

Fosfat Yataklarının Oluşumu ve Araştırılması

İsmet UZKUT*

A — Giriş :

Atom numarası 15 olan fosfor, azot, arsen, antimon ve bizmut ile periodik sistemin 5 inci gurubunda bulunmaktadır. Bu elementlerle kimyasal yönden benzerliklere sahip olmasına rağmen, yerkabuğundaki jeokirnyasal dağılımı oldukça farklıdır.

'Oksijene olan afinitesi çok yüksek olması nedeniyle, tipik litofil elementlerden biridir. Ayrıca metalik ortamda da (demir meteoritlerinde ve erken kristalisasyonun gabro fazında olduğu gibi) siderofil eğilim gösterir (Goldschmidt, 1958).

Öte yandan fosfor, C, H, N, O vb. gibi canlı bünyelerin önemli bir elementidir ve bu özelliği ile biofil bir karaktere sahiptir. Yerkabuğunda ortalama 0,081 % fosfor bulunmasına rağmen fosfor bu özelliği ile 10. uncu sırayı alır (Wedepohl, 1967), canlıların bünyesindeki oranı genellikle 1 % in üzerindedir (Berger, 1963). Bu nedenle fosforun yalnız jeokimyasal değil, aynı zamanda biolojik bir önemi vardır.

Yer kabuğunda bulunan ve 1 % in üzerinde P_2O_5 ihtiva eden minerallerin sayısı 200 ü geçmektedir. Ancak bunlardan en önemlisi apatittir ve şu gene lformülle ifade edilir :

$Ca_5(F, Cl, OH)(PO_4, CO_3)_3$. Normal apatit olarak nitelendirilen fluor apatitidir. Fluor yerine Cl veya OH geldiğinde sırasıyla Klor veya hidroksil apatit adlarını alır. Dişler ve kemiklerdeki ile Brachiopodlardan Lingula'nın kabuğundaki apatit, disroksil apatitidir. Fosfat anyonu kısmen karbonat anyonu ile temsil edilirse, sedimanter fosfatlarda en önemli rolü oynayan fluor-karbonat-apatiti adını alır.

* Dr. Minerolog, M.T.A. Enstitüsü. Ankara.

Yukarıda belirtilen formülde kalsiyum.

Mg, Mn, Sr, Pb, U, Ca, Y ve diğer «nadir topraklar» fosfat anyonu da VO_4^{3-} , $ASiO_4^{5-}$ veya SO_4^{2-} anyonları ile isomorf olarak temsil edilebilir (Liebau & Koritnig, 1970).

Fosfat konsantrasyonlarının eksojenik tersirlerle alterasyonu sonucu (özellikle guano yataklarının) Brushit, Monetit,, Whitelockit, Crandallit, Wavellif, Taranakit, Millisit, Variscit, Strengit v.b. gibi mineraller teşekkül edebilir (McKelvey, 1967).

B — Fosfat yatakları ve oluşumu

Fosfat yataklarını iki grupta toplamak mümkündür :

- 1) Endojen fosfat yatakları
- 2) Eksojen fosfat yatakları

B — T Endojen fosfat yatakları

Özellikle alkali magmatizma esnasında ve nefelin siyenitlerin içinde ekonomik değerde fosfat konsantrasyonlarına rastlanır. Bunlardan en önemlisi, Kuzeyabıt Rusya'daki Kola yarımadası üzerindeki Chibine bölgesinde bulunmaktadır.

Öte yandan «Karbonatit» adı verilen (Tuttle & Gittins 1966, Deans 1968) entrüsyonlara bağlı olarak da, son senelerde önem kazanmaya başlayan fosfat yatakları mevcuttur. Zonal bir yapı gösteren ve en dışta alkali kayaçlar, çekirdek zonunda saf kalker ve dolomitlerden meydana gelen bu «entrüsyon» larda, fosfat konsantrasyonları daha ziyade geçiş zonunda bulunur. Tenörleri 36 % P_2O_5 e yaklaşan bu tip yataklardan en önemliileri Güney Afrika, Uganda, Somali, Tanzania bölgelerinde mevcuttur.

