermektedir. Diğer taraftan, metamorfik serinin üst kısmını oluşturan masif mermerler hiçbir akifer özelliği göstermemektedir. Bu yüzden bunlar geçirimsiz sınırı oluştururlar (Pusatlı, 2000). Yazıcıgil vd nin 2000 yılında DSİ ile ortaklaşa yapmış olduğu raporda mermerlerin ortalama özgül geçirgenliği  $156 \times 10^{-11} \text{ m}^2$  olarak belirtilmiştir. Bornova karmaşığı, temel kayacı bindirme fayı ile üstlenmektedir. Bu karmaşık, filiş tipi sedimenter kaya matriksli ve neritik kireçtaşlı blokları içeren bir yapı oluşturmaktadır (Güngör vd., 2002). Bornova karmaşığı, sahip olduğu düşük

## KÜÇÜK MENDERES NEHRİ KIYI SULAK ALANININ HİDROJEOKİMYASAL DEĞERLENDİRİLMESİ

geçirimlilik ve gözeneklilik ile yeraltı suyu depolaması ve beslenmesi bakımından uygun değildir.

Altta üstte doğru kaba taneli çakıltaşlı, kireçtaşlı ve kiltaşlı litolojisinde olan Neojen yaşılı sedimenter kayalar, Bornova karmaşığını üstlemektedirler. Bu birimin kireçtaşlı seviyeleri akifer özelliği göstermekte olup kiltaşlı ve çamur taşı seviyeleri ise akıllıktır veya akitard özelliğindedir. Yazıcıgil vd (2000) Selçuk alt havzasında Neojen birimlerinin özgül geçirgenliğini  $0.37 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2$  olarak belirtmişlerdir.

Tüm bu birimleri uyumsuz olarak kıl, kum ve çakıldan oluşan 20-40 m kalınlıklı Kuvaterner alüvyon örtmektedir (DSİ, 1973). Hidrojeolojik açıdan; Küçük Menderes Nehri boyunca yayılım sunan alüvyon, havzadaki ana akiferi oluşturmaktadır. Alüvyonun özgül geçirgenliği  $0.80 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2$  olarak ölçülmüştür (Yazıcıgil vd., 2000).

### 4. KÜÇÜK MENDERES NEHRİ KIYI SULAK ALANININ OLUŞUMU

Gökçen vd., 1996'ya göre; Küçük Menderes Nehri delta kompleksin gelişimini aktif tektonik tetiklemiştir. Bu delta Gallaway 1975'e göre "Dalgabaskın" olarak sınıflandırılabilir. Delta düzüğünün yayılma hızı zamanla azalmıştır. Terkedilmiş nehir ögelerindeki işlenmiş dalga sedimentleri geniş yayılmış plajları (Pamucak plajı) oluşturmuştur.

Belevi' den denize doğru sediment büyülüklüğü ve niteliği değişmektedir. Selçuk ovasında, denizel tortullardan

karasal tortullara doğru, iklimsel değişimlerden ötürü oluşan bataklık, taşın düzlüğü vs. gibi değişik yapılar göze çarpmaktadır (Öner, 1997).

Küçük Menderes Nehri delta düzüğünün kuzey kısımlarında sulak alan niteliğinde 3 tane göl ve 1 tane geniş bir bataklık olmuştur. Eleman Bataklığı, kıyı lagünü temsil etmektedir (Erinç, 1955). Bazı yerlerde deniz seviyesinden yükseklik 0.5m kadar azalmakta, bu da bataklığın yayılmasını sağlamaktadır. Bu bataklık yaklaşık 1500ha alan kaplamakta, bunun 1050 ha lık kısmı ise "Kuş Cenneti" olarak koruma altındadır. Bu 1500 ha lık alan dışında yaklaşık 500 ha lık bir alanda vahşi hayat (kuşlar, balıklar dahil) için çok önemli bir alan olan sulak alanın diğer öğeleri göller vardır. Yaklaşık 1000 ha lık bir alan da özellikle kurak mevsimde bataklığın kuruması ile zirai amaçla bölge halkı tarafından kullanılmaktadır (Nippon, 1996).

Eleman Bataklığı her kış yağıştan ve Küçük Menderes Nehri' nin taşmasından dolayı sellenmeye ve her yaz da yoğun boharlaşma nedeni ile kurumaktadır.

Kocagöz Gölü, Selçuk ilçesi merkezinin güneybatısında yer almaktadır. Burası Efes Kenti kurulduğunda liman vazifesi görürken Küçük Menderes Nehri' nin ovayı doldurması ile günümüzde bir göl konumunu almıştır. Denizden yüksekliği -40 cm dir. Bu gölün beslenmesi yağışların yanı sıra hem karstlaşmaya bağlı boşalımlar hem de Bülbül dağı fayı etkisi ile boşalan sulardan olmaktadır. Yağışlı dönemde göl geniş

alanlara yayılıp bataklık oluştururken kurak dönemde eski boyutuna ulaşmaktadır.

Gebekirse Gölü ise yaklaşık 75 ha alan kaplayan ve 5m derinliğe sahip olan bir göldür. Sellenme seviyesi yaklaşık 2m olup boşalımı bir kanal ile Küçük Menderes Nehri'ne olmaktadır. Bu göldeki beslenme de yağışın yanı sıra karstik kaynaklardan boşalım ile olmaktadır. Ornitolojist Siki 1997'ye göre Gebekirse Gölü sulak alanında 92 tür kuş yaşamaktadır.

Gebekirse Gölü'nün doğusundaki üçüncü göl ise Akgöl'dür. Bu göl, 74ha alana ve yaklaşık 4m derinlige sahiptir. Burada da boşalım bir kanal ile Küçük Menderes Nehri'ne olurken beslenme yağış ve karstik kaynaklardan olmaktadır. Sellenme seviyesi 2 m den azdır.

## 5. HİDROJEOKİMYA

Sulak alanların su kimyası, jeolojik yapının, su dengesinin, sisteme giren suyun kalitesinin, toprak ve bitki örtüsünün tipinin ve sulak alan içinde/yakınındaki insan aktivitesinin bir sonucudur. Suyun kaynağı ve taşınımı sulak alan fonksiyonunun tahmininde ve tüm havzada sulak alanın nasıl bir değişim göstereceğini tahmin etmede önemli bir rol oynar. Sulak alana gelen su, kaynağını yansıtan fiziksel ve kimyasal karakteristiklere de sahiptir (Fretwell vd,1996).

Kıyı akiferlerindeki hidrojeokimyasal işlevler, tatlı su sulak alanındaki su kalitesinin sürdürülebilirliği açısından da önemlidir. Kıyı bölgelerdeki çeşitli

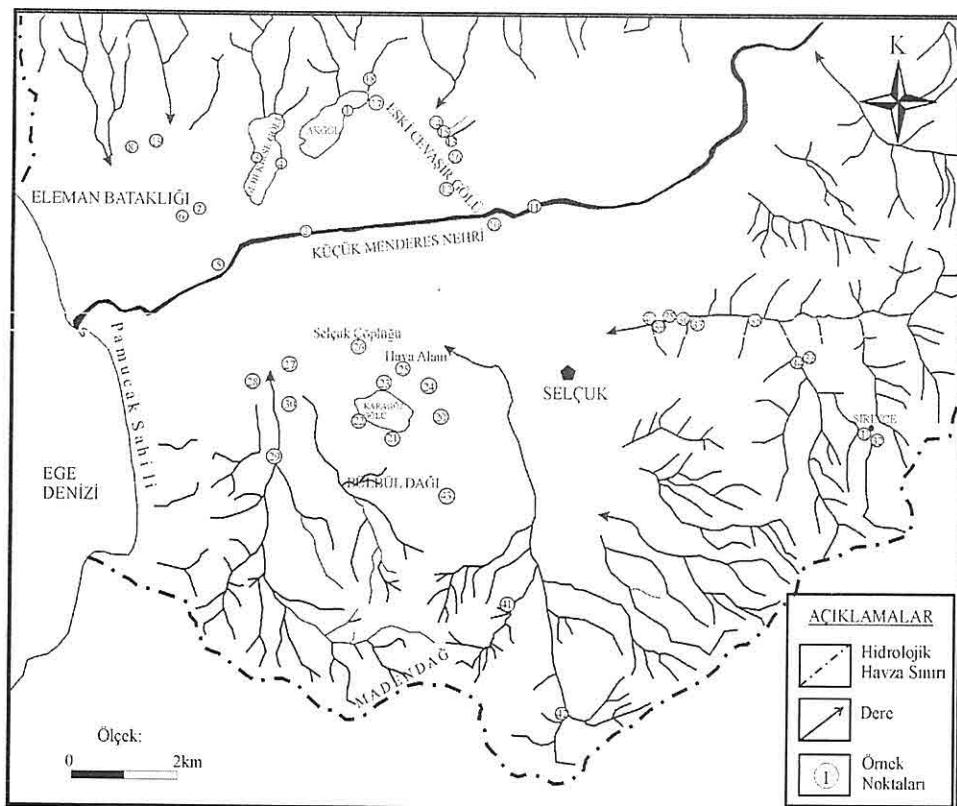
amaçlarla yönelik arazi kullanımı, deniz suyu niteliğindeki yeraltı suyu akımlarından beslenen kıyı sulak alanlarındaki su kalitesini etkiler (Malcolm vd, 2001).

Bu çalışmada, Aşağı Küçük Menderes Nehri havzası hidrolojik koşullarda belirlenmiş ve bu hidrolojik havza baz alınarak su örneklemeleri yapılmıştır. Örnekler 2001 yılının Nisan ve Mayıs aylarında alınmıştır. Havzadaki sular; Şirince, Acarlar ve Belevi köylerini içine alan Menderes Metamorfiklerinin şistmermer serisinin yayılım gösterdiği dağlık kesim ve Küçük Menderes Nehri'nden türeyen alüvyon üstündeki sulak alanlar ile Selçuk Ovasını kapsayan kıyı kesimi olarak iki parçada incelenmiştir (Şekil 3). Alınan su örneklerine ait bazı kimyasal ve fiziksel özellikler Çizelge 1 de verilmiştir. Elde edilen bu veriler, "Aquachem 3.7" bilgisayar programında yorumlanmıştır. Suda çözünmüş toplam iyon miktarına göre; dağlık kesimin suları "Tatlı Su" özelliği gösterirken kıyı kesimi "Tuzlu Su" niteliğindedir. 3 göl ve 1 bataklık ile temsil edilen sulak alandaki sular da tuzlu su niteliğindedir. Dağlık kesimdeki sularda ölçülen pH değerleri 7.05 ile 8.36 (az alkali) arasındadır. Ölçülen yeraltı suyu elektriksel iletkenliği (EC) ise 390 ile 1255  $\mu\text{mho}/\text{cm}$  arasında değişim göstermektedir. Uluslararası Hidrojeologlar Birliği Sınıflaması (IAH,1979) göz önüne alındığında ise; suların Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> karakterinde olduğu açıkça gözükmeektedir (Şekil 4).

*KÜÇÜK MENDERES NEHRİ KIYI SULAK ALANININ HİDROJEOKİMYASAL  
DEĞERLENDİRİLMESİ*

**Çizelge 1.** Çalışma Alanından Alınan Su Örneklerinin Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri (Birimler: mg/l, \* ile gösterilen örnekler yüzey sularına aittir).

No (#)	pH	EC ( $\mu\text{mho}/\text{cm}$ )	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{+2}$	$\text{Mg}^{+2}$	$\text{Cl}^-$	$\text{HCO}_3^{+}$ $\text{CO}_3^{-2}$	$\text{SO}_4^{-2}$	Karışım Oranı (%)
1*	8.01	6740	1094.8	37.5	205.6	144.1	2150	248.9	537.4	
2*	7.67	2100	303.5	33.5	101.6	46.9	500	597.8	102.1	
3*	8.25	6230	1008.6	40.4	158.4	127.8	2000	309.9	299.2	
4	8.30	6240	1051.7	40.4	152.4	123.4	2000	297.7	359.9	11.029
5	7.69	1903	313.9	27.5	63.6	42.0	441	405	111.9	2.250
6	7.60	1416	158.6	13.6	102.0	42.8	295	390.4	60.9	1.427
7	7.75	1388	198.4	20.6	67.2	40.8	279	407.5	55.1	1.337
8	7.20	4510	736.3	27.5	140.0	96.7	1350	361.1	265.8	7.368
10	7.73	2210	320.7	19.3	96.8	49.1	541	339.2	78.2	2.813
11*	7.26	734	70.3	14.3	63.2	15.6	98	266	45.3	
12	7.40	1470	144.3	10.0	130.8	22.0	270	439.2	73.2	1.287
13	7.00	1124	98.6	7.2	134.8	21.6	176	429.2	73.2	0.757
14	7.52	944	41.9	2.4	134.8	27.2	105	436.8	42.4	0.358
15	7.05	963	46.3	2.1	141.6	26.7	105	441.6	35.8	0.358
16	7.05	1004	74.6	4.3	119.6	23.6	142	412.4	35.0	0.566
17	7.60	776	31.1	2.4	124.0	21.6	69	417.2	17.7	0.155
18	7.17	786	31.1	2.1	116.4	7.3	68	339.6	16.5	0.149
19	7.25	4470	775.7	27.6	127.6	90.2	1500	290.4	177.4	8.213
20	7.43	952	44.1	4.6	106.8	45.9	74	478.2	40.8	0.183
21	7.50	2070	220.0	21.3	234.0	37.2	363	707.6	181.1	
22*	7.52	1586	180.0	12.5	94.8	53.0	320	394.8	97.5	
23	7.68	1546	150.0	12.5	112.0	53.5	296	453.8	84.4	1.433
24	7.70	1451	150.0	10.0	142.0	64.4	225	514.8	111.5	1.033
25	7.65	2940	390.0	18.8	138.8	74.8	775	431.9	111.5	4.130
26*	9.45	4780	750.0	46.3	134.0	102.1	1540	208.3	416.4	
27	8.08	5350	1100.0	40	43.6	51.3	1630	612.1	144.0	8.945
28*	8.30	1288	150.0	11.3	104.0	38.9	375	148.7	42.0	
29	7.51	1390	130.0	12.5	166.8	54.7	294	427	36.2	1.422
30	7.58	2760	320.0	16.3	220.0	63.2	840	451.4	113.2	4.496
31*	7.40	390	8.4	1.1	58.4	15.8	25	231.8	15.6	
32	7.05	690	17.4	3.2	105.6	28.7	36	414.8	8.6	0.031
33	7.14	934	17.9	17.2	109.6	57.4	57	583.2	34.6	0.087
34*	8.28	781	23.0	3.4	78.4	59.1	58	452.8	58.9	
35	7.70	516	13.5	1.5	74.0	23.6	39	295.2	23.6	0.138
36	7.15	830	28.8	3.0	105.2	44.7	66	441.6	60.1	0.138
37	7.20	842	29.7	2.8	109.2	43.5	66	451.4	70.0	0.144
38	7.26	845	29.9	3.2	107.6	44.0	67	453.8	73.3	0.093
39	7.24	741	24.2	2.6	98.8	35.7	58	409.9	53.1	1.332
40	7.49	1234	34.0	4.0	155.6	60.0	278	344	80.7	0.031
41	7.49	604	12.7	2.8	82.4	33.8	47	356.2	65.4	
42	8.36	865	20.3	5.1	40.4	97.0	67	513.8	85.6	
43	7.51	1255	97.4	7.1	105.6	44.2	254	348.9	77.0	
Deniz	8.28	58800	12720	398.78	476	48.11	17800	176.56	2920.7	100.00



Şekil 3. Çalışma Alanından Alınan Örneklerle Ait Lokasyon Haritası.

Kıyı kesimlerdeki sularda ölçülen pH değerleri ise 7.0 ile 8.30 arasında değişim göstermektedir. EC değerleri ise 776-6740  $\mu\text{mho}/\text{cm}$  arasındadır. Toplam iyon miktarına göre yapılan sınıflama da deniz kıyısından Selçuk ilçesine kadar sırası ile "Tuzlu Sular, Az Tuzlu Sular, Tatlı Sular" olarak nitelendirilmektedir. IAH, 1979'a göre ise; denize çok yakın kesimler Na-Cl, orta kesimler Na-Ca-Mg-Cl-HCO<sub>3</sub> (Na-Cl Karışık) / Ca-Na-Mg-HCO<sub>3</sub>-Cl (Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> Karışık), Selçuk ilçesine yakın kesimler ise Ca-HCO<sub>3</sub>-Cl tipinde sulara sahiptirler.

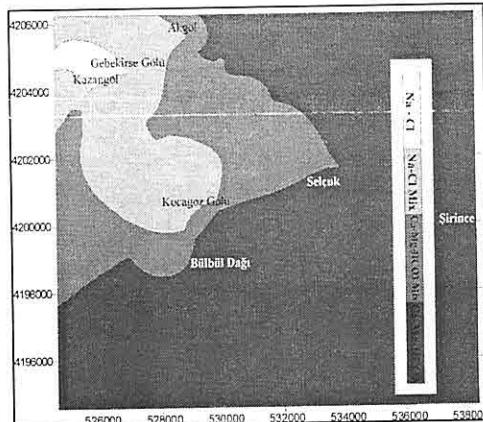
Göllerden ve bataklıktan alınan sular

da deniz suyu karakteri göstermekte olup Na-Cl karakterindedir (Şekil 4).

Bu çalışmada, yüzey ve yeraltı sularını sınıflamak ve hidrojeokimyasal işlevlerini tanımlamak için Chadha Diyagramı (1999) kullanılmıştır (Şekil 5). Bu diyagram, Piper Diyagramının (1944) değiştirilmiş ve Durov Diyagramının (1948) ise genişletilmiş halidir. Farkı ise, iki eşkenar üçgenin çıkarılmış olmasıdır. Kimyasal bileşenlerine göre dağınık kesim Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> su tipindedir. Bu su tipi, çözülmüş sularda oluşan su-kayaç ilişkisinin ilk basamağı olarak yorumlana bilinir ki bu havzadaki mermerlerin varlığı

## KÜÇÜK MENDERES NEHRİ KIYI SULAK ALANININ HİDROJEOKİMYASAL DEĞERLENDİRİLMESİ

ile de açıklanır. Kıyı kesimleri ise düzgün bir kümeleşme sunmamakta ve bu bağlamda sular kıyıdan iç kesimlere doğru sırası ile, Na-Cl/Na-SO<sub>4</sub>, Ca-Mg-SO<sub>4</sub>-Ca-Mg-Cl ve Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> tipinde özellik sunmaktadır.



**Şekil 4. Çalışma Alanına Ait Su Tipi Haritası**

Su yapısının bileşimini tanımlayan işlevler ve mekanizmalar; Gibbs Diyagramı gibi iyonik oranların kullanıldığı diyagramlar ile bulunabilir. Gibbs Diyagramında, Dağlık kesimdeki sular "Kayaç Baskın" bölgесine düşmektedir (Şekil 6). Bu da, su kimyasını kontrol eden ana mekanizmanın, kayaç yapıcı minerallerin kimyasal ayrışması olduğunu göstermektedir. Kıyı kesimlerdeki sular ise "Evaporasyon-Kristalizasyon Baskın" bölgeseine düşmektedir. Bu bölgedeki sular, deniz suyu girişimden ötürü tuzlanmakta ve yoğun buharlaşmaya maruz kalmaktadır. Bu nedenle sulardaki çözünmüş toplam iyon miktarı da yüksek değerlere ulaşmaktadır.

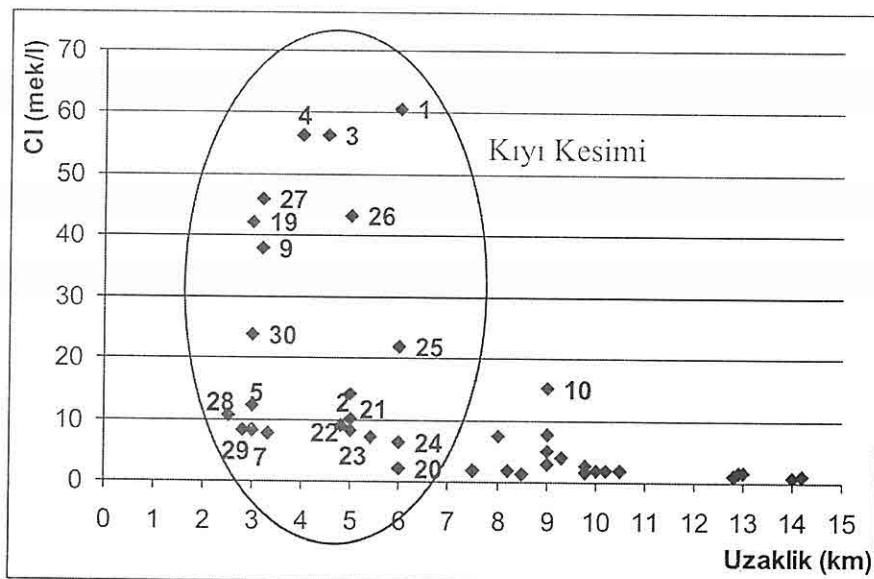
Çalışma alanından alınan su örnekleri köken araştırması için Schoeller Yarı-Logaritmik Diyagramında da yorumlanmıştır (Şekil 7A-B). Kıyı kesiminden alınan sular, deniz suyu ile karşılaştırılınca aynı pikler vermektedir. Ama Dağlık kesimden alınan örnekler kıyı kesimi ile farklı pikler vermektedir. Bu da bize, kıyı kesimi ile dağlık kesimin farklı kökende olduğunu göstermektedir.

Yeraltı suyundaki tuzlanma ve içindeki kimyasal bileşimin değişimi doğal veya insan eliyle oluşturulmuş faktörlerden ötürü; beslenme alanından boşalma alanına doğru akım yolu üzerinde meydana gelir (Richter vd., 1993). Çalışma alanındaki yeraltı sularındaki deniz suyu karışım oranları hesaplanmıştır. Tuzluluk çalışmalarında genellikle klorür kullanılmaktadır. Bunun da nedeni, bazı iyonların akım yolunda kimyasal değişime uğramasına rağmen klorürün hidrojeokimyasal olaylardan etkilenmemesidir. Havzada 32. ve 41. örneklerin klorür ortalaması bize 1. uç bileşenini (tatlı su uç bileşeni), deniz suyu ise 2. uç bileşenini (tuzlu su uç bileşeni) vermektedir. Diğer örneklerin aşağıdaki denklem yolu ile deniz suyu karışım oranları bulunmuştur (Çizelge 1):

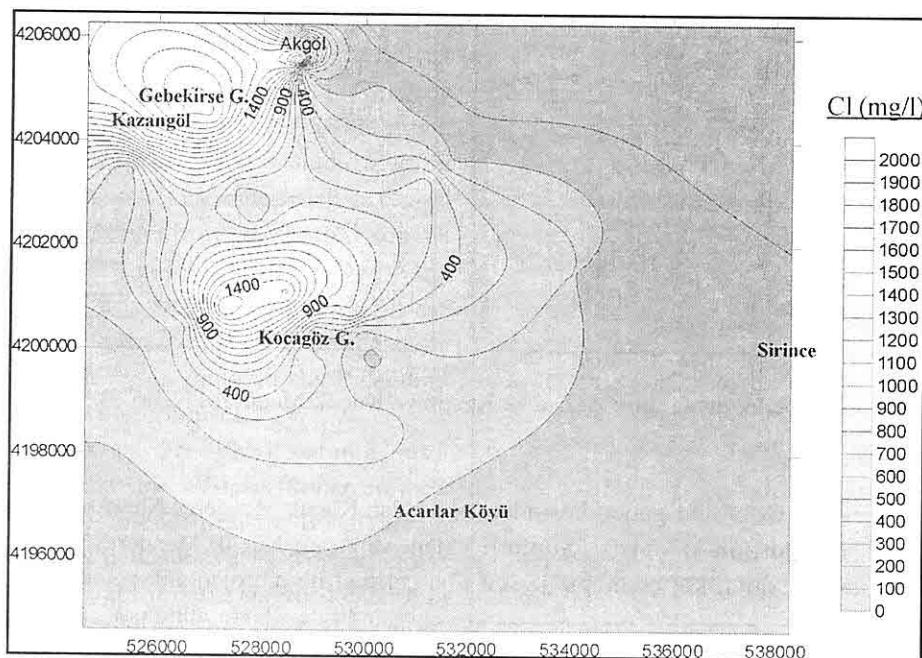
$$\text{Uç Bileşenin Katkısı (\%)} = \frac{\text{Cl örnek} - \text{Cl Tath}}{\text{Cl Denie} - \text{Cl Tath}}$$

(Kurttaş, 2002)

Çizelge 1'e göre: Gebekirse Gölü ana kaynağı (karstik), Çamurluk mevkii ve TOTAL benzin istasyonlarından alınan

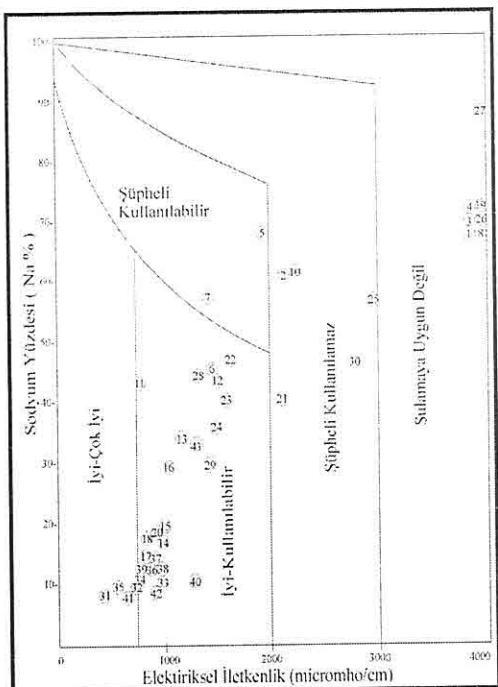


Şekil 8. Su Örneklerinin Denizden Uzaklığı Bağlı Cl Değişimleri.



Şekil 9. Çalışma Alanındaki Suların Cl Dağılımları.

## KÜÇÜK MENDERES NEHRİ KİYI SULAK ALANININ HİDROJEOKİMYASAL DEĞERLENDİRİLMESİ



**Şekil 10.** Çalışma Alanındaki Suların Wilcox Diyagramındaki Gösterimi.

olarak değerlendirilmiş, mermerler ise karstlaşmaları nedeniyle akifer özelliği göstermektedirler. Bornova karmaşığı ise geçirimsizliği ve düşük gözenekliliği ile yeraltı suyu depolaması ve beslenmesi bakımından fakirdir. Neojen sedimenter kayalardan kıltaşı-çamurtaşı seviyeleri geçirimsiz tabanı oluştururken kireçtaşlığı düzeyleri akifer niteliğindedir. Bölgedeki ana akifer, yeraltı suyu beslenmesi ve depolanması bakımından elverişli olan Kuvaterner alüvyondur.

Küçük Menderes Kıyı sulak alanı, üç göl ve bir bataklık ile tanımlanmaktadır. Gebekirse ve Akgöl, Aşağı Küçük Menderes havzasının kuzey kesiminde

kalmakta beslenmeleri karstik mermerlerden ve yağışlardan, boşalımları ise bir kanal ile Küçük Menderes Nehrine olmaktadır. Havzanın güneyinde kalan Kocagöz Gölü de karstik kaynaklardan ve yağıştan beslenmekte ve küçük kanalecekler ile Küçük Menderes nehrine boşalmaktadır. Bölgenin tek bataklığı olan Eleman Bataklığı, kışın yağışlar nedeniyle sellenmekte yazın ise yoğun buharlaşma ile kuruyup bölge halkı tarafından tarım amaçlı kullanılmaktadır.

Hidrojeokimyasal açıdan da değerlendirilen Aşağı Küçük Menderes Havzası ve kıyı sulak alanı iki bölgeye ayrılarak incelenmiştir: Belevi, Şirince, Acarlar köylerini kapsayan "Dağlık Kesim" ve kıyı sulak alanı ve Selçuk ovasını kapsayan "Kıyı Kesim". pH'ı 7.05 ile 8.36 arasında değişen Dağlık kesim, toplam çözünmüş iyon miktarına göre "Tatlı Su" niteliği taşımakta, IAH, 1979 ve Piper-Durov diyagramlarının modifiye edilmiş hali olan Chadha diyagramına göre "Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>" karakterinde olduğu görülmektedir. Schoeller diyagramına bakıldığından sular deniz suyundan farklı bir pik çizip kümelenmektedir. Sulama suyu sınıflaması olan Wilcox diyagramından bu suların "Çok İyi-İyi" sulama suyu özelliğinde olduğu tespit edilmiştir.

Kıyı sulak alanını ve Selçuk ovasını kapsayan "Kıyı Kesimi" ise, 7.00 ile 9.45 arasında değişen pH değeri ve 734-6740 mmho/cm lik EC leri (elektriksel iletkenlik) ile karakterize olmuşlardır. Toplam iyon miktarına göre "Hafif Tuzlu-Tuzlu Su" özelliği gösteren bu kesim,



**MAŞATDAĞI DİYASPORİK BOKSİTLERİNİN JENETİK YORUMU,  
ALANYA, ANTALYA, TÜRKİYE**

Sedat TEMUR

*S.Ü., Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Konya/Türkiye*

**ÖZET:** Bu çalışmada, Alanya'nın 15 km kuzeydoğusunda yer alan Maşatdağı diasporik boksitlerinin stratigrafik, petrografik ve jeokimyasal özelliklerine dayanarak oluşumu yorumlanmıştır. İnceleme alanında, Alanya Birliği'nin Yumrudağ Grubu'na ait birimler yüzeylemektedir. Bu birimlerden Cebireis formasyonu (Üst Permiyen) kireçtaşları ve bunlarla yanal ve düşey geçişli dolomitik kireçtaşı – dolomit seviyeleri ile temsil edilmektedir. Cebireis formasyonunun üzerine uyumlu olarak Asmaca formasyonuna (Alt Triyas) ait kristalize kireçtaşı ve kuvarsit araseviyeli muskovitist, kuvarsist, serisitist (fillit), kalksist ve kloritoyidistler gelmektedir. İnceleme alanında 15'ten fazla boksit mostrası bulunmaktadır. Bu mostralardan iki ya da üç bağımsız boksit kütlesinin fay ve aşınma yüzeyi tarafından parçalanmış bölgeleri şeklindedir. Bunlar daha çok formasyonlarının sınırlarında yer almaktadır, ancak her iki birimin içinde bağımsız cevherler de bulunmaktadır. Bu özellikleriyle cevher küteleri intra-karstik mağara dolgularına benzemektedir. Jeokimyasal veriler, boksitlerin terra rossa oluşumlarının intra-karstik boşluklarda silisini kaybederek boksite dönüştüğüne işaret etmektedir.

Buna göre, Geç Triyas'ta karasallaşan Alanya Birliği'nin mostrasında Üst Permiyen ve Alt Triyas yaşı karbonatlı kayaçlar yüzeylemiştir. Zamanla gelişen karstlaşmalarla yüzeyde büyük çukurluklar, yeraltıda mağaralar ortaya çıkmıştır. Karbonatlı kayaçların ayırmasından arda kalan killi malzeme pelitik kayaçlardan kaynaklanan ince detritiklerle beraber yüzeyde ve karstik çukurda birikerek terra rossa oluşumunu sağlamıştır. Mağaraların içine kadar taşınan terra rossa suyun rejim değişimleri, topografik yapının bozulması gibi etkenlerle mağaralarda sürekli yer değiştirmiştir. Derin dolaşılık suların pH değerinin bazik alana kayması, zaman zaman indirgeyici ortam şartlarının gelişmesiyle terra rossanın bünyesindeki silisin çözünerek uzaklaşması ile boksite dönüştürülmüştür. Geç Triyas – Erken Kretase zaman aralığında oluşan Maşatdağı boksitleri Geç Kretase'deki kıvrımlanma ve Geç Paleosen – Erken Eosen'de gelişen naplaşma hareketleri ile gömülmeye maruz kalmışlardır. Bunun sonucunda da metamorfizma geçirerek diasporik özellik kazanmıştır.

