

## KOCALI KARMAŞIĞI İÇİNDEKİ FOSİL MANGANEZ NODÜLLERİNİN ÖZELLİKLERİ VE OLUŞUMU, ADIYAMAN

*Characteristics and formations of fossil manganese nodules in the Koçali Complex, Adiyaman, Turkey*

Hüseyin ÖZTÜRK

İ.Ü. Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Avcılar, İstanbul

ÖZ: Üst Jura — Alt Kretase yaşlı Koçali Karmaşığında Konak Formasyonu içinde, dolotaşı ve radyolarayah kilaşı düzeylerinde bulunan manganez nodülleri erken diyajenetik evrede oluşmuştur. Oluşumun ana mekanizması biyojenik maddelerin Mn, Ba, Ni, Cu gibi elementler tarafından ornatılması şeklindedir. Hem nodul oluşumları hem de nodülle birlikte bulunan manganez cevherleşmeleri geç diyajenetik olaylarla yeniden şekillenmişlerdir. Geç diyajenetik evrede, manganez cevherleşmesinin ve nodul oluşumlarının bulunduğu istiftten Cu, Ni, Mn, Si çözümlü uzaklaşmış, eşzamanlı Ca, Mg, Si ilavesiyle dolomit, kutnohorit, manganokalsit, kalsit, kuvars ve ağsal pirolusit damarcıkları oluşmuştur. Manganez nodüllerinin hidrojenetik türde, deniz suyu sediment ara yüzeyinde geli şememesinin nedeni okyanus tabanında mangan konsantrasyonunun kesilmesine yol açan dip akıntılardır. Diğer bir neden ise aktif kıta kenarına yakın ortamdaki yüksek sedimentasyon oranı olmalıdır.

ABSTRACT: Manganese nodules in the dolostone and radiolarian brown claystone in the Konak Formation of Koçali Complex Upper Jurassic — Lower Cretaceous in age had been developed by early diagenetic processes. The replacement of silicic tests by Mn and other transition heavy metals such as Cu, Ni, Ba is the main mechanism of the nodule development. Both manganese nodules and associated manganese mineralization was effected by late diagenetic processes. The processes resulted in the dissolution and migration of elements such as Cu, Ni, Mn, Si and addition of the elements such as Ca, Mg, Si. Thus, dolomite manganocalcite, calcite, quartz and pyrolusite veinlets formed as late diagenetic mineral assemblages. Hydrogenetic manganese nodules was not formed at the sediment sea water interface owing to oceanic bottom currents and episodic fluctuations of Mn in the sea water. Another reason for the absence of formation hydrogenous manganese nodules could be high sedimentation rate which indicates an environment close to active plate margin.

### GİRİŞ

Eski okyanusal ortamları karakterize eden Anadolu suture kuşaklarının epiofiyolitik çökefleri içinde manganez nodüllerinin bulunması doğaldır. Bununla birlikte, bu kuşaklara ait çökellerde manganez nodüllerinin varlığı üzerine şimdiye dek herhangi bir bulguya da rastlanmamaktadır, karasal ortamda gelişmiş manganez nodüllerinin ise Tekirdağ civarındaki manganez yataklarında bulunduğu bilinmektedir.

Bu çalışmada, Koçali Karmaşığının Konak Formasyonu içinde bulunan manganez nodüllerinin oluşum koşullarının aydınlatılması ve güncel nodul oluşumlarıyla benzerliklerinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Bunun için manganez nodülleriyle birlikte bulunan manganez cevherleşmesi civarında saha çalışması yapılmış, nodüllü düzeylerden alınan örneklerden ince kesit, parlatma kesit, elektron mikroskop, XRD analizleri yapılmıştır. Böylelikle nodulun iç yapısı, kimyasal bileşimi, boyutları ile içinde bulunduğu istifin geçirdiği diyajenetik süreçlere açıklık getirilmeye çalışılmıştır.

## JEOLOJİK KONUM

İnceleme alanında Üst Jura — Alt Kretase yaşlı kısmen karmaşık içyapılı ofiyolitik allokonlar ile bunların üzerinde diskordan çökelmiş Üst Kretase — Eosen yaşlı örtü kayaları yer alır. Epiofiyolitik çökel ağırlıklı allokonların Neo Tethis okyanusu ürünleri olduğu pek çok araştırmacı tarafından belirtilmiştir (Şengör ve Yılmaz 1981, Robertson ve Dixon 1984). Şekil 1'de inceleme alanının GD Anadolu'nun yapısal birimleri içindeki konumu görülmektedir.

İnceleme alanı ve yakın civarında ayrıntılı çalışmalar yapan Perinçek (1978), daha önceki araştırmacıların Koçali Birliği (Sungurlu, 1972) ve Koçali Karmaşığı (Yalçın, 1976) olarak adlandırılan kısmen karmaşık iç yapıları okyanusal topluluğu, Koçali Karmaşığı adı altında Taraşa, Konak, Kale formasyonlarına ayırtlayarak haritalamış ve tanıtmıştır.

Perinçek (1978)'e göre karmaşığın tabanında spilitik bazalt, bazalt ve diyabazdan oluşma, 1000 m. kalınlığa erişen Taraşa Formasyonu bulunur. Bunun üzerinde ise radyolaryalı çört, spilitik bazalt, bazalt, silisli şeyi, biyomikrit ve dolotaşından kurulu Konak Formasyonu bulunmaktadır. Bu formasyonun içinde radyolaryalı çört ve silisli şeyi düzeylerinde pek çok manganez cevherleşmesi yer almaktadır. Perinçek (1978)'e göre Konak Formasyonu üzerinde tektonik dokanaklı gabro ve diyoritlerden oluşma Kale Formasyonu bulunur. Saha çalışılmasında, yoğun kromit ve serpantin nit blokları formasyon için de olistostromal çökel yapıda izlenilmiştir.