Gerek nefeniin syenit ve gerekse kabona-
titlere bağı olan fosfat yataklarının oluşum-
ları geniş münakaşa konusudur.

B — 2 Eksojen fosfat yatakları

Eksojen alanda meydana gelen fosfatla-
ra genel olarak «fosforit» adı verilir. Fosfo-
ritleri petrografik yönden şu tiplere ayırmak-
tır (Carozzi 1960) :

Primer fosforitler :
kumlu fosforitler
killi fosforitler
glokonili fosforitler
ovolitik fosforitler
oolitik fosforitler
yumrulu fosforitler
iri yumrulu fosforitler
fosfatik tebeşir
oolitik fosfatik tebeşir
Spiküllü veya radiolaryalı fosforitler
Crinoidli fosforitler
Kemik fosforitler (Bone beds)
Kaproilitik fosforit (Pillen-Phosphorit)

Sekonder tipler :
fosfatik gre
fosfatlaşmış kalker
otochton résiduel fosforit
allochton résiduel fosforit

Şekil: 1 Pettijohn'a göre (1957) hazırlanmış ve fosforun yer kabuğundaki devri daimini ve bu alandaki çeşitli konsantrasyon safhalarını göstermektedir,. Buradan ayrıca, Carozzi (1960) tarafından belirtilen çeşitli fosforit tiplerinin oluşum safhaları da tanımlanmıştır

Adı geçen fosfat oluşumları arasında ekonomik değerde olan yalnızca sedimanter ve Guano tipindeki konsantrasyonlardır. Yazımızın konusu bu nedenle özellikle bu yatak tiplerini içine alacaktır.

B.21 Sedimanter fosfat yatakları

B.211 Aktüel fosforit zuhurları

Denizlerin birçok self bölgelerinde 30 ilâ 300 m derinliklerde fosforit oluşumlarına rastlanmaktadır. (Şekil : 2). Genellikle, bu oluşumlar, ince taneli, oolitik. küreler veya daha büyük yumrular halinde bulunurlar. Aynı bölgelerde, nadir olarak fosfatla replase olmuş kalkerlere de rastlanır.

Manganez yumrularının aksine, fosforitler, daha çok iri elemanlı sedimanlara bağı bulunmaktadır. Buradaki sedimantasyon hızı ise, manganezlerde olduğu gibi gene çok yavaşdır.

Bu tür fosfortilerin en önemli minerali kolloidal şekilde ayrılmış ve «kollophan» adı verilen Karbonat - Fluor-Apatittir. Kollofan zamanla ince kristalli apatite dönüşür. Mineralojik bileşimde ayrıca iri klastik elemanlara da rastlanır.

Aktüel fosforitlerin kimyasal bileşimi oldukça sabit bir durum arzeder (Tablo 1). P₂O₅ 22 % ile 30 %, Fluor 3 %-3,31 % arasında değişir. Bu özelliği ile aktüel fosforitler, fosil fosforitlerle ortaktır. Ayırıcı bir özellik ise, oolitik tiplere aktüel fosforitlerde daha nadir rastlanmasıdır (Mero, 1965). Örneğin, Kuzey Amerika'daki permien yaşlı «Phosphoria Formation» unda ooidler başlıca kayaç tipini teşkil ederken, aktüel fosfortilerde bu tipe çok nadir rastlanır.