**GENETIC INTERPRETATION OF THE MASATDAGI DIASPORIC  
BAUXITES, ALANYA, ANTALYA, TURKEY**

**ABSTRACT :** In this study, the genesis of the Masatdagı bauxite diasporic bauxite occurrences located 15 km northeast of Alanya (Antalya, Turkey) evaluated by using the

*stratigraphic, petrographic and geochemical data. In the study area, the formations of Yumrudağ Group of Alanya Unit are cropped out. The Cebireis formation (Upper Permian) is represented with marble and laterally transitional dolomitic limestone and dolostone levels. This formation was overlain by the Asmaka formation (Lower Triassic) consists of the marble and chloritoidschist, calkschist, phyllite, quartzschist having quartzite interlayers. There are more than fifteen bauxite outcrops in the study area. These bauxite occurrences may be the parts of two or three individual bauxite bodies dissected by faults and erosion. These bauxite bodies mostly occurred at the boundary of above-mentioned formation, but there are independent bauxite outcrops in carbonate rocks. With these properties, the ore bodies look like intra-karstic cavity fillings. The geochemical data point that the bauxite was formed as a result of transformation of terra rossa in the karstic holes by leaching of the silica by groundwater.*

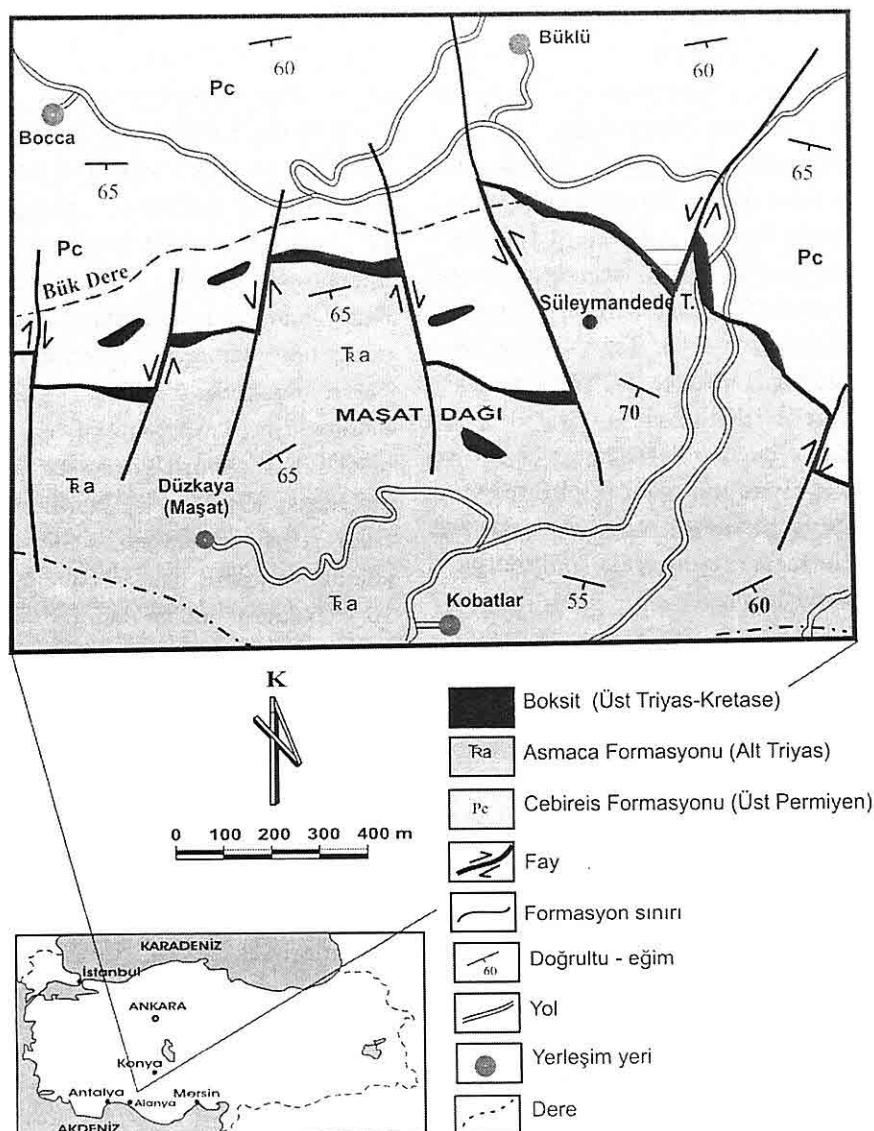
*The Upper Permian – Lower Triassic carbonate rocks of Alanya Unit were emerged during Late Triassic with time large holes and caves were developed through karstification. Clayey residuals from decomposition of carbonate rocks and fine grained detritic matters from pelitic rocks were transported and deposited in the karstic holes and caves as terra rossa. The terra rossa was carried to the caves were continuously transformed by a result of changes in water regime and topographic position. In the caves, shifting the pH value of the deep circulating groundwater into basic area, and developing of reducing condition cause the dissolution and removing of silica from terra rossa, and the formation of bauxite. The Masatdagı bauxite formed during Late Triassic – Early Cretaceous time was subducted compressional stress which were effective during Late Cretaceous and napping during Late Paleocene and Early Eocene so that they buried deeply and metamorphosed, and had gained the diasporic characteristics.*

## 1. GİRİŞ

İnceleme alanı Alanya'nın 15 km kuzeydoğusunda, Maşat Köyü'nün kuzey kesiminde yer almaktadır (Şekil 1). Bu çalışmanın amacı, yöredeki diyasporik boksit yataklarının jeolojik, petrografik ve jeokimyasal özellikleri değerlendirerek boksiti meydana getiren materyalin kökenini ve boksitleşme sürecini yorumlamaktır. Yörede 1970 yılına kadar

yapılan birinci kuşak incelemelerde (Barutoğlu, 1938; Arni, 1940 ve 1941; Blumenthal, 1941 ve 1951; Egger, 1959; Wippern, 1962) birimler Paleozoyik yaşı şisti seri, Permo-Karbonifer karbonatlı kayaçları, boksit formasyonu ve bunları örten Neojen sedimanları olarak ayırtlanmış ve tanımlanmıştır. 1970'ten sonra ikinci kuşak araştırmacılar olan Peyronnet (1971a ve 1971b), Orhon

MAŞATDAĞI DIYASPORİK BOKSİTLERİNİN JENETİK YORUMU,  
ALANYA, ANTALYA, TÜRKİYE



Şekil 1. İnceleme alanının yerbulduru ve jeoloji haritası.

(1978), Özgül (1984a ve 1984b) ve Kansun (1993 ve 1999) ise birimlerin daha ayrıntılı litostratigrafik tanımlamalarını yapmış ve ayrıca boksitlerin oluşumuna da değinmişlerdir. Peyronnet (1971a), Orhon

(1978) ve Özgül (1984a) Triyas yaşı birimlerin tabanını uyumsuzluk yüzeyi olarak düşünmüş ve bunu boksitlerin varlığı ile açıklamışlardır. Peyronnet (1971b), Etibank (1976) ve Orhon (1978)

**Çizelge 1.** Yöredeki şist, kireçtaşı, terra rossa ve boksitlerin ana oksit (%) ve bazı iz element (ppm) konsantrasyonları (Temur ve diğ., 2002)(TR-Terra Rosa).

	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	T. Fe	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	AZ	Cr	Cu	Ga	Ni	V	Zr
Şist	16.4	6.2	62.7	0.7	0.9	2.6	1.3	2.4	0.1	7.0	76	30	20	62	77	258
Kireçtaş	1.1	0.6	2.3	0.1	54.8	10.3	0.1	0.1	0.0	27.4	7	9	3	52	11	13
TR	16.1	9.9	39.4	1.0	8.5	1.8	0.4	0.9	0.1	22.2	117	0.52	14	866	560	66
Boksit	55.3	23.5	11.3	3.4	1.4	0.2	0.1	0.1	0.1	4.0	296	84	106	112	567	124

konumunu kazanması hakkında aşağıdaki bulgular belirlenmiştir.

i. İnceleme alanındaki boksit yataklarının ana cevher küteleri Üst Permiyen yaşlı Cebireis formasyonu ile Alt Triyas yaşlı Asmaca formasyonunun geçişinde bulunmaktadır. Ancak her iki formasyona ait karbonatlı kayaçların içinde de daha küçük boyutlu ve karstik dolgular halinde cevher küteleri vardır.

ii. Asmaca ve Cebireis formasyonlarına ait birimlerin uyumlu tabaka konumları, ortamsal devamlılıkları, benzer metamorfizma izleri, litolojik benzerlikleri gibi bütün veriler uyumlu bir geçişe işaret etmektedir.

iii. Yöredeki boksitler, yankayaçları gibi ileri derecede metamorfik (diyasporik) olup, kuzyeyinde bulunan Seydişehir – Akseki yöresindeki Üst Kretase (Özlu, 1979) veya Erken Tersiyer (Temur ve diğ., 2005) yaşlı boksitler ise metamorfik değildir (böhmítik). Yaşı, mineral parajenezi ve metamorfizma derecesinin farklılığından dolayı incelenen boksitler Seydişehir – Akseki boksitlerinden çok farklı bir jeolojik geçmişe sahiptir.

iv. Yumrudağ Grubu'nda Geç Triyas – Geç Kretase zaman aralığını temsil eden kayaç topluluklarına rastlanmamakta, bu dönemde karasal ortam şartlarının hüküm sürdüğü tahmin edilmektedir. Geç Kretase'de gerçekleşen sıkışma hareketleri ile Toroslar'daki ofiyolitik kayaçlar yerleşmiş, Geç Paleosen'de ise naplaşmalar ve buna bağlı metamorfizma gelişmiştir (Kansun, 1999). Dolayısıyla boksitler Orta Triyas'tan daha sonra, Geç Kretase'den daha erken bir zaman aralığında oluşmuş olmalıdır.

v. Yankayaç-boksit sınırları düzensiz olup, girintili çıkışlı bir geometri sunmaktadır. Birkaç metre boyutunda taban ve tavan kayacı parçaları boksitli kısımların içinde bloklar şeklinde bulunmaktadır. Cevherleşmeler en fazla 200–300 m boyunda, 30–40 m kalınlığında ve 50 – 60 m devamlılıkları olan mercek, boru veya düzensiz küteler halindedir. Bu özellikler, lateritik veya serbest su ortamında çökelmeden çok intra-karstik dolgu şeklinde birikmeyi yansımaktadır.

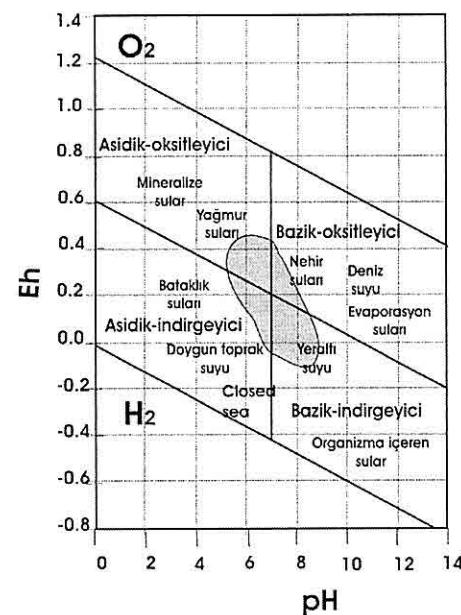
vi. Yöredeki cevherleşmeler oolitik boksit, benekli boksit, siyah boksit,

limonitli sarı boksit, killi ve kloritoidli beyaz boksit olmak üzere farklı tiplere ayrılabilmektedir. Bu durum boksitin taşınması ve depolanması sırasında alüminyum hidroksit, demir hidroksit, kil mineralleri, kayaç parçaları ve ince taneli sedimanların ortama gelerek değişik alanlarda yoğunlaştığını göstermektedir. Kısa mesafelerde birbirine yanal ve düşey yönde dereceli geçişler gösteren ve düzensiz geometriler sunan bu tip birikmelerin ancak intra-karstik ortamlarda ortaya çıkabileceği düşünülmektedir.

vii. Bütün boksitler karbonatlı kayaçların içindedir. Taban kayaçları ile boksitlerin arasında dereceli geçiş yansıtan zonlanmalar gözlenmemektedir. Lateritik bir zenginleşmeyi gösterecek ayırtma zonları veya silikat minerallerinde ayırmaya bağlı derecelenmeler bulunmamaktadır. Bu özellikler yerinde (*in situ*) zenginleşmenin olmadığına ve boksit malzemesinin taşınarak depolandıklarına işaret etmektedir.

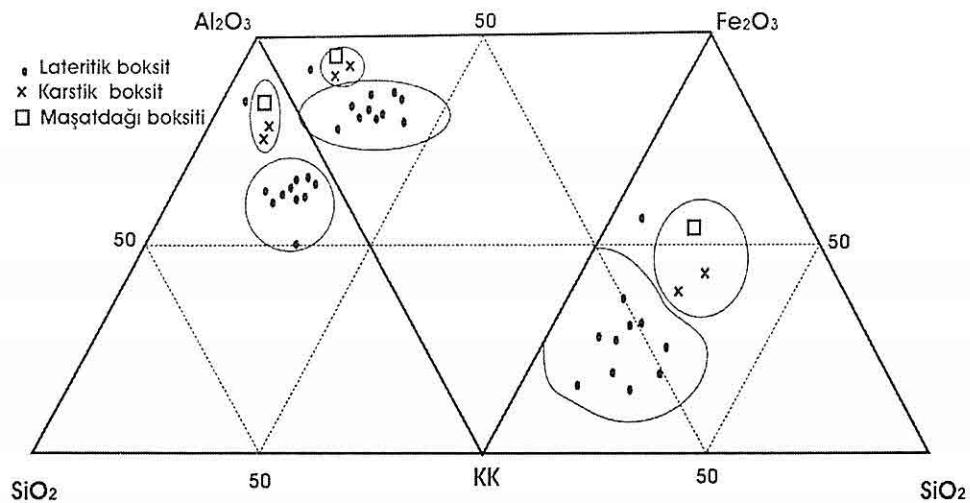
viii. Boksitin bileşiminde bulunan minerallerden gibsinin çökelmesi için yüzey şartlarında 4.5 – 8.5 arasında pH değerleri ve suda çözünmüş silis asidi miktarının da % 10-4.5'den düşük olması gerekmektedir. Hematit, götit, amorf demir hidroksit ve psilomelan çökelimi için pH'ın 7'den, Eh'in da 0.2'den yüksek olması lazımdır. Şamozit nötr-indirgen ortam (pH değeri 7 – 8 arasında ise Eh'in -0.2'den, pH'ın 8 – 9 arasında ise Eh'in 0.0'dan yüksek) ve düşük basınç şartlarında oluşturmaktadır. Pirit ve markasit

oluşumu için Eh değeri -0.3'ün altında kalmalıdır. pH değerinin bazik alana kayması durumda ise Eh değeri -0.2'ye kadar yükselbilmektedir. Bu belirleyici mineral duraylılık alanları doğal ortamların Eh-pH diyagramına yerleştirildiği zaman (Şekil 2) boksitlerin asidik – oksitleyici yüzey sularından bazik – indirgeyici yeraltı sularına kadar değişen bir alanda oluştukları görülmektedir. Bu değişim de ancak intra-karstik ortamlarda mümkün görülmektedir.

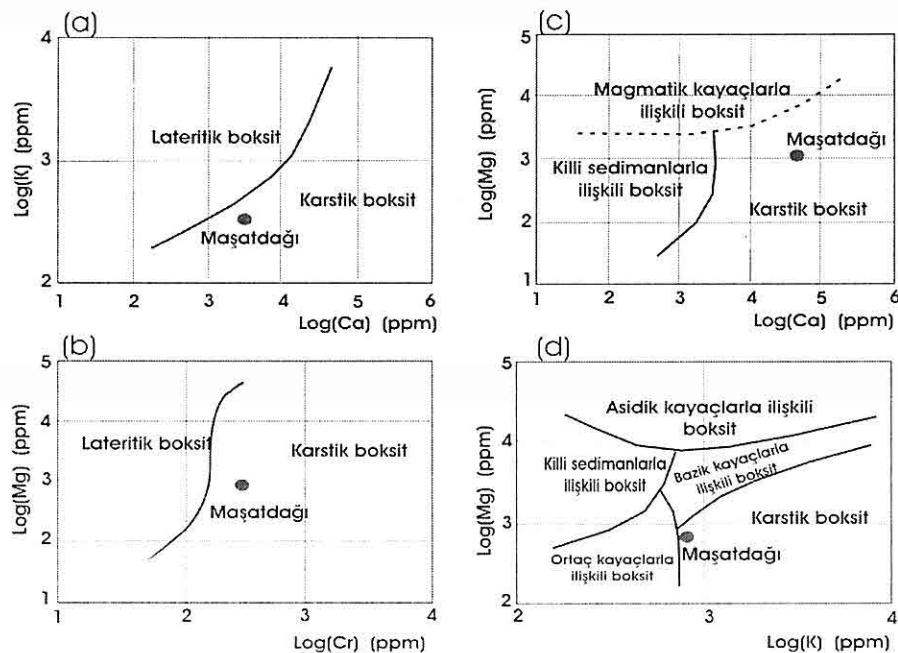


Şekil 2. Doğal atmosferik ortamların Eh-pH diyagramı (Garrels ve Christ, 1965) ve Maşatdağı boksitlerinin mineral parajenezinin duraylılık alanı (taraklı kısmı) (Temur ve Kansun, 2006).

ix. İnceleme alanında boksitlere yüredeki karbonatlı kayaçlar, bunların



**Şekil 3.** Dünyanın değişik yerlerindeki yatakların ana oksit bileşimleri ve kızdırma kaybı (KK) oranlarının bilinen kaynak kayaçlarına göre ortalamalarının üçgen diyagramındaki konumları (Temur ve dig., 2002).



**Şekil 4.** Element dağılım diyagramlarında değişik tip boksitlere göre Maşatdağı boksitlerinin konumu (Temur ve dig., 2002).

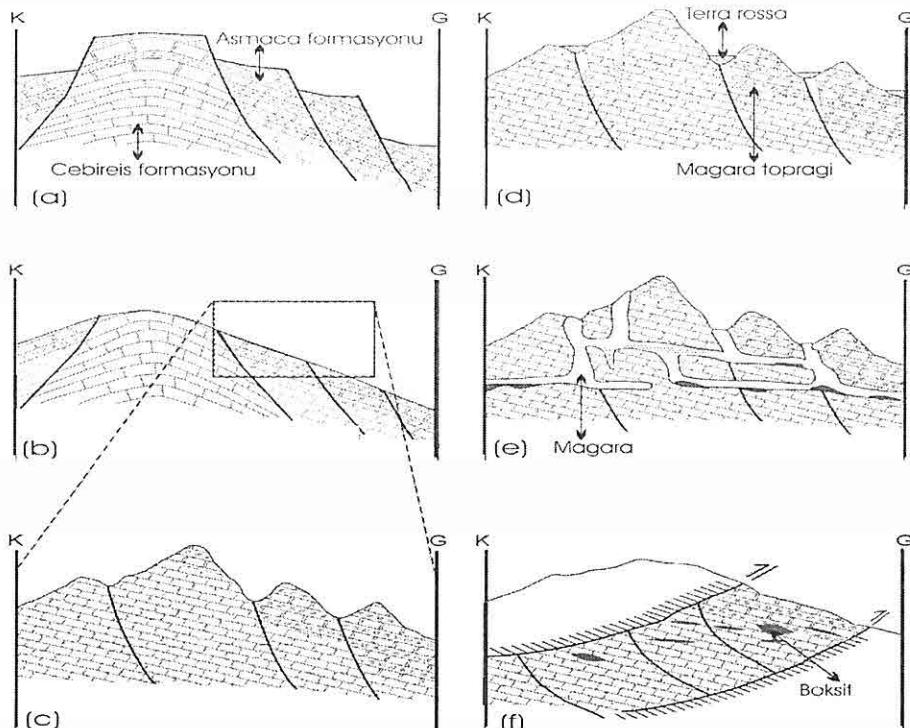
ortaya çıkan alüminyumca zengin bir kayaçtır. Dolayısıyla bir boksit yatağının jenetic yorumunu yapmak için kaynak kayaç, ayırtma zamanı, ayırtma şartları, birikme ortamı, boksitleşme ve daha sonra geçirdiği değişimleri açıklamak gerekmektedir.

İnceleme alanı ve yakın çevresinde boksitlere kaynaklık yapabilecek kayaçlar olarak pelitik kayaçlar (şistler) ve karbonatlı kayaçlar (kireçtaşları ve dolomitler) bulunmaktadır. Yukarıda sayılan jenetic özellikler boksitlerin esas olarak karbonatlı kayaclardan türediğini göstermektedir. Ancak karbonatlı kayaçlarla birlikte bulunan ve aynı ortamda ayırmaya uğrayan şistlerin (şeyllerin) katkısının olmadığı söylenemez.

a - Jeolojik zaman: İnceleme alanı ve yakın çevresinde boksit oluşumunu sağlayacak uzun karasal dönem Geç Triyas – Erken Kretase zaman aralığı ile Eosen sonrasında gerçekleşmiştir. Boksitler yankayaçları ile birlikte metamorfizma geçirmış olup, bu metamorfizmanın yaşı Geç Kretase - Geç Paleosen zaman aralığıdır. Paleosen'de meydana gelen bindirme hareketlerinden sonra birbirlerinin üzerine itilen naplardan sadece Yumrudağ Grubu'nda boksitleşme vardır. Ayrıca yatakların hemen kuzey kesiminde bulunan Seydişehir – Akseki yöresi böhmítik boksitleri Geç Kretase veya daha sonraki evreye ait olup metamorfizma geçirmemişlerdir. Bu özelliklere dayalı olarak boksitleşmenin Geç Triyas – Erken Kretase zaman aralığında gerçekleştiği söylenebilir.

b - Ortamın karasallaşması: Aladağ, Bolkardağı ve Geyikdağı birliklerindeki Üst Triyas – Alt Liyas yaşı karasal sedimanlar yörenede Geç Triyas öncesinde gerçekleşen bölgesel bir dağ oluşumunu yansımaktadır (Özgül 1984a). Bu dağoluşumunda yükselen taraf Alanya Birliği'ne ait kayaçlar olmuştur. İnceleme alanında Erken Triyas'tan sonra Kretase sonuna kadar çökelmeyi gösterecek veri yoktur. Bu karasallaşma Orta ve Batı Toroslar'da Triyas – Liyas aralığında bölgesel bir sıkışma tektoniğinin etken olması (Özgül 1984b) ile açıklanabilir. Alanya Birliği'nin güneyindeki Antalya Birliği'nde Erken Triyas'tan itibaren, kuzeyindeki Hadim – Beyşehir yörelerinde ise Geç Liyas (?) – Dogger'den itibaren denizel sedimanlar çökelsiştir. Orta Toroslar'daki Mesozoyik dönemine ait bu yapı Toros platformunun Senonyen öncesi parçalanması sonucunda Alanya Birliği'nin platformla bağlantısı kesilerek okyanus içinde kalmış küçük bir kıta parçası olması (Şengör ve Yılmaz 1981) şeklinde yorumlanarak açıklanabilir (Şekil 5a). Geç Triyas'ta karasal ortam haline gelen inceleme alanı ve yakın çevresinin o günü topografyasında Üst Permien ve Alt Triyas yaşı karbonatlı ve pelitik kayaçlar yüzeylemektedir. Alanya Birliği Antalya Birliği'nin üzerinde Senonyen sonu – Tersiyer başlangıcında itilmiştir (Özgül, 1984a). Dolayısıyla yörenede terra rossa oluşumu ve boksite dönüşümü de Senonyen'de sona ermiş olmalıdır.

c - Yüzey ayırtması: Yörenede Erken Triyas sonu – Senonyen zaman aralığında düzenli ve olgun bir karst sisteminin



**Şekil 5.** Yöredeki boksit oluşumu için gerekli ortamları gösteren şematik enine kesitler: (a) – Karasallaşma (Erken Triyas sonu), (b) ve (c) Aşınma ve Permiyen birimlerinin yüzeylemesi (Geç Triyas), (d) Karstlaşma ve terra-rossa oluşumu (Geç Triyas – Jura (?)), (e) – Olgun karst oluşumu ve terra-rossanın taşınması, boksit oluşumu, (f) – Naplaşmaya bağlı metamorfizma.

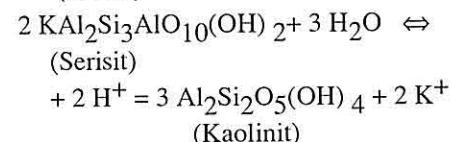
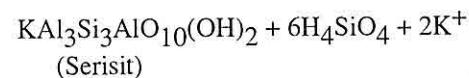
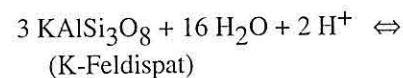
gelişebilmesi ve içlerinin karst sedimanları ile dolması için oldukça yüksek rakımlı dağ silsilesi, engebeli topografya ve yeterli miktarda su ve bunu sağlayacak sıcak ve mevsimsel yağışlı iklim şartları gerekmektedir. Bu şartlar altında fiziksnel ve kimyasal süreçlerle ayırmaya maruz kalan birimler sular vasıtıyla çözünmüş halde veya partiküller halinde taşınmış olmalıdır. Yüzey ayırmasının ilerlemesi ile topografik ve tektonik konumuna göre Alt Triyas yaşılı birimlerin altında bulunan Permiyen yaşılı birimler de yüzeylemiştir

(Şekil 5b ve 5c). Güncel boksit oluşumlarına göre modelleme yapan Price ve diğ. (1997) lateritleşme ve boksit oluşumu için ana etkenin iklim olduğunu ileri sürmüştür ve iklim şartlarına bağlı olarak iki farklı model önermiştir. Birinci modele göre aylık sıcaklık ortalama  $22^{\circ}\text{C}$ 'ın üzerinde olmalı, yıllık toplam yağışın  $1200\text{ mm}$ 'nin ve 6 aydan fazla sürede ortalama yağışın  $60\text{ mm}$ 'nın üzerinde olması gereklidir. Alternatif modelde ise en az 6 ay yağış buharlaşmadan fazla olmalı ve en az sekiz

ay ortalama sıcaklık 23 °C'ın üzerinde gerçekleşmelidir.

d – Karstlaşma ve terra rossa oluşumu: Geç Triyas – Jura zaman aralığında Alanya Birliği'nin geniş karbonat mostrallarında yüzeyde dolin, lapya gibi karstik şekiller gelişirken derine doğru süzülen sular süzülme boşluklarını genişleterek düşey konumlu kanalları oluşturmuşlardır. Yüzey ayrışması ve genç karstların oluşumu sırasında ayrısan karbonatlı kayaçlar ve bunlarla ardalanmalı olarak bulunan şeyl ve silttaşlarından açığa çıkan killer yüzeydeki karstik çukurlarda toplanmış ve böylece günümüzdekine benzer terra rossa oluşumları gelişmiştir (Şekil 5c). Karbonatlı kayaçlardan terra rossa oluşumu, asit bileşimli yağmur sularının kalsiti kolaylıkla çözmesi sırasında arda kalan silikat minerallerinin yerinde kalarak veya kısa mesafelerde taşınarak depolanması ile ilişkilidir. Yağmur sularının pH değeri 5 - 7 arasında, Eh değeri ise 0.4 - 0.6 arasında (Şekil 2) değişmektedir. Livingston (1963) tarafından Mississippi nehir sularında 34 ppm Ca<sup>2+</sup> ölçülmüştür. Bu değer süzülme zonu sularında birkaç ppm daha yükselebilir. Lombi ve dig., (2001) tarafından değişik topraklarda yapılan incelemede pH değerinin 5.5'e düşlüğü belirtilmektedir. Bu asit ortam da karbonatların çözünme ve taşınmasını kolaylaştırmaktadır. Bu durumda 1 m<sup>3</sup> kireçtaşının karbonatlardan arındırılarak terra rossaya dönüşümü için yaklaşık 70.000.000 litre yağmur suyu gerekmekte, bunun sonucunda da sadece 30 kg kadar

terra rossa kalmaktadır. Kireçtaşı – terra rossa dönüşümünde esas olarak CaO ve MgO kaybı gerçekleşirken kütte değişimini sırasında oran olarak Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> ve TiO<sub>2</sub> artmaktadır. Terra rossa oluşumu sırasında ortamda pH değeri 7'nin altında olan asidik bileşimli sular bulunduğundan feldispat, mika, illit gibi minerallerden önce serisit, reaksiyonun ilerlemesi durumunda da kaolinit türemektedir.



Al-silikatların ayrışmasından sonra kaolinit, montmorillonit veya gibsitin oluşması tamamen ortamın Eh - pH değerleri, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub> oranı ve çözücü miktarına bağlı olarak değişmektedir. Kaolinitin oluşması için ortamın pH değerinin 4-5 ve ağırlık olarak Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub> oranının 1/2 olması, montmorillonitin oluşabilmesi için ortamın pH'ının 8 - 9 ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub> oranının 1/3 veya daha az olması gerekmektedir. Terra rossaya içindeki killer (illit, klorit), kuvars, klinoklor, albit, mikroklin, kloritoid ve muskovit gibi silikatlar daha çok kireçtaşlarının veya bunların ardalandığı pelitik sedimanların artık bileşenleri olarak bulunmaktadır. Kalsit, dolomit gibi karbonatlarla hematit, götit, gibosit gibi hidroksit bileşikleri ise



## GNAYSLARIN MİNERALOJİK VE JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİİNİN KÖPRÜBAŞI (MANİSA) URANYUM YATAĞI OLUŞUMUNA ETKİSİ

Hülya KAÇMAZ ve M. Eran NAKOMAN

D.E.Ü., Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İzmir/Türkiye

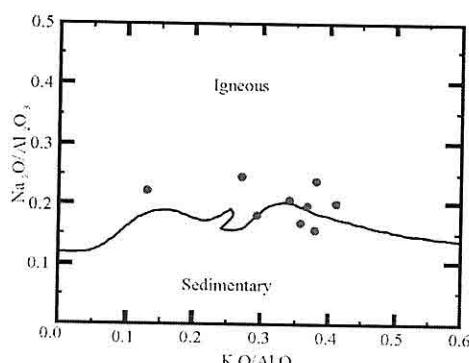
**ÖZET:** Köprübaşı uranyum yatağı Türkiye'deki en önemli uranyum yataklarından biridir. Yatak Neojen fluviyal sedimentler içerisindeindedir. Uranyumun ana kaynağı kumtaşı ve konglomeralara sediment sağlayan uranyumlu gnayslardır. Gnayslar çoğunlukla, kuvars, biotit, muskovit, plajoiklas (albit ve oligoklas), K-feldspat (ortoklas, sanidin ve mikroklin), az miktarlarda ise apatit, zirkon ve turmalin içermektedir. Jeokimyasal veriler bölgedeki gnaysların ortognays ve peralüminalı bileşime sahip olduğunu göstermektedir. Köken olarak granit-granodiyorit bileşime sahip olup S tipi granit özelliğindedir. Radyoaktivite ölçümü yapılmaksızın çalışma alanım temsilen alınan gnays örneklerinde uranyum miktarının 2.7 ppm ile 8.3 ppm arasında değiştiği görülmüştür. Bu değerler gnaysların kabuk ortalamasının üzerinde (2.6 ppm) uranyum içerdigini göstermektedir. Çalışma alanındaki gnaysların yüksek uranyum içeriği bu gnaysların granitik kökeni ile doğrudan ilişkilidir ve Köprübaşı uranyum yatağının oluşumunu sağlayan en önemli faktörlerden biri olarak kabul edilebilir.

## THE EFFECT OF MINERALOGIC AND GEOCHEMICAL FEATURES OF THE GNEISSES ON THE FORMATION OF KÖPRÜBAŞI (MANİSA) URANIUM DEPOSIT

**ABSTRACT:** The Köprübaşı uranium deposit is one of the largest uranium deposits in Turkey. The deposit is hosted in Neogene fluvial sediments. The main source for the uranium is uraniferous gneisses that provided sediment for the host sandstone and conglomerate. Gneisses consist mainly of quartz, biotite, muscovite, plagioclase (albite and oligoclase) and K-feldspar (orthoclase, sanidine and microcline) with minor zircon, apatite and tourmaline. Geochemical data show that the analysed gneisses are orthogneisses. The orthogneisses have a composition of peraluminous. They originated by metamorphism of granite or granitoid with S-type geochemical affinities. Samples collected to be representative of various kinds of these gneisses in Köprübaşı area, without regard to their radioactivity in the field, ranged from 2.7 ppm to 8.3 ppm. These values show that the Köprübaşı gneisses contain uranium in concentration above the crustal average (2.6 ppm). The high U content of these gneisses are correlated with the granitic protolith of the gneisses and is assumed here to be one of the most important factors providing the formation of uranium deposit in the Köprübaşı area.

yüksek sevilerde  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (% 0.59 ile %, 3.41, ortalama % 1.63) oranı ile karakterize edilir. Yine benzer şekilde iz element bileşimleri belirli değişiklikler göstermekte olup, Nb ortalama 9.2 ppm (6,5 ile 15.6 ppm arasında), Y ortalama 32 ppm (12 ile 45 ppm arasında), ve Zr ortalama 134 ppm (64 ile 211 ppm arasında) dir. Nb/Th oranı yaklaşık 0.54 ile 1.07 arasındadır. Gnaysların uranyum içerikleri 2.7 ppm ile 8.2 ppm arasında değişmekte olup, bu değer ortalama 4.6 ppm civarındadır.

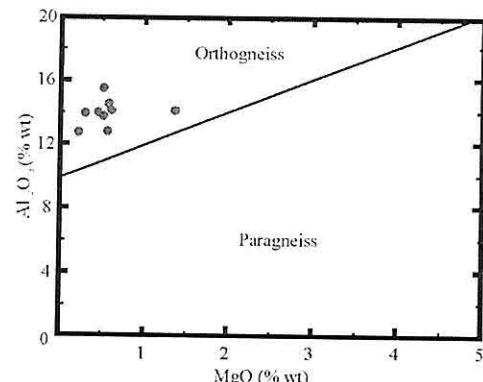
Çalışma alanındaki gnaysların jeokimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla yaygın olarak kullanılan diyagramlardan yararlanılmıştır. Şekil 4'deki  $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$  diyagramına göre gnayslar iki örnek dışında mağmatik alana düşmektedir (Garrels ve McKenzie 1971).