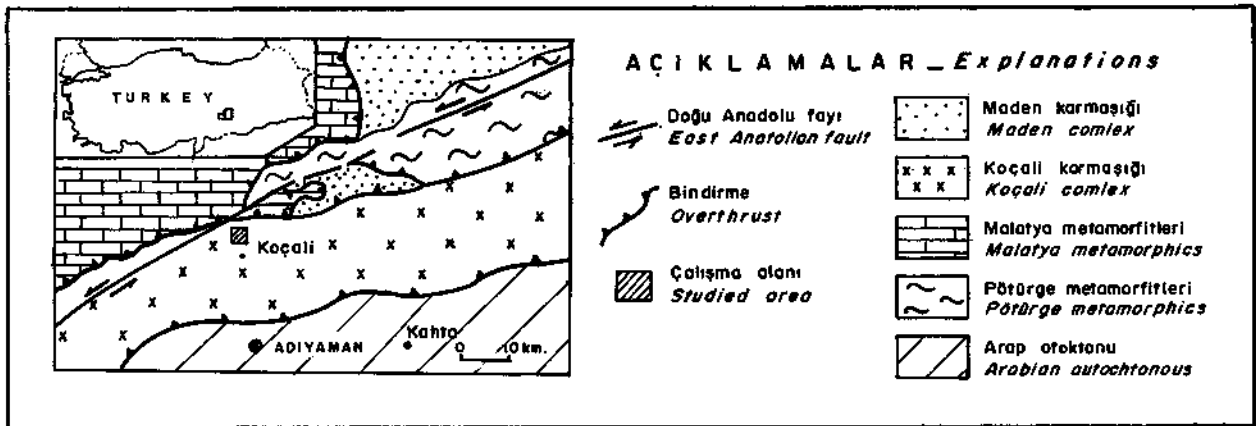
Arap otoktonuna ait çökelleri temsil eden oluşuklar inceleme alanı KD'sunda Bezar Dağı civarında kumtaşı — şeyi — marn — çakıltaşın'dan kurulu Üst Kretase yaşlı Germav Formasyonu; kumtaşı — şeyi — marn çakıltaşından kurulu Paleosen yaşlı Gercüş Formasyonu; Eosen yaşlı kireçtaşlarından oluşan Midyat Formasyonu (Maxon 1937, Tromp 1940) şeklinde izlenirler.

## KONAK FORMASYONU

Manganez cevherleşmesi ve nodul gelişimiyle ilgili tartışmalara temel oluşturması açısından Konak Formasyonunun litostratigrafik özelliklerinin açılması yararlı olacaktır. Nodüllü manganez cevherleşmesi ve yakın civarını kapsayan harita alımında yapısal unsurlar Perinçek (1987)'in çalışmasından aynen alınmış, spilitik bazalt — bazalt ile pelajik çökeller ayırtlanarak haritalanmıştır (Şekil 2).

Konak Formasyonu radyolaryalı çört, silisleşmiş şeyi, kahve renkli kıltaşı, biyobiyomikrit, dolotaşı, kuvars arenit gibi sedimanter oluşuklar ile spilitik bazalt ve bazalt türü volkanitlerden oluşur. Çökellerle ardalanan volkanitlerin toplam kalınlığı çökellere yakındır (Şekil 3).

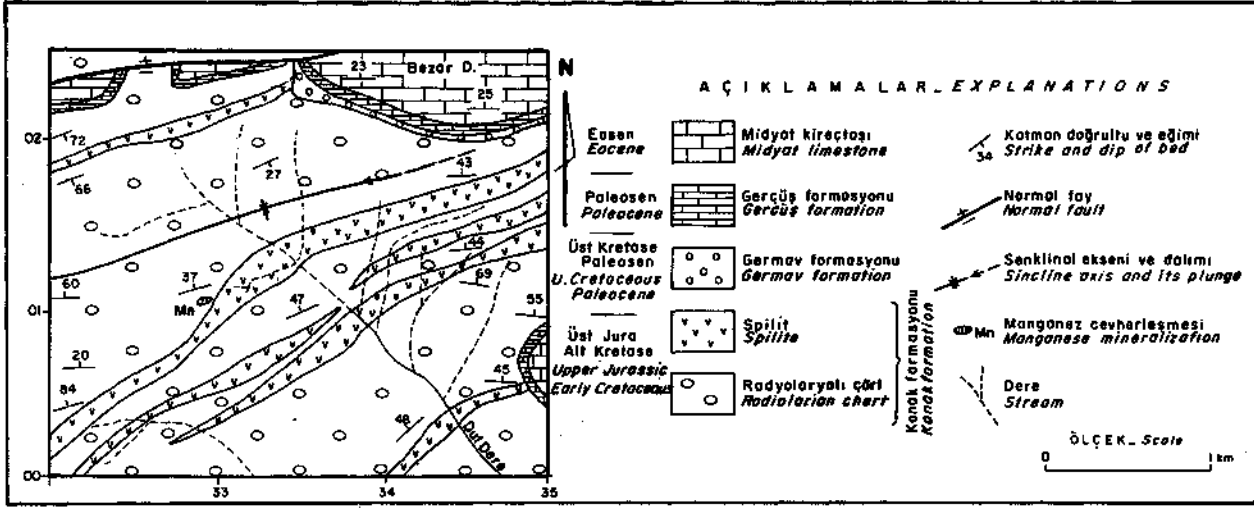
Radyolaryalı çörtler kahve — kiremit renkli 2 - 30 cm kalınlığında belirgin paralel katmanlanmalı, sert bazen nodüler yapıdadır, kahve renkli kıltaşlar ve silisleşmiş şeyller ise belli düzeylerde yoğunlaşmalar gösterirler, ayrıca, radyolaryalı çörtler arasında, ince ara bandlar şeklinde katmanlanma düzlemleri mangan boyalı



Şekil 1. İnceleme alanının G.D. Anadolu'nun önemli yapısal birimleri içindeki yeri (Perinçek 1978'den alınmıştır).

Fig. 1. Location of the study area with respect to the major tectonic unites of the SE Anatolia. (From Perinçek (1978).

## KOCALI KARMAŞIĞI MANGANEZ NODÜLLERİ



Şekil 2. Manganez nodüllü cevherleşme ve civarının jeoloji haritası.

Fig. 2. Geological map of the manganese nodule — bearing mineralization area and its surroundings.

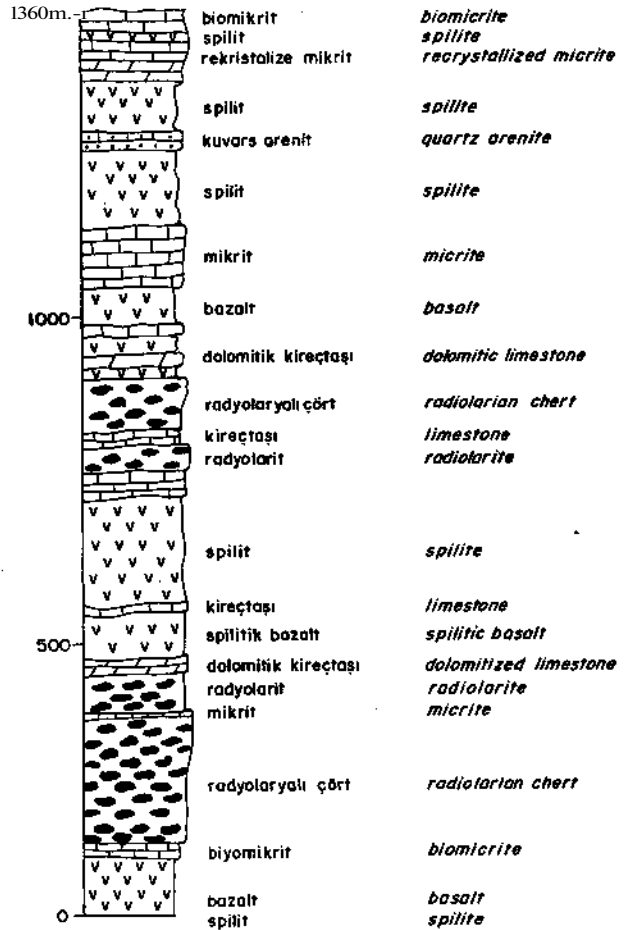
olarak ta gözlenmektedir. Radyolaryalı çöürerde spilit ve kuvars damarları ağlar şeklinde tüm düzeylerde yaygındır. Dolotaşlan yanıl devamlılığı sınırlı ara katmanlar şeklindedir. Perinçek (1987) tarafından belirtilen ve türbiditik ürünler olarak yorumlanan kuvars arenitler ise çalışma alanında belirlenememiştir.