Şekil 4. Gnays örneklerinin Garrels ve McKenzie (1971) tarafından önerilen  $\text{Na}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$  (%) diyagramındaki konumları.

Marc (1992) tarafından önerilen  $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{MgO}$  arasındaki ilişkiye göre tüm

örnekler ortognays özellik göstermektedir (Şekil 5).



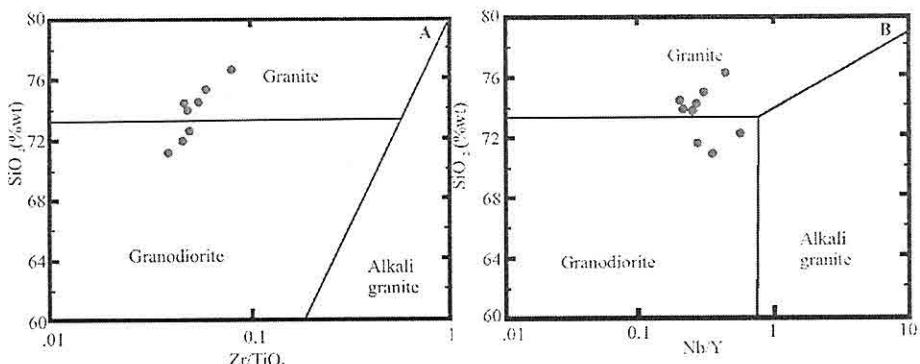
Şekil 5. Gnays örneklerinin Marc (1992) tarafından önerilen  $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{MgO}$  (%) diyagramındaki konumları.

Winchester ve Floyd (1977) tarafından önerilen  $\text{SiO}_2$ - $\text{Zr}/\text{TiO}_2$  and  $\text{SiO}_2$ - $\text{Nb}/\text{Y}$  diyagramlarına göre gnayslar granit-granodiorite karakterdedir (Şekil 6A ve 6B). Ayrıca, Çizelge 1'de görüldüğü gibi örneklerin kimyasal bileşimi baskın olarak (>% 90) normatif kuvars ve feldspattan oluşmaktadır. Bu değerlerde gnaysların granitik kökenli olduğunu göstermektedir (Chappell ve White, 1974).

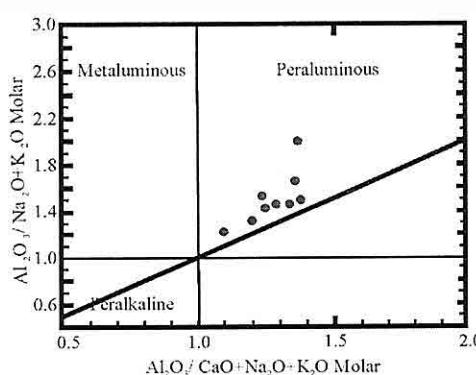
Shand 1943, tarafından önerilen alumino doygunluk değerleri ( $\text{A/CNK}$ ) gnaysların peraluminolu olduğunu gösterir (Şekil 7).

Chappell ve White (1974) I tipi ve S tipi granitleri ayırmak amacıyla yaptıkları diyagramlarda (Şekil 8), molar  $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$  oranının S tipi granitlerde 1'den büyük, I tipi granitlerde 1'den küçük olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca, I tipi granitlerin aksine, S tipi

*GNAYSLARIN MİNERALOJİK VE JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİİN KÖPRÜBAŞI  
(MANİSA) URANYUM YATAĞI OLUŞUMUNA ETKİSİ*

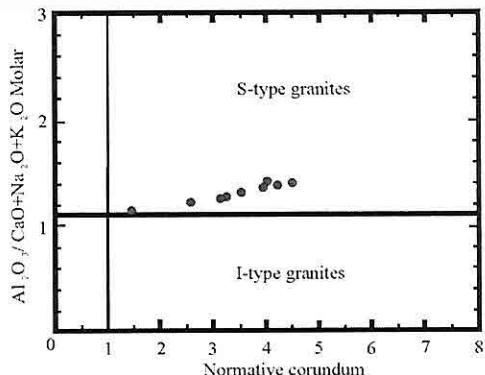


**Şekil 6.** A) Gnays örneklerinin Winchester ve Floyd (1977) tarafından önerilen  $\text{SiO}_2$ - $\text{Zr}/\text{TiO}_2$  ve B)  $\text{SiO}_2$ - $\text{Nb}/\text{Y}$  diyagramlarındaki konumları



**Şekil 7.** Gnays örneklerinin Shand (1943) tarafından önerilen molar  $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$  -  $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$  diyagramındaki konumları

granitlerde normatif korundum değerlerinin % 1'den büyük olduğunu ortaya çıkarmışlardır. Örneklerin tamamının molar  $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$  oranı 1'den büyük, normatif korundum değerleri ise % 1.47 ile % 4.54 arasında değişmekte olup, S-tipi granit özelliğindedir.



**Şekil 8.** Gnays örneklerinin Chappell ve White (1974) tarafından önerilen molar  $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ -normatif korundum arasındaki ilişkiye göre değerlendirilmesi.

## 5. SONUÇLAR

Sedimenter uranyum yataklarının oluşumunda kaynak bir kayacın varlığı ve bu kayacın içерdiği uranyum miktarı oldukça önemlidir. Kayaçların uranyum içeriği magmanın soğuması sırasında mağmatik ayrimlaşma sürecinde ortaya çıkar. Ancak uranyum atomları ilk oluşan silikat minerallerin (olivin, piroksen ve

Ca-plajiolas gibi ) yapısına kolaylıkla giremezler. Bu nedenle bu minerallerden oluşmuş kayaçlar genellikle 1 ppm den daha az uranyum içerirler. Daha sonra düşük sıcaklıklardaki kalan mağmadan oluşan minerallerde (biotit, muskovit, potasyum feldspat, sodyum feldspat ve kuvars ) ve bu aşamada oluşan bazı aksesuar minerallerde (apatit, zirkon, sfen ve monazit gibi ) ise bir kaç ppm ile 10 ppm arasında değişen uranyum kristal yapıda bulunur. Bu nedenle granitik kayaçlar genellikle kabuk ortalamasının üzerinde uranyum içerirler (Klepper ve Wyand, 1956). Tüm jeokimyasal veriler çalışma alanındaki gnaysların S-tipli, peraluminatif granitoidlerden türediğini göstermektedir. Nitekim gnaysların yüksek  $\text{SiO}_2$  değeri ( $> 65.5$ ), düşük  $\text{Na}_2\text{O}$  oranı ( $< 3.2$ ) S tipi granitlerin tipik jeokimyasal özelliklerindendir (Chappell ve White, 1974 and Hine vd. 1978). Çalışma alanındaki gnaysların uranyum içerikleri 2.7 ppm ile 8.2 ppm arasında değişmekte olup ortalama 4.6 ppm dir. Köprübaşındaki gnaysların kabuk ortalamasının üzerinde ( $> 2.6$  ppm) uranyum içermesi ilksel kayacının S tipi granit olmasından kaynaklanmaktadır.

Kaliforniya granitik kayaçlarında uranyum dağılımı ile ilgili olarak yapılan çalışmalarla, uranyumun büyük oranda ana kayayı oluşturan silikat mineralleri içerisinde olduğu ve kayaç içerisinde az miktarlarda bulunmasına rağmen (genellikle tüm kayada  $< 0.2$  wt) aksesuar minerallerin (apatit, zirkon, sfen ve monazit) major silikatlardan daha fazla uranyum içerdikleri belirlenmiştir.

Nitekim bu mineraller kayaç içindeki uranyum miktarına % 10 ile 30 arasında değişen oranlarda katkı sağlarlar (Larsen ve Gottfried, 1961). Çalışma alanındaki gnayslar, baskın olarak kuvars, muskovit, biotit, plajiolas (albit ve oligoklas) , K-feldspat (ortoklas ve az miktarda mikroklin) olmak üzere, apatit, zirkon gibi aksesuar mineraller de içermektedir (Şekil 3). Bu major silikatlar yanında, apatit, zirkon gibi yüksek uranyum içeren minerallerin varlığı kayaç içerisindeki uranyum miktarının artışına büyük ölçüde katkı sağlamaktadır.

Muskovit ve biotitlerin her ikisini birden içeren (iki mikali) S tipi granitler genellikle diğer granitlerden daha yüksek oranda gevşek bağlı uranyum içerirler (Churchill, 1991). İngiltere'de iki mikali granit ve biotit granit içindeki kuyulardan alınan yeraltı sularında yapılan çalışmalar (Wathen, 1987), biotit granitin daha yüksek uranyum içeriğine sahip olmasına rağmen (25 ppm ile 15 ppm arasında), iki mikali granitten alınan yeraltı suyunun biotit granitten alınan yeraltı suyunu göre daha yüksek uranyum içerdigini göstermiştir. Çalışma alanındaki gnayslar muskovit ve biotitlerin her ikisini birden içeren S tipi granitlerdir. Gnaysların iki mikali (S tipi) granit karakterinde olması, gnayslar içerisindeki uranyumun gevşek bağlı olduğunu düşündürmektedir.

Metamorfik sürecin kayaçlardaki uranyum konsantrasyonuna etkisi tam olarak bilinmese de, düşük derecedeki metamorfik süreçlerin kayaçlardaki uranyum konsantrasyonunda önemli bir etkisi olmadığı düşünülmektedir. Yüksek

*GNAYSLARIN MİNERALOJİK VE JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİNİN KÖPRÜBAŞI  
(MANİSA) URANYUM YATAĞI OLUŞUMUNA ETKİSİ*

dereceli granulit fasiyesi kayalarında ise uranyum miktarı kayacın metamorfizma olmamış eşdeğere göre daha azdır (Dostal ve Capedri, 1978; Heier 1979). Dostal ve Capedri (1978) bölgesel metamorfizma geçirmiş iki seride yaptıkları çalışma sonucunda, uranyum miktarının granulit fasiyesinin altındaki koşullarda metamorfizmadan etkilenmediğini ve granulitlerin kendilerine eşdeğer amfibolit fasiyesi kayaçlarına göre uranyum bakımından tükettiğini göstermişlerdir. Nitekim Brazilya da Arkeen granulit bölgesi kayaçlarında yapılan çalışmalar (Sighinolfi ve Sakai 1977), bu kayaçlarda uranyum homojen olarak dağıldığını ve 1 ppm in altındaki miktarlarda bulunduğu ortaya çıkarmıştır. Koralay vd. 1998; Candan vd. 2000, yaptıkları çalışmalarla Menderes masifi Demirci-Gördes aşmasifine ait gnayşların Amfibolit fasiyesinde metamorfizma geçirdiğini belirtmişlerdir. İlkSEL kayacı granit olan bu gnayşların Granulit fasiyesi altındaki metamorfizma koşullarında kalması muhtemelen içeriği ilksel uranyum miktarının korunmasına neden olmuştur.

Sonuç olarak, granitik kökenli (iki mikalli, S tipi) olmalarından dolayı kabuk ortalamasının üzerinde uranyum içeren gnayşların Köprübaşı uranyum yatağı oluşumuna büyük ölçüde katkı sağladığı düşünülmektedir.

## 6. KAYNAKLAR

Candan, O., Oberhanslı, R., Dora, O.Ö., Partzsch, J. ve Çetinkaplan, M. 2000. Polyphase tectono-metamorphic

*evolution of the Pan-African basement of the Menderes massif: granulite, eclogite and amphibolite facies metamorphism. Abstracts, IESCA-2000, International Earth Sciences Colloquium on the Aegean Region, İzmir, p. 134.*

*Chappell, B.J. and White, A.J.R., 1974. "Two Contrasting Granite Types". Pac. Geol., v8, pp.173-174.*

*Churchill, R. 1991. Geologic Controls on the Distribution of Radon in California, The Department of Health Services.*

*Dostal, J and Capedri, S. 1978. Uranium in metamorphic rocks, Contributions to Mineralogy and Petrology, Volume: 66, page: 409 – 414.*

*Dyck W. 1979. The mobility and concentration of uranium and its decay products in temperate surficial environments: in Kimberley, M.M .,ed., Uranium deposit: Their Mineralogy and Origin, Mineralogical Association of Canada, Short Course Volume 3, University of Toronto Pres, p. 57-100.*

*Garrels, R.M. & Mckenzie, F.T., 1971. Evolution of Sedimentary Rocks. W. W. Norton New York, NY.*

*Heier, K. S. 1979. The Movement of Uranium during Higher Grade Metamorphic Processes. Philosophical Transactions for the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences, Volume 291, Issue 1381, pp. 413–421*

*Hine, R., Williams, I.S., Chappell, B.W. and White, A.J.R., 1978. Contrasts Between I- and S-Type granitoids of the Kosciusco Batholith, J. Geol. Soc. Aust.,*

- V25, pp.219-234.
- Klepper, M. R. and Wyand, D. G. 1956. *Uranium provinces*, in Page, L.R., Stocking H.E., and Smith, H.B., eds., *Contribution to the geology of uranium and thorium by United States Geological Survey and Atomic Energy Commission for the United Nations International Conference on peaceful uses of atomic energy, Genewa, Switzerland, 1955*, U.S Geological Survey Profesional Paper 300, p. 17-26.
- Koralay, O.E., Satır, M. and Dora, O.Ö. 1998. *Geochronologic evidence of Triassic and Precambrian magmatism in the Menderes Massif, west Turkey*. 3rd International Turkish Geology Symposium, Abstracts, p. 285.
- Larsen, E. S. ve Gottfried, D. 1961 "Distribution of Uranium in Rocks and Minerals of Mesozoic Batholiths in Western United States." pp. 63-103. 8vo, printed wrappers. Washington, D.C. USGPO. *Geological Survey Bulletin 1070-C*.
- Maden Tektik Arama (1976). Köprübaşı Bölgesi Uranyum Yataklarına ait Rapor. MTA Enstitüsü, Radyoaktif Mineraller ve Kömür Dairesi Başkanlığı, Radyoaktif Mineraller Arama Servisi, Ankara.
- Marc, D. 1992. *Granites and rhyolites from the northwestern USA: temporal variation in magmatic processes and relations to tectonic setting*. Transactions of the Royal Society of Edinburgh. Earth Sciences 83, 51-64.
- Rogers J.J.W and Adams J.A.S 1969. *Uranium: in Wedpohl K.H., ed., Handbook of Geochemistry, V. II/5, Springer -Verlag, Berlin Germany*, p.92-D-1 to 92-N-1.
- Shand, S. J. 1943. *Eruptive Rocks. Their Genesis, Composition, Classification, and Their Relation to Ore-Deposits with a Chapter on Meteorite*. New York: John Wiley & Sons.
- Sighinolfi, G.P. and Sakai, T. 1977. *Uranium and thorium in Archean granulite facies terrains of Bahia (Brazil)*, Instituto de Geociencias and Instituto de Fisica, Universidade Fed. da Bahia, Salvador, Brazil, *Geochemical Journal*, 11, page 33-39.
- Wathen, J.B 1987. *The effect of uranium siting in two-mica granites on uranium concentration and radon activity in groundwater*: in Gravies B., ed., *Radon, Radium and Other radioactivity in groundwater, Proceeding of NWWA Conference, April 7-9, 1987, Somerset, New Jersey, Lewis Publishers Inc., Chelsea, Michigan*, p 31-45.
- Wedepol, K. H. 1969. *Handbook of geochemistry, Volume 2*, Springer Verlag, Berlin, Germany, p. 92-D-1 to 19-N-1.
- Winchester, J. A. and Floyd, P. A. 1977. *Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements*. *Chemical Geology* 20, 325-343.
- Yılmaz, H., 1982. *Neojen çökelleri (Köprübaşı –Gördes ) içindeki uranyum yataklarının oluşumu*, *JMO*, sayı 15, sayfa 3-19.

## BATI ANADOLU'DAKİ JEOTERMAL ALANLAR VE JEODİNAMİK KONUMLARI

Murat TOKÇAER, M. Yılmaz SAVAŞÇIN

D.E.Ü., Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İzmir/Türkiye

**ÖZET:** *Bati Anadolu'daki aktif jeotermal sistemler, özünde Neotektonik dönemim önemli bir bileşenidirler. Neotektonik olayların ele alınmasında depremsellik veya volkanizmaya verilen önemin jeotermal sistemler için önemsenmediği de bir gerçekdir. Oysa Bati Anadolu'daki aktif jeotermal sistemlerin evrimleri Neotektonik öncesi fosil jeotermal sistemlere kadar geriye gider. Erken Miyosen'de faaliyet gösteren, günümüzdeki fosil jeotermal sistemler, evrim geçirerek günümüze ulaşıklarında; önceleri volkanik – magmatik olan ısı kaynakları zamanla tektonik-magmatik ısı kaynağına dönüşerek bugünkü aktif termal alanları oluştururlar. Bati Anadolu'daki bu fosil – aktif jeotermal sistemlerin jeolojik evrimi bölge için önerilmiş olan yeni bir jeotektonik model ile de uyumludur.*

## GEOTHERMAL FIELD IN WESTERN ANATOLIA AND THEIR GEODYNAMIC POSITIONS

**ABSTRACT:** *Active geothermal systems in Western Anatolia are important components of Neotectonic period. While the earthquakes or volcanism are taking important place within the Neotectonic studies, geothermal systems has been generally ignored. However the evolution of active geothermal systems in Western Anatolia goes to backwards up to pre-Neotectonic fossil geothermal systems. Active geothermal systems of Early Miocene which are fossil geothermal systems of Quaternary have evaluated and their primary, volcanic – magmatic heat source have changed to present tectonic – magmatic heat source. Thus, they constitute present active geothermal fields of Western Anatolia. The geological evolution of this fossil to active geothermal systems in Western Anatolia shows harmonious relation with a new geodynamic model proposed for Western Anatolia.*

## 1. GİRİŞ

Jeotermal sistemlerin sağlıklı biçimde modellendirilebilmeleri açısından, jeokimyasal, hidrojeolojik ve termodynamik verilerin, yörensel ve bölgesel tektonik bilgiler bağlamında değerlendirilmeleri esastır. Oysa birçok modelleme çalışmasında, salt ısı, basınç ve debi ile yetinilerek, jeokimya ve hidrojeolojinin yanı sıra özellikle bölgesel tektonik ve jeodinamik konumun sıkça göz ardı edildiği bilinmektedir. Bu bağlamda, her geçen gün yeni ve sağlıklı tektonik verilere ulaşılan B.Anadolu'da, jeotermal sistemlerin jeodinamik model(ler) ile uyumu konusu ise ya hiç ya da çok az irdelenmiştir.

Öte yandan Batı Anadolu'daki yaygın genç magmatizmanın jeodinamik yapı ile ilişkilendirilmesi konusunda birçok başarılı yayın söz konusudur (Agostini ve dig., 2003; Doglioni ve dig., 2002; Innocenti ve dig., 2005; Agostini ve dig., 2005). Kaldı ki gerek magmatik gerekse jeotermal olaylar aynı jeodinamik hareketlerin denetiminde gerçekleşmişlerdir. Bu nedenle jeotermal sistemlerin modelsel yorumlanmaları içinde, yörensel birkaç fay ile yetinmektense, bölgesel jeodinamik model bazında ilişkilendirmeler ile yeni yaklaşımlara ulaşabileceğinin unutulmamalıdır. Daha da öte, güncel depremler ile ilgili veriler, jeotermal sistemlerin modellenmesinde, magmatik modellemelerden çok daha fazla ipucu vermektedirler. Böyle bir yaklaşım, ilerideki jeotermal arama çalışmalarında, bilinen jeotermal kaynaklardan uzak bölgelerde de prospeksiyon yapılabilmesini

sağlayabilecektir.

Bu bakış açısından hareketle ele alınan bu çalışmada, Batı Anadolu için öngörülmüş olan jeodinamik modeller ve bu modellerin jeotermal bölgeler ile uyumlulukları irdelenecaktır.

## 2. BATI ANADOLUNUN JEOLOJİK YAPISI

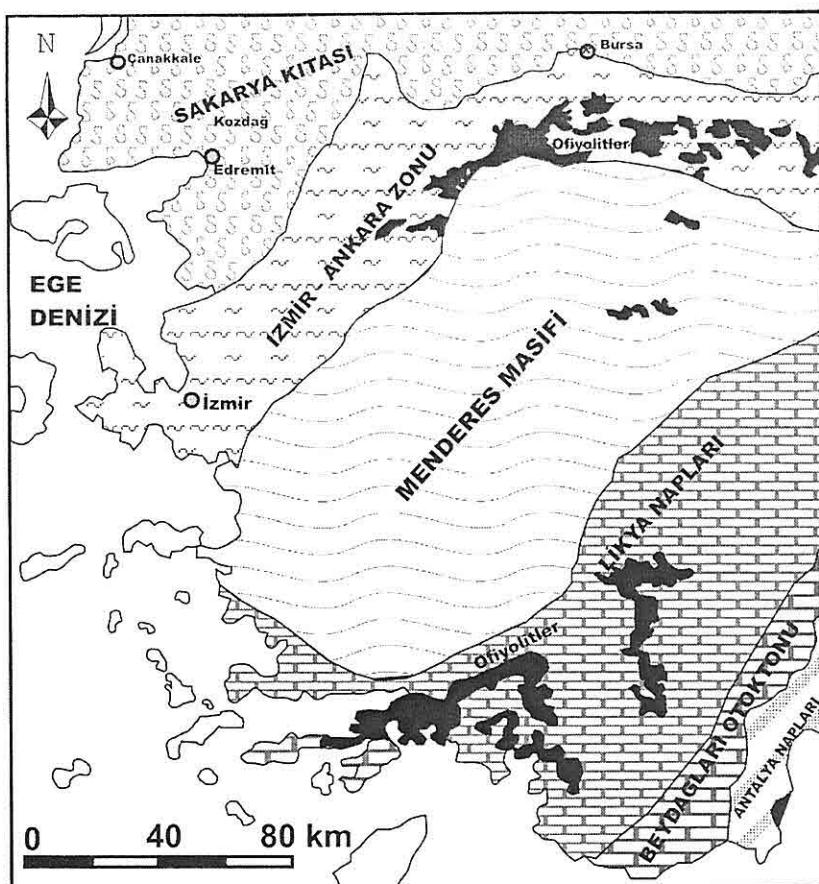
### 2. 1. Jeolojik Birimler ve Stratigrafi

Tipik bir Alpin Orogenik Kuşağı yansitan Batı Anadolu'da; Batı Pontillerin Neojen öncesi tektonik birimleri olan Sakarya Kıtası (Şengör, 1979), İzmir Ankara Zonu (Brinkmann, 1971), Menderes Masifi ve Batı Toroslar litolojik birimler olarak ayırlanmışlardır (Şekil 1).

\* Kazdağ metamorfiklerini ve Permo Triyas yaşlı tektonik olistostromlarını da (Karakaya Kompleksi) (Bingöl ve dig., 1973; Okay ve Siyako, 1991) kapsayan Sakarya Kıtası üzerine, yapısal uyumsuzlukla Trias'dan daha genç karbonat kayaları ve karbonatlı kum taşları gelir.

\* Menderes Masifi üzerine bindirmiş olan İzmir – Ankara tektonik kuşağı, Mesozoyik kireçtaşlı olistostromları içeren Maastrichtiyen – Paleosen yaşlı filiş fasiyesi kayaları, denizaltı mafik volkanik kaya toplulukları, şeyl ve grovaklar ile karakteristiktir (Okay ve dig., 1991; Erdoğan 1990 a,b; Özer ve Irtem, 1982).

\* Anadolu kıtasının en yaşlı kaya topluluklarından olan Menderes Masifinin en alt seviyesinde yüksek derece metomorfizmaya uğramış gnayalar ve şistler, en üst seviyesinde ise düşük derecede metomorfizmaya uğramış şistler, mermerler, fillit, metaplutonik ve



Şekil 1. Batı Anadolu Paleotektonik Kuşakları (Okay ve dig. 1991' den değiştirilerek).

metasedimanter kaya toplulukları ile rekristalize olmuş kireçtaşları yer alır. Literatürde yer alan 1,2 milyar yıldan 10 milyon yıla kadar değişen çeşitli yaş tayini çalışmalarına karşın (Hetzel ve Reischmann, 1996; Gessner et al., 2001 a,b; Koralay et al., 2004; Lips et al., 2001) masifin ana metamorfik evresi Geç Kretase – Erken Miyosen arasında yer almaktadır (Erdoğan ve Güngör, 2004).

\*Türkiye'nin güneybatısında yer alan

Batı Toroslardaki ofiyolitik Likya Napları Menderes masifi üzerine, Antalya Napları ise Beydağları Karbonatlarının üzerine bindirmişlerdir (Hayward ve Robertson, 1982; Güngör ve Erdoğan, 2001; Rimele ve dig., 2003; Collins ve Robertson, 1998).

Açılma çöküntüsünün son evresi boyunca Menderes Masifi çekirdeğinin granitik sokulumlarla yüzleklemesi, KB'ya hareketli İzmir-Ankara Kuşağı ve

Güney yönde hareketli Likya Naplarının Miyosen yaşlı sıyrıılma (detachment) fayları ile birlikte gelişir. (Sözbilir, 2005).

Yukarıdaki birimlerin geniş bir bölümü Neojen yaşlı karasal (güneyde denizel) sedimentler ve volkanik kaya birimleri ile uyumsuz bir şekilde örtülüdür.

### 3. JEOTERMAL ALANLAR VE JEODİNAMİK MODELLERİN İRDELENMESİ

#### 3.1. Yapısal Jeoloji ile İlgili Jeodinamik Modeller

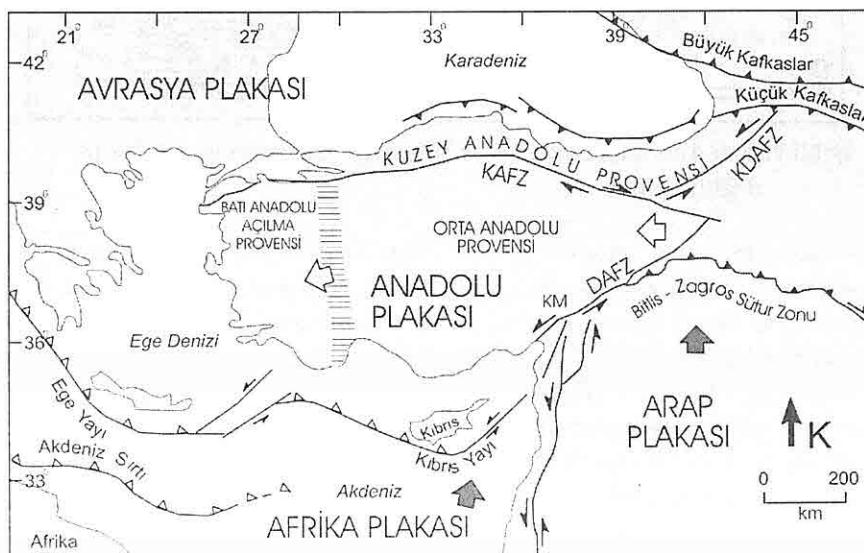
Mc Kenzie'nin (1978) yay ardi genleşmesi olarak önerdiği ve zamanla tektonik batıya kaçış tanımlaması ile geliştirilen (Dewey and Şengör 1979), Anadolu'nun batıya hareketi modeli (Şekil 2) uzun yıllardır birçok yayında, yapılan çalışma ile uyumluluğunun tartışımasına bile gerek görülmeksızın yerini almıştır. Oysa;

\*Hem Anadolu'nun Batı'ya hareketi, hem de Ege Denizi'nin buna rağmen genişlemesini birlikte açıklayabilmek zordur.

\*Kaldı ki bu Batı'ya hareketi durdurduğu söylenen Yunan Plakası ile çarışma alanının varlığını kanıtlayacak, sismik ve/veya diğer jeofizik veriler belirgin değildir.

Bu çelişkilerin yanı sıra, Güney Batı Anadolu'da yer yer astenosferin doğrudan kabuğun altına gelmesi ve litosferik dilimin yitirilmiş olması (Keskin 2003) geçmişte böyle bir sıkıştırma olmuş olsa bile, Neotektonik dönemde bu hareketin mümkün olamayacağını göstermektedir.

Öte yandan Doglioni ve diğ.'nin (2002) ön gördükleri yeni bir jeodinamik model Batı Anadolu'daki birçok jeolojik olayda (örneğin; Neojen katmanlarda sıkışma tektoniği, volkanik evrim, doğrultu atımlı faylar) olduğu gibi jeotermal sistemlerde



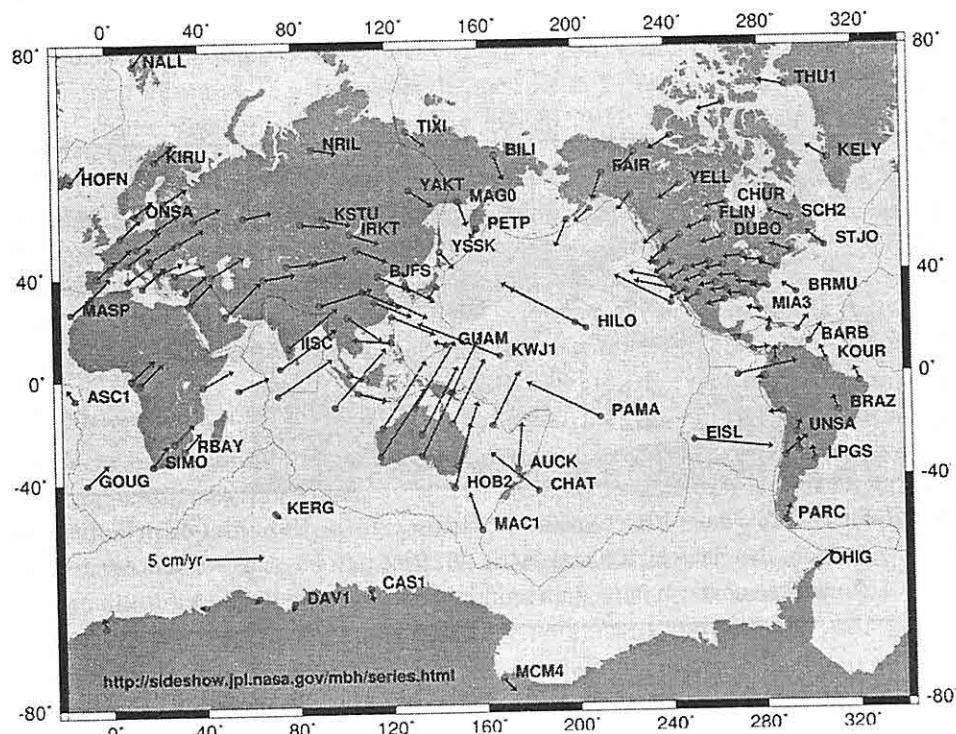
Şekil 2. Anadolu Plakasının Batı'ya Hareket Modeli (Şengör ve diğ. 1985).

de yeni yaklaşım olanakları sunabilmektedir. Araştırmacılar söz konusu yeni modellerinde;

\*Dünyanın merkezi referans alınarak yapılan GPS ölçümlerine göre Anadolu ve geniş çevresinin KD'ya doğru değişik hızlarla hareket ettiği ve bu mutlak hareketin aynı yöne düşük açı ile dalan Afrika Plakasının, söz konusu kıtalari sırtında taşımاسının sonucu olduğunu söyleyler (Şekil 3).

bölgelerin aralarındaki hız farkının yansamasıdır (Şekil 4a, 4b).

Başka bir anlatımla alta dalarak üzerindeki kıtaları KD'ya iten Afrika plakasına, söz konusu kıtalardan gösterdikleri direnç sonucu geri kaymaları (Afrika plakasına geri bindirmeleri) bu GB yönü görece hareketlerin nedenidir (Şekil 4a). Bu durumda dalının başladığı bölgeye daha yakın olan Yunanistan'ın, Anadolu'ya oranla daha hızlı GB'ya geri



Şekil 3. Dünyanın merkezi referans alındığında ortaya çıkan mutlak plaka hareket vektörleri (Heflin et al., 2001).

\*Oysa Anadolu veya Avrasya'daki bir referans noktasına göre yapılan GPS ölçümlerinde gözlenen, GB yönü görece hareket, özünde, kendisi de hareket eden referans noktası ile ölçümu yapılan

kayması (overroding) Yunanistan'da sıkışma yaratırken Ege denizi ve Batı Anadolu'da bir genleşme rejimini yaratmaktadır (Şekil 5a, b). Bu KD yönü mutlak hareket, söz konusu geri kaymalar

- Multistage exhumation of the Menderes Massif, western Anatolia (Turkey).* International Journal of Earth Sciences, 89: 781-792.
- Mc Kenzie, D., 1978; *Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt: the Aegean sea and surrounding regions (tectonics of Aegean region).* Royal Astronomical Society Geophysical Journal, 55, 217-225.
- Nicholsan, K., 1993; *Geothermal fluids. chemistry and exploration techniques.* Springer-Verlag, Berlin, 263s.
- Ocakoğlu, N., Demirbağ, E., Kuşçu, İ., 2004; *Neotectonic structures in the area offshore of Alaçatı, Doğanbey and Kuşadası (Western Turkey): evidence of strike-slip faulting in the Aegean extensional province.* Tectonophysics, 391, 67-83.
- Ocakoğlu, N., Demirbağ, E., Kuşçu, İ., 2005; *Neotectonic structures in İzmir Gulf and surrounding regions (Western Turkey): Evidence of strike-slip faulting with compression in the Aegean extensioanal regime.* Marine Geology, 219, 155-171.
- Ocakoğlu, N., Demirbağ, E., Kuşçu, İ., 2006; *İzmir Körfezi ve çevresinin sualtı aktif fayları ve depremselliği,* Yerbilimleri Dergisi, 27/1, 23-40.
- Okay, A., Siyako, M., Bürkan, K. A., 1991; *Geology and tectonic evolution of the Biga Peninsula, North-Western Turkey.* Bulletin of the Technical University of İstanbul, 44, 91-256.
- Okay, A. & Siyako, M., 1991; *The new position of the İzmir-Ankara Neo-Tethyan suture between İzmir and Balıkesir,* in: Turgut S. (Ed.) *Tectonics and Hydrocarbon Potential of Anatolia and surrounding regions,* Ozan Sungurlu Symposium Proceedings, pp. 333-355.
- Özer, S., ve İrtem, O., 1982; *İşıklar-Altındağ (Bornova-İzmir) alan Üst Kretase kireçtaşlarının jeolojik konumu, stratigrafisi ve fasiyes özellikleri:* Türkiye Jeoloji Bult., C.25, s. 41-47.
- Pfister, M., Greber, E., Schindler, C., Straub, C., Kahle, H.G. and Rybach, L., 2000; *Geodynamics of the Marmara Sea region Recent tectonic activity and the role of fluids at the Western end of the North Anatolian Fault Zone,* Bull. Appl. Geol., 5, 2, 155-176.
- Rimmelé, G., Oberhänsli, R., Goffé, B., Jolivet, L., Candan, O., and Çetinkaplan, M., 2003; *First evidence of high-pressure metamorphism in the cover series of the Menderes Massif. Tectonic and metamorphic implications for the evolution of SW Turkey.* Lithos, 71: 19-46.
- Rothert, E., and Shapiro, S.A., 2003; *Microseismic monitoring of borehole fluid injections: Data modeling and inversion for hydraulic properties of rocks,* Geophysics, 68, 685-689.
- Saatçiler, R., Ergintav, S., Demirdağ, E., İnan, S., 1999; *Character of Active faulting in the North Aegean Sea.* Marine Geolgy-160, 339-353.
- Savaşçın, M.Y., 1976; *Some alkaline rocks and hybrid magmas of the western Anatolia: Int. Cong. On Thermal Waters. Geothermal Energy and Volcanism of the Mediterranean Area Proc., v. 3, p. 225-239.*
- Savaşçın, M.Y., 1978; *Foca-Urla Neojen volkanitlerinin mineralojik – jeokimyasal incelenmesi ve kökensel yorumu.* Doçentlik tezi, 70 sayfa, Bornova-İzmir.
- Savaşçın, M.Y., 1982; *Bati Anadolu*

- Neojen magmatizmasının yapısal ve petrografik ögeleri. 'Batı Anadolu'nun Genç Tektoniği ve Volkanizması Sempozyumu': Ankara, Türkiye Jeol. Kur., 22-37.*
- Savaşçın, M.Y. and Güleç, N., 1990; *Neogene volcanism of western Anatolia. International Earth Sciences Colloquium on the Aegean Region, Field excursion B3 Guide book*, 78.
- Savaşçın M.Y. & Erler, A., 1994; *Neogene – Quaternary Magmatism and related ore deposits of Western Anatolia, International Volcanological Congress, Field excursion Guide book*, 56.
- Savaşçın, M. Y., Francalanci, L., Innocenti, F., Manetti, P., Birsoy, R., Dağ, N., 1995; *Miocene-Pliocene Potassic Volcanism Of The Afyon-Isparta Region (Central-Western Anatolia, Turkey): petrogenesis and geodynamic implications; International Earth Sciences Colloquim On The Aegean Region*, 487-502, İzmir.
- Şengör, A.M.C., 1979; *The North Anatolian transform fault: its age, offset and tectonic significance. Geological Society of London*, 136, 269-282.
- Şengör, A.M.C., Görür, N., Şaroğlu, F., 1985; *Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape; Turkey as a case study*, in: Biddle K.T., Christie-Blick N. (Eds.), *Strike-slip faulting and Basin Formation*, Soc. Econ. Paleontol. Mineral. Sp. Pub., 37, pp. 227-264.
- Sözbilir, H., Erkül, F. ve Sümer, Ö., 2003; *Gümüldür (İzmir) ve Bigadiç (Balıkesir) arasında uzanan Miyosen sonrası yaşlı KD-doğrultulu Accommodation zonuna ait saha verileri*.
- Batı Anadolu, 56. Türkiye Jeoloji Kurultayı, 85-86, Ankara.
- Sözbilir, H., 2005; *Oligo-Miyosen extension in the Lycian orogen: evidence from the Lycian molasse basin, SW Turkey*, Geodinamica Acta, 18/3, 257-284.
- Stephanos, P.K., Naden, J., Cheliotis, I., Shepherd, T.J., Constantindou, H., Crossing, J. ve Simos, I., 2001; *Epithermal gold mineralisation in the active Aegean Volcanic Arc: The Profitis Ilias deposit, Milos Island, Greece*, Mineralium Deposita, 36: 32-44
- Tadokoro, K., Ando, M. ve Nishigami, K.Y., 2000; *Induced earthquakes accompanying the water injection experiment at the Nojima fault zone, Japan; seismicity and its migration*, Journal of Geophysical Research, B, Solid Earth and Planets, 105, 6089-6104.
- Tokçaoğlu M., Agostini S., Savaşçın M.Y., 2005; *Geotectonic Setting, Origin And Emplacement Model Of The Youngest Kula Volcanics in Western Anatolia*, Turkish Journal of Earth Sciences.
- Yılmaz, Y., 1989; *An approach to the origin of young volcanic rocks of western Turkey. Tectonic Evolution of the Tethyan Region*. Kluwer, Dordrecht, 159-189.
- Yılmaz, Y., Genç, S.C., Gürer, O.F., Bozcu, M., Yılmaz, K., Karacık, Z., Altunkaynak Ş., Elmas, A., 2000; *When did the western Anatolian grabens begin to develop?* in: Bozkurt E., Winchester J.A., Piper J.D.A. (Eds.), *Tectonics and magmatism in Turkey and the surrounding area*, Geological Society Special Publication 173, Geological Society, London, pp. 353-384.

göstermektedir. Resif gerisi fasiyesi ise lagünden litoral koşullara dek gözlenen *Cyprideis*, *Cyamocytheridea* ve *Loxoconcha* gibi ostrakod türleri ile belirginlik kazanmıştır. Bu durum karotlarda kumlu kireçtaşı ve kumtaşı seviyelerinde ağırlıklı olarak saptanabilmştir.

Çalışmada açılmış karotlardaki *Schneiderella dromas* (Schneider), *Leptocythere sanmarinensis obtusata* Bonaduce, Ruggieri, Russo ve Bismuth, *Callistocythere montana* Doruk, *Miocypriodeis hanai* Bonaduce, Ruggieri, Russo ve Bismuth, *Cytheridea neapolitana* Kollmann, *Cyamocytheridea meniscus* Doruk, *Cistacythereis caelatura Uliczny*, *Aurila albicans* (Ruggieri), *A.convexa* (Baird), *Keijella procera* Doruk, *K. dolabrata* Doruk, *Orionina bireticulata* Doruk gibi ostrakod türlerinin işaret ettiği yaş Tortoniyen'dir.

#### ENVIRONMENTAL ANALYSIS OF LATE MIocene REEFAL SEDIMENTS OF SOUTH ADANA WITH OSTRACODS IN THE DRILLING CORES

**ABSTRACT:** This study was conducted on the Late Miocene units which are outcropped in the South of Adana and showing reef characteristics. During the core study done in unit, caliche, cream coloured claystone, marl, sandy limestone, marls interbedded with sandstones, sandstone and algae-coral bearing limestone are cut down. In the scope of this lithology, ostracod community mostly observed in S21, 22, 23, 24, 25, 27, 28, 29, 30, 31, 32 cores has provided paleoenvironmental and stratigraphic data.

Ostracod genera which occur in shallow sea, littoral and lagoonal environments, such as *Cytherella*, *Cytherelloidea*, *Bairdia*, *Neonesidea*, *Bairdia*, *Neomonoceratina*, *Schneiderella*, *Callistocythere*, *Cyprideis*, *Cytheridea*, *Capsacythere*, *Krithe*, *Costa*, *Cistacythereis* are defined.

The characteristic reef facies such as reef-core, fore-reef and back-reef are identified. The reef core facies is characterized by algal-coral limestones. Reef is a narrow zone in that bioclastic limestones are not commonly observed and it contains larger foraminifers such as *Quinqueloculina* sp. and *Elphidium* sp. The fore-reef facies is represented by clayey-sandy limestone, claystone and more distally by and sandy clay lithologies. The back reef facies is an area in which clay containing lime and sandstones are common.

In the soft washing samples taken from intercalated clay bands of the reef core, some shallow marine ostracod such as *Cytheridea neapolitana* Kollmann, *Aurila albicans* (Ruggieri), *A. convexa* (Baird) are found. The core-reef facies has a large number of ostracod genera and species such as *Cytherella terquemi* Sissingh, *Neonesidea corpulenta edwardsii* (roemer), *Keijella hodgii* (Brady), *K. dolabrata* Doruk. Especially, in claystones and marls, this fauna is very rich in abundance and diversity.

## *ADANA GÜNEYİNDE YER ALAN GEÇ MİYOSEN RESİF ÇÖKELLERİNİN SONDAJ KAROTLARINDAKİ OSTRAKODLARLA ORTAMSAL ANALİZİ*

*In contrast to this, in the reef-core and back-reef facies ostracodes which characterize lagoon-litoral environment such as *Leptocythere sanmarinensis obtusata Bonaduce, Ruggieri, Russo and Bismuth, Callistocythere intricatoides (Ruggieri), C. metiderranea (Müller), C. montana Doruk, Cyprideis torosa (Jones), C. sohni Bassiouni.**

*The cores crossed the reef core-thallus front facies yielded a rich ostracod fauna. However, back-reef facies is dominated by Cyprideis, Cyamocytheridea and Loxoconcha which is indicative of a from lagoonal to littoral environment. This situation is mostly determined in core samples at certain levels of sandy limestone and sandstone.*

*The ostracod species such as Schneiderella dromas (Schneider), Leptocythere sanmarinensis obtusata Bonaduce, Ruggieri, Russo and Bismuth, Callistocythere montana Doruk, Miocyprideis hanai Bonaduce, Ruggieri, Russo and Bismuth, Cytheridea neapolitana Kollmann, Cyamocytheridea meniscus Doruk, Cistacythereis caelatura Uliczny, Aurila albicans (Ruggieri), A.convexa (Baird), Keijella procera Doruk, K. dolabrata Doruk, Orionina bireticulata Doruk identified in the core samples shows that the reefal sequence in the south of Adana is the Tortonian in age.*

### **1. GİRİŞ**

İnceleme alanı Adana İli'nin yaklaşık 13 km. güneydoğu bölümünde bulunan İncirlik kasabası civarındır (Şekil 1).

Çalışma alanı ve civarındaki birimlerde Özer ve diğ. (1974), Tanar (1985), Yetiş ve Demirkol (1986), Yetiş ve diğ. (1986), Ünlügenç ve diğ. (1990), Gökcen ve Kelling (1991) gibi araştırmacılar genel jeoloji amaçlı çalışmalar yapmışlardır. TPAO'nın çalışma alanı ve yakın civarında yaptığı araştırmalar vardır (Schmidt, 1961; İlker, 1975).

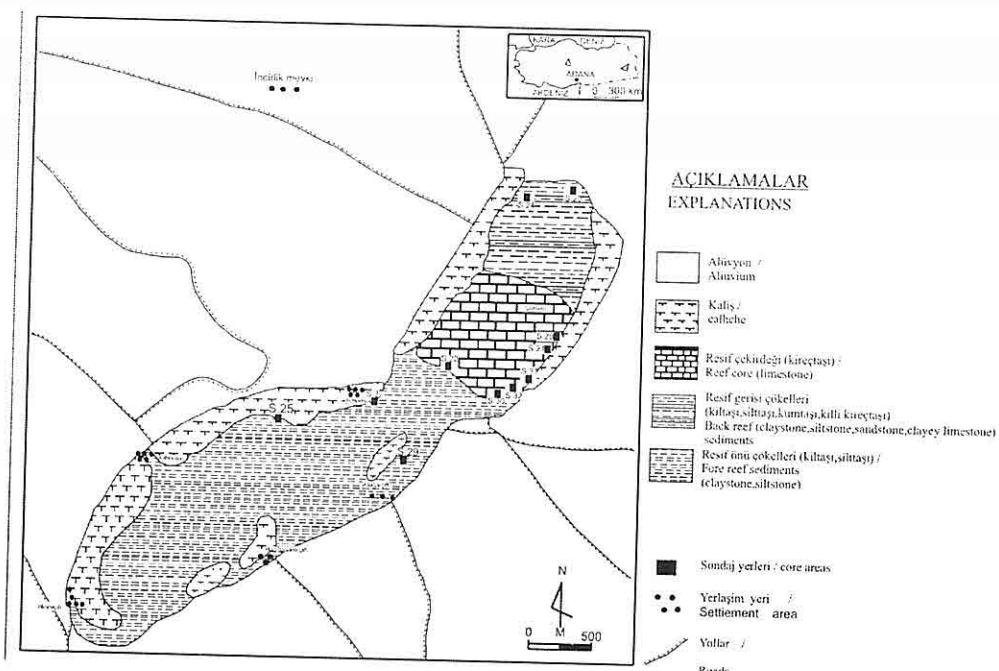
Bölgelerde yapılan genel jeoloji çalışmaları kapsamında Adana Baseninin değişik bölgelerinde paleontolojik çalışmalar da gerçekleştirılmıştır (Şafak ve Nazik, 1994; Nazik, 1996; Nazik ve Gökcen 1995; Şafak ve diğ. 1996).

Bu araştırmada, 1996 yılında Şafak ve diğ. tarafından yapılan resifteki stratigrafik çalışmaya ek olarak, Adana Çimento

Sanayi'nin inceleme alanında malzeme değerlendirmesi amacı ile açtığı karot örneklerinin alınarak yaşılandırılması yapılmıştır. Bunun için de adı geçen kurumca gerçekleştirilen 11 karotlu sondajdan toplam 80 örnek derlenmiş ve bu örneklerden elde edilen ostrakod faunası incelenerek 46 cins ve 94 tür tanımlanmıştır. Tanımlanan ostrakod türleri Levha (1-3)'de verilmiştir.

Bu çalışmanın amacı, Adana güneydoğusunda yer alan Tortoniyen resifinin bu kesimde açılmış sondaj verilerindeki ostrakod faunasından yararlanarak stratigrafik ve ortamsal yorumunu ortaya koymaktır.

Çalışmada S.21, 22, 23, 24, 25, 27, 28, 29, 30, 31, 32 sondaj karotları, yüzeyden kesildiği en son birime dek örneklenmek üzere tek tek ele alınmış ve kesme aralıkları içerisinde kalan metreler arasında bulunan örnekler incelenmiştir.



**Şekil 1.** İnceleme alanının jeoloji haritası ve sondaj yerleri (Şafak ve diğ., 1996'dan yararlanılarak).

Bu karotlar litoloji ve fauna içeriği açısından değerlendirilmiş ve açılan sondajlar ile resife ait bölümlerin koordinasyonu ortaya çıkarılmıştır.

İncelemeye konu olan alanda açılan sondaj karotlarındaki yıkama örnekleri 50 gr. tارتılarak yıkama yöntemine tabi tutulmuştur. Daha sonra bu örnekler binoküler mikroskopta ayıklanmış ve ostrakod tayini için hazırlanmıştır. Bu fosiller mikrofossil toplama slaytlarında biriktirilmiş, sonra da tayin edilmiştir. Tanımlanan bu cins ve türler sayılmıştır. Ostrakodların yanal ve düşey dağılımları hesaplanmış ve sayısal bollukları belirlenmiştir. Bu dağılım tablosunda ostrakodların frekansını açıklayan simgeler kullanılmıştır (Çizelge 1). Bu

sonuçlar istatistiksel bir veri olmayıp göreceli olarak değerlendirilmiştir.

**Çizelge 1.** Ostrakodların frekans tablosu  
(Sissingh, 1972'den değiştirilerek)

Frekans	Sayı	Sembol
Çok nadir	1-2 kapak	+
Nadir	3-4 kapak	x
Yaygın	6-15 kapak	0
Sık	16-25 kapak	●
Çok sık	> 25	■

Araştırmmanın son aşamasında, çalışmada yer alan sıç deniz ve lagün karakterli ostrakod topluluğunu Yunanistan, Yugoslavya ve Rusya'da yapılmış çalışmalarındaki koleksiyon

## ***ADANA GÜNEYİNDE YER ALAN GEÇ MİYOSEN RESİF ÇÖKELLERİNİN SONDAJ KAROTLARINDAKİ OSTRAKODLARLA ORTAMSAL ANALİZİ***

örnekleri ile karşılaştırmak amacıyla 08.06.2006-15.06.2006 tarihleri arasında Belgrad Tabiat Tarihi Müzesi'nde çalışılmıştır (Shornikov, 1969; Vesper, 1972; Bassiouni, 1979; Krstic ve Bossio, 1992; Krstic, 2004).

### **2. STRATİGRAFİ**

İnceleme alanı ve yakın civarında Tortoniyen yaşı Kuzgun Formasyonu, Erken-Geç Pleistosen yaşı kaliş oluşukları ile Geç Pleistosen-Holosen yaşı alüvyon dolgu yüzeylenmektedir. Araştırmanın konusu olan resif de Tortoniyen zaman aralığı içerisinde gelişimini sürdürmüştür, Kuzgun Formasyonu bünyesindeki Tortoniyen resifidir.

Bu formasyon Adana Basen'i'nde ilk olarak Schmidt (1961) tarafından ve farklı fasiyelerde 6 üyeye ayrılarak incelenmiş, bu üyelerin üzerine gelen ve kılavuz tüf zonu üzerinde yer alan Sucular formasyonu, Koson seyli ve Memişli kumtaşları Adana grubu olarak değerlendirilmiştir. Yetiş ve Demirkol (1986)'da ise Schmidt (1961) çalışmasındaki Kuzgun Formasyonu, Adana grubu içerisinde yer alan Memişli kumtaşı ve bununla yanal geçişli diğer üyeleri birarada Kuzgun Formasyonu adı altında birleştirilmiştir. Ünlügenç ve diğ. (1990) çalışmasında bu formasyonun tabanda menderesli nehir çökelleri ile başladığını, üst kesimlerde sığ deniz koşullara geçildiğini, Tortoniyen'de bölgede deniz yükselmeleri ve alçalmalarının gözlendigini belirtmişlerdir. Bu projede, Şafak ve diğ. (1996) tarafından tanımlanan Kuzgun

Formasyonu'na ait resifal düzeyler, sondaj verileri ile elde edilen materyalin de detaylandırılması ile stratigrafik ve ortamsal olarak yeniden değerlendirilmiştir.

Kuzgun Formasyonu'nun üst düzeyinde kaliş olumları gelişmiştir. Çavuşgil (1985) ve Şenol (1989) tarafından detaylı yapılan bu oluşum üst tarafında kırmızı toprakla dokanaklıdır.

İnceleme alanında yüzeyleyen Kuzgun Formasyonu Tortoniyen'de resif fasiyesinin genel karakterini göstermektedir. Bu resif fasiyesinden alınan sondaj karotlarından derlenen örneklerde tanımlanan ostrakodlar Çizelge 2'de verilmiştir. Ayrıca, resif çekirdeği, resif önü ve resif gerisi çökelleri içerisinde tanımlanan ostrakod türleri belirlenmiştir (Çizelge 3).

Bassiouni (1979), Doruk (1979), Gökçen ve diğ. (1991), Bonaduce ve diğ. (1992), çalışmalarında da Tortoniyen'e işaret eden özellikle *Cytherelloidea glypta* Doruk, *Schneiderella dromas* (Schneider), *Neomonoceratina acupicta* Bonaduce, Ruggieri, Russo ve Bismuth, *Callistocythere mediterranea* (Müller), *C. montana* Doruk, *Capsacythere sicula* Aruta, *Cyprideis pannonica* (Meheş), *C. sublittoralis* Pokorny, *Miocypriodeis hanai* Bonaduce, Ruggieri, Russo ve Bismuth, *Cyamocytheridea meniscus* Doruk, *Chrysocythere paradisus* Doruk gibi ostrakod türleri bu resifin gelişiminin Tortoniyen'de gelişliğini açıklamaktadır.

Çalışmada Tortoniyen'de yer alan *Cytherelloidea*, *Neomonoceratina*, *Callistocythere*, *Ruggieria*, *Aurila*, *Pokornyella*, *Hermanites*, *Quadracythere*,

Çizelge 2. Çalışma alanında saptanın ostrakod türlerinin sondajlardaki dağılımı

OSTRAKODLAR	SONDAJLAR					OSTRAKODLAR	SONDAJLAR				
	S2	S3	S4	S5	S6		S2	S3	S4	S5	S6
<i>Cytherella vulgaris</i> Ruggieri	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Cytherella vanderholli</i> Sissingh	+	+	+	+	+	+					
<i>Cytherella clausa</i> Donuk	+			+	+						
<i>Cytherella terquama</i> Sissingh	+					+					
<i>Cytherella petrosa</i> Doruk					+						
<i>Cytherellidae glycia</i> Doruk	+			+	+						
<i>Cytherellidae sordida</i> (Müller)						+	+	+			
<i>Bairdia subdeplanata</i> (Münster)	+	+				+	+				
<i>Nemoneidea corporeata</i> (Müller)	+										
<i>Chonetocythere transversa</i> (Reuss)						+					
<i>Neomonoceratina mandibula</i> Sissingh	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Neomonoceratina intericosa</i> Bonaduce, Ruggieri, Russo ve Bismuth	+	+									
<i>Neomonoceratina acicula</i> Bonaduce, Ruggieri, Russo ve Bismuth	+	+									
<i>Neomonoceratina rugosioris</i> Bonaduce, Ruggieri, Russo ve Bismuth						+					
<i>Schmidtocythere stromas</i> (Schneider)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Leptocythere sommarivaensis obliquata</i> Bonaduce, Ruggieri, Russo ve Bismuth					+						
<i>Callistocythere montana</i> Donuk	+			+	+						
<i>Callistocythere intricatoides</i> (Ruggieri)	+										
<i>Callistocythere mediterranea</i> (Müller)		+	+			+					
<i>Cyprideis subtropicalis</i> Pokorný					+						
<i>Cyprideis anomala</i> Bassiouni					+						
<i>Cyprideis pannonica</i> (Mehes)					+						
<i>Cyprideis torosa</i> (Jones)	++	+									
<i>Cyprideis sohni</i> Bassiouni	+										
<i>Micocyprideis lanata</i> Bonaduce, Ruggieri, Russo ve Bismuth		+									
<i>Micocyprideis surmatica</i> (Zályay)						+					
<i>Cytheridea neapolitana</i> Kollmann	++	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Cytheridea acuminata</i> Bosquet	++	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Cytheridea paracuminate verrucosa</i> Kollmann		+	+								
<i>Cyanocythereidea meniscus</i> Doruk	++			++	++	++					
<i>Cushmanella</i> sp.						+					
<i>Krithe monasteriensis</i> (Sequenza)	+										
<i>Krithe citae</i> Oertli	+										
<i>Acanthocythereis hystrix</i> (Reuss)	++	+									
<i>Capsacythere sicula</i> Atuta						+					
<i>Costa edwardsii</i> (Roemer)	++	++	++	++	++	+					
<i>Costa tricostata</i> (Reuss)	+			+	+	++					
<i>Costa baueri</i> (Brady)						+					
<i>Carmocyctherea antiquata</i> (Baird)	+		+	+	+						
<i>Carmocyctherea carinata</i> (Roemer)	+					++					
<i>Cistacythereis poscovarii</i> (Ruggieri)	++	++	++	++	++						
<i>Cistacythereis cauchatula</i> Uliczny	+					++	+				
<i>Chrysocythere paradisiaca</i> Doruk						++					
<i>Legmenia rugosa</i> (Costa)	+		++	+	++						
<i>Cetina quadrivalvata</i> (Baird)	+			++	++	++					
<i>Sivashella posterioris</i> Doruk					+						
<i>Ruggierella dorudae</i> Doruk						+					
<i>Keijellia hagedi</i> (Brady)	++	++	++	++	++						
<i>Keijellia procea</i> Doruk		++	+								
<i>Keijellia dolabrata</i> Donuk		+	+			++	+				
<i>Keijellia clauda</i> Donuk							++				
<i>Baiderites porcellum</i> (Brady)							++	++			
<i>Heterocythereis albomaculata</i> (Baird)									+		
<i>Aurila albicans</i> (Ruggieri)									++	++	
<i>Aurila ducassae</i> Moyes		++		++	+				+		
<i>Aurila frequentalis</i> Sissingh							+	++	+		
<i>Aurila convexa</i> (Baird)		++	++	++	++			++	++	++	
<i>Aurila speciei</i> (Brady)		++						++	++	++	
<i>Aurila soummamensis</i> Coutelle ve Yassini		++	++	++	++			++	++	++	
<i>Aurila pigadiama</i> Sissingh										+	
<i>Aurila aspidodes</i> Uliczny										+	
<i>Aurila skalae</i> Uliczny										+	
<i>Aurila</i> sp. A. Bassiouni		++	+					++	++	++	
<i>Aurila</i> sp. B. Bassiouni								+	+	+	
<i>Pracytheres sulcatuspunctatus</i> (Reuss)									++		
<i>Pokornymella deformis minor</i> (Moyes)		++	++	++	++			++	++	++	
<i>Hermanites haidingeri minor</i> Ruggieri		++	+					+			
<i>Hermanites haidingeri haidingeri</i> Ruggieri											
<i>Tenedocythere prava</i> (Baird)								++	++	++	
<i>Tenedocythere salebrusa</i> Uliczny			++	++	+			++	++	++	
<i>Tenedocythere mediterranea</i> Ruggieri			++	+				++	++	++	
<i>Urocythereis favosa exodata</i> Uliczny						+		+	+	+	
<i>Orionina bireticulata</i> Donuk								+			
<i>Occulocythereis</i> sp.											+
<i>Cytheretta seminormata</i> (Egger)		+		+							
<i>Loxoconcha rhombidea</i> (Fischer)		++	++	++	++			++	++	++	
<i>Loxoconcha alata</i> Brady		++	++	++	++			++	++	++	
<i>Loxoconcha tumida</i> Brady											
<i>Loxoconcha agilis</i> Ruggieri		+	+	+	+			+	+	+	
<i>Loxoconcha affinis</i> (Brady)											+
<i>Loxoconcha elliptica</i> (Brady)											+
<i>Loxoconcha turbida</i> (Müller)		+	+								
<i>Lovsocrinulum quadricornis</i> (Ruggieri)											+
<i>Hirschmannia viridis</i> (Müller)											+
<i>Eucythere gibbera</i> Müller											+
<i>Semicytherea acuticostata</i> (Sars)											+
<i>Xestoleberis regmenti</i> Ruggieri		++	++	++	++						+
<i>Xestoleberis globescens</i> Reuss											
<i>Xestoleberis ventricosa</i> Müller		+	+	+	+			++	++	++	
<i>Xestoleberis communis</i> Müller		++	++	++	++			++	++	++	
<i>Xestoleberis aurantia</i> (Baird)											+
<i>Xestoleberis</i> sp.											
<i>Cythereis Fischeri</i> (Sars)		++	++	++	++			++	++	++	
<i>Argilloecia conidea</i> Sars								+	+	+	
<i>Paracythereis polita</i> Sars		+	+								
<i>Paracythereis</i> sp.											

**ADANA GÜNEYİNDE YER ALAN GEÇ MİYOSEN RESİF ÇÖKELLERİNİN SONDAJ  
KAROTLARINDAKİ OSTRAKODLARLA ORTAMSAL ANALİZİ**

**Çizelge 3.** Çalışma alanındaki resif çökellerinin ostrakod içeriği.

LİTOLOJİ	RESİF ÖNÜ ÇÖKELLERİ	RESİF ÇEKİRDEĞİ	RESİF GERİSİ ÇÖKELLERİ
	Killi-kumlu kireçtaşı, kilitaşı, marn, kumlu kilitaşı	Alglı ve Mercanlı kireçtaşı, kireçtaşı	Kilitaşı, silttaşlı, kumtaşlı, killi kireçtaşı
CYPRIDEIS	<i>Cytherella vulgata</i> Ruggieri <i>Cytherella vantenboldi</i> Sissingh <i>Cytherella chosia</i> Doruk <i>Cytherelloidea glypta</i> Doruk <i>Bairdia subdeltoidea</i> (Münster) <i>Neomonoceratina mouliana</i> Sissingh <i>Schneiderella dromas</i> (Schneider)	<i>Cytherella vulgata</i> Ruggieri <i>Cytherella vantenboldi</i> Sissingh — <i>Bairdia subdeltoidea</i> (Münster) <i>Neomonoceratina mouliana</i> Sissingh <i>Schneiderella dromas</i> (Schneider)	<i>Cytherella vulgata</i> Ruggieri <i>Cytherella vantenboldi</i> Sissingh <i>Cytherella chosia</i> Doruk <i>Cytherelloidea glypta</i> Doruk <i>Bairdia subdeltoidea</i> (Münster) <i>Neomonoceratina mouliana</i> Sissingh <i>Schneiderella dromas</i> (Schneider) <i>Leptocythere sannarinensis obtusa</i> Bonaduce, Ruggieri, Russo ve Bismuth <i>Callistocythere montana</i> Doruk <i>Cyprideis subtiloralis</i> Pokorný
TEGMENTA	<i>Callistocythere montana</i> Doruk — <i>Cyprideis torosa</i> (Jones) — <i>Cytheridea neapolitana</i> Kollmann <i>Cytheridea acuminata</i> Bosquet <i>Cyamocytheridea meniscus</i> Doruk <i>Costa edwardsii</i> (Roemer) <i>Carinocythereis antiquata</i> (Baird) <i>Cistacythereis pokornyi</i> (Ruggieri)	<i>Cyprideis torosa</i> (Jones) — <i>Cytheridea neapolitana</i> Kollmann <i>Cytheridea acuminata</i> Bosquet <i>Cyamocytheridea meniscus</i> Doruk <i>Costa edwardsii</i> (Roemer) <i>Carinocythereis antiquata</i> (Baird) <i>Cistacythereis pokornyi</i> (Ruggieri)	<i>Cyprideis anatolica</i> Bassiouni <i>Cytheridea neapolitana</i> Kollmann <i>Cytheridea acuminata</i> Bosquet <i>Cyamocytheridea meniscus</i> Doruk <i>Costa edwardsii</i> (Roemer) <i>Carinocythereis antiquata</i> (Baird) <i>Cistacythereis pokornyi</i> (Ruggieri) <i>Chrysocythere paradise</i> Doruk <i>Tegmenia rugosa</i> (Costa) <i>Celtia quadridentata</i> (Baird)
KEIJELLA	<i>Tegmenia rugosa</i> (Costa) <i>Celtia quadridentata</i> (Baird) <i>Sylvestra posterobursa</i> Doruk <i>Keijella dolobrata</i> Doruk <i>Keijella clauda</i> Doruk <i>Keijella hodgii</i> (Brady) <i>Basslerites berchoni</i> (Brady)	<i>Keijella dolobrata</i> Doruk — <i>Keijella hodgii</i> (Brady) <i>Basslerites berchoni</i> (Brady)	<i>Keijella dolobrata</i> Doruk — <i>Keijella hodgii</i> (Brady) — <i>Heterocythereis albomaculata</i> (Baird)
AURILA	<i>Aurila ducascae</i> Moyes <i>Aurila convexa</i> (Baird) <i>Aurila speyeri</i> (Brady) <i>Aurila soummamensis</i> Coutelle ve Yassini <i>Pokornyella deformis minor</i> (Moyes) <i>Tenedocythere mediterranea</i> Ruggieri <i>Loxoconcha rhomboidea</i> (Fischer) <i>Loxoconcha alata</i> Brady	<i>Aurila ducascae</i> Moyes <i>Aurila convexa</i> (Baird) <i>Aurila speyeri</i> (Brady) <i>Aurila soummamensis</i> Coutelle ve Yassini <i>Pokornyella deformis minor</i> (Moyes) <i>Tenedocythere mediterranea</i> Ruggieri <i>Loxoconcha rhomboidea</i> (Fischer) <i>Loxoconcha alata</i> Brady	<i>Aurila convexa</i> (Baird) <i>Aurila speyeri</i> (Brady) <i>Aurila soummamensis</i> Coutelle ve Yassini <i>Pokornyella deformis minor</i> (Moyes) <i>Tenedocythere mediterranea</i> Ruggieri <i>Loxoconcha rhomboidea</i> (Fischer) <i>Loxoconcha alata</i> Brady <i>Loxoconcha staliifera</i> Müller <i>Loxoconcha agilis</i> Ruggieri <i>Hirschmannia viridis</i> (Müller) <i>Xestoleberis rymamenti</i> Ruggieri <i>Xestoleberis ventricosa</i> Müller <i>Xestoleberis communis</i> Müller <i>Cytherois fischeri</i> (Sars) <i>Paracypris polita</i> Sars
XESTOLEBERIS	— — <i>Xestoleberis rymamenti</i> Ruggieri <i>Xestoleberis ventricosa</i> Müller <i>Xestoleberis communis</i> Müller <i>Cytherois fischeri</i> (Sars) <i>Paracypris polita</i> Sars	— — <i>Xestoleberis rymamenti</i> Ruggieri <i>Xestoleberis ventricosa</i> Müller <i>Xestoleberis communis</i> Müller —	— — <i>Xestoleberis rymamenti</i> Ruggieri <i>Xestoleberis ventricosa</i> Müller <i>Xestoleberis communis</i> Müller <i>Cytherois fischeri</i> (Sars)

*Urocythereis*, *Cytheretta* cinsleri epineritik derinlikteki sığ deniz ortamını belirler (Morkhoven, 1962). *Cyprideis* cinsi lagün; *Leptocythere*, *Cytheridea*, *Loxoconcha* litoral ortam koşullarını gösterir (Bassiouni, 1979; Yassini, 1979; Tuzcu ve Karabiyikoğlu, 1991). Sondajlarda sıkılıkla görülen *Xestoleberis* cinsi litoral ortamdan sığ deniz ortamına dek uyum sağlayan cinstir (Morkhoven, 1962; Gökçen, 1982; Şafak ve diğ. 1996).