Spilitik bazalt ve spilitler yeşilimsi gri renkli, ayrışmalı yüzeyde arenalaşmış olarak izlenir. Çökel kayaçlarla yanıl geçişler gösterir ve dayanımsız yüzeylerinin oluşturduğu morfolojileri tipiktir. Formasyonun kalınlığı 1800 m. civarındadır. Şekil 3'de Perinçek (1987) tarafından alınan Konak Formasyonunun ölçülü stratigrafik sütun kesiti görölmektedir.

Şekil 2'de jeoloji haritasında göröldüğü gibi nodul oluşumlarını içeren manganez cevherleşmesi, batıya dalımlı senklin yapıda izlenen Konak Formasyonunun çekirdek kısmında yer almaktadır.

### MANGANEZ NODÜLLÜ DÜZEYİN LİTOSTRATİGRAFİK ÖZELLİKLERİ

Manganez nodülleri, mercek geometrili ve üç ara düzeyden oluşan manganez cevherleşmesinin çeşitli düzeylerinde bulunmaktadır. En yoğun izlendiği yer cevherleşmenin tabanında yer alan dolotaşlandır. Dolotaşlanın yanıl devamlılığı manganez cevherleşmesiyle sınırlıdır ve yaklaşık 10 m. yanıl devamlılık gösteren cevherleşme boyunca izlenmektedir. Daha üst



Şekil 3. Konak Formasyonu ölçülü stratigrafik sütun kesiti (Perinçek, 1978).

Fig. 3. Measured stratigraphic columnar section of the Konak Formation (Perinçek, 1978).

düzeylerde ise, bantlı yapı gösteren radyolaryaya fosilli kahverenkli killer içinde bulunur (Şekil 4).

Nodüllü i. fi tabandan tavana 3m.lik bir düzeyde tanımlarsak, tn altta kırmızı bordo renkli 20 —

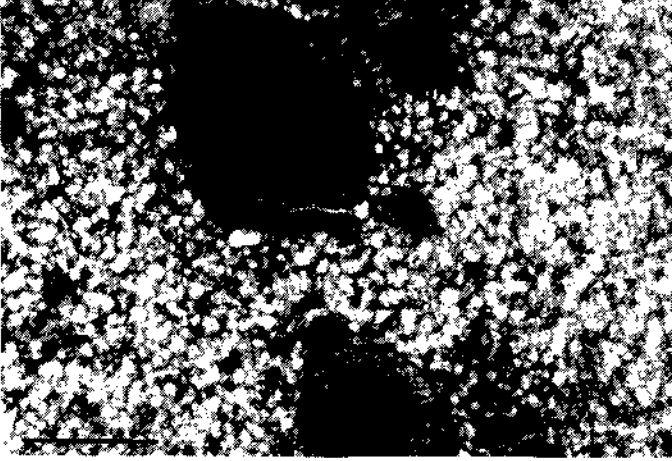
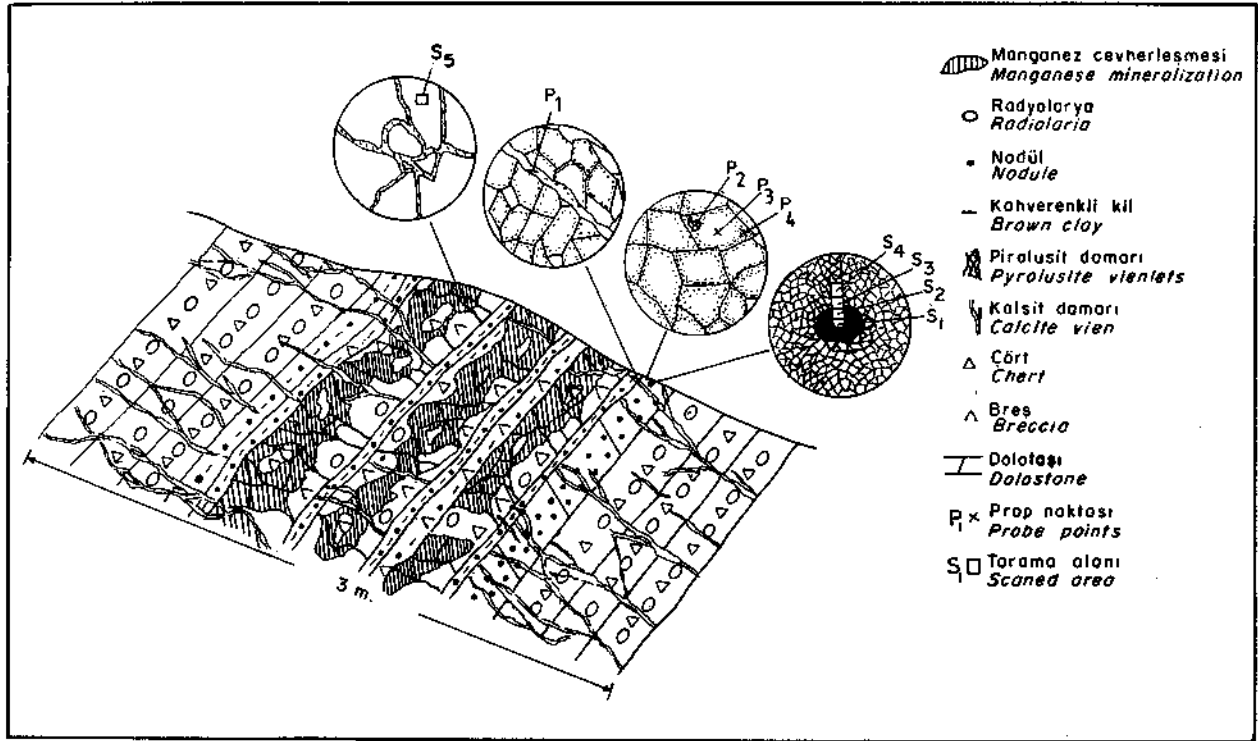


Foto 1. Dolotaşı içindeki manganez nodülleri, Çapraz polarize ışık, Ölçek çubuğu: 1 mm.

Photo 1. Manganese nodules in dolostone, Crossed polarized light, Scale bar: 1 mm.

30 cm. kalınlığında, kuvars, daha az olarak kalsit damarlarıyla sık kesilmiş radyolaryalı çörtler izlenir. Kayacın ince kesitinde % 15 oranlarında radyolaryaya kavkaları bulunur. Bu düzeyin üzerinde 20 cm. kalınlığında dolotaşlan bulunur. Bu düzey, incelen kalmlaşan bir yapı ve düzensiz kenarlı yankaya ilişkisi göstermektedir. Dolotaşmdaki manganez nodülleri düzensiz dağılmış, kahvemsiyah renklerde gözlenirler. Kesit alanında % 30 ile % 10 arasında, 6 — 0.1 mm. iriliğindedir. Nodüller birbiriyle temas halindeyken oldukça düzensiz şekillerde, genelde ise hafifçe elipsoidaldir (Foto 1).

Nodüllü dolotaşlan üzerinde pirolusit ve psilomelandan oluşan manganez cevherleşmesi breşik yapıli radyolaryalı çörtler içinde, zayıfça katman »yapılıdır. Bu cevherleşme düzeylerinin arasında nodüller içeren, kahverenkli radyolaryalı kilaşlan bulunur. Bu düzeylerde türbülans akıntılarını yansıtan düzensiz şekilli laminalanmalar açık ve koyu kahverenkli renk bantlarını oluşturur (Foto 2). Pirolusit ve psilomelandan oluşan



Şekil 4. Manganez nodüllü düzeyin detay kesiti ve Tablo 1'deki elektron mikroprob analizlerinin yeri.

Fig. 4. The detailed section of the Mn nodule — bearing horizons. Study locations of the electron microprobe analyses presented in Table 1 are shown.

## KOCALI KARMAŞIĞI MANGANEZ MODÜLLERİ

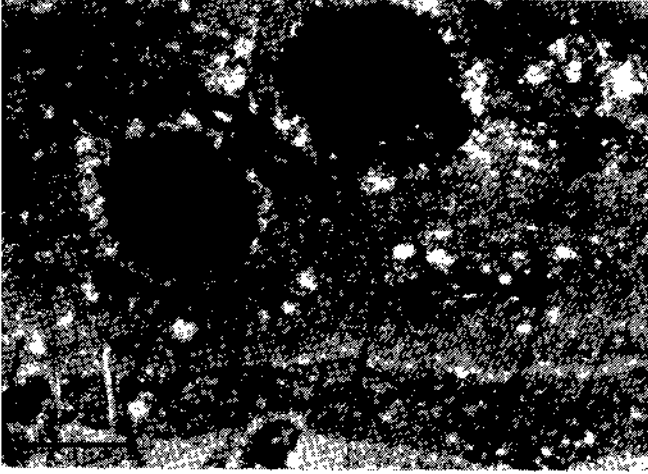


Foto 2. Kahverenkli radyolaryali kiltaşlannda lamination ve manganese nodüllerinin görünümü, Çapraz polarize ışık, Ölçek çubuğu 1 mm.

Photo 2. Lamination and manganese nodules in the radiolarian brown claystone, Crossed polarized light, Scale bar: 1 mm.

cevherleşmeler ağsal pirolusit damarları tarafından kesilmiştir (Şekil 4). Bütün istifte yaygınca gelişmiş kalsit ve kuvars damarları, killi düzeylerde daha seyrek. Kuvars ve kalsit damarları birbirini kesen damarlar şeklinde eş oluşumlu olarak gözlenirler. Kuvars ve kalsit damarlarının merkezinde en son dolgulanmayı gösteren pirolusit yerleşimleri yaygındır (Foto 3).

### NODÜLLÜ DÜZEYDE ANALİTİK ÇALIŞMALAR

Manganez nodülü gelişiminin ve nodüllü düzeydeki diyajenetik etkilerin belirlenmesi amacıyla dolomitler, kalsit daman, manganez cevherleşmesi ve nodüller üzerindeki analitik çalışmalar elektron mikrop-rob çalışmaları şeklinde yürütülmüştür. Bu çalışmalar, Jeol 733 marka tam donanımlı elektron mikroskobunda 20 kv — 47.6 nano amperlik prob akım gücü koşullarında, Paşabahçe Şişe Cam araştırma merkezinde gerçekleştirilmiştir.

Şekil 4'de görülen tarama alanının kimyasal bileşimi 200 saniyelik sayım süresi tutularak parlatma kesitler üzerinden belirlenmiştir. Nodüllerden, manganez cevherleşmesinden, kalsit damanndan ve dolomitlerden yapılan elektron mikrop-rob çalışmasına paralel olarak ince kesit ve parlatma kesit çalışmaları birlikte



Foto 3. Kuvars damarı içine en son fazda yerleşen pirolusitler, Çapraz polarize ışık, Ölçek çubuğu: 1 mm.

Photo 3. Latest stage pyrolusites at the central part of the quartz vein, Crossed polarized light, Scale Bar: 1 mm.

yürütülmüştür. Nodul gelişiminde katalizör rol oynayan tek veya birden fazla çekirdek varlığı yanında, nodülde içten dışa kimyasal bileşim değişimi incelenmiştir. Elektron mikroskobunda yüksek büyütme oranlarında nodulun iç yapısı araştırılmış, büyüme biçimleri, nodul sınıflamasında önemli olan nodul dış yüzeyleri irdelenmiştir. Son yıllarda diyajenetik nodul gelişimiyle biyojenik parçacıklar arasında önemli bağlanı olduğu (Mukhopadhyay ve diğ. 1988, Roy ve diğ. 1990) belirtilmiştir. Bu nedenle nodul içindeki fosil organizmalar ve bunların kimyasal bileşimleri nodul gelişimini açıklayabilmek için özellikle araştırılmıştır. Diyajenetik süreçlerin cevher ve nodüller üzerindeki etkisinin belirlenmesi için nodüllerde ikincil dolgulanma süreçlerine eğilinmiştir.