Resif çekirdeği, resif gerisi ve önü fasyelerinde olmak üzere dağılım sunan bu cinslerin sayısal bollukları dikkate alındığında; inceleme alanı çatı, çekirdek ve resif önü bölümünde yoğunlaşan, az yaygın resif gerisi gerisi çökellerinin yer aldığı sığ kesimli bir resife işaret etmektedir.

### 2.1. S 21 KAROTU; FOSIL İÇERİĞİ, LITOLOJİK VE ORTAMSAL ÖZELLİKLERİ

Bu karot 27 m. derinlikli olup 1.00-3.00 m.ler arasında krem, yeşil renkli, kilitaşı – marn, 3.00-5.50 m.ler arasında algli kireçtaşısı-marn; 5.50-8.10 m.ler arasında alg parçaları içeren marn; 8.10-10.60 m.ler arasında sarı-krem renkli, kilitaşı-marn; 10.60-12.30 m.ler arasında kumlu, killi kumtaşı; 12.30-13.80 m.ler arasında 4-5 cm'lik 3 kum arabantlı marn; 13.80-15.40 m.ler arasında ince laminalı krem renkli marn; 15.40-21 m.ler arasında kavkı izli mavi renkli marn kesilmiştir.

1.50-3.00; 4.50-5.20; 5.20-6.20; 6.20-7.80; 7.80-9.30; 9.30-9.65; 9.65-10.80; 10.50-12.30; 18.30-19.80; 19.80-21.30; 21.30-22.80; 22.80-24.30 metreler arasındaki litolojilerde fosil saptanmıştır.

Bu litoloji resifin ön kesimlerine işaret etmektedir. Dolayısı ile de bu karotta resifin açık denize bakan ön bölümü kesilmiştir.

Bu sondajda *Cytherella vulgata* Ruggieri, *C. terquemi* Sissingh, *Schneiderella dromas* (Schneider), *Cytheridea neapolitana* Kollmann, *Keijella hodgii* (Brady), *K. dolabrata* Doruk, *Aurila soummamensis* Coutelle ve Yassini, *A. speyeri* (Brady), *Pokornyella deformis minor* (Moyes), *Hermanites haidingeri haidingeri*, *Tenedocysthere prava* (Baird), *T. salebrosa* Uliczny, *Loxoconcha rhomboidea* (Fischer), *Xestoleberis communis* Müller, *X. reymenti* Ruggieri, *Cytherois fischeri* (Sars) gibi ostrakodlar genellikle yaygın olarak gözlenmektedir.

*Cytherella chosta* Doruk, *Cytherelloidea glypta* Doruk, *Neomonoceratina acupicta* Bonaduce, Ruggieri, Russo ve Bismuth, *N. mouliana* Sissingh, *Cytheridea acuminata* Bosquet, *Costa edwardsii* (Roemer), *Cistacythereis pokornyi* (Ruggieri), *Tegmenia rugosa* (Costa), *Aurila ducasseae* Moyes, *A. convexa* (Baird), *Tenedocysthere mediterranea* Ruggieri, *Loxoconcha alata* Brady ise istifte genellikle az bulunan ostrakodlardır (Şekil 2).

### 2.2. S 22 KAROTU; FOSIL İÇERİĞİ, LITOLOJİK VE ORTAMSAL ÖZELLİKLERİ

Bu karot 27 m. derinlikli olup 1.5-6.70 m.ler arasında kilitaşı, 6.70-7.00 m.ler arasında kumlu kireçtaşısı seviyesi; 7.00-7.80 m.ler arasında sarı-krem renkli marn; 7.80-10.50 m.ler arasında kavkı kıritıntı

## **ADANA GÜNEYİNDE YER ALAN GEÇ MİYOSEN RESİF ÇÖKELLERİNİN SONDAJ KAROTLARINDAKİ OSTRAKODLARLA ORTAMSAL ANALİZİ**

Şekil 2. S21 Sondajında Ostrakodların Dağılımı

kumlu kireçtaş; 10.50-12.00 m.ler arasında sarı-yeşil renkli kumlu marn; 12.00-20.00 m.ler arasında sarı-yeşil renkli marn ve kilitaşı kesilmiştir.

Sondajda 3.00-4.50; 4.50-6.00; 6.00-7.50; 9.00-10.50; 10.50-12.00; 13.80-15.30; 15.30-16.80; 19.80-21.80 metreler arasında bol fosil tanımlanmıştır.

Bu litoloji resifin ön kesimlerine işaret etmektedir ve karot, epineritik derinliği simgeleyen resif ön bölümünden alınmıştır.

Bu sondajda yer alan *Schneiderella dromas* (Schneider), *Xestoleberis communis* Müller genellikle yaygın olarak, *Cytherella vulgata* Ruggieri, *Neomonoceratina mouliana* Sissingh, *Cytheridea neapolitana* Kollmann, *Keijella hodgii* (Brady), *K. procera* Doruk, *Aurila soummamensis* Coutelle ve Yassini, *Pokornyella deformis minor* (Moyes), *Loxoconcha rhomboidea* (Fischer), *Cytherois fischeri* (Sars) nadir olarak tanımlanan ostrakodlardır (Şekil 3).

### **2.3. 23 Karotu; Fosil İçeriği, Litolojik ve Ortamsal Özellikleri:**

Bu karot 27.30 m. derinlikli açılmıştır. 1.00-2.50 m.ler arasında gri renkli, fosilli, killi ince kumtaş, 2.50-5.50 m.ler arasında yeşil-krem renkli, çok ince kum seviyeleri içeren kilitaşı; 5.50-6.50 m.ler arasında ince kumlu gri renkli kilitaşı; 6.50-8.20 m.ler arasında yeşil-gri renkli kilitaşı ve marn kesilmiştir. 8.20-8.50 m.ler arası alg parçaları içeren yeşil renkli kilitaşı; 8.50-13.50 m.ler arası alaklı kireçtaş; 16.80-18.30 m.ler arası mercanlı kireçtaş düzeyleri içermektedir.

Bu karotta 1.30-3.00; 3.00-4.50; 4.50-

5.50; 5.50-6.30; 9.80-10.50; 21.80-22.80; 22.80-24.30; 24.30-25.80; 25.80-27.30 seviyelerinde fosil bulunmuştur. Resif çekirdeği ve yakınında açılmış bu sondaj da sığ denizel özelliktedir.

*Schneiderella dromas* (Schneider), *Cytheridea acuminata* Bosquet, *Pokornyella deformis minor* (Moyes), *Tenedocythere salebrosa* Uliczny, *Xestoleberis communis* Müller, *X. reymenti* Ruggieri, karotta yaygın ve sık gözlenen; *Neomonoceratina mouliana* Sissingh, *Carinocythereis antiquata* (Baird), *Cistacythereis pokornyi* (Ruggieri), *Aurila convexa* (Baird), *Cytherois fischeri* (Sars) az ve seyrek yer alan ostrakodlardır (Şekil 4).

### **2.4. S 24 Karotu; Fosil İçeriği, Litolojik ve Ortamsal Özellikleri:**

21.0 m. derinliğinde açılan bu sondajda yüzeyden tabana doğru 0.00-2.00 m. arasında kaliş; 2.00-4.50 m. arasında kaliş altı, tebeşirsi kilitaşı, 12.0-14.0 m.ler arasında yeşil renkli kilitaşı; 14.0-17.0 m.ler arasında kumlu kireçtaş; 17.0-19.0 m.ler arasında alg parçaları içeren yeşil renkli kilitaşı; 19.0-21.0 m.ler arasında beyaz renkli kumlu kireçtaş seviyeleri kesilmiştir.

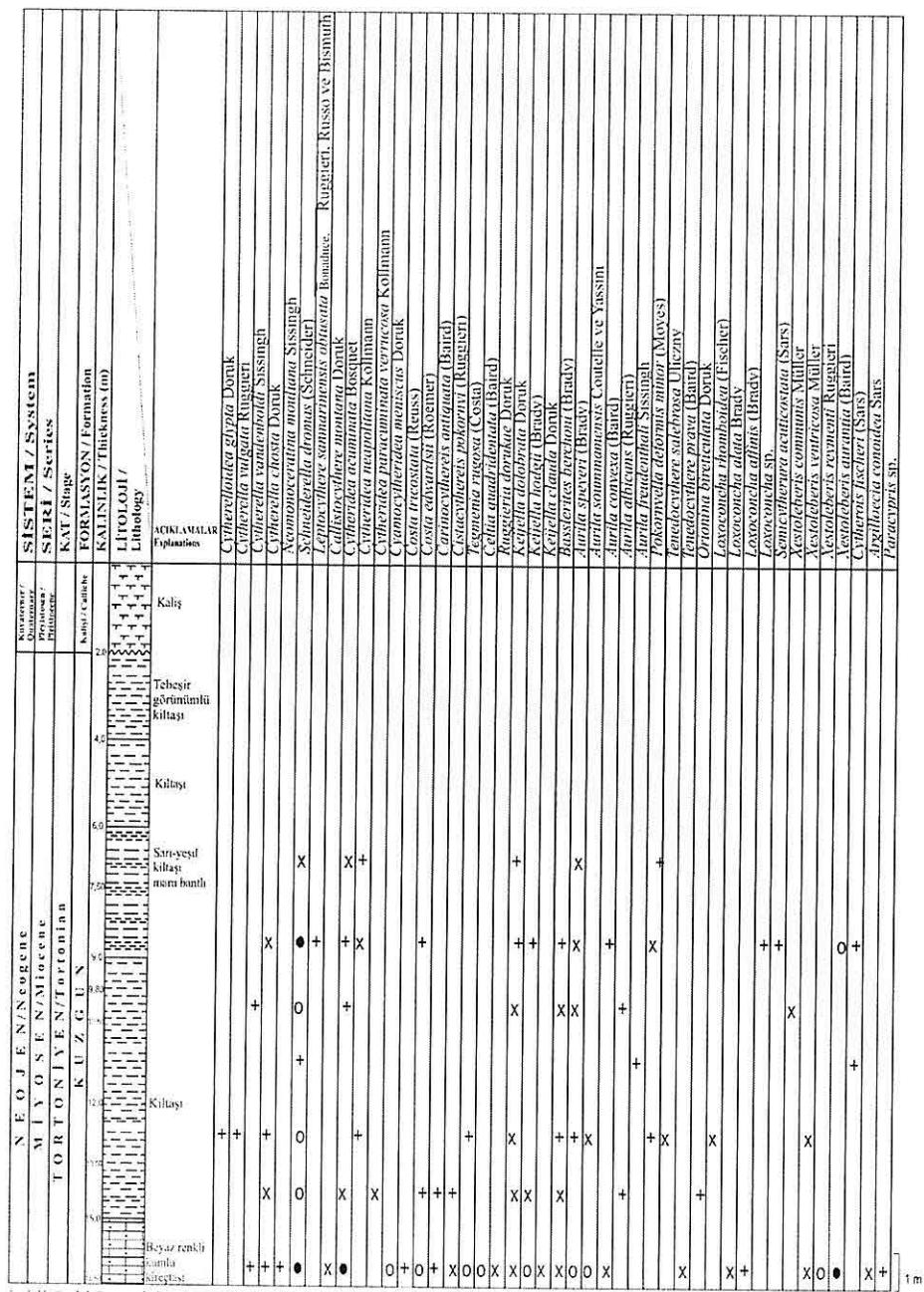
Karotla açılan istifte 3.60-4.50; 4.50-6.00; 6.00-7.50; 10.50-12.00; 13.80-15.30; 15.30-16.80; 16.80-21.00 metreler arası fosilli düzeylerdir. Sondaj resif çekirdeği ve önü bölümünü işaret eden litoloji ve faunayı içermektedir.

Bu karotta 4.50-6.00 ve 16.80-21.00 m düzeyleri bol fosilli olup *Cytherella vulgata* Ruggieri, *Neomonoceratina mouliana* Sissingh, *Schneiderella dromas*

**ADANA GÜNEYİNDE YER ALAN GEÇ MİYOSEN RESİF ÇÖKELLERİNİN SONDAJ KAROTLARINDAKİ OSTRAKODLARLA ORTAMSAL ANALİZİ**

NEOGEN / Neogene	SİSTEM / System
MİYOSEN / Miocene	SERİ / Series
TORTONİYEN / Tortonian	KAT / Stage
KUZGUN	FORMASYON / Formation
KALINLIK / Thickness (m)	KALINLIK / Thickness (m)
3,0	LITOLOJİ / Lithology
4,50	AÇIKLAMALAR Explanations
6,0	Cytherella vulgaris Ruggieri Neomanoeratina montana Süssingh
6,70	Schneiderella dromas (Schneider)
7,0	Calistocythere montana Donuk
7,50	Cytheridea acuminata Bosquet
7,80	Cytheridea neapolitana Kolmann
9,0	Cyanocythereidea meniscus Donuk
10,50	Costa edwardsii (Roemer)
12,0	Celtia quadrifemata (Baird)
13,80	Cypriidea torosa (Jones)
15,30	Keijella hordigii (Brady)
16,80	Keijella procta Donuk
19,80	Aurilia sonnammensis Contelle ve Yassini
20,35	Aurilia speciei (Brady)
21,30	Aurilia ducaiseae Moyes
21,80	Aurilia conica (Baird)
25,50	Aurilia sp. B. Bassiouni Pobonyella deformis minor (Moyes)
	Loxoconcha elatia Brady Loxoconcha rhomboides (Fischer)
	Xestoleberis communis Müller Xestoleberis ventricosa Müller
	Cytheris Fischeri (Sars)

Şekil 3. S22 Sondajında Ostrakodların Dağılımı.



Şekil 7. S27 Sondajında Ostrakodların Dağılımı.

## ADANA GÜNEYİNDE YER ALAN GEÇ MİYOSEN RESİF ÇÖKELLERİNİN SONDAJ KAROTLARINDAKİ OSTRAKODLARLA ORTAMSAL ANALİZİ

6.00 m.de fosilli ve erime boşluklu krem-beyaz renkli kireçtaşı; 6.00-9.00 m.de alg içeren, yeşil hamurlu marn, 9.00-12.00 m.de karbonatlı kumtaşısı; 12.00-14.00 m.de sarı-krem renkli, ince-orta taneli kumtaşısı; 14.00-15.30 m.de sarı-krem renkli, hafif kum bantlı kilitaşı; 15.30-16.00 m.de sarı-krem renkli marn; 16.00-23.00 m.de mavi-gri reklili marn; 23.00-24.50 m.de bol sayıda iç kalıp içeren karbonat seviyeleri; 24.50-25.50 m. de krem renkli kumtaşısı; 25.50-27.00 m.de kavkı parçaları içeren pirit görünlü düzey, killi tüfitik kumtaşısı kesilmiştir.

Karotta 7.80-10.80; 12.30-13.80; 16.80-17.40; 17.40-18.30; 19.80-20.40; 20.94-21.30; 21.30-22.50; 22.80-24.30; 24.30-25.80, 27.30-28.30 metreler arası fosillidir.

Litoloji ve fosil faktörleri gözönüne alındığında resif çatısı-ardı fasiyesine uygunluk gösteren bu istifte *Schneiderella dromas* (Schneider), *Cytheridea neapolitana* Kollmann, *Cyamocytheridea meniscus* Doruk, *Aurila albicans* (Ruggieri), *Xestoleberis communis* Müller, *Cytherois fischeri* (Sars) çok sık ve yaygın gözlenen ostrakod türleridir.

*Costa edwardsii* (Roemer), *Aurila speyeri* (Brady) istifte nadir; *Neomonoceratina mouliana* Sissingh, *N. ruggieri* Bonaduce, Ruggieri, Russo ve Bismuth, *Cyprideis pannonica* (Mehes), *C. anatolica* Bassiouni, *Chrysocythere paradisus* Doruk, *Cistacythereis caelatura* Uliczny, *Heterocythereis albomaculata* (Baird), *Loxoconcha agilis* Ruggieri çok nadir yeralan türlerdir (Şekil 8).

### 2.8. S 29 Karotu; Fosil İçeriği, Litolojik ve Ortamsal Özellikleri

21.00 m. derinlikli bu sondajda 0.00-3.00 m.ler arasında krem-yeşil renkli kumlu kilitaşı; 3.00-7.50 m.ler arasında kumlu kilitaşı; 9.00-13.50 m.ler arasında ince kavkı izleri içeren, sarı-yeşil renkli marn; 13.50-15.70 m.ler arasında kumlu kireçtaşı; 15.70-17.20 m.ler arasında yeşil-krem renkli kilitaşı; 17.20-20.00 m.ler arasında kavkı izli, kumlu kireçtaşı; 20.00-20.30 m.ler arasında fosilli killi kumtaşısı kesilmiştir.

Bu sondajdaki yeralan fosil topluluğu 9.00-10.80; 12.30-13.80; 15.30-16.80; 16.80-18.00; 18.00-19.80; 19.80-21.00 metreler arasında bulunmaktadır.

Resif çatısı-ardı bölümünde açılan bu sondajda *Cytherella vandenboldi* Sissingh, *Schneiderella dromas* (Schneider), *Cytheridea acuminata* Bosquet, *Cytheridea neapolitana* Kollmann, *Cyamocytheridea meniscus* Doruk, *Aurila albicans* (Ruggieri), *Xestoleberis communis* Müller, *Cytherois fischeri* (Sars) sık ve yaygın; *Tegmenia rugosa* (Costa), *Celtia quadridentata* (Baird), *Chrysocythere paradisus* Doruk, *Aurila speyeri* (Brady), *A. freudenthalii* Sissingh, *A. skala* Uliczny, *A. pigadiana* Sissingh, *Urocythereis favosa exedata* Uliczny, *U. sororcula* (Sequenza) nadir bulunan ostrakod türleridir (Şekil 9).

### 2.9. S 30 Karotu; Fosil İçeriği, Litolojik ve Ortamsal Özellikleri

15.00 m. derinlikli açılmış bu sondajda 1.50-11.50 metreler arasında beyaz renkli, erime boşluklu, fosilli resifal kireçtaşı,

**Şekil 1:** *Cytherella sordida* (Müller)

Kabuk, sol yan görünüm, S. 28 sondajı, 27.30-28.30m., X125

**Şekil 2:** *Cytherelloidea glypta* Doruk

Kabuk, sol yan görünüm, S.31 sondajı, 12.30-13.80m., X120

**Şekil 3:** *Cytherella terquemi* Sissingh

Sol kapak, dış görünüm, S 32 sondajı, 22.80-26.00m., X120

**Şekil 4-5:** *Schneiderella dromas* (Schneider)

4. Sol kapak, dış görünüm S.22 sondajı, 10.80-12.00m., X100

5. Kabuk, sol yan görünüm, S 22 sondajı, 21.30-22.50m., X95

**Şekil 6:** *Neomonoceratina acupicta* Bonaduce, Ruggieri, Russo ve Bismuth

Sağ kapak, dış görünüm, S.31 sondajı, 12.30-13.80m., X100

**Şekil 7:** *Callistocythere intricatoides* (Ruggieri)

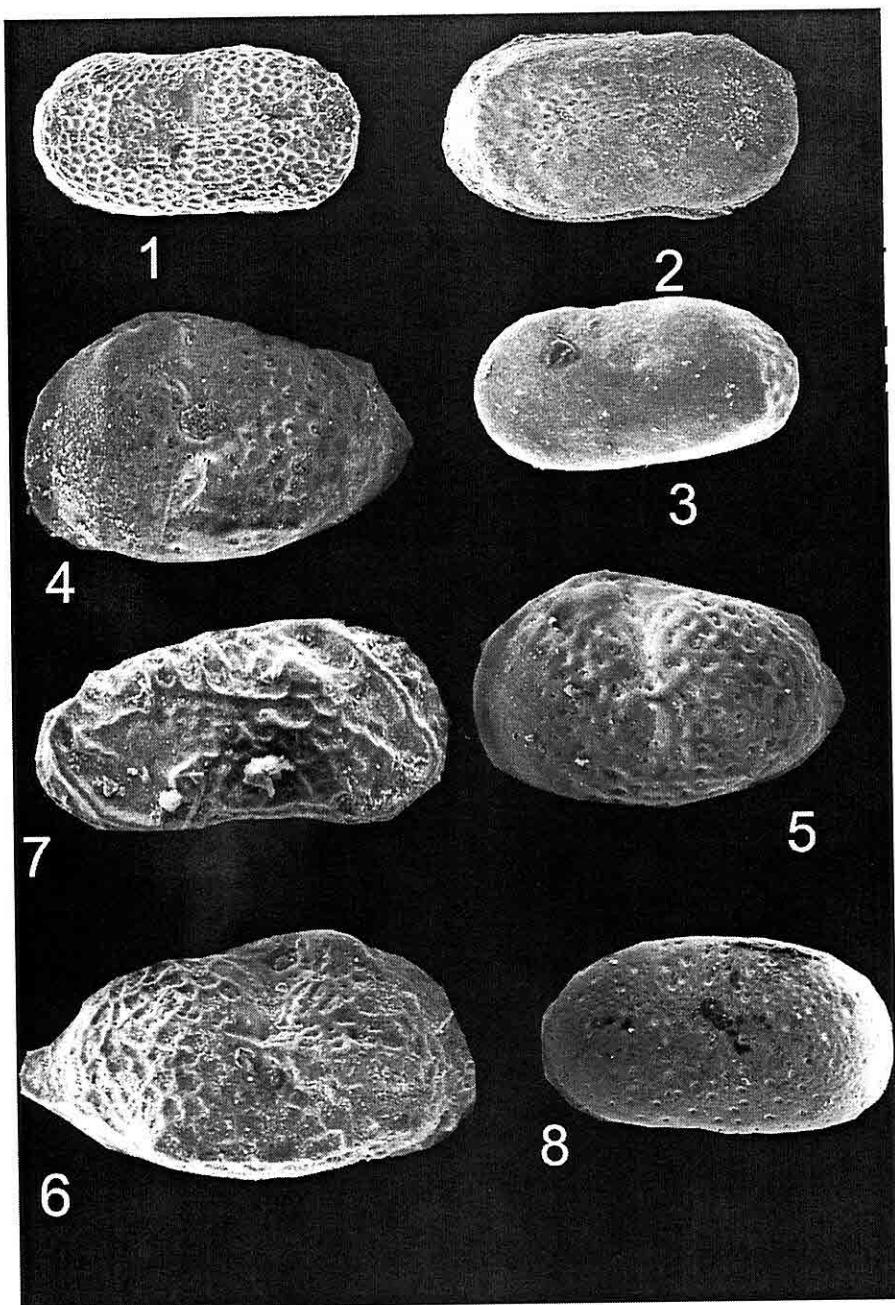
Kabuk, sağ yan görünüm, S.25 sondajı, 4.50-6.00m., X80

**Şekil 8:** *Cyprideis pannonica* (Mehes)

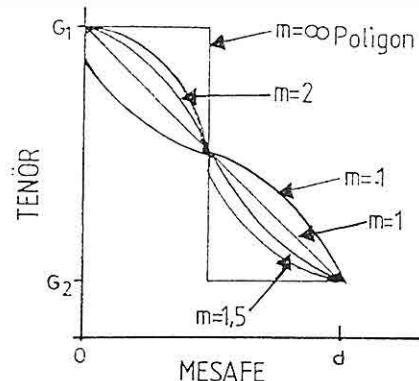
Kabuk, sol dış görünüm, S.21 sondajı, 1.50-3.00m., X120

ADANA GÜNEYİNDE YER ALAN GEÇ MİYOSEN RESİF ÇÖKELLERİNİN SONDAJ  
KAROTLARINDAKİ OSTRAKODLARLA ORTAMSAL ANALİZİ

LEVHA 1



mesafenin tersi metodu poligon metoduna,  $m^m$  1 olması durumunda ise lineer interpolasyona dönüştürmektedir.



**Şekil 1.** Değişkenlerin  $m$  değerlerine bağlı olarak mesafeye göre tenör değişimleri (Couzens, 1979).

İkinci yöntem ise, seçilen interpolasyon modelinin yakınındaki bilinen noktalara ağırlık atayarak bilinmeyen bir noktanın tahminini içermektedir. Bu metod, herhangi bir lokasyondaki bir örneğin değerinin hesaplanması için çevredeki örneklerin değerini kullanan bir yöntemdir. Bunun yapılması için en uygun işlem değişik üs değerleri için aşağıdaki formülü kullanarak bilinen bir noktanın değerini, yine bilinen çevre sondajları ile saptamaktadır. Burada önemli olan tahmini değer ile gerçek değer arasındaki fark, yani tahmin esnasında yapılan hatanın saptanmasıdır. Bu hata değişik üs değerleri için hesaplanıp, maden yatağı için en uygun model seçilmesi sağlanmalıdır. Bilinen değerler yardımcı ile (3) nolu eşitlik kullanılarak hesaplama işlemi yapılır (Onur, 1994).

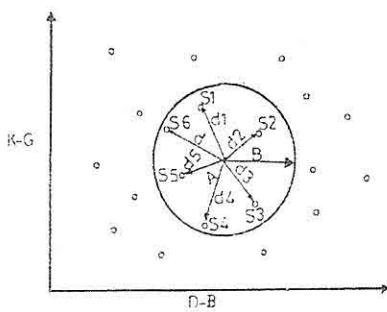
$$G = \frac{\sum_{i=1}^n G_i / d_i^m}{\sum_{i=1}^n 1 / d_i^m} \quad (3)$$

Burada  $G$  bilinmeyen değeri,  $G_i$  etki yarıçapı içerisinde bulunan bilinen değerler,  $n$  bilinen değerler adedi,  $d_i$  bilinen değerlerin bilinmeyen  $G$  noktasına uzaklıkları ve  $m$  ise ağırlık faktöridür. Hesaplanan değer bloğa veya istenen noktaya atanır (Hughes, Davey, 1979).

Mesafelerin tersi yönteminin uygulanması işleminde göz önüne alınması gereken hususlarda aşağıda anlatılmıştır.

### 2.1.1. Etki Alanı

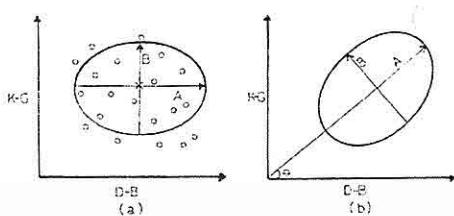
Etki alanı bir bölgenin tahmininin yapılabilmesi için hangi uzaklıktaki bilinen örnek değerinin kullanılacağını belirleyen bir parametredir. Tahmin işleminde, etki alanı  $R$  yarıçaplı bir daire olarak düşünürse, bu daire içerisinde kalan bilinen örnek değerleri kullanılmaktadır. Şekil 2'de etki alanı dairesi gösterilmiştir (Onur, 1994).



**Şekil 2.** Etki alanı dairesi.

Etki alanı her zaman dairesel olmayabilir. Anizotropi olarak adlandırılan

ve cevherleşmenin belirli bir doğrultuda meydana geldiğini gösterir bir durumda ise etki alanı bir daire ile değil, uzun kenarı cevherleşme yönünde meydana getirilen bir elips ile oluşturulmaktadır. Şekil 3. (a) da meydana getirilen elipsoidin ekseni koordinat sistemine paraleldir. Şekil 3. (b) de ise anizotropinin belirli bir ( $\theta$ ) açısı ile meydana geldiği durum gösterilmektedir (Onur, 1994).



Şekil 3. Anizotropik etki alanı elipsleri

Her iki durumda da etki alanını meydana getirecek olan elipsler içerisindeki bilinen değerler, bilinmeyen değerin tahmininde kullanılacaktır.

#### 2.1.2. Mesafe Üssü

(3) nolu eşitlikte  $d_i^m$  terimi ağırlık faktörü ve  $1/d_i^m$  ise örnek değerini lineer kombinasyona yaklaşırarak ağırlık faktörünün etkisini azaltan normalleştirme faktörüdür. Bu özelliklerinden dolayı (3) nolu eşitlik,

$$G = \sum_{i=1}^n a_i G_i \quad (4)$$

şeklinde yazılabilir. Burada  $a_i$  normalleştirilmiş ağırlık katsayısıdır. Bu ağırlık katsayıları aşağıdaki özelliklere

sahiptirler.

$$\sum_{i=1}^n a_i = 1 \quad (5)$$

$$0 \leq a_i \leq 1 \quad (6)$$

Mesafelerle ağırlıklandırma yönteminde etki yarıçapı  $R$ 'nın belirlenmesi kadar önemli olan  $d_m$  terimindeki  $m$ 'nin doğru tespit edilmesidir.  $m$  değerinin tespiti için en uygun yöntem ortalama mutlak hata (OMH) veya hataların karelerinin ortalamasının (HKO) bulunmasıdır (Ural, Anıl, Onur, Bayat ve Yıldırım, 1998).

$$OMH = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Tahmin Değeri - Gerçek Değeri| \quad (7)$$

$$HKO = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [Tahmin Değeri - Gerçek Değeri]^2 \quad (8)$$

### 3. ÜRETİM PLANLAMASI İLE İLGİLİ YAZILAN BİLGİSAYAR PROGRAMI

#### 3.1. Açık İşletmede Üretim Planlaması

Üretim planlaması, tüm açık işletme madenciliğinde olduğu gibi, çimento sanayinde de sağlanması gereken hammaddelerin kriterlerinin çokluğundan dolayı oldukça önemlidir. Farklı yapılardaki kalker, kil veya marn'ın üretim bölgesinde harmanlanması amacıyla sondaj verilerinden yararlanılarak otomatik bir üretim planının gerçekleştirilmesi çok önemlidir.

Üretim planlaması iki bakımdan önemlidir. Birincisi "paranın bu günde değeri" (present value of money) kavramı

göz önüne alındığında, maden yatağının kaliteli bölümünün veya yüksek karlı kısmının en erken zaman dilimi içerisinde kazanılması gerekliliğidir (Whittle, 1989). İkincisi ise üretimin devamlılığı ve kalite kontrolünün sağlanmasıdır (Fytas, 1987). Ayrıca talep edilen özellikteki hammaddenin üretilmesi ise kısa vadeli üretim planlaması ile mümkünür (Gershon, 1987). Üretim planlaması konusunda kullanılan parametrelerin çöküğü ve karmaşıklığından dolayı böyle bir bilgisayar programına gereksinim duyulmuş ve bu çalışma gerçekleştirılmıştır.