### TARTIŞMA

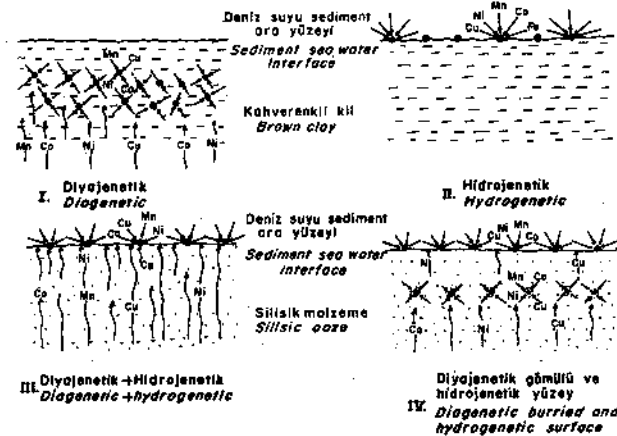
Okyanus tabanındaki manganez nodüllerinin sınıflamasında nodüllerin kimyasal bileşimi, iç ve dış yapılarını oluşturan büyüme şekli, yüzeyde veya gömülü olarak oluşumu, boyutu ve mineralojik yapısı göz önüne alınarak hidrojenetik, diyajenetik ve hidrotermal olarak üç ana oluşum türüne ayrılmıştır (Bonatti ve diğ. 1972, Crerar ve Barnes 1974, Heath 1981).

Hidrojenetik, diyajenetik ve hidrotermal işlemler birlikte olabildiği gibi (Dymond 1981, Heath 1981, Hein ve diğ. 1992, Roy ve diğ. 1992), hidrojenetik olarak oluşan nodüller gömüldükten sonra diyajenetik süreçlerle bu büyüyebilmektedir (Şekil 5).

Hidrojenetik nodüller genellikle silisli sedimentlerin bulunduğu alanlarda deniz suyu sediment ara yüzeyinde oluşur. Nodülleri oluşturan çokluk sırasına göre Mn, Fe, Cu, Ni, Co erken diyajenetik evrede deniz tabanına boşalan sediment gözenek sularından sağlanmaktadır. Sediment deniz suyu ara yüzeyine boşalan bu elementler, yüksek Eh ve pH koşullarında demiroksitlerin katalizör etkisiyle konsantrik iç yapılı ve pürüzsüz dış yüzeyli, düşük Mn/Fe içerikli nodüller oluşturur (Sung, 1981).

Diyajenetik nodüller genellikle killi formasyonlar içinde, pürüzlü dış yüzeyli, düzensiz iç yapılı, diyajenetik türe göre yüksek Cu, Ni içerikli, Yüksek Mn/Fe oranlı, biyojenik maddelerle ilişkilidir (Mukhopadhyay, 1988).

Yukarıda açıklanan bilgilerin ışığında Koçali karmaşığı içinde bulunan nodüllerin diyajenetik oluşumlu olduğunu söyleyebiliriz. Nodüllerin killi mal-



Şekil 5. Farklı türde manganez nodüllerinin gelişimleri (Roy ve diğ. 1990, Dymond ve diğ. 1984, Hein ve diğ. 1992'den yorumlanarak).

Fig. 5. Development of different type of manganese nodules (Reinterpreted from Roy et al. 1990, Dymond et al. 1984, Hein et al. 1992).

zeme içinde bulunması, düzensiz içyapılan, pürüzlü dış yüzeyleri, düşük Fe içerikleri, küçük boyutlu olmaları, silisli biyotayı replase ederek gelişmeleri (Foto 4) bu yaklaşımın temel dayanaklarıdır. Manganez nodüllerinin oluşumu, erken diyajenetik evrede, killer içinde bulunan elementlerin yine aynı ortamda bulunan organik maddelerin dekompozisyonuyla sağlanan indirgen koşullarda çözülmesi, istifte bulunan silisli biyotayı replase ederek düzensiz iç ve dış yapı kazanarak gelişmesi şeklinde olmalıdır. Elektron mikroskopunda nodul içinde yoğun gözlenen biyojenik kesimlerin mikroprob analizleri bunların tamamen  $MnO_2$  ye dönüştüğünü göstermiştir.

Nodüllerin sediment deniz suyu ara yüzeyinde hidrojenetik olarak oluşmaması nedeni türbiditik akıntılar, yüksek sedimentasyon oranı veya düşük metal konsantrasyonu olmaktadır (Yamamoto 1992). İncelenen nodüllerin bulunduğu silisleşmiş radyolaryalı kiltaşlan içinde gözlenen akıntı laminalanmalan hidrojenetik nodul oluşmaması nedeninin hareketli dip koşulları olduğunu göstermektedir. Nodul oluşumuyla birlikte bulunan manganez cevherleşmesinin hidrojenetik mi yoksa nodüllerle eşzamanlı diyajenetik mi oluştuğu hakkında eldeki analitik verilerle bir şey



Foto 4. Manganez nodülü içinde tamamen  $MnO_2$ 'ye dönüşmüş biotanın parlatma kesitten geri yansımali elektron mikrofotografı, Ölçek Çubuğu: 0.1 mm.

Photo 4. Back — scattered electron photomicrograph of polished surface showing biota which was entirely transformed to  $MnO_2$  in the manganese nodule, Scale Bar: 1 mm.

## KOÇALÎ KARMAŞIĞI MANGANEZ NODÜLLERİ

söylenemez. Ancak her iki oluşum da geç diyajenetik olaylarla yeniden şekillenmişlerdir. Diyajenez kavramı metamorfizmaya kadar yaşanan bütün değişimler için kullanılmıştır. Bunlar kalın sedimanter örtü altında gömülme ve/veya orojenik hareketlere bağlı sıkışma sonucu akışkan hareketi, madde ilavesi ve çıkışı, mineral fazlarındaki değişimler, bir mineralin diğer bir mineralin yerini alması olaylarını kapsamaktadır (Singer ve Müller 1983, Yamamoto 1987).

Manganez nodüllü düzeyde birincil olarak birlikte oluşmaları mümkün olmayan dolomit, kutnohorit, manganokalsit minerallerinin bulunması geç diyajenetik olaylarla 'nodüllü düzeylerin yeniden şekillendiğini göstermektedir. Diyajenetik olayların gelişimi zamansal olarak irdelenirse., Mn, Ba, Ni, Cu, Fe, Mg gibi elementlerce zengin killerin gömülmesi ve takip eden sıkışma döneminde ortamdaki organik maddelerden kaynaklanan düşük Eh ve pH koşullarında söz konusu elementler çözülmüşler ve üst kesime doğru hareket etmiş olmalıdırlar. Mobil fazdaki bu elementler ortamdaki pH ve Eh artışına bağlı olarak silisik biyotayı replase etmek suretiyle mikronodüller şeklinde büyümüşlerdir. Büyüme  $MnO_2$ 'ye absorbativ olarak kolayca bağlanabilen diğer katyonlarla birlikte erken diyajenetik evrede oluşmuştur. Replasman nedeniyle düzensiz iç ve dış yapı kazanılırken ortamın düşük oksijen fugasitesi nedeniyle kobalt, ve mangandan daha önce çözüldüden ayrılan demir oluşuma katılmamıştır. Geç diyajenetik olaylar sonucunda ise gerek mikronodüller, gerekse manganez cevherleşmesi mineralojik yönden önemli ölçüde değişmiştir. Nodüllü düzeylerde., kalsit damarından, manganokalsit ve kutnohorit minerallerinden yapılan elektronprob nokta ve tarama değerleri, geç diyajenetik evrede Mn, Ni, Cu elementlerinin ortamdaki uzaklaştığını göstermiştir (Tablo 1). Diyajenetik veya S tipi olarak tanımlanan nodüllerde yüksek oranda bulunması gereken Ni ve Cu değerinin düşük olması da sistemin geç diyajenetik süreçlerdeki açılmasına bağlanabilir. Diyajenetik oluşuma göre daha yükseltgen ortamı karakterize eden hidrojenetik nodul oluşumlarında da Co değeri yüksek olmaktadır (Nishimura 1992). Kobaltın yüksek oksijen fugasitesine sahip koşullarda  $MnO_2$  bünyesine katılışının en iyi göstergesi 1 — 1.5 km. gibi sığ derinliklerdeki güncel manganez

nodüllerinde % 1.5'e varan zenginleşmelerdir (Klinkhammer ve Bender 1980, Hein ve diğ. 1987). Bu bağlamda Co bakımından bu denli düşük nodüllerin ve manganez cevherleşmesinin içinde yer aldığı kilaşları ve radyolaryalı çöürer derin denizel ortamı göstermelidir. Düşük kobalt değeri diyajenetik nodul oluşumunu desteklemektedir. Öte yandan yüksek Ba içeriği denizel ortamlarda derine doğru gidişin bir göstergesi olarak kabul edilmiştir (Hein ve diğ. 1987). Güncel ve fosil manganez yumrularında yüksek Ba oranı bilinmektedir. Manganez nodülü oluşturan birincil manganez mineralleri olarak todorokit, birnesit, daha az olarak ta manganit tanımlanmıştır (Cerar ve Barnes 1974, Dymond ve diğ. 1984, Moritani ve diğ. 1977). Fosil manganez nodülleri üzerinde yapılan çalışmalarda saptanan birincil todorikit bileşimin daha sonraki diyajenetik dönüşümlerle pirolusit ve pisilomelana dönüştüğü Halbach ve diğ. (1992) tarafından belirtilmektedir. Halbach ve diğ. (1992), Jura — Kretase yaşlı fosil manganez yumruları üzerinde yaptıkları çalışmalarda % 1.5 — 3 gibi yüksek Ba değeri elde etmişlerdir. Bu değerler bizim saptadığımız sonuçlara benzerlik göstermektedir. Manganez nodulunun kimyasal bileşiminde bulunan Ba, K, Ca, Mg elementlerine dayanarak birincil mineralin todorokit olduğunu söyleyebiliriz. Ancak, elektron problarda bazı noktaların  $MnO_2$  bileşimine yaklaşan oranda yüksek Mn göstermektedir. Bu durum hem heterojen iç yapıyı hem de pirolusit dönüşümleri göstermektedir. Pisilomelan da yüksek Ba içeriğiyle diğer ikincil manganez minerali olarak geç diyajenetik evreye ait olmalıdır.

Manganez nodülleri karmaşık bir yapıya karşılık merkezden dışa doğru anlamlı bir bileşim değişimi göstermemektedir. İçten dışa doğru Si, Mg, Al artışına karşılık Ba ile zayıfça Mn azalışı olmaktadır. Parlatma ve ince kesit incelemeleri, pek çok nodulun dış kesiminde kuvars ve kil sardunlarının olduğunu göstermiştir. Bunlar, geç diyajenetik evrede mobilize olan silisli çözümlerin, nodüllerden bazı elementlerin çözülmesiyle oluşan boşlukları doldurması şeklinde oluşmuştur. Silisyumun geç diyajenetik evredeki kaynağı olarak genellikle biyojenik malzemeler gösterilmiştir (Hein ve diğ. 1987, Hein ve Koski 1987, Huebner ve diğ. 1992). Bu araştırmacılar, biyojenik silisin önce opal CT (kristobalit, tridimit) sonra da kuvarsa dönüşümü sırasında serbestlenen bünye suyunun geç di-

Çizelge L Şekil 4'de gösterilen nokta ve tarama alanlarının elektron mikro-prob değerleri.

Table 1. Chemical compositions of the different spots and areas shown in figure 4, obtained by the electron microprobe.

Nokta veya alan bil. Point or square comp.	CaO	MgO	FeO	MnO	SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	BaO	CuO	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	NiO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
P <sub>1</sub> kalsit damarı calcite vein	94.86	1.90	—	1.35	—	1.28	—	—	—	—	0.28	0.37	—
P <sub>2</sub> kapanım inclusion	25.25	—	1.60	65.31	1.36	—	—	—	2.12	1.85	1.33	1.18	—
P <sub>3</sub> dolomit (iç) dolomite (core)	56.12	41.38	—	2.56	—	—	—	—	—	—	—	—	—
P <sub>4</sub> dolomit (kenar) dolomite (mar.)	56.21	43.79	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
S <sub>1</sub> nodül (iç) nodule (core)	1.21	1.26	—	86.87	2.78	—	0.25	5.67	—	0.86	1.49	—	—
S <sub>2</sub> nodül (kenar) nodule (margin)	1.17	4.34	—	86.46	4.21	—	0.21	1.60	—	0.84	1.17	—	—
S <sub>3</sub> gang (genel) gang (general)	58.70	21.70	0.52	9.12	6.31	—	1.31	0.22	—	—	2.14	—	—
S <sub>4</sub> gang (genel) gang (general)	59.43	22.42	0.41	8.18	5.12	—	1.16	0.18	—	—	2.10	—	—
S <sub>5</sub> cevher (ore)	0.26	0.32	0.31	87.83	7.64	0.28	0.17	1.12	—	—	0.89	—	0.18

yajenetik dönüşümleri geniş bir ölçekte yönlendirdiğini ileri sürmüşlerdir. Nodüllü düzeyde ve mangan cevherleşmesinde izlenen kalsedonik kuvars ve kuvarlar böylesi bir mekanizmanın ürünü olmalıdırlar. İnce taneli kuvars damarlarının merkezine yerleşmiş pirolusit mineralleri ise geç diyajenetik evrenin en son ürünleri olarak gelişmişlerdir.