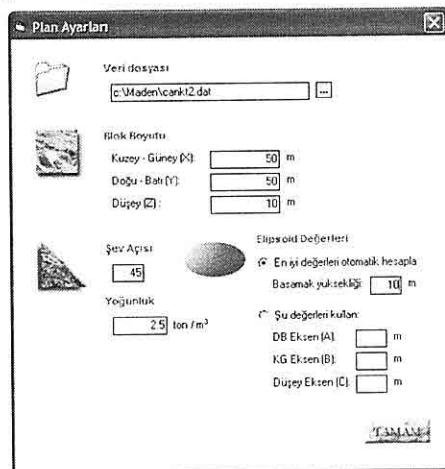
### **3.2. Yazılan Bilgisayar Programının Tanımı**

Bu çalışma ile farklı kimyasal yapıya sahip hammaddelerin kullanıldığı bir prosesde üretim devamlılığını sağlamak amacı ile işletme ömrü boyunca hammadde kullanımının optimizasyonunu gerçekleştirecek bir algoritma ve bilgisayar programı üretilmiştir. Bu çalışma ile geliştirilen yöntem bir optimizasyon yöntemi olmayıp, farklı alternatifleri çok kısa süre içerisinde kullanıcıya sunarak, mümkün olduğu kadar fazla alternatif deneme olanağını tanımaktır. Üretim planlamasının gerçek amacı blok modeli üzerine inşa edilmiş olan açık işletme sınırı içerisindeki blokların hangi zaman dilimi içerisinde üretilmesi gerekliliğinin belirlenmesidir (Onur, Dowd 1993).

Visual Basic programlama dili ile yazılan bilgisayar programı bir maden sahasının üretim planlaması için yapılacak

tüm çalışmaları kapsamaktadır. Öncelikle kullanıcı maden sahasından alınan sondaj verilerini bir dat dosyası oluşturarak bunları programın veri dosyasına aktarabilir. Veri dosyasına her türlü veri kaydedilebilir, silinebilir veya değişiklik yapılabilir. Program, veri dosyasından seçilen uzantılı dosyalar içerisindeki 20 ayrı madde tipine kadar tüm değişkenleri ayrı ayrı okuyabilmektedir. Öncelikle X, Y ve Z yönlerinde blok boyutları programa kullanıcı tarafından program ekranından verilir. Şev açısı, malzeme yoğunluğu ve elipsoidin boyutları ekrandan verilip "tamam" tuşu tiklandığında program çalışır ve blokların oluşturulduğu esas programın çalışma ekran görüntüsü gelir. Program, otomatik olarak çalıştığında ilk olarak dat uzantılı veri dosyasındaki X, Y ve Z kotlarından sonra gelen ilk kimyasal bileşenin verilerini alarak programı başlatır. Veri seçimi yapıldıktan sonra program menüsünden blok boyutları, şev açısı, malzemenin yoğunluğu ve üç boyutlu olarak modellemeye kullanılacak elipsoidin boyutları verilir. Bu ekranda program kullanıcıya iki seçenek sunmaktadır. Bunlardan birincisi A, B ve C değerlerinin kullanıcı tarafından verilerek programın çalıştırılmasıdır (Şekil 4). A, elipsoidin Doğu-Batı yönündeki uzun ekseninin mesafesini B, elipsoidin Kuzey-Güney yönündeki kısa ekseninin mesafesini ve C'de üçüncü boyuttaki elipsoidin kalınlık değerini vermektedir. Buradaki m terimi mesafelerin tersi yönteminin ağırlık faktörüdür. Bu durumda kullanıcı ideal

olabilecek mesafeleri, sonuçları yorumlayarak kendi karar verebilecektir. Bu değerler kullanıcı tarafından seçildiğinde m değeri program tarafından otomatik olarak 2 alınmaktadır. Bu kullanıcı için hem zaman kaybı hem de kullanım zorluğu yaratacağından programda ikinci bir alternatif daha sunulmuştur. Bu da program menüsünde bulunan "en iyi değerleri otomatik olarak hesapla" bölümündür. Seçilen basamak yüksekliğine göre menüdeki "en iyi değerleri hesapla" bölümü tıklandığında yeni bir menü olan optimum A, B, C ve m değerlerinin hesaplanacağı menü gelir (Şekil 4).



Şekil 4. Elipsoidi oluşturan A, B, C değerlerinin kullanıcı tarafından girilmesi veya otomatik olarak hesaplanması.

Bu ekranada kullanıcı A, B, C ve m değerlerinin minimum, maksimum ve bu değerler arasındaki artım değerlerini verir (Şekil 5). Ekrandaki "Tamam" tuşuna

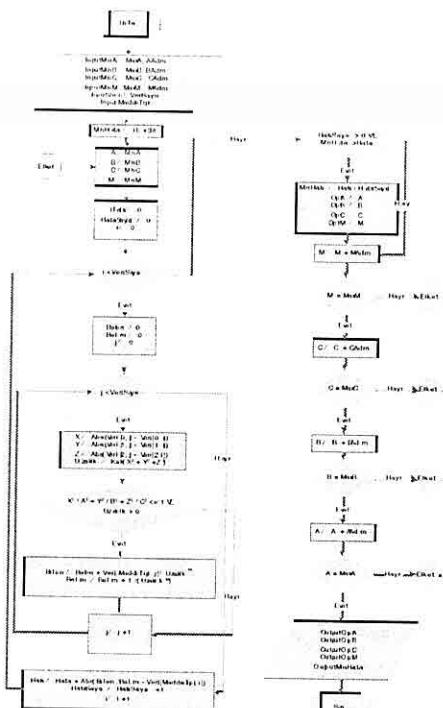
Lütfen en iyi değerlerin hesaplanacağı aralıkları ve madde tipini girin					
Madden tipi	MgO				
Değer	En az	En Çok	Artım	Dereken	
DB Eksen (A)	< 50 >	< 250 >	< 50 >	250	
KG Eksen (B)	< 50 >	< 250 >	< 50 >	250	
Düzen Eksen (C)	< 5 >	< 80 >	< 15 >	80	
m	< 1,8 >	< 2,2 >	< 0,2 >	2,2	

Şekil 5. Optimum değerlerin hesaplanacağı aralıkları ve bu aralıklar arasındaki artım değerlerini gösterir ekran görüntüsü.

tıklandığında tüm değerler için otomatik hesaplama yapılmaktadır. Program, 10 m'lik dilimde kalan birer metrelik sondajların ortalamalarını alarak seçilen 10m'lik basamak yüksekliğine tek bir değer atamaktadır. Atanan her değer için A, B, C ve m değerlerine göre mesafelerin tersi yöntemi ile hesaplama yapılmaktadır. Hesaplama yapılan her noktanın gerçek değeri bilinerek, bu noktaların değerlerinin bilinmediğini kabul edilmekte ve tüm olasılık değerleri için bu noktaların tahmin değerleri hesaplanmaktadır. Yapılan bu tahminler sonucunda tüm noktaların gerçek değerleri ile tahmin edilen değerleri arasındaki farkın mutlak değerlerinin toplamının toplam veri sayısına bölünmesi ortalama mutlak hatayı vermektedir. Ortalama mutlak hatanın en küçük olduğu değerde program tarafından belirlenerek kullanıcıya verilmektedir. Burada basamak yüksekliği 1 m. seçilirse bir metrelik sondaj verileri için de en az mutlak hatayı veren A,B,C ve m değerleri hesaplanabilir. Fakat bu işlem veri

sayısunun çokluğundan ve olasılıkların fazlalığından dolayı biraz uzun süremsmektedir.

Şekil 6'da yukarıdaki mantık kullanılarak geliştirilen üç boyutlu bilgisayar programının akış diyagramı verilmiştir.



Şekil 6. Bilgisayar programı akış diyagramı.

Program menüsündeki "korelasyon" penceresi seçildiğinde veri dosyasındaki tüm değerler ekrana gelir ve kullanıcı hangi madde tipini seçerse o madde tipine ait tüm hesaplamalar yapılarak gerçek değerlere karşılık gelen tahmin değerleri ile grafik çizdirilerek korelasyon katsayısı hesaplanabilmektedir. Grafikte, tahmin edilen en düşük ve en yüksek değerler,

korelasyon katsayısı ve ortalama mutlak hata da görülebilmektedir. Program tarafından her madde tipi için istatistiksel analizler yapılabilmektedir. Mouse ile ekran üzerinde dolaşıldığında mouse'un bulunduğu noktanın X ve Y koordinatları, o bloğa ait ortalama tenör değeri seçilen basamak seviyesi ve görünen katman da aynı ekranдан ayrı ayrı görülebilmektedir.

### 3.3. Yazılan Bilgisayar Programı ile Poligonların Oluşturulması.

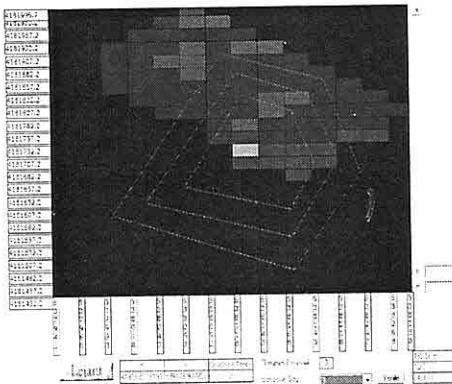
Daha önce de bahsedildiği gibi program esas olarak arazinin interpolasyon teknikleri yardımı ile elde edilmiş blok yapısını temel alarak çalışır. Her bir blok eldeki mevcut tüm kalite değerlerini içerir. Blokların boyutları sabittir ve bölgeden bölgeye değişmez. Üretim planlamasının doğruluğu, yapılan bu modellemenin hassasiyeti ile doğru orantılı olarak artar (Dowd, David, 1976). Blok modellemesinde mevcut tüm parametrelerin atandığı sabit boyutlu bloklar üretim planlaması için kullanılmaktadır. Programın çalıştırılması ile birinci basamaktaki tüm bloklar ve bunların atanmış tenör değerleri farklı renklerde olmak sureti ile ekrana yansır. Her bir blok, mevcut parametre sayısı kadar eşit aralığa bölünmüştür ve bu planlamayı yapacak kullanıcıya fikir vermesi bakımından önemlidir. Ekran üzerine mouse tıklandığında bulunan koordinat poligonun köşe noktası olarak hafızaya alınır. Aynı işlem istenilen sıklıkla devam ettirilerek kapalı bir poligon meydana getirilir. Poligon köşeleri istenildiği kadar seçilebilir.

Kullanım kolaylığının sağlanması bakımından poligonu meydana getiren köşeler saat hareketi veya tersi yönde girilebilir. Poligonlar sırası ile bilgisayar hafızasına kaydedildikten sonra yapılacak işlem poligonların kestiği veya poligon içerisinde kalan blokların ortaya çıkartılmasıdır.

İşletmeye ilk basamaktan başlanacağı, diğer bir deyişle ikinci basamağı işleyebilmek için birinci basamağın üretilmiş olması gerekliliği açıkları. Ekrandaki istenilen bölgeye mouse ile tıklayarak istenildiği sayıda köşeden meydana gelen bir çokgen çizilir. İstenirse poligonun köşe noktalarının koordinatları kullanıcı tarafından da verilebilir. Çizilen çokgen içerisindeki tüm bloklar değerlendirilmeye alınarak, tam blokların tamamı, herhangi bir poligonunun kenarı ile kesilmiş bloklar ise kesildikleri oran nispetinde planlamaya etki ettilir.

Birinci basamaktaki tüm işlemler bitirdikten sonra aynı seçim ikinci basamak için de yapılır. Bu kez ekrana sadece ikinci basamak gelir. Ancak birinci basamakta üretilen poligon bu aşamada gösterilir. Bunun nedeni, daha önce de belirlenmiş olan şev açısını oluşturabilmek içindir. Eğer ikinci basamakta mouse kullanılarak tıklatılan poligon ile, birinci basamakta oluşturulan poligon kenarları, şev açısını ihlal eden bir değerde ise bu aşamada poligon çizilemez ve şev açısını ihlal etmeyecek bir poligon çizilinceye kadar bu uyarı kalır. Program yeni verilerle istenildiği kadar çalıştırılarak her defasında farklı alternatif

sonuçlar değerlendirilebilir. Sonuçlarda, her bir aşamadaki poligon içerisinde kalan cevher rezervi, daha önceden belirlenip bloklara atanmış parametrelerin ortalamalarıdır. Böylece her aşamada bir sonraki basamağın ekrana getirilmesi ile istenilen üretim planı sınırı içerisindeki toplam malzeme tonajı, istenilen parametrelerin ortalaması vb. değerler anında ekrandan öğrenilebilir (Şekil 7). Eğer bu değerler kullanıcıyı tatmin etmiyor ise hemen programın başına dönerek istenilen aşamadaki poligon sınırları değiştirilerek sonuçlar bir dosyaya yazdırılır. Böylece çok esnek olarak istenilen bölgeler artırılabilir veya azaltılabilir.



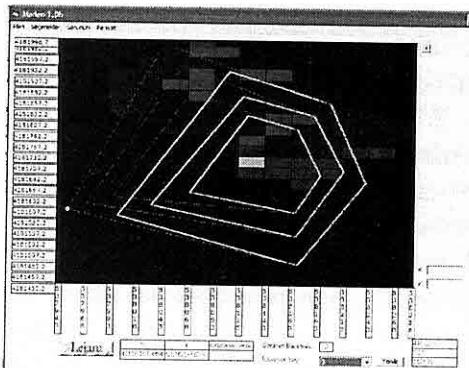
**Şekil 7.** Poligon alanlarının ve kalite tenör değerlerinin hesaplanması.

Bir sonraki planlama aşamasında önceden üretimi yapıldığı varsayılan poligonlar içerisinde kalan kısımlar çıkartılarak planlamaya devam edilir. Bu işlemleri kısa vadede planlamaya gereksinim duydukça tekrarlamak

mümkündür. Diğer optimizasyon yöntemlerinde olduğu gibi bütün bir ocağı bir defada planlamak yerine üretim başladıkta sonra her bir üretim periyodu için (ay, hafta veya gün) ocağın ilerleme yönü hakkında, malzemenin kalitesine bağlı olarak karar verilebilir.

Birinci periyot dönemi için yapılan üretim planamasının sonunda seçilen en uygun poligon alanları içerisindeki cevherin üretimi gerçekleştirilip uygun şev açısı sağlanamadığı durumlarda daha alt seviyelerde üretim yapılamama durumunda ikinci periyot dönemi için ve daha sonraki dönemler içinde üretim planlaması yapılması gerekmektedir. Birinci periyot dönemindeki tüm poligonların koordinatları, ortalama tenör değerleri ve toplam malzeme miktarı dosyada kayıt altına alınabilmektedir. Program kullanıcıya ikinci periyot dönemi için ve sonraki dönemler içinde üretim planlama yapma imkanını vermektedir. Kullanıcı birinci periyottaki birinci katmanda seçilen poligon alanının tüm köşe noktalarından her yöne doğru poligon alanını büyütme imkanı vermektedir. Her poligonun kölesi istenildiği kadar büyütülebilir. İkinci periyoda geçmek için program penceresindeki "periyot" penceresi tıklanarak "sonraki periyot" seçildiğinde tüm katmanlardaki poligon alanları koyu, kalın ve kırmızı renkte görülmektedir. Kullanıcı mouse'u poligonun köse noktası üzerine getirdiğinde köse noktasında beyaz bir yuvarlak meydana gelir ve bu köşeden mouse'la poligon alanı istenildiği yere doğru büyütülebilir. Bu büyütme

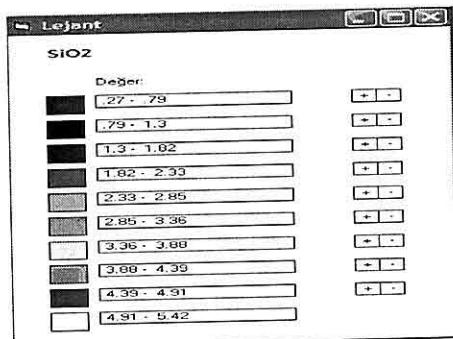
durumunda birinci periyottaki poligon alanları koyu, kalın ve kırmızı renkte, ikinci periyotta büyütülen poligon alanlarının kenarları da ince çizgi ve kırmızı renkte görünür. Program penceresindeki "katman seçenek" penceresinden birinci katman seçildiğinde aynı ekranda katmanın yüksekliği, birinci periyottaki poligon alanı ile, ikinci periyotta büyütülen poligon alanı arasında kalan bölgenin ortalama tenör değeri ve toplam malzeme miktarı ekranda görülebilmektedir. "Periyot" penceresindeki "periyot bilgisi" seçeneği tıklandığında tüm periyotlardaki poligonlara ait bilgiler bu dosyada saklanabilmektedir. Birinci periyot ve sonraki periyottaki üretim planlaması için seçilen poligon alanları Şekil 8'de gösterilmiştir.



**Şekil 8.** Periyot dönemlerinde seçilen poligonların görüntüsü

Üretim planlaması aşamasında sahanın daha detaylı incelenmesi için, yanı arazinin alt kotlarının hangi özelliklerde olduğunu bilinmesi amacıyla program

kullanıcıya imkanlar sunmaktadır. Blok alanları üzerinde mouse'un sağ tuşuna basıldığında, ekranda K-G kesiti, D-B kesiti ve derinlik renklendirmesi şeklinde 3 seçenek bulunmaktadır. Bu seçeneklerden hangisi seçilirse o kesitin üçüncü boyut kesit görüntüsü ekranda görülebilmektedir. Oluşturulan blokların ortalama tenör değerlerine göre 10 ayrı renk skalasında renk kalite renk dağılım haritası yapılmaktır ve renk dağılımları ekrandan istenildiği şekilde ayarlanabilmektedir. Buna ait ekran görüntüsü Şekil 9'da verilmiş olup, (+) ve (-) menülerinden renk detaylandırması yapılmaktadır.



**Şekil 9.** Blokların kalite renk dağılım oranlarının gösterilmesi ve renk dağılımının ayarlanması.

Ayrıca arazi topoğrafyasından dolayı boşlukta kalan alanlar ve veri alınamayan alanlar program tarafından değerlendirilmeyerek bu boşluklar siyah renkli olarak gösterilmektedir. Kullanıcı blok kalite dağılım ekranında siyah renk gördüğünde o alanda hiç bir şey olmadığını tahmin edebilmektedir.

Programın diğer bir esnekliği de planlama yapılırken blok boyutlarında değişiklik yapılmak istendiğinde, program çalışırken blok boyutları kullanıcı tarafından değiştirilebilmektedir.

#### **4. SÖKE ÇIMENTO FABRİKASI, CANKURTARAN KALKER SAHASI ÜRETİM PLANLAMASI**

Yazılan program ile Batosöke Çimento Fabrikasına ait Cankurtaran kalker sahasında yapılan sondaj verileri kullanılarak, klinker üretimine sınırlama getiren MgO, SiO<sub>2</sub> ve CaO içeriklerine göre bir modelleme yapılmıştır. Modelleme sonucu elde edilen optimum parametrelerin incelenmesi ile minimum mutlak hatayı veren A, B, C ve m değerinden oluşan parametreler grubu Çizelge 1'de verilmiştir.

**Çizelge 1.** Değişkenlere göre hesaplanan optimum parametreler ve mutlak hatalar.

Değişk.	A(m)	B(m)	C(m)	m	Mutlak Hata
MgO	50	100	40	2	1,11
SiO <sub>2</sub>	250	250	85	1,5	1,31
CaO	50	100	65	2	1,79

Çizelge 2'de ise veri dosyasındaki tüm değişkenler ve "\*" ile gösterilen tahmin sonrası değerlerin istatistiksel verileri gösterilmektedir. Arazideki SiO<sub>2</sub> içeriği çok fazla dalgalanma gösterdiği için korelasyon katsayısı düşüktür. MgO ve CaO değerleri içinde korelasyon katsayısı çok yüksek olmamasına rağmen yine de

**Çizelge 3.** Kısa dönem üretim planlamasında üretim yapılacak poligonları,bu poligonlardaki malzeme miktarları ve kalite içerikleri dağılımı.

Poligon No	Üretim Yapılacak Yıllar	Basamaak Kotu (m)	Üretilcek Malzeme Miktarı (ton)	Dekapaj m <sup>3</sup>	%MgO İçeriği	%SiO <sub>2</sub> İçeriği	%CaO İçeriği
1. Poligon	Birinci Yıl	465	49.688	-	1.12	1.25	53.64
2. Poligon	Birinci Yıl	455	215.312	-	2.06	1.04	52.64
3. Poligon	Birinci Yıl	445	819.842	-	1.97	1.01	52.70
4. Poligon	Birinci Yıl	435	165.158	-	2.13	1.10	52.47
	İkinci Yıl		968.358	-			
5. Poligon	İkinci Yıl	425	281.642	-	2.16	1.27	52.35
	Üçüncü Yıl		1.223.127	-			
6. Poligon	Üçüncü Yıl	415	26.873	-	2.05	1.35	52.45
	Dördüncü Y.		1.250.000	-			
7. Poligon	Beşinci Yıl	405	631.056	-	2.02	1.10	52.63
	Beşinci Yıl		622.501	-			
Toplam			6.253.557				

işletme sınırı içerisindeki blokların hangi zaman dilim içerisinde üretilmesinin gerekliliği belirlenmiştir. Bu program, kullanıcıya çok kısa süre içerisinde üretim yapılacak yerin özellikleri hakkında bilgiler sunduğundan dolayı oldukça büyük avantaja sahiptir.

Yazılan bilgisayar programında blok model oluşturmak için mesafelerin tersi yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, bir blok veya orta noktaya, onu çevreleyen noktalara olan uzaklıkların tersi oranında ağırlıklı olarak uzaklığın tersinin karesi oranında değer atama esasına dayanmaktadır. Tahmin yöntemleri içinde en iyisi olarak tanımlanan jeoistatistik yöntemi, hem kullanım zorluğu ve hem de

konunun uzmanı olmayan ellerde hatalı sonuçlara yol açabileceği için, insan faktörünü minumum kılan mesafelerin tersi yöntemi programda kullanılmıştır. Çoğu durumda jeoistatistik yöntemine yaklaşık sonuç veren bu yöntemin en büyük kolaylığı kullanımındaki pratiklidir.

Yazılan bilgisayar programı ile inclenecek olan bir değişkenin, mesafelerin tersi yöntemiyle tüm parametrelerin değişik kombinasyonları kullanılarak en az mutlak hata veren bir model geliştirilmiştir. Program ile üretim planlaması yaparken dışarıdan hiçbir müdahaleye gerek yoktur. Program kullanıcıya dosyadaki verilerin

değerlendirilebilmesi amacıyla istatistiksel analiz yapabilme imkanı verdiği gibi tüm yapılan üretim planları da bir dosya adı altında kayıt altına alabilmektedir. Bu da kıllanıcılarla geriye dönük işlemleri takip etme imkanı vermektedir. Program kullanıcıya elipsoidi oluşturacak mesafeleri kendisinin girebilmesine imkan verdiği gibi, ikinci alternatif olarak da elipsoidi oluşturan en iyi A, B ve C değerlerini ve mesafelerin tersi yönteminde ağırlıklandırma katsayısı olan m değerini en az mutlak hata ile hesaplamaktadır. Bu ikinci seçenek kullanıcıya büyük kolaylık sağlamaktadır.

Program esas olarak arazinin interpolasyon teknikleri yardımı ile elde edilmiş blok yapısını temel alarak çalışmaktadır. Her bir blok eldeki mevcut tüm kalite değerlerini içerir. Blokların boyutları sabittir ve bölgeden bölgeye değişmez. İlk seviyeden başlamak üzere ekran'a tüm bloklar ve bunların renklere ayrılmış olarak parametre içerikleri gelir. Her bir blok, mevcut parametre sayısı kadar eşit aralığa bölünmüştür ve bu planlamayı yapacak kullanıcıya fikir vermesi bakımından çok önemlidir.

Blok model üzerinde çizilen bu çokgen içerisindeki tüm bloklar değerlendirilmeye alınarak, tam blokların tamamı, herhangi bir poligonunun kenarı ile kesilmiş bloklar ise kesildikleri oran nispetinde planlamaya etki ettirilir. Birinci periyot dönemi için yapılan üretim planlamasının sonunda seçilen en uygun poligon alanları içerisindeki cevherin üretimi gerçekleştirildikten sonra program kullanıcıya ikinci periyot dönemi için ve

sonraki dönemler içinde üretim planı yapma imkanını vermektedir.

Yazılan bilgisayar programı ile Söke Çimento'ya ait Cankurtaran kalker sahasına ait sondaj verileri kullanılarak klinker üretimine sınırlama getiren MgO, SiO<sub>2</sub> ve CaO içeriklerine göre modelleme yapılmıştır. Cankurtaran kalker sahasının üretim planlaması kısa vadeli olarak tek periyotta 5 yıllık olarak ve yıllık bazda hazırlanmıştır 5 yıllık dönemde içerisinde kalker sahasının 465 ve 405 kotları arasında malzeme üretimi gerçekleştirilecektir. 5 yıllık üretim dönemi içerisinde 7 ayrı poligon alanı oluşturulmuştur. Bu poligon alanlarında ilk beş yılı kapsayan üretim planlarına göre Cankurtaran kalker sahasında ortalama % 2,07 MgO, %1,20 SiO<sub>2</sub> ve % 52,49 CaO içerikli 6.253.557 ton kalker kazısı yapılacaktır. Bu çalışmada, farklı kimyasal yapıya sahip hammaddelerin kullanıldığı bir proseste, üretimin devamlılığını sağlamak amacı ile işletme ömrü boyunca hammadde kullanımının optimizasyonunu gerçekleştirecek bir algoritma ve bilgisayar programı üretilmiştir.

## **6. KAYNAKLAR**

*Couzens, T.R. (1979). Aspects Of Production Planning: Operating Layout And Phase Plans. J.T. Crawford, W.A.Hustrulid, (Ed.). Open Pit Mine Planning And Design (219-231). Baltimore: The United States Of America By Port City Pres.*

*Dowd, P.A., & David, M.(1976). Planning From Estimates: Sensitivity Of*

- Mine Production Schedules To Estimation Methods.* Dordrecht: Reidel Pub.Co.
- Duda, W.H. (1985). *Cement Data Book* (3 rd ed.). Berlin : Bauverlag.
- Fytas, K., Pelley, C. & Calder, C. (1987). *Optimization Of Open Pit Short And Long Range Production Scheduling.* CIM BULL, 80, 55-61.
- Gershon, M.E.(1987). *An Open Pit Production Scheduler: Algorithm and Implementation,* Mining Engineering, 39, 793-796.
- Hughes, W.W., & Davey, R.K. (1979). *Drill Whole Interpolation: Mineralized Interpolation Techniques.* J.T. Crawford, W.A. Hustrulid, (Ed.). *Open Pit Mine Planning And Design (67-80).* Baltimore: The United States of America by Port City Pres.
- Onur, A.H. ve Dowd, P.A.(1993). *Open Pit Optimization Part I: Optimal Open Pit Design.* London: Paper published in Trans. Instn. Min. Metall.
- Onur, A.H.(1994). *Mesafenin Tersi Yönteminin Tanıtım Ve Bilgisayara Uyarlanması.* Adana: Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Yayınevi.
- Onur, A.H. ve Kumral, M. (1997). *Açık İşletmelerde Kısa Ve Orta Dönem Üretim Planlamasında Yeni Bir Yaklaşım.* Madencilik, 36,4-10.
- Onur, D.H., Konak, G., Karakuş, D. ve Mallı, T. (2003). *Batısöke T.A.Ş. Cankurtaran Kalker Sahası Kalite Değerlendirmesi Ve Üretim Planlaması.* İzmir.
- Öney, N.(1999). *Çimento İşletmeciliği El Kitabı.* Bolu: Kemal Matbaacılık Ltd. Şti.
- Ural, S., Onur, A.H., Anıl, M., Bayat, O. ve Yıldırım, M.(1998). *Kömür Üretiminde Kalite Kontrolü.* O.Kural, (Ed.) *Kömür Özellikleri Ve Çevre İlişkisi (669-685).* İstanbul: Özgün Ofset Matbaacılık A.Ş.
- Whittle, J. (1989). *The Facts And Fallacies Of Open Pit Optimization.* Australia: Whittle Programming Pty. Ltd.

KALİTE KONTROL GRAFİKLERİ OLUŞTURMAK İÇİN  
BİR BİLGİSAYAR YAZILIMININ GELİŞTİRİLMESİ VE  
MERMER SEKTÖRÜNDE DENENMESİ

Özgür AKKOYUN

Dicle Ü., Maden Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır/Türkiye

**ÖZET:** Bu çalışmada üretim sistemlerini ya da bu sistemlerin sadece bir bölümünü kontrol edebilmek için kullanılan kalite kontrol grafiklerini oluşturmaya ve yorumlamaya yardımcı olacak bir bilgisayar yazılımı tanıtılmıştır. Geliştirilen yazılım üretim sistemlerinden aldığı verileri kalite kontrol bağıntılarına uygun olarak düzenleyerek kontrol grafiği olarak sunmaktadır. Program kalite kontrol grafiklerinin temel kurallarına uygun olarak yorum da yaparak kullanıcıyı sistemin kontrol altında olduğunu e.madiği konusunda uyarmaktadır. Yazının denenmesi için mermer üretim sistemi seçilmiş ve ST tarafından üretilen plakalardan alınan kalınlık değerleri kullanılarak ST'deki blok kesim sisteminde sınanmıştır.

A SOFTWARE FOR CREATING QUALITY CONTROL CHARTS  
AND APPLYING TO MARBLE INDUSTRY

**ABSTRACT:** In this study a computer program which may be used to create quality control charts for controlling either whole production systems or only part of them is presented. The program presents data obtained from the production systems as control charts by computing them due to quality control formulations. Program stimulates the user about whether the system is under control or not by making warning according to basic rules of quality control charts. In order to test the program, marble production system is selected and the block cutting system is tested.

## 1. GİRİŞ

Günümüz koşullarında üretimin ve rekabetin anahtarı kalitedir. Kaliteli mal ve hizmet üreten üreticiler daha rekabetçi olurlarken kaliteyi göz ardı edenler uluslararası rakipleri ile mücadelede edememekte, pazar hedeflerini yerel ile sınırlamak zorunda kalmaktadırlar. Ancak sınırların ekonomik mal ve hizmet ticareti açısından eskisine göre çok daha geçirgen olduğu günümüz koşullarında yerel pazarları hedef olarak bir işletmenin uzun süre ayakta kalması ve büyümesi çok zor olacaktır.

Kalitenin birçok farklı tanımı bulunmaktadır. Ancak en yaygın ve basit tanımına göre kalite; bir mal ya da hizmetin müşteriyi tatmin etme derecesidir. Bu tanımdan kalite ile ilgili iki önemli özellik çıkarılabilir. Bunlardan birincisi kalitenin sınırlarının üretici tarafından değil müşteri tarafından belirlendiğidir, ikincisi ise bu tanımlama ve sınırların değişen müşteri özelliklerine bağlı olarak değişiklik göstereceğidir. Bu durumda kalite değişken bir kavramdır. Kalitenin bu değişken olma özelliği nedeniyle üretim sistemlerinde kalite kontrolü de süreklilik isteyen bir işlemidir.

Bir üretim sisteminin önceden belirlenen hedeflere uygun özelliklerde ürünler üretip üretmediğinin kontrol edilmesine kalite kontrolü adı verilir. Kalite kontrolünde müşteri bekleyicilerine cevap verebilecek ürün özellikleri tespit edilip bu özellikler ‘hedef ürün’ olarak seçilir. Bir yandan da bu hedef ürünü üretmek için üretim sisteminde yapılacak değişiklik ve ayarlamalar tespit edilerek

bu özellikler ‘ürtim standarı’ olarak belirlenir. Kalitenin değişken özelliği nedeniyle hedef ürün ve üretim sistemi özelliklerinin belirli zaman aralıkları ile müşteri bekleyicilerindeki değişikliklere uygun olarak yeniden değerlendirilmesi gereklidir (Akkoyun, 2006).

Kalite kontrolü araçlarının en yayğını istatistiksel kalite kontrolüdür. Üretilen her ürünün kontrol edilmesi başlı başına bir maliyet olacağı için istatistik kuralları kullanılarak sistemden belirli aralıklarda alınan numuneler üzerinden bu kontrol gerçekleştirilmektedir.

Üretim sisteminden belirli aralıklar ile alınan numuneler üzerinde yapılan ölçümler sonucunda ürünün ölçülen özelliğinin hedeften sapıp sapmadığının grafiksel olarak ortaya konulması ile oluşturulan grafiklere kalite kontrol grafikleri denilmektedir.

Kaliteyi olumsuz etkileyen en büyük neden değişkenlidir. Standarttan sapma anlamına gelen değişkenlik kalite kontrol grafikleri ile izlenebilmektedir. Kalite kontrol grafikleri üretim sürecindeki değişikliklerin nedeninin rastlantısal ya da özel nedenlere bağlı olup olmadığını belirleyerek özel nedenlerden kaynaklanan değişkenliğin ortadan kaldırılmasını amaçlamaktadır. Bir başka amaç ise süreç devamlılığının izlenmesidir (Aslan, 2001).

Günümüzde kalite kontrol grafikleri etkin bir şekilde birçok sanayi kolunda kullanılmaktadır. Diğer sektörlerde oranla daha az kullanıldığı madencilik sektöründen birkaç örnek vermek gerekirse; kömür kalitesinin alt ve üst sınır

## *KALİTE KONTROL GRAFİKLERİ OLUŞTURMAK İÇİN BİR BİLGİSAYAR YAZILIMININ GELİŞTİRİLMESİ VE MERMER SEKTÖRÜNDE DENENMESİ*

değerlerini belirleyerek kömürün kabul edilebilir değerlerinin saptanması (Ankara ve Bilir, 1995), Kolemanit tesisi süreç yetenek katsayısının belirlenmesi (İpek ve diğ., 1999), kontrol grafiklerini kullanarak koruyucu bakım planlamasının yapılması (Ankara ve diğ., 2000), istatistiksel kalite kontrol kullanılarak fayans boyutlandırması (Saraç ve Özdemir, 2003), kontrol grafikleri kullanılarak Türkiye kromit madenciliğinin değerlendirilmesi (Bayat ve Aslan, 2004) gibi konularda bazı uygulamalar yapılmıştır.

### **2. YAPILAN ÇALIŞMALAR**

Bu çalışmada öncelikle kalite kontrol grafiklerinin hazırlanması ve yorumlanması ile ilgili çalışmalar yapılmış, elde edilen bilgiler ışığında bir algoritma hazırlanmış, hazırlanan algoritmaya kod yazılarak bir yazılım geliştirilmiştir. Yazılımın görsel açıdan zengin olması amaçlandığı için yazılım geliştirme aracı olarak MS VBasic6.0 tercih edilmiştir.

Yazılımın geliştirilmesinin ardından denenmesi için mermer işleme tesislerinde en önemli makinelerden birisi, fayans hattının ilk ve en önemli makinesi olan blok kesme makinesi (ST) ürünlerinden kalınlık verileri alınmıştır. Veriler yazılıma yüklenerek sinanmış ve grafiklerin oluşturulması ve yorumlanması denenmiştir.

#### **2.1. Kontrol Grafikleri**

Herhangi bir üretim sisteminde ölçülebilir değişkenler (boyut, ağırlık,

hacim, aşınma miktarı, dayanım, hız gibi) veya bunların ortalamaları, değişim aralıkları ve standart sapmaları için kontrol grafikleri çizilebilir.

Niceliksel ölçümler için kontrol grafiği düzenlenirken genelde aşağıda verilen adımlar izlenir (Grant and Leavenworth, 1985);

##### **I-Hazırlık adımları**

- \* Amaç belirleme
- \* Değişken seçimi
- \* Örneklemeye yöntemi seçimi
- \* Ölçme yöntemi seçimi

##### **II-Uygulama adımları**

- \* Ölçümün yapılması
- \* Hesaplamlar
- \* Kontrol sınırlarının belirlenmesi
- \* Verilerin işlenmesi
- \* Sonucun yorumlanması
- \* Önlemlerin sunulması
- \* Önlemler sonrası kontrolün yenilenmesi
- \* Grafiklerin süreç müdahalesi için kontrolü

Kontrol grafiklerinin arasında en yaygın biçimde ve birlikte kullanılanları verilerin ortalamalarının kontrolü için düzenlenen -kontrol grafiği, değişkenliğin kontrolü için S-kontrol grafiği ve veriler arasındaki değişimin kontrol için değişim aralığı R-kontrol grafiğidir (Burnak, 1997).  $\bar{X}$  -R kontrol grafiklerinin  $\bar{X}$  ile ilgili bölümü, üretim sisteminin ortalamasındaki değişimleri gösterir ve makine aşınması, girdi niteliklerindeki değişimler, işgören özelliklerindeki değişikliklerden kaynaklanırlar. R bölümü ise sistemdeki homojenlikten sapmaları gösterir ve yine aşınma veya işgören

ilgisindeki dağılmalar neden olabilir (Ankara ve Bilir, 1995).

Bir kontrol grafiğinin oluşturulması için değişkenin türünden bağımsız olarak orta çizgi (OÇ), üst kontrol sınırı (ÜKS) ve alt kontrol sınırına (AKS) ihtiyaç vardır. Bu üç temel elemanın hesaplanması için kontrol değişkeni olarak seçilen ve ölçümü yapılarak elde edilen veri tablosundaki veriler alt gruplara bölünürler. Bu alt grubun büyülüğu ( $n$ ) 4 veya 5 veriden ibarettir (Grant and Leavenworth, 1985). Alt grup numune alma sıklığı ise önceden belirlenir ve saatte bir, vardiyada bir, günde 3 gibi belirli bir değere ayarlanır. Her bir alt grup ( $m$ ) için ortalama, değişim aralığı (en büyük veri ile en küçük veri değeri arasındaki fark) ve standart sapma hesaplanır. Bu hesaplamlar için aşağıdaki eşitliklerden yararlanılır;

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum_{i=1}^m \bar{X}_i}{m} \quad (1)$$

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^m R_i}{m} \quad (2)$$

Burada,  $\bar{X}$  alt grup ortalaması,  $\bar{\bar{X}}$ , alt grupların ortalamalarının ortalaması,  $R_j$ , alt grup değişim aralığı değeri,  $\bar{R}$  ise değişim aralıklarının ortalamasıdır.

Kontrol sınırlarının belirlenmesinde ise aşağıdaki eşitliklerden yararlanılır;

$$AKS_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2 x \bar{R} \quad (3)$$

$$OC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} \quad (4)$$

$$ÜKS_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2 x \bar{R} \quad (5)$$

$$AKS_R = D_3 x \bar{R} \quad (6)$$

$$OC_R = \bar{R} \quad (7)$$

$$UKS_R = D_4 x \bar{R} \quad (8)$$

Burada,  $A_2$ ,  $D_3$  ve  $D_4$  katsayıları olup örnek sayısına göre değişik değerler almaktadır. Kalite kontrol ile ilgili kitaplarda tablo halinde aldıkları değerler verilmiştir.  $R$  alt indis ile gösterilenler değişim aralığı için kontrol sınırları, alt indis ile gösterilenler ise ortalama için kontrol sınırlarını ifade etmektedir.

Bu hesaplamlar tamamlandıktan sonra grafikler oluşturulup kontrol çizgileri çizilir ve veriler grafikte yerlerine yerleştirilir. Ortaya çıkan grafik yorumlanarak kontrol edilen üretim sistemi hakkında bir değerlendirme yapılır. Yapılacak değişikliklerin sisteme yansımaları da yine grafikler aracılığıyla kontrol edilerek sistemin tepkileri incelenir.

## 2.2. Kontrol Grafiklerinin

### Yorumlanması

Kontrol altında tutulan bir üretim sisteminden toplanan verilerin kalite özellikleri normal bir dağılım gösterirler (Ankara ve Bilir, 1995). Normal dağılım ve kalite kontrol grafikleri ilişkisi Şekil 1'de verilmiştir.

Grafik üzerinde normal dağılımdan farklı bir yerde görülen veriler ile ilgili olarak aşağıdaki yorumlar yapılabilir;

## KALİTE KONTROL GRAFİKLERİ OLUŞTURMAK İÇİN BİR BİLGİSAYAR YAZILIMININ GELİŞTİRİLMESİ VE MERMER SEKTÖRÜNDE DENENMESİ

\*Grafikte verileri temsil eden noktaların alt kontrol sınırlarının altında, üst kontrol sınırlarının üstünde olmaması gereklidir.

\*Noktaların üçte ikisi orta çizgi üzerinde veya yakınında olmalıdır.

\*Kontrol sınırlarına yakın nokta sayısı az olmalıdır.

\*Noktaların orta çizgi etrafındaki kümelenmesi dengeli olmalıdır.

\*Birbirini izleyen yedi veya daha fazla noktanın orta çizginin bir tarafında olmamalıdır.

\*Birbirini izleyen yedi veya daha fazla noktanın yukarı veya aşağı doğru yönelik göstermemelidir.

\*Noktaların dağılımında kendisini tekrar eden bir çevrimin varlığı gözlenmemelidir.

\*Noktalar orta çizgi yakınında olmalı, alt ve üst sınır çizgilerinin yanında kümelenmemelidir.

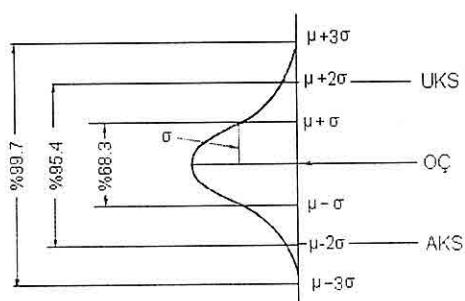
\*Sürekli artan ya da azalan altı noktası olmamalıdır.

grafiklerini çizecek bir yazılım geliştirilmiştir. Yazılımin genel algoritması Şekil 2'de verilmiştir. Yazılım iki adet pencereden oluşmaktadır. Birinci pencere veri tablosu penceresidir (Şekil 3). Kalite kontrol grafiklerinin teorisinde anıldığı gibi, yazılım içinde de veriler beşli gruplar halinde değerlendirilmektedirler. Her grup 5 adet hücren olmaktadır. Her bir hücre içinde veriler bulunmaktadır. Herhangi bir hücreye veri girişi olduğu anda verinin girildiği gruba ait hesaplamalar hemen yapılarak ortalama, değişim aralığı ve standart sapma hesaplamaları yapılmaktadır.

Ayrıca verinin girildiği gruba ait bu hesaplamaların yapılması ile birlilikte tüm tablo için de ortalama, değişim aralığı ve standart sapma değeri kendiliğinden hesaplanarak uygun yerlerinde gösterilmektedir.

Yazılımin ikinci penceresinde veri tablosuna girilen veriler kurallarına uygun olarak işlenerek kalite alt ve üst sınırları hesaplanmaktadır. Bu hesaplamaların ardından kontrol çizgilerinin de gösterildiği grafik düzenlenmektedir. Grafik üzerinde veri tablosunda bulunan 75 adet veriden beşli gruplar halinde hesaplamaları yapılan ve ortalamaları alınan 15 temsili veri bulunmaktadır. Bu veriler kendi ölçüm değerlerine uygun olarak grafik üzerinde üstte ya da alta durmaktadır.

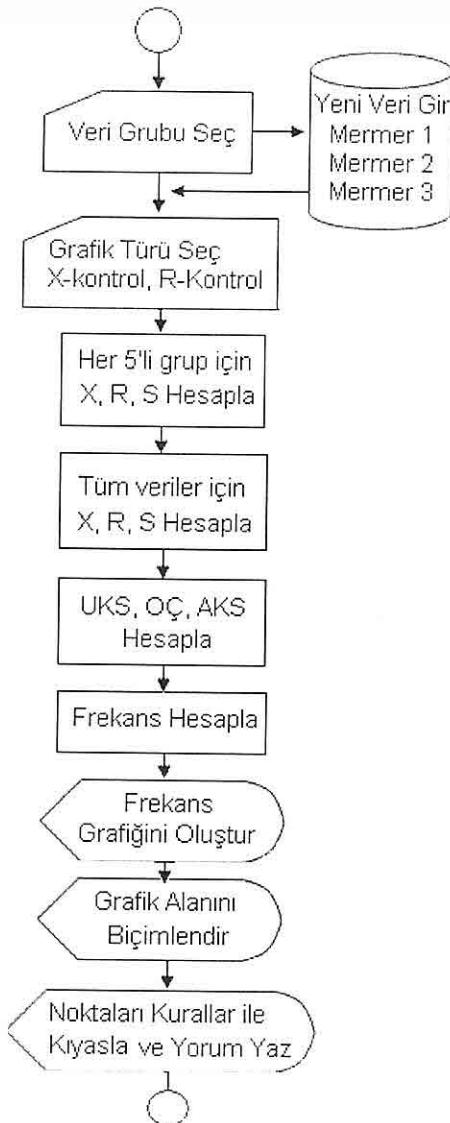
Grafik üzerinde hesaplamalar sonucu elde edilen orta çizgi, alt ve üst kontrol sınırları da bulunduğu için hangi verinin hangi sınırı aştığı ya da aşmadığı



**Şekil 1.** Normal Dağılım ve Kontrol Grafiği İlişkisi.

### 2.3. Yazılımın Geliştirilmesi

Toplanan bilgiler ışığında kalite kontrol



Şekil 2. Yazılım Genel Algoritması.

gözlenebilmektedir.

Ayrıca veriler kontrol sınırlarının dışına çıktıklarında renk değiştirerek yeşilden kırmızıya dönmeyece

232

kontrol dışı olanlar daha kolay fark edilmektedirler.

TABLE of DATA				
DATA				
X	R	S		
21,0	21,1	20,5	20,6	20,8
20,75	20,7	20,75	20,75	20,74
20,4	20,75	20,0	20,9	20,51
21,25	21,5	20,75	20,75	20,56
21,0	20,5	20,5	20,85	20,71
20,6	20,75	20,0	20,75	20,53
20,9	20,9	20,8	20,8	20,85
20,6	20,7	20,15	20,3	20,44
20,9	20,8	20,8	20,85	20,84
20,9	20,8	20,8	20,85	20,74
20,5	20,75	20,0	20,9	20,54
20,9	21,0	20,8	21,0	20,93
20,75	21,0	20,3	20,5	20,64
21,0	21,0	20,0	20,6	20,65
20,9	20,8	20,9	20,8	20,85
TYPES OF DATA				
<input checked="" type="radio"/> An Bej	<input type="radio"/> Tigre Bej	<input type="radio"/> An Pembe		
20,72	0,593	0,103		
CLOSE				

Şekil 3. Veri Tablosu Penceresi.

Şekil 3'te verilen veri tablosu penceresindeki verileri gösteren her hücre kullanıcının erişimine açık bırakılmıştır. Bu sayede kullanıcı program ile gelen veriler üzerinde istediği değişikliği yaparak sonuçları grafik üzerinde görebildiği gibi tüm hücrelerdeki verilerin tamamını silerek kendi verilerinden oluşan yeni bir tablo oluşturma şansına da sahiptir. Tabloya girilen verilerin ayrıca dağılımları da yazılım tarafından hesaplanarak bir dağılım grafiğinde gösterilmektedir. Bu grafik sayesinde veri tablosunu oluşturan değerler en büyükten en küçüğe beş ayrı dilime ayrılarak her bir dilime düşen veri sayısı hesaplanıp oransal olarak grafikte gösterilmektedir. Yazılım üzerinde bulunan komut menüleri kullanılarak veri tablosuna girilen

## KALİTE KONTROL GRAFİKLERİ OLUŞTURMAK İÇİN BİR BİLGİSAYAR YAZILIMININ GELİŞTİRİLMESİ VE MERMER SEKTÖRÜNDE DENENMESİ

verilerin ortalama kontrol grafiği ya da değişim aralığı kontrol grafiği istege bağlı olarak seçilebilmektedir.

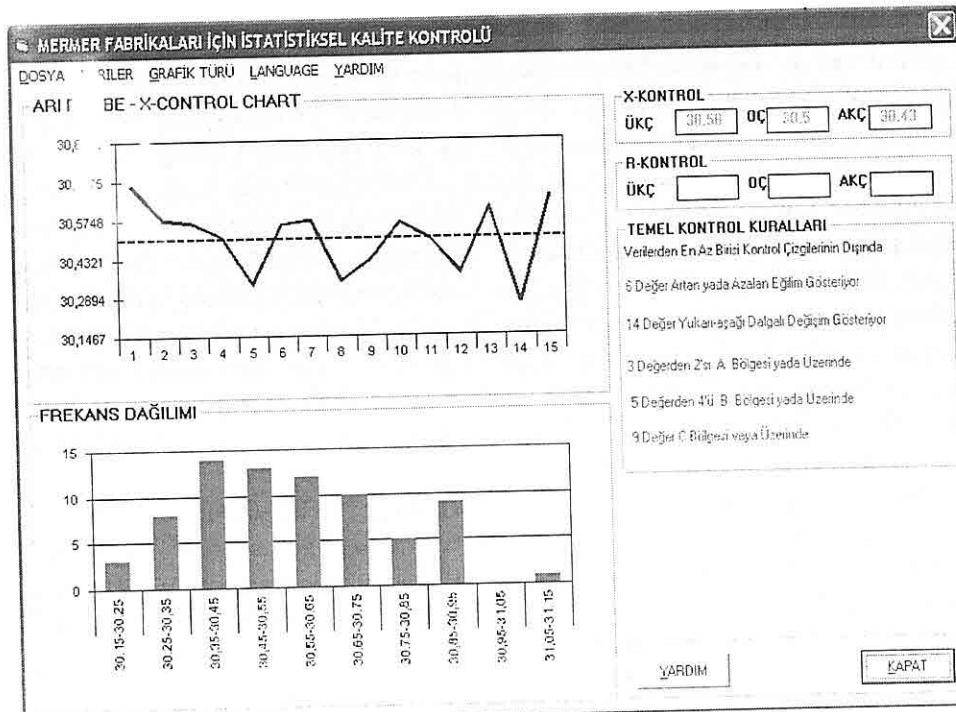
Kontrol grafiklerinin yorumlanması ile ilgili olarak bazı başlıklar da yazılımın ana penceresi üzerine yerleştirilmişlerdir. Girilen veriler ile oluşan grafikte bu yorumlara aykırı bir durum oluştuğunda ilgili yorum cümlesi renk değiştirerek kullanıcıya uyarı vermektedir. Örneğin üst kontrol sınırı dışına bir veri çıktıığında yorum penceresinde "Üst kontrol çizgisi üzerinde nokta olmamalıdır" şeklindeki yorum cümlesi kırmızı renk olarak bu kurala aykırı olan bir veri grubu olduğunu kullanıcıya göstermektedir. Yazılımın ana pencere görüntüsü Şekil 4'de verilmiştir.

### 2.4. Mermer Sektöründen Alınan

#### Veriler ile Yazılımın Denenmesi

Geliştirilen yazılımın denenmesi için üretim sistemlerinden toplanacak verilere ihtiyaç duyulmuş ve mermer fabrikaları seçilmiştir. Mermer üretim sistemlerinin iş akışlarında iki temel işleyiş kolu vardır. Birincisinde bloklar katrak makinesinde ikincisinde ise blok kesme makinesi (ST) de kesilerek işleme başlarlar.

Bu çalışmada kullanılacak veriler Diyarbakır bölgesinde faaliyet gösteren bir mermer fabrikasının ST makinesinde kesilen mermer bloklarından elde edilmişleridir. Makinede kesilen üç ayrı doğal taş türüne ait mermer blokları makinede kesilirken kesilen üç levha



Şekil 4. Yazılımın Ana Penceresi.



**GÖRÜNTÜ İŞLEME YÖNTEMLERİ İLE KAYA KÜTLESİ  
ÖZELLİKLERİNİN TESPİT EDİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Doğan KARAKUŞ, Ahmet Hakan ONUR**

*D.E.Ü., Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir/Türkiye*

**ÖZET:** Görüntü işleme ve görüntü analizi yöntemleri, görüntü alma teknolojisinin gelişmesine paralel olarak gelişmekte ve farklı disiplinlerde kendine kullanım alanı bulmaktadır. Özellikle hızlı alımı gereken ve hata yapma oranı fazla olan ölçüm yöntemlerine alternatif olarak çalışmaların yapıldığı görüntü analizi yöntemlerinin, yerbilimlerine uygulanabilirliğinin araştırılması son yirmi yıl içerisinde hız kazanmıştır. Bu çalışmada kaya kütelerinin tanımlanması ve mühendislik özellikleri için önemli bir parametre olan süreksızlıkların aralıkları ve açıklıklarının tespitinde görüntü işleme ve analizi metodlarının uygulanabilirliği araştırılmıştır. Ayrıca konuya ilgili yapılan çalışmalar hakkında bilgi verilmiş, görüntü zenginleştirme ve analizi metodlarının temel ilkeleri ile kaya küteleri görüntü özellikleri tanıtılmıştır. Araştırma kapsamında geliştirilen Kaya Görüntü Analizi (KGA) programında temel ilkeleri verilen görüntü analizi metodları uygulanmış ve örnek arazi uygulaması yapılmıştır.

**INVESTIGATION OF DETERMINATION OF ROCK MASS PROPERTIES  
BY IMAGE PROCESSING METHODS**

**ABSTRACT:** *Image processing and image analysis methods develop parallel to the imaging technology and find usage areas in several disciplines. Image analysis methods, which should be taken rapidly with minimal error especially in the field of geosciences, have expedited in the last two decades. The applicability of image processing and image analysis methods in spacing and intervals of discontinuities which are important parameters for the classification of rock masses has been investigated. Besides, studies relevant to the subject have been mentioned, the basic fundamentals of image processing and analysis methods and also the image properties of rock masses have been introduced. Within the Rock Image Analysis programme that has been developed, image analysis methods have been applied and a field study has been conducted.*

## 1. GİRİŞ

Kayaçların yapısal ve mühendislik özelliklerinin belirlenmesi, kaya yapıları kullanılarak yapılan uygulamalar açısından büyük önem taşımaktadır. Bu uygulamaları yeraltı (Tüneller, büyük yeraltı boşlukları), yer üstü yapıları (her türlü yapı temeli) ve madencilik faaliyetleri (açık işletmeler, yeraltı işletmeleri) olarak sınıflandırmak mümkündür. Bu yapılar farklı amaçlar için inşa edilse de birbirleriyle ortak veya ortak olmayan yönleri vardır. Örneğin, yeraltında metro amacıyla açılacak bir tünel ile belirli bir ömrü olan bir maden yeraltı işletmesi ana nakliyat galerisi teknik olarak birbirine benzese de tünelin kalıcı olması için nakliyat galerisine oranla tahkimat tasarımını farklıdır.

Amacı ne olursa olsun bu tür yapılar kayaç ile etkileşim halindedir. Kayaç malzemesi ve içerdikleri süreksizlikler ile birlikte kaya kütleseri bu tür yapıların inşa özelliklerinde belirleyicidir. Bununla birlikte, kaya kütleserinin dayanım ve defarmasyon özellikleri kolaylıkla tayin edilememekte dolayısıyla oldukça karışık teorik çözümleri ve deneysel güclükleri beraberinde getirmektedir. Bu güclükler nedeniyle, uygulamada çoğu kez kaya kütlesi yerine, kayaç kütlesine oranla daha yüksek mühendislik parametrelerine sahip olan kaya malzemesi esas alınarak tasarım yapılmaktadır(Ulusay R., Sönmez H., 2002).

Kaya kütleseri; sürekli, homojen ve izotrop malzemelerden olmayıp, çeşitli süreksizlikler içerirler. Ayrıca farklı derecede bozunmaya uğramış kayaç

türlerini de içerirler. Bu nedenle, dış yüklerle maruz kalabilen söz konusu kütelerin davranışları, içerdikleri süreksizliklerin özellikleri dikkate alınmadan gerçege yakın şekilde analiz veya önceden tahmin edilemez (Ulusal R., Sönmez H., 2002). Bu nedenle kaya kütlesinde uygulanacak bir mühendislik tasarım yapısının duyarlığını denetleyecek jeolojik unsurlarla birlikte süreksizliklere ait özelliklerin tanımlanması gerekmektedir. Süreksizliklerin özelliklerinin ve kaya kütlesinin hidrolik ve mekanik özellikleri üzerinde oynadığı rolün laboratuvar koşullarında tespit edilmesi zordur. Bu nedenle yerinde ve belirli tekniklerle yapılan ölçümler ile süreksizliklerin özellikleri ortaya konulmaktadır. Ayrıca süreksizliklerin tanımlanması ve özelliklerinin ortaya konulması kaya kütelerinin hidrolik ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi için çok önemlidir. (Nelson, 1985; Bieniawski, 1989).

Süreksizliklerin tanımlanmasında bir hat boyunca veya bir yüzeye özelliklerin belirlenmesi metotları kullanılmaktadır. (Priest, Hudson, 1981; Priest, 1993; Nicholas, Sims, 2001) Hat boyunca yapılan çalışmada süreksizlik bilgileri belirlenen bir hatta toplanmaktadır. Yüzey çalışmaları ise daha çok süreksizliklerin yoğun bulunduğu yüzeye tanımlanması ve istatistiksel değerlendirme esasına dayanmaktadır. Bu iki yöntemin birbirlerine göre üstünlükleri veya dezavantajları kıyaslanabilse de genel olarak bu çalışmaları yapmak zordur ve

## GÖRÜNTÜ İŞLEME YÖNTEMLERİ İLE KAYA KÜTLESİ ÖZELLİKLERİNİN TESPİT EDİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

hata yapma oranı fazla olan yöntemlerdir (Kemeny, Postc, 2003). Süreksizlik analiz tekniklerinin arazi uygulamalarında karşılaşılan güçlükler :

a) Bu yöntemlerin arazi uygulamalarında fazla miktarda bilgi toplamak, depolamak ve analiz etmek gerekebilir. Bu işlemlerin elle yapılması hata oranını artıtabilir.

b) Süreksizlik analizlerinde kaya kütleleri (şev, mostra, tünel aynası, .vb.) ile fiziksel temasta bulunulması gerekmektedir. Bu durum her zaman mümkün olmamakta, bazı durumlarda tehlikeli olmaktadır.

c) Süreksizliklerin tespitinde kullanılan mekanik cihazların kalibrasyonlarından, teknik kapasitesinden veya kullanıcının kaynaklanan hatalar olabilir.

d) Süreksizlik analizlerinin arazide yapılması zaman alan çalışmalardır. Özellikle süreksizlik analizlerinin hızlı yapılması ve bu analiz sonuçlarına göre tasarım yapılması gerekli durumlarda alışlagelmiş metodlar yetersiz kalmaktadır. Örneğin bir tünel aynası veya yeraltı maden işletmesinde süreksizlik analizine göre kaya kütlesinin özelliklerinin belirlenmesi ve tahkimat tasarımı çalışmasında bu analizlerin hızlı bir şekilde yapılması gerekmektedir.

e) Bu çalışmalarda bilgi toplanması ve analiz edilmesi maliyeti fazla olan işlemlerdir.

Bu nedenlerle süreksizlik özelliklerinin belirlenmesine yönelik olarak alternatif ve otomatik yöntemlerin araştırılması hız kazanmış ve sayısal görüntü analizleri ön plana çıkmıştır. Özellikle sayısal görüntü

alma tekniklerin gelişmesi ve görüntü analiz metodlarının farklı disiplinlerde kullanılma olanaklarının artması, araştırmacıların bu konu hakkında araştırma yapmalarını kolaylaştırmıştır.

Bu araştırmada kaya kütlelerinin süreksizlik özellikleri ve bunların ölçüm metodları tanıtılmış, alternatif yöntem olarak görüntü analiz metodlarının, bu özelliklerin tespitinde kullanılabilirliği araştırılmıştır.

### 2. GÖRÜNTÜ ANALİZİ

Görüntü, iki boyutlu bir işaret kaydıdır. Fotoğraf gibi gözle görünen bir biçimde olabileceği gibi, manyetik bantta yazılı bir kayıt, yada bilgisayar belleğinde duran sayısal değerler biçiminde olabilir. Görüntüler sürekli-ayırık, analog-sayısal veya sürekli-sayısal olabilirler. Bir görüntü üzerindeki parlaklık hem seviye olarak hemde konum olarak sürekli değişen bir değişkendir. Buna karşılık bilgisayar içinde değerler ayrık sayılar biçiminde temsil edilirler. Bunun için bir resmin bilgisayara girilebilmesi, onun belirli sayıda konum (ya da nokta) ve belirli sayıda parlaklık değeri ile ifade edilmesi ile mümkündür. Sayısallaştırma denen bu işlem resmin sürekli değişkenlerini ayrık değişkenlere dönüştürmek olarak tanımlanabilir. Günümüzde sayısal fotoğraf makinaları sayısal görüntüleri doğrudan depolayabilmekte ve onların analizi için ön işlemleri sağlayabilmektedir.

Matematiksel açıdan ve bilgisayar algoritması olarak sayısal bir görüntü iki boyutlu bir vektör dizisidir. Diğer bir

deyişle her elemanı bir vektör olan bir matrisdir. Görüntünün iki bağımsız değişkeni olan x ve y geometrik boyutları oluşturur. Matris elemanlarının değerleri de her (x,y) noktasındaki fiziksel değişkenlerin değerlerini gösterir. Ham bir görüntüde her matris elemanı karşı düştüğü coğrafi noktanın veya alanın elektromanyetik spektrumdaki yansımı veya ışınma değerlerinden oluşan bir vektördür.

Bir resim, görüntü matrisini oluşturmak üzere izgara biçiminde küçük alanlara bölündüğü zaman, oluşan her alana bir resim elemanı ya da piksel denir. Geometrik ayrıml kavramı ile yakından ilişkili olan resim elemanı bir sayısal görüntünün en küçük parçasıdır. Genellikle kare biçimindedir. Yukarıdaki açıklamalardan sonra genel anlamıyla bir sayısal görüntü  $f(x,y)$  şöyle nitelendirilebilir.

$$f(x,y) = \begin{bmatrix} f(1,1) & f(1,2) & \dots & f(1,j) \\ f(2,1) & f(2,2) & \dots & f(2,j) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f(i,1) & f(i,2) & \dots & f(i,j) \end{bmatrix} \quad (1)$$

nedenle  $f(x,y)$  fonksiyonun değeri sayısal bir büyülüktür ve görüntünün siyah-beyaz ton farkı değerini vermektedir (Şekil 1). Buna göre 0 değeri siyah, 255 değeri ise beyaz değerini vermektedir, bunların arasındaki değerler tam siyah ile tam beyaz arasındaki grının ton farklılıklarını göstermektedir.

Renkli görüntüler ise kırmızı, yeşil ve mavinin (RGB) 0-255 arasında değişen değerleri ile oluşmaktadır. Bu nedenle  $f(x,y)$  fonksiyonun renkli görüntülerdeki değeri, siyah-beyaz ton farklılıklarında olduğu gibi skaler bir büyülüklük değil, 3 elemanlı bir vektördür (Eşitlik 2).

$$\begin{aligned} f(1,1) &= \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} & f(1,2) &= \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} & \dots & f(1,j) &= \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \\ f(2,1) &= \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} & f(2,2) &= \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} & \dots & f(2,j) &= \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f(i,1) &= \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} & f(i,2) &= \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} & \dots & f(i,j) &= \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (2)$$

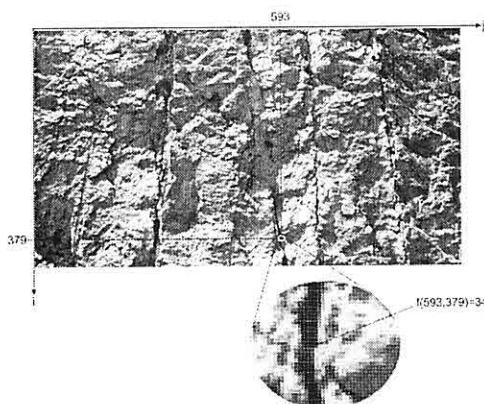
$i \times j$  boyutlarındaki görüntü  $f(x,y)$  matrisi ile ve bu görüntünün her pikseli matrisin bir elemanı ile temsil edilmektedir. Matris indeksleri olan  $i$  ve  $j$  görüntü resim elemanlarının konumlarını gösterir. Burada tanımlanan elemanlar  $f(x,y)$  fonksiyonu için renk şiddeti değeri 0-255 arasında bulunan siyah-beyaz ton farklılıklarını olan resimler içindir. Bu

## 2.1 Görüntü İşleme

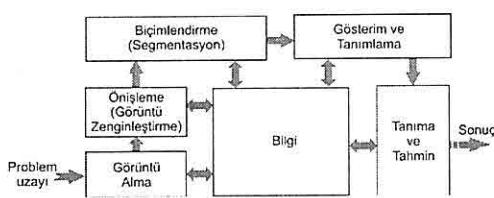
Sayısal görüntü işleme çalışmalarında kullanılan bir çok işlem basamakları vardır. En genel haliyle Şekil 2'de grafiksel olarak verilmiştir. Şekil 2'de görüldüğü gibi görüntü işlemede ilk işlem görüntünün gerçek dünyadan hazırla birime alınmasını sağlamaktır.

Sayısal resim elde edildikten sonraki

## GÖRÜNTÜ İŞLEME YÖNTEMLERİ İLE KAYA KÜTLESİ ÖZELLİKLERİNİN TESPİT EDİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI



Şekil 1. Gri tonlu görüntü resim elemanı değerleri.



Şekil 2. Görüntü işleme genel akım şeması (Gonzales, Woods, 1993).

basamak ise ön-işlemedir. Adından da anlaşıldığı gibi ön-işleme, elde edilen sayısal resmi kullanmadan önce daha başarılı bir sonuç elde edebilmek için, bazı ön işlemlerden geçirilmesidir. Bu işlemlere örnek olarak; kontrastın ayarlanması, resimdeki gürültülerin azaltılması ve/veya yok edilmesi, resimdeki bölgelerin birbirinden ayrılmazı gibi işlemleri verebiliriz.