Nodüllerle arıdanmalı gözlenen mangan cevherleşmesinin pirolusit ve az olarak ta psilomelandan oluştuğu esas olarak XRD ile belirlenmiştir. Pirolusitler parlatma kesitlerinde açık gri renkte, kahverengi tonlarında kuvvetli anizotropik, ikizlenmeli iri kristaller şeklindedirler. Psilomelanlar ise grimsi beyaz renkte, kahve kırmızı iç yansımali, kuvvetli anizotropik iyi ke-

netlenmiş hipidiomorf kristaller şeklindedir. Mangan cevherleşmesi içinde breşik yapıda radyolaryalı çört artıkları yaygındır. Cevherleşmenin gang minerali, dolgular ve damarlar şeklindeki kuvars ve iri kristalli kalsitlerdir.

Geç diyajenetik evrede, dışta dolomit iç kesimleri mangano kalsit ve kutnohoritten oluşma karbonat mineralleri Sibley ve Gregg (1978), Amthor ve Friedman (1992) tarafından dolomitik kayalar için tanımlanan dokusal sınıflamaya göre düşük sıcaklıklarda replasmanla gelişmiş olmalıdırlar. Mn, Ni, ve Cu dolomitizasyon öncesi manganokalsit ve kutnohorit minerallerini (Foto 5) oluşturmuş, daha sonra Mg metasomatozuyla dış kesimler tamamen dolomite dönüşmüştür (Foto 6).



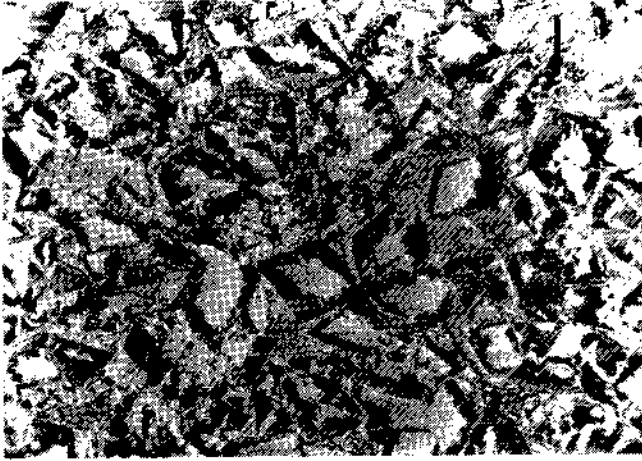


Foto 5. Özşekilli, eşboyutlu, küçük kristalli, zonal yapılı dolomitlerin geri yansımali elektron mikrofotografı (Cepher dolomit merkez kesim manganokalsit ve kutnohorit) Ölçek çubuğu: 0.15 mm.

Photo 5. Back — scattered electron photomicrograph of planar, unimodal, fine crystalline and zonal dolomites, (The margin is composed of dolomite, the core manganocalcite and kutnohorite), Scale Bar: 0.15 mm.

#### SONUÇLAR

1 — Manganez nodüllerinin küçük boyutlu olması, genellikle killi çökeller içinde bulunması, Mn / Fe oranının yüksek olması, kısmen pürüzlü dış yüzeylere karşılık düzensiz iç yapı göstermesi ve en önemlisi biyojenik maddeleri replase etmek suretiyle gelişmesi diyajenetik oluşumlu olduğunu göstermektedir.

2 — Diyajenetik nodul oluşumlarında beklenen görece yüksek Cu ve Ni değerlerinin düşük olmasının nedeni geç diyajenetik evrede bu elementlerin mobilize olması ve ortamı terketmesiyle açıklanabilir. Geç diyajenetik evrede oluşan dolomit ve kalsit damarında saptanan yüksek orandaki Cu ve Ni değerleri nodüllerden ve manganez cevherleşmesinden önemli ölçüde bu elementlerin yıkıldığını göstergesi olmalıdır.

3 — Manganez nodüllerinin, yüksek oranda Mn, Ni, Cu, Ba, Fe içeren killerde deniz suyu sediment ara yüzeyinde hidrojenetik olarak oluşamamasının nedeni



Foto 6. Dolomit içinde Cu ve Ni içeren kapantıların parlatma kesitlerinden alınan geri yansımali elektron mikrofotografı, Ölçek çubuğu: 0.15 mm.

Photo 6. Back — scattered electron photomicrograph showing Cu and Ni bearing inclusions in dolomite, Scale Bar: 0.15 mm.

deniz tabanındaki dip akıntıları ve ilişkili yüksek sedimentasyon oranı olmalıdır. Bu bağlamda, Mn nodüllerini içeren Koçali Karmaşığının Konak Formasyonu sedimentlerinin üst düzeyleri, günümüz merkezi Pasifik gibi abisal düzlükler içeren ortamlardan çok aktif kıta kenarlarına yakın ortamları karakterize etmektedir. Bu durum jeolojik tarihçe ve günümüz okyanuslarındaki manganez nodüllerinin dağılımıyla uyumludur.

4 — Nodul gelişimini takiben geç diyajenetik evrede, gelişen dolomitizasyon, dokusal özelliklerine göre 80 — 100 C° gibi düşük sıcaklıklarda gelişmiştir. Mikrit replasmanına ait yapıların gözlenemediği oluşumda, organik karbonun bakteriyel etkilerle CH<sub>4</sub>'e dönüşmesi, oluşan düşük Eh koşullarında Mn — Mg — Ca — Si'nin çözülmesi, CH<sub>4</sub>'ün oksijenli ortama doğru yükselmesi, CO<sub>2</sub>'ye dönüşmesi ve yükselen pH nedeniyle MgCa (CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> ve MgMn(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> şeklinde kristallenmesi dolomit ve kutnohorit oluşumunun ana mekanizması olmalıdır. Sistemi çalıştıran su ise biyojenik silisin önce opal CT, daha sonra kuvarsa dönüşmesi şeklindeki dehidratasyonla sağlanmış olmalıdır. En son evreye ait kuvarsların bazı nodüller içine ikincil yerleşimi de bu süreçlere bağlanabilir.

## KATKI BELİRTME

Yazar, saha çalışmalarına olanak sağlayan Prof. Dr. Erdiñ Kipman'a, değerli eleştirileri için Prof. Dr. nder ztunalı'ya, Elektron mikroprob çalışmalardan dolayı Jeo. Müh. Bülent Arman'a, konuyla ilgili pek çok yayını gönderme zahmetinde bulunan "IGCP 318 Proje Grubu" direktörü James R. Hein'e, çizimler için Jeomorfolođ Cazibe Hořgören'e teşekkür borçludur.