Ön-işlemler bittikten sonra görüntü biçimlendirme (segmentation) basamağına geçilir. Görüntü biçimlendirme, bir görüntüdeki nesne ve artalanın veya resim

îçerisindeki ilgilenilen değişik özelliklere sahip bölgelerin birbirinden ayırtılması işlemidir. Biçimlendirme görüntü işlemenin en zor uygulamasıdır ve biçimlendirme tekniklerinin sonuçlarında belli bir hata oranı olabilmektedir. Görüntü biçimlendirme bir resimdeki nesnenin sınırları, şekli veya o nesnenin alanı gibi ham bilgiler üretir. Eğer objelerin şekilleriyle ilgileniyorsak biçimlendirme bize o nesnenin kenarları, köşeleri ve sınırları hakkında bilgi vermesini bekleriz. Fakat görüntü içerisindeki nesnenin yüzey kaplaması, alanı, renkleri, iskeleti gibi iç özellikleriyle ilgileniliyorsa bölgelik biçimlendirme kullanılması gereklidir. Karakter veya genel olarak örnek (pattern) tanıma gibi oldukça karmaşık problemlerinin çözümü için her iki biçimlendirme metodunda bir arada kullanılması gerekmektedir.

Görüntü biçimlendirmeden sonraki basamak, görüntünün gösterimi ve resmin tanımlanmasıdır. Ham bilgiler görüntüde ilgilenilen ayrıntı ve bilgilerin ön plana çıkarılması bu aşamada yapılır. En son kısım ise tanıma ve yorumlamadır. Bu aşamada ise görüntü içerisindeki nesnelerin veya bölgelerin önceden belirlenen tanımlamalara göre etiketlendirilmesidir.

Butün bu işlemler sırasında görüntü bilgisinden sürekli yararlanılmaktadır. Ham görüntünün ilk durumunda var olan bilgiler işlemlerden önce gözden geçirilmeli ve görüntünden sürekli bilgi alınarak doğru analizi sağlanmalıdır.

### 2.1.1. Görüntü Biçimlendirme

Görüntü biçimlendirme, görüntüde bulunan süreksizlikler ile köşelerin birbirinden ayrılması, ayrıca gölgelerin etkisinin görüntünden çıkartılması amacıyla yapılır. Bu işlemler görüntü analizinin temel sorunudur.

Görüntü biçimlendirme tekniklerinden en çok kullanılanları görüntüdeki süreksizliklerin tespitidır. Süreksizlikler nokta, çizgi ve köşe olmak üzere üç şekilde bulunabilir. Pratikte süreksizliklerin bulunması için en çok kullanılan yöntem filtre matrisler ile görüntünün süzgeçlenmesidir. Kullanılan matrisler (kernel matrix veya mask) genelde 3x3 boyutlu olup her  $f(x,y)$  parlaklık değeri için Eşitlik 3'de tanımladığı gibi tekrar hesaplanır.

$$\begin{bmatrix} w_1 & w_2 & w_3 \\ w_4 & w_5 & w_6 \\ w_7 & w_8 & w_9 \end{bmatrix}$$

(3)

$$f(x, y)_{\text{genel}} = w_1 \cdot z_1 + w_2 \cdot z_2 + \dots + w_9 \cdot z_9$$

Görüntüde bulunan köşelerin belirlenmesi için kullanılan bir diğer temel teknik türev işlemleridir (Şekil 3). Şekil 3'de görüldüğü gibi içerisinde beyaz ve grınin tonları bulunan iki farklı alanın, yatay bir hat boyunca gri tonlarının değişim izlendiğinde, beyaz bölgede yükseldiği gri bölgede düşüğü görülmektedir. Görüntüye uygulanan birinci ve ikinci türev (eğim değişimleri) ile farklı alanların başladığı ve bittiği yerler tespit edilebilir. Köşelerin belirlenmesine en çok kullanılan eğim

operatörleri, fark operatörleri ve Laplace operatördür.

Fark operatörlerinin temel işlevi görüntüdeki değişimlerin belirlenmesidir. Formülü Eşitlik 4 ve Eşitlik 5'te verilmiştir:

$$\frac{\Delta f(x, y)}{\Delta x} = \frac{f(x+1, y) - f(x, y)}{(x+1) - x} \\ = f(x+1, y) - f(x, y) \quad (4)$$

$$\frac{\Delta f(x, y)}{\Delta y} = \frac{f(x, y+1) - f(x, y)}{(y+1) - y} \\ = f(x, y+1) - f(x, y) \quad (5)$$

Fark operatörleri yatay ve düşey yönde keskinlikleri yakalamaya yarar, oysa Laplace operatörü her yöndeki keskinleştirme yapmaya yarar. Eşitlik 6'da genel formu verilmiştir.

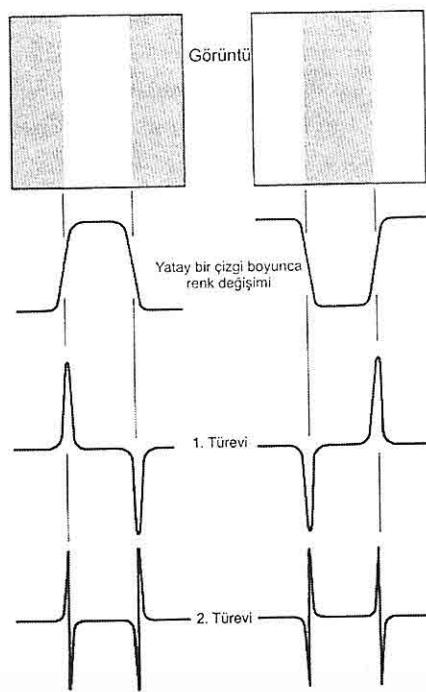
$$\nabla^2 = \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial y^2} \quad (6)$$

Burada, kaya kütlesi yüzeyinden alınan sayısal görüntü içinde süreksizliklerin tespit edilmesi tanıtılmış ve görüntü zenginleştirme ve görüntü biçimlendirme metotları bu amaç için geliştirilmiştir. Şekil 4'de bu çalışmada ugulanan görüntü analizi genel algoritması verilmiştir.

## 3. GÖRÜNTÜ ANALİZİ İLE SÜREKSLİZLİKLERİN TESPİT EDİLMESİ

Görüntü analiz metodlarının yerbilimlerinde kullanılması, görüntü alma tekniklerindeki gelişmelere paralel olarak uygulanmıştır. Bilgisayar

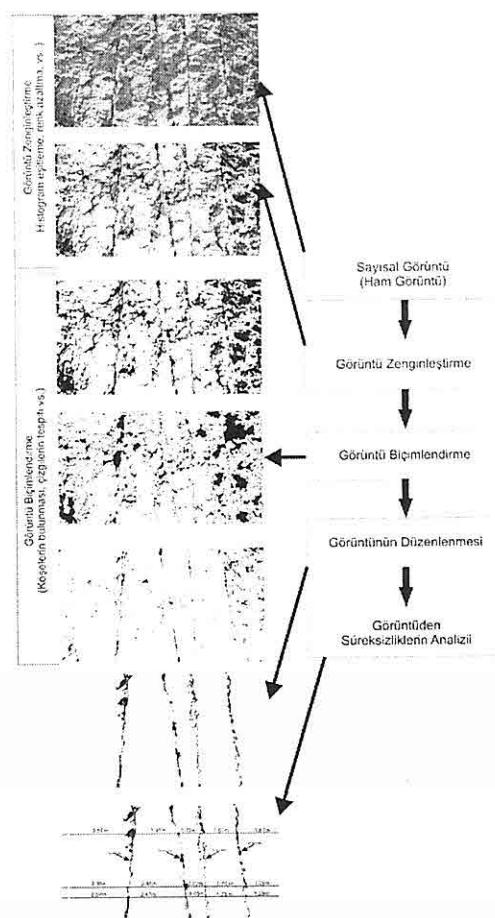
## GÖRÜNTÜ İŞLEME YÖNTEMLERİ İLE KAYA KÜTLESİ ÖZELLİKLERİİNİN TESPİT EDİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI



**Şekil 3.** Türev işlemleri ile görüntüdeki köşelerin bulunması (Gonzalez, C.R., Woods E.R., 1993).

teknolojisindeki gelişmelere görüntü analizi teknikleri hızlı bir şekilde uyum sağlamakta ve daha gelişmiş algoritmalar, bilgisayarlar ile görüntülere uygulanabilmektedir.

Görüntü analizi teknikleri, jeolojide ilk uygulamalarını boşlukların ölçümü ve tanımlanması alanında bulmuştur. Buna paralel olarak kaya yüzeylerinde bulunan süreksizlikler, tane büyüklükleri, renk gibi görüntünün tanımlanabilen farklı özellikleri kullanılarak analizler yapılmıştır. Kullanılan görüntü işleme



**Şekil 4.** Görüntü işleme ile süreksızlıkların analizi genel algoritması.

teknikleri ile yoğun içerisindeki partikül boyutlarının belirlenmesi, şeiksel analizler gibi uygulamalar geliştirilmiştir. Ayrıca iki boyutlu farklı açılardan alınan görüntülerle yapılan analizlerle hacim hesaplarına yönelik çalışmalarda yapılmıştır (Lindqvist, Akesson, 2001).

Kaya kütelerinde bulunan

süreksizliklerin önemi, bunlar hakkında bilgi toplama yöntemlerinin gelişmesini sağlamış, açılan sondajların duvarlarından akustik özellik, elektrik direç yöntemleri gibi teknikler kullanılarak görüntüler alınmış ve değerlendirilmiştir. Bu konudaki en son geliştirilen sistem sondaj duvarının taranmasıdır. (Thapa, 1994) Bu yöntem yüksek çözünürlükte, 3 renk modunda sondaj duvarının görüntüsünün alınmasını ve analizini sağlamıştır.

Süreksizliklerin sayısal görüntülerden manuel olarak tanımlanmasıyla ilgili olarak Tsoutrelis (1990) ve Crosta (1997) öncü çalışmaları yapmışlardır. Manuel olarak süreksizliklerin tanımlanması zaman alan ve uygulaması sınırlı olan metotdur. Sayısal görüntü üzerindeki 2 boyutlu yüzeyi bir koordinat sistemi olarak tanımlayan ve grinin tonlarını  $f(x,y)$  fonksiyonunun bir değeri olarak kullanan Maerz (1990) ve Reid & Harrison (2000), süreksizliklerin otomatik/yarı otomatik, matematiksel olarak tespitine yönelik araştırmalar yapmışlardır. Maerz (1990) sayısal görüntüde bulunan çizgileri tespit etmek amacıyla zenginleştirilmiş görüntünün birinci dereceden türevini kullanmış ve süreksizliklere ait özellikleri tespit edebilmiştir. Reid ve Harrison (2000) yarı otomatik olarak süreksizliklerin tespit edilebilirliğini araştırmıştır. Araştırmasında kaya yüzeyinden alınan görüntülerden süreksizliklerin tespiti amacıyla filtreler kullanılmış ve bunları gerçek değerleriyle karşılaştırmıştır. Sonuç olarak görüntü işleme filtreleri kullanılarak kaya yüzeyinden alınan

görüntülerden süreksizliklerin tespit edilebileceğini rapor etmiştir. Bu çalışmalar sayısal görüntülerin süreksizlik özelliklerinin belirlenmesine önemli mesafeler sağlamıştır. Kaya kütlesi yüzeyinden alınan bir görüntüde kaya kütlesinde bulunan köşeler ile süreksizlikleri otomatik olarak ayırmak bu tür çalışmaların ana problemini oluşturmaktadır. Bu konuya ilgili farklı filtreleme ve zenginleştirme tekniklerinin kıyaslandığı bir çalışma Hadjigeorgiou vd. (2003) tarafından yapılmış ve sayısal görüntüde köşeler ile süreksizlik izlerini otomatik olarak ayırmada yüksek doğruluk oranları tespit edilmiştir. Bu çalışmada süreksizlikleri kaya kütlesindeki köşelerden ayıran bir metot geliştirmiş ve kaya kütlesinin RQD değerlerini 2 boyutlu sayısal görüntüden tespit etmiştir.

Görüntü analizi ile kaya kütelerinin analizi çalışmaları genelde stereoskopik ve monoskopik olarak sınıflanabilir. Monoskopik sistemde kaya kütlesinden alınan bir görüntü üzerinde çalışmalar yapılmış ve süreksizlik izleri tanımlanması araştırılmış, stereoskopik yaklaşım ise aynı kaya kütlesinin farklı açılardan görüntüleri alınarak daha çok kaya kütlesinin geometrik özellikleri ve konumu ile ilgili özellikler belirlenmeye çalışılmıştır. Kaya kütelerinin 3 boyutlu modellerinin analiz edilmesi gelişen teknoloji ile birlikte uygulama alanı bulmuştur. Sayısal görüntü alma teknolojisindeki ilerlemeler ile birlikte kaya kütlesinin laser sistemlerle taranarak 3 boyutlu görüntüsünün alınması bu

# GÖRÜNTÜ İŞLEME YÖNTEMLERİ İLE KAYA KÜTLESİ ÖZELLİKLERİİNİN TESPİT EDİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

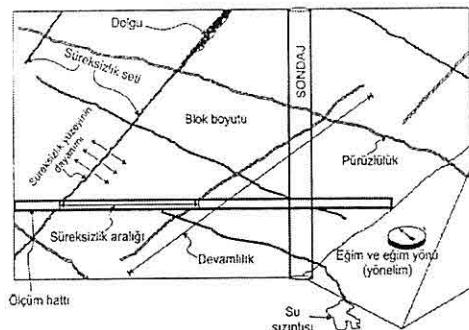
konudaki en son gelişmedir (Gaich, Pötsch, Schubert, 2005)

### **3.1. Kaya Kütlelerinin Süreksizlik Özellikleri**

Süreksizliklerin özellikleri mostrada, sevde, tünel aynasında veya sondaj karotlarında değişik ölçüm teknikleri uygulanarak tayin edilir ve/veya tanımlanır. Kaya kütlelerinin tanımlanması amacıyla, süreksizliklerin aşağıda belirtilen ve Şekil 5'deki blok diyagramda şematik olarak gösterilen fiziksel parametreleri belirlenir (ISRM, 1981):

- (a) Süreksizliğin türü
  - (b) Süreksizlik aralığı
  - (c) Süreksizliğin devamlılığı
  - (d) Süreksizlik yüzeyinin pürüzlülüğü  
ve dalgahlığı
  - (e) Süreksizlik yüzeyinin açıklığı
  - (f) Dolgu malzemesinin özellikleri
  - (g) Süreksizlik yüzeyinin dayanımı ve  
bozunmanın derecesi
  - (h) Süreksizlik yüzeyindeki su durumu
  - (i) Süreksizliğin yönetimi ve  
sureksizlik seti (takımı) sayısı
  - (j) Blok boyutu

Kaya kütlesinin süreksizlik özellikleri ve bunların belirlenmesiyle ilgili önerilen metodlar araştırmacılar ve ISRM tarafından önerilmiştir. Bu araştırmada görüntü analiz yöntemi ile kaya kütlesinin süreksizlik aralığı ve bunun yüzeyde tespiti araştırması yapıldığı için burada kaya kütlesinin bu özelliklerini tanıtlacaktır.



**Şekil 5.** Kaya kütlelerinin tanımlanmasında süreksizliklerin esas alınan başlıca özellikleri (Hudson, 1989).

### **3.1.1. Kaya Kütlelerinin Süreksizlik Aralığı**

Süreksizlik aralığı, kaya kütlelerinde komşu konumlu iki süreksizlik veya birbirine paralel eklemlerden oluşan bir süreksizlik setindeki iki süreksizliğin arasındaki dik mesafedir. Süreksizlik aralığı veya bunun tersi olan süreksizlik sıklığı, ya da eklem sıklığı parametresi; süreksizlik yoğunluğunun belirlenmesi amacıyla kullanılmasının yanısıra, kaya kütlesinin geçirgenliğinin ve kayaç malzemesinin oluşturduğu blokların boyutlarını denetleyen bir parametre olması nedeniyle de kaya kütlelerinin en önemli özelliklerinden biridir. (Ulusay R., Sönmez H.). Kaya kütlelerinin dayanımları üzerinde belirleyici olması nedeniyle tanımlanması ve davranışının belirlenmesi gerekmektedir. Süreksizlik aralığının yüzeyde tespit edilmesine yönelik olarak önerilen iki yöntem vardır. Bunlardan hat etüdü süreksizlik özellikleriyle ilgili veri toplanmasında

yönü) ile birlikte tanımlanır. Ayrıca aşırı derecede geniş aralıklı (10-100 cm) süreksizlikler ve/veya boşluklu (>1 m) yapıya sahip kaya kütlesleri görüntüleri alınarak kaydedilirler (ISRM, 1981).

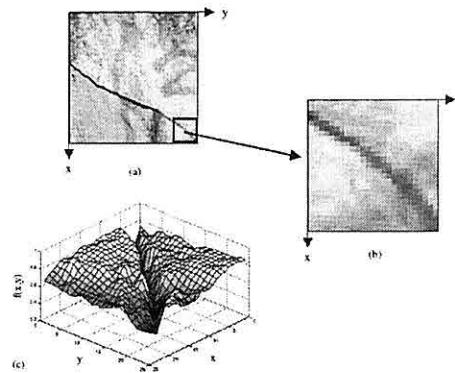
**Çizelge 2.** Süreksizlik Açıklığının Tanımlanmasına İlişkin Ölçütler (ISRM, 1981).

Açıklık (mm)	Tanımlama	
< 0,1	Çok sıkı	"Kapalı" yapılar
0.1 – 0.25	Sıkı	
0.25 – 0.5	Kısmen açık	
0.5 – 2.5	Açık	"Boşluklu" yapılar
2.5 – 10	Orta derecede geniş	
>10 cm	Geniş	
1-10 cm	Çok geniş	
10- 100 cm	Aşırı geniş	
> 100 cm	Boşluklu	"Açık" yapılar

#### 4. ARAZİ UYGULAMASI

Kaya kütleseri yüzeylerinden alınan sayısal görüntülerden, kaya kütlesinin süreksizlik aralığı ve süreksizlik yüzeylerinin açıklığının tespit edilmesi amacıyla temel görüntü analizi metotları algoritmalarını uygulayabilen bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Visual Basic programlama dili kullanılarak kaynak kodları yazılan bilgisayar programına sayısal görüntülerin yüklenmesi ve üzerinde zenginleştirme işlemleri yapılması olağanı sağlanmıştır.

Kaya kütlesinden alınan bir görüntüde süreksizlikler Şekil 8a'da verildiği gibi görünür. Şekil 8b'de süreksizlik izinin büyütülmüş görüntüsü ve Şekil 8c'de ise süreksizlik izinin parlaklık değerlerinden çıkartılan üç boyutlu görüntüsü verilmiştir. Şekilde görülen süreksizliğin izi koyu (siyaha yakın tonlar), homojen kaya ise açık (beyaza yakın tonlar) olarak görülmektedir. Bunun nedeni kaya kütlesi üzerine gelen ışınlar homojen kayalardan yansiyarak açık renkte, süreksizlikler ise ışınları absorbe ederek koyu renkte görünmesidir.



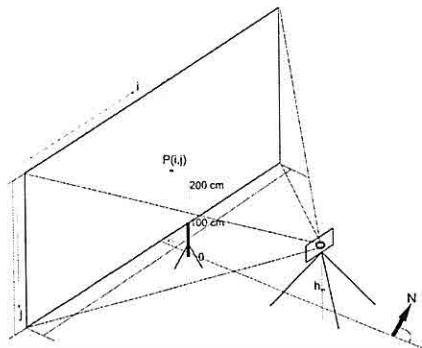
**Şekil 8.** Süreksizliğin görüntüsü (Reid and Harrison , 2000).

Uygulama olarak bir kireç taşı ocağından alınan ayna görüntüsü üzerinde çalışılmıştır. Görüntü üzerinde, geliştirilen görüntü analizi programı (Kaya Görüntü Analizi ) ile görüntü zenginleştirme ve görüntü biçimlendirme metotları uygulanmıştır.

Sayısal görüntünün ölçekli hale getirilmesi için fotogrametri bilim dalında iki yöntemle mevcuttur. Bunlardan

## GÖRÜNTÜ İŞLEME YÖNTEMLERİ İLE KAYA KÜTLESİ ÖZELLİKLERİNİN TESPİT EDİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

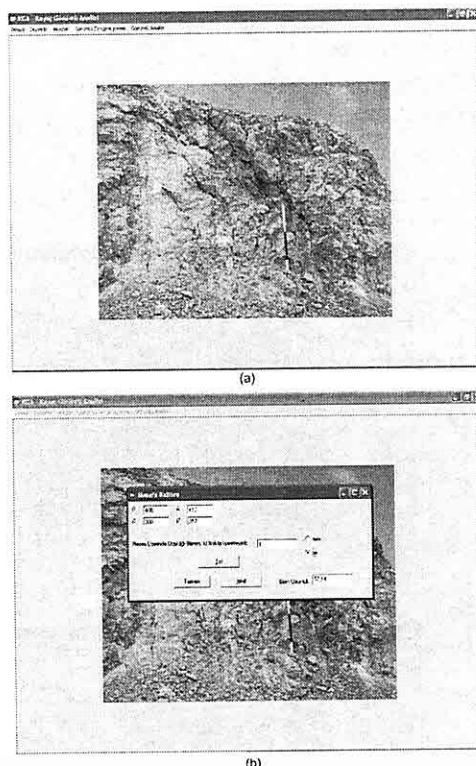
birincisi görüntü üzerine yerleştirilen referans büyüklükleri baz alınarak (Düsey yönde olması tercih edilir) görüntünün tamamı ölçekli hale getirilebilir. İkincisi ise fotoğraf makinasının standart mercek uzaklığı tespit edilerek görüntüsü alınacak yüzey ile makina arasındaki uzaklık tespit edilerek görüntü ölçekli hale getirilir. Uygulama çalışmasında yöntem olarak şevey aynası önünde referans büyüklük konulmuş ve tripod üzerine yerleştirilen sayısal fotoğraf makinası ile sayısal görüntüsü alınmış daha sonra makinanın konumu değiştirilmeden görüntü tekrar alınarak ilk görüntüde tespit edilen referans görüntü kullanılmıştır (Şekil 9).



**Şekil 9.** Referans büyüklük bulunması.

Referans büyüklük ile kaya kütlesinin KGA programı ekran görüntüsü Şekil 10'de verilmiştir. KGA programı mesafe kalibre fonksiyonu ile gerçek boyutları bulunan kaya kütlesi görüntüsüne zenginleştirme metotları uygulanmıştır. Bunun için görüntünü temel istatistik değerlerinin hesaplanması ve zenginleştirme işleminin amaca uygun yapılması gerekmektedir. KGA programı

ile hesaplanan örnek görüntüye ait istatistikî değerler Çizelge 3'de verilmiştir. Çizelge 3'de görüldüğü gibi görüntünün ortalama resim elemanı değeri 145 ve boyutu  $11.2 \times 8.4$  m'dir.



**Şekil 10.** Şevey görüntüsü , (a) Referans büyüklük ile şevey görüntüsü (b) KGA programı mesafe kalibre fonksiyonu ile gerçek büyüğün bulunması.

Öncelikle şevey görüntüsüne önişleme aşamasında histogram eşitleme metodu uygulanmış ve ayrıntılar belirgin hale getirilmiştir (Şekil 11). Önişleme ile ayrıntıları belirgin hale getirilen görüntü biçimlendirme aşamalarına tabi tutulmuştur. Biçimlendirme aşamaları

ocağından alınan şev görüntüsü üzerinde uygulama yapılmıştır. Buna göre örnek kaya görüntüsü süreksizlik aralığı 2800 mm, süreksizlik sıklığı 0.36 olarak tespit edilmiştir.

5. Özellikle hızlı analiz edilmesi ve görüntü alma yöntemlerinin kolay olması nedeniyle kaya kütlelerinin görüntü analizi yöntemleri ile özelliklerinin bulunması bu konuda ileriki çalışmalara yön verecektir.

## 6. KAYNAKLAR

- Bieniawski, Z.,T., 1989, *Engineering Rock Mass Classification*, Wiley, New York, USA, 25
- Crosta, G., 1997, *Evaluating rock mass geometry from photographic images*, *Rock Mech Rock Eng*, 30(1), 35–58
- Gonzalez, C., R., Woods, E., R., 1993, *Digital Image Processing*, Addison –Wesley Publishing Company, USA, 417
- Gaich, A., Pötsch, M., Schubert, W., 2005, *Basics, principles and application of 3D imaging systems with conventional and high-resolution cameras*, American Rock Mechanics Association
- Hadjigeorgiou, J., Lemy, F., Cote, P., Mal dague, X., 2003, *An evaluation of image analysis algorithms for constructing discontinuity trace maps*, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, Springer-Verlag, 36(2), 163-179.
- Hudson J. A., 1989, *Rock Mechanis Principles in Rock Engineering Practice*. Butterworts.
- Jennings, J. E., 1970, *A mathematical theory for the calculation of the stability of slopes in open cast mines*, *Proc. Symp. On Planning Opne Pit Mines*, Cape Town, 254
- Balkema, 87-102.
- ISRM, 1981, *ISRM Suggested Methods: Rock Characterization, Testing and Monitoring*" Pergamon Press
- Kemeny, J., Post, R., 2003, *Estimating three-dimensional rockdiscontinuity orientation from digital images of fracture traces*, *Computers & Geosciences*, 29, 65-77.
- Lemy, F., Hadjigeorgiou, J., 2003, *Discontinuity trace map construction using photographs of rock exposures* , *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 40, 903–917.
- Lindqvist, J., E., Akesson, U., 2001, *Image analysis applied to engineering geology, a literature review*, *Bul. Eng. Geol. Env.*, 60, 117-122.
- Maerz, N., 1990, *Photoanalysis of rock fabric*. PhD thesis, University of Waterloo, Canada,
- Nelson, R.,A., 1985, *Geological Analysis of Naturally Fractured Reservoirs*. Buttenworth-Heinemann Publishers, Woburn.
- Nicholas, D.,E., Sims, D.,B., 2001, *Collecting and using geologic structure data for slope design*, In: Hustrulid, W.A., McCarter, M.K., Van Zyl, D.J.A. (Eds.), *Slope Stability n Surface Mining*. SME, Littleton, CO, 11–26.
- Piteau, D.R., 1970, *Geological factors significant to the stability of slopes cut in rock*. Proc. Symp. on Planning Open Pit Mines, Cape Town, Balkema, 33-53
- Priest, S.,D., 1993, *Discontinuity Analysis for Rock Engineering*, Chapman & Hall, London, 473.
- Priest S. D., Hudson J. A., 1976,

**GÖRÜNTÜ İŞLEME YÖNTEMLERİ İLE KAYA KÜTLESİ ÖZELLİKLERİNİN TESPİT  
EDİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

- Discontinuity Spacing in Rock, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics, 13, 135-148*
- Priest, S.,D., Hudson, J.,A., 1981, Estimation of discontinuity spacing and trace length using scanline surveys, International Journal of Rock Mechanics, Mining Science & Geomechanics Abstracts 18, 183-197*
- Reid, T.R., Harrison, J.,P., 2000, A semi-automated methodology for discontinuity trace detection in digital images of rock mass exposures, Int J Rock Mech Min Sci, 37, 1073-1089.*
- Thapa, B., B., 1994, Analysis of in-situ joint strength using digital borehole scanner images; Ph.D. thesis, Univ. of California, Berkeley*
- Tsoutrelis, C.,E., Exadactylos, G.E., 1990, Study of the rock mass discontinuity system using photoanalysis., In: Rossmanith HP, editor. Mechanics of jointed and faulted rock, Balkema, Rotterdam*
- Ulusay,R., Sönmez, H., 2002 Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri, Tmmob Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları: 60, Ankara*



## GEOSOUND / YERBİLİMLERİ YAZIM KURALLARI

Yerbilimleri / Geosound, yerbilimleri dalında teorik veya araştırma sonuçlarını içeren ve özgün sonuçları olan Türkçe, İngilizce, Fransızca ve Almanca makaleleri kabul eder. Dergide ayrıca tanınmış bilim adamlarının güncel yenilikleri içeren tercüme yazılarına da yer verilebilir.

Makalelerin Türkçe olanlarına İngilizce, yabancı dillerde olanlarına da Türkçe özetler konulmalıdır. Makaleler şekil, çizelge veya tablo, fotoğraflı levhalar dahil 8 sayfayı geçemez. Ancak yazarları tarafından israr edilen ve kısaltılamayacak makaleler her yıl sayfa başına tesbit edilen katkı payı miktarı kadar ödeme yapılarak yayınlanabilir. Yazılar A4 ebadındaki kağıtların bir yüzüne çevresine 2.5 cm boşluk bırakılarak yazılmalı, harita, kesit ve levhalar da aynı boyutta hazırlanmalıdır. Yazılar Macintosh bilgisayarda herhangi bir program dilinde hazırlanarak makale ekinde yazı disketi ile verilmelidir. Macintosh imkanı olmayan yazarlar ücret ödeyerek yazılarını yayın sekreterliğine yazardırabilirler.

Makaleler Türkçe başlık; Yazar adı soyadı ve kısa adresi; Özeti; İngilizce başlık; Abstract; Giriş; Bölümler ve alt bölümler; Sonuçlar veya Tartışmalar ve sonuçlar; Teşekkür; Kaynaklar şeklinde olmalı, ayrıca Bölümler ve Alt Bölümler 1., 1.1., 2., 2.1., vs. şeklinde numaralanmalıdır.

Kaynaklara metin içerisinde yazar soyadı ve tarih sırasıyla atıfta bulunulmalı, bunlarla ilgili bilgiler ise Kaynaklar başlığında "Soyadı, Adının ilk harfi veya harfleri, Tarih, Makalenin başlığı, Derginin kısaltılmış adı, Cilt No, Başlangıç ve Bitiş sayfası" şeklinde verilmelidir.

Dergide yayınlanmayan yazılar geri gönderilir. Yayınlananlardan yazarlarına 20'şer adet ayrı baskı verilir. Çok yazarlı makalelerde bu sayı yazarlar arasında bölüstürülür. Yayınlanan yazılar için telif hakkı ödenmez.

Şekiller, haritalar, grafikler aydinger üzerine çini mürekkep kullanılarak, koyu bir şekilde çizilmeli, fotoğraf ve levhalar 13x19 cm boyutundaki çerçeve dışına çıkarılmadan hazırlanmalıdır. Yerbilimleri / Geosound ofset metoduyla basıldığı için yazıların mizanpajı yazarlar tarafından yapılmalı, şeklär, tablolar, fotoğraflar metin içine yerleştirilmeli ve alt yazılar tek dilde yapılmalıdır.

Makaleler, biri orjinal olmak üzere 3 nüsha halinde aşağıdaki adrese disketile birlikte gönderilmelidir.

Yerbilimleri / Geosound Editörlüğü  
Çukurova Maden ve Jeoloji Mühendisleri Derneği  
01330 - Balcalı / ADANA / TÜRKİYE  
Tel (Fax) : (322) 338 67 11  
e-mail: [yerbilimleri2004@hotmail.com](mailto:yerbilimleri2004@hotmail.com)

## INSTRUCTION TO CONTRIBUTORS

Yerbilimleri / Geosound accepts theoretical work or results of a research together with original articles written in Turkish, English, French and German. Translated papers of any article written on the latest developments of a specific subject by known authors can also be accepted.

Turkish articles English, English, French and German articles should have a Turkish summary. Papers to be submitted should not exceed 8 pages including figures, tables, plates and photographs. The ones which are insisted by their authors not to be shortened can be published by charging for each additional page on the amount defined by editorial committee. Papers should be written on one side of A4 sheets leaving a blank space of 2.5 cm at each side of the sheet and maps, plates, cross sections must be prepared in the same form. Any wordprocessor compatible with Macintosh computer system should be used to type the papers and diskets including articles should be attached to the papers. It is possible for the editorial committee to get the articles written with an available Macintosh system but this has to be charged.

The papers should be organised as follows: Title in Turkish; Author's name and address; Summary; Title in English; Abstract; Introduction; Sections and Sub-sections; Conclusions or Discussions and Conclusions; Acknowledgement; References; Appendices. Sections and Sub-sections should be enumerated in the form of 1., 1.1., 2., 2.1., etc.

References in the main text should be cited on the basis of Author's name and date. The information related to these should be given in the References section as: "Surname, Initial(s), Date, Title of Article, Abbreviated Name of the Journal, Volume No, First page-Last page".

Articles which are not published in the Journal are returned. 20 copies of the published papers are sent to the authors. In the joint papers this number is divided between the authors. Copy right is not paid for the published papers.

Figures, maps, graphics should be drawn by black Indian ink on transparent drawing paper, photographs and plates should be prepared such that they can be placed in the frame of 13x19 cm. Yerbilimleri / Geosound is printed with offset printing method that's why coordination of the articles should be done by their authors; figures, tables and photographs should be organised in the text and all explanations about these should be written in one language.

Papers should be sent in three copies, one being the original, to the following address together with the disket containing the article.

Yerbilimleri / Geosound Editörlüğü  
Çukurova Maden ve Jeoloji Mühendisleri Derneği  
01330 - Balcalı / ADANA / TÜRKİYE  
Tel (Fax) : (322) 338 67 11  
e-mail: [yerbilimleri2004@hotmail.com](mailto:yerbilimleri2004@hotmail.com)