## DEğİNİLEN BELGELER

- Amthor, J.E. and Friedman, G.M., 1992, Early to late diagenetic dolomitization of platform carbonates: Lower Ordovician Ellenburger Group, Permian basin, west Texas. *Journal of sedimentary petrology*, v. 68, no 1, P. 131 — 144.
- Bonatti, E., Kraemer, T., Rydell, H., 1972, Classification and genesis of submarine iron manganese deposits. In Horn, DR., ed. *Ferromanganese deposits on the ocean floor: Washington D.C. National science foundation*, p. 149 — 165.
- Crerar, D.A. and Barnes, H.L., 1974, Deposition deep sea manganese nodules. *Geochim. Cosmochimica Acta*, 38, p. 279 — 300.
- Dymbnd, J., 1981, Geochemistry of Nazca Plate surface sediments: An evaluation of hydrothermal, biogenic, detrital and hydrogenous source. In : L.D. Kulm, J. Dymond, E.J. Dasch and D.M. Hussong (eds), *Nasca Plate: Crustal formation and Andean Convergence. Geol. Soc. Am. Mem.*, 145, 133 — 137.
- Dymond, J.R., Lyle, M., Finney, B., Piper, D.Z., Nurphy, K., Conrad, R. and Nicklas, P., 1984, Ferromanganese nodules from MANOP sites H,S and R — control of mineralogical and chemical deposition by multiple accretionary processes. *Geochim. Cosmochimica Acta*, 48 : 931 — 939.
- Halbach, P., Gursky, H.J., Gursky, M.N., Schmidt, R., Maresch, W.V., 1992, Composition and formation of fossil manganese nodules in Jurassic to Cretaceous radiolarities from Nicoya ophiolite complex (NW Cocto Rica). *Mineralium deposita*, 27, 153 — 160.
- Heath, G.R., 1981, Ferromanganese nodules of deep sea. *Economic Geology*, 75, p. 736 — 765.
- Hein, J.R., Lisa, A.M., David, A.C., Ranhold, A.K., 1987, Cobalt rich ferromanganese crust from the exculusive economic zone of the U.S. and nodules from oceanic Pasific. *Sircum Pasific Council for Energy and Mineral Resources. Earth science series*, vol. 6, p. 753 — 771.
- Hein, J.R., Ross, C.K., Alexander, E. and Yeh, H.Z., 1979, Mineralogy and diagenesis of surface sediments from DOMES areas A,B and C. In J. Bischoff and D.Z. Piper (eds) *Marine geology and oceanography and the Pasific manganese nodule Province. Plenum, New York*, p. 365 — 396.
- Hein, C.R., Koski, R.A., 1987, Chert hosted manganese deposits in sedimentary sequences of the Fransiscan Complex, Diablo range, California. *Siliceous sedimentary rock hosted ores and petroleum. By Van Nostrand Reinhold Company, Inc. New York*, p. 207 — 230.
- Hein, J.R., 1987, Bacterially mediated diagenetic origin for chert hosted manganese deposits in Franciscan Complex, California coast ranges. *Geology* v. 15, p. 722 — 726.
- Hein, J.R., Marjorie, S.S., Gein, L.M., 1992, Central Pasific cobalt rich ferromanganese crusts. Historical perspective and regional variability. Keating, BH., and balton, B.R., (eds) *Geology and offshore mineral resources of the central Pasific basin, sircum Pasific council for energy and mineral resources. Earth science series*, v. 14, New York Springer Verlag.
- Klinkhammer, G.P. and bender, M.L., 1980, The distribution of Manganese in Pasific Ocean. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 46, p. 361 — 384.
- Maxon, J.H., 1937, Reconnaissance geology, oil possibilities and mineral resources of Southeastern Turkey, M.T. A. rap. no 680, Ankara
- Mukhopadhyay, S., Dasgupta, S. and Roy, S., 1988, Distribution and charecter of micronodules in pelagic sediments from Central Indian Ocean and their implications: *Marine Min.* 7, p. 351 — 360.

## KOCALI KARMAŖIĞI MANGANEZ NODÜLLERİ

- Nishimura, M., 1992, Sedimentation and hiatuses in the central Pasifile Basin: Their relationship to manganese nodule formation. Keating, B.H. and Balton, B.R. (eds), *Geology and offshore mineral resources of the Central Pasific Council for energy and mineral resources*. Earth science series, v. 14, New York, Springer Verlag.
- Perinçek, D., 1978, Çelikhan Sincik Koçali (Adıyaman ili) alanının jeoloji incelemesi ve petrol olanaklarının araştırılması. Doktora tezi, İ.Ü. Fen Fakültesi, Tatbiki Jeoloji Kürsüsü. 212 sayfa.
- Robertson, A.H.F. and Dixon, J.E., 1984, "Introduction: Aspects of the geological evolution of the Eastern Mediterranean" In: J.F. Dixon and A. H.F. Robertson eds. *The geological evolution of the eastern Mediterranean*. Spec. Publ. Geol. Soc. London. 17, 1 — 74.
- Roy, S., Dasgupta, S., Mukhopadhyay, S. and Fukuoka, M., 1990, Atypical ferromanganese nodules from pelagic Areas of the Central Indian Basin, Equatorial Ocean. *Marine Geology*, 92 p. 269 — 283.
- Singer, A. and Müller, G., 1973, Diagenesis in argillaceous sediments In G. Larsen and G.V. Chilingar (eds). *Diagenesis in sediments and sedimentary rocks*, 2. Elsevier, Amsterdam, p. 115 — 212.
- Sung, W. and Morgan J.J., 1981, Oxidative removal of Mn (II) from solution catalysed by the FeOOH (Lepidocrocite) surface: *Geochemica et Cosmochimica Acta*, v. 45, p. 2377 — 2383.
- Şengör, A.M.C. and Yılmaz, Y., 1981, Tetyan evolution of Turkey, A plate tectonic approach, *Tectonophysics*, 75, p. 181 — 251.
- Sibley, D.F. and Gregg, J.M., 1987, Classification of dolomite rock textures. *Journal of sedimentary petrology*, v. 57, p. 967 — 975.
- Sungurlu, O., 1972, VI. Bölge Gölbaşı Gerger arasındaki sahanın Jeolojisi. TPAO Rapor no: 802, yayınlanmamış, Ankara.
- Tromp, S., 1940, Preliminary report on the oil possibilities of SE Turkey, M.T.A. Report, Ankara.
- Yalçın, N., 1976, Narince — Gerger (Adıyaman ili) alanının jeoloji incelemesi ve petrol olanaklarının araştırılması, Doktora tezi, İ.Ü. Tatbiki Jeoloji Kürsüsü.
- Yamamoto, S., 1988, Ferromagnesian and metalliferous pelagic clay minerals in oceanic sediments. In Chilingar, G.V. and Wolf, K.G. eds., *Diagenesis II: Developments of sedimentology*, 43, Amsterdam, elsevier, p. 115 — 146.
- Yamamoto, S., 1992, Diagenetic enrichment of manganese and other heavy metals in hemipelagic brown clay of Palu Trench floor. *Journal of Sedimentary petrology* v. 62, p. 706 — 711.