TASLO : 1

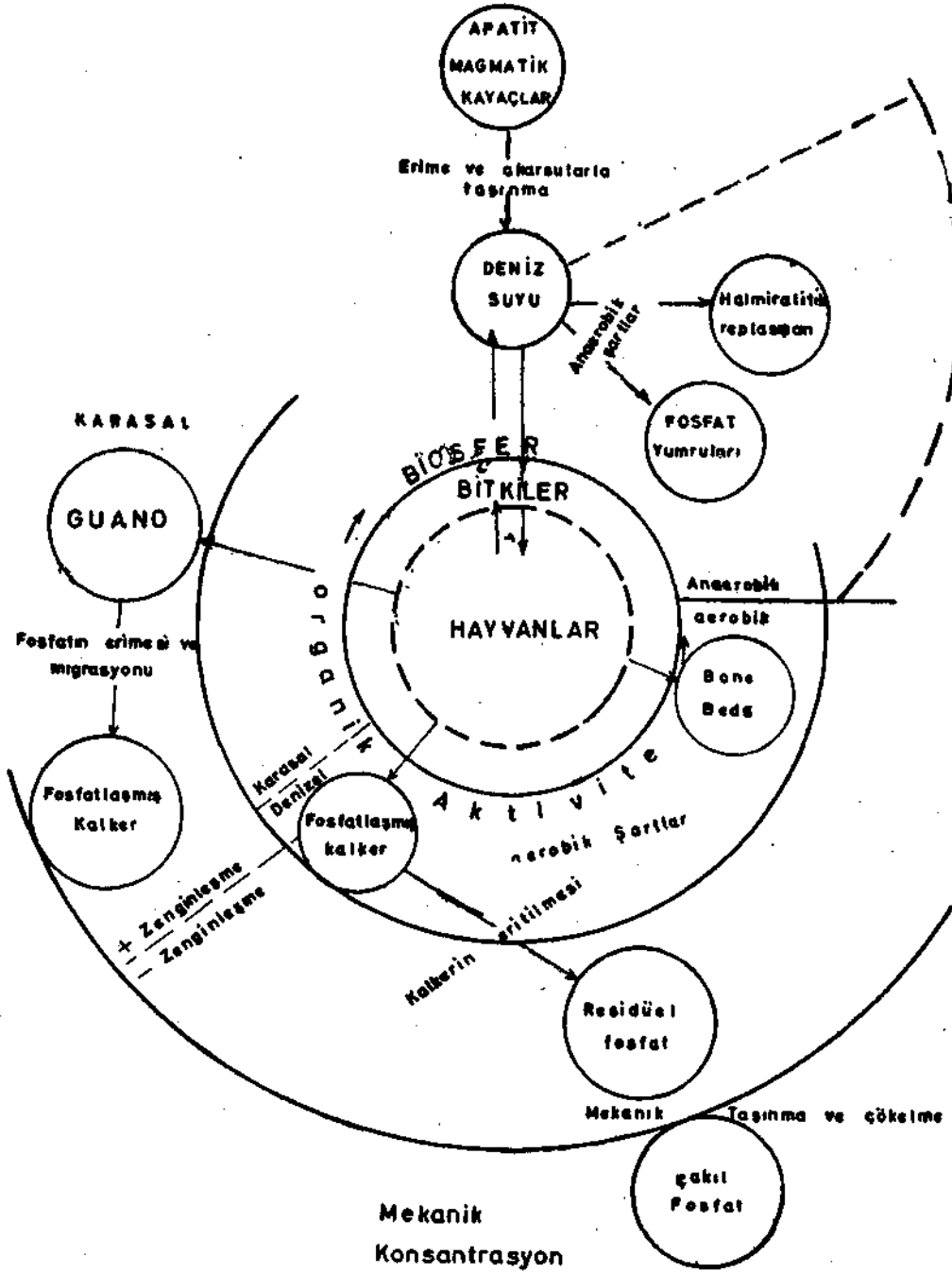
Aktüel fosforitlerin ortalama kimyasal bileşimi (Mero (1965)'daki değerlerden düzenlenmiştir)

CaO: 37-47 1%
P₂O₅ : 22-30 %
CO₂ : 4 - 7 %
F : 3-3,3 1%
MeaQs : 0,4 - 9,4 %
SiQ, + MgCO₃ + H₂O : 2-21 i%

Organik madde : 0,1 - 2,3 %

*Metal oksitler öncelikle Fe, Al, Ti, Mn; U (0,001 i%) ve nadir toprakları içine almak tadır.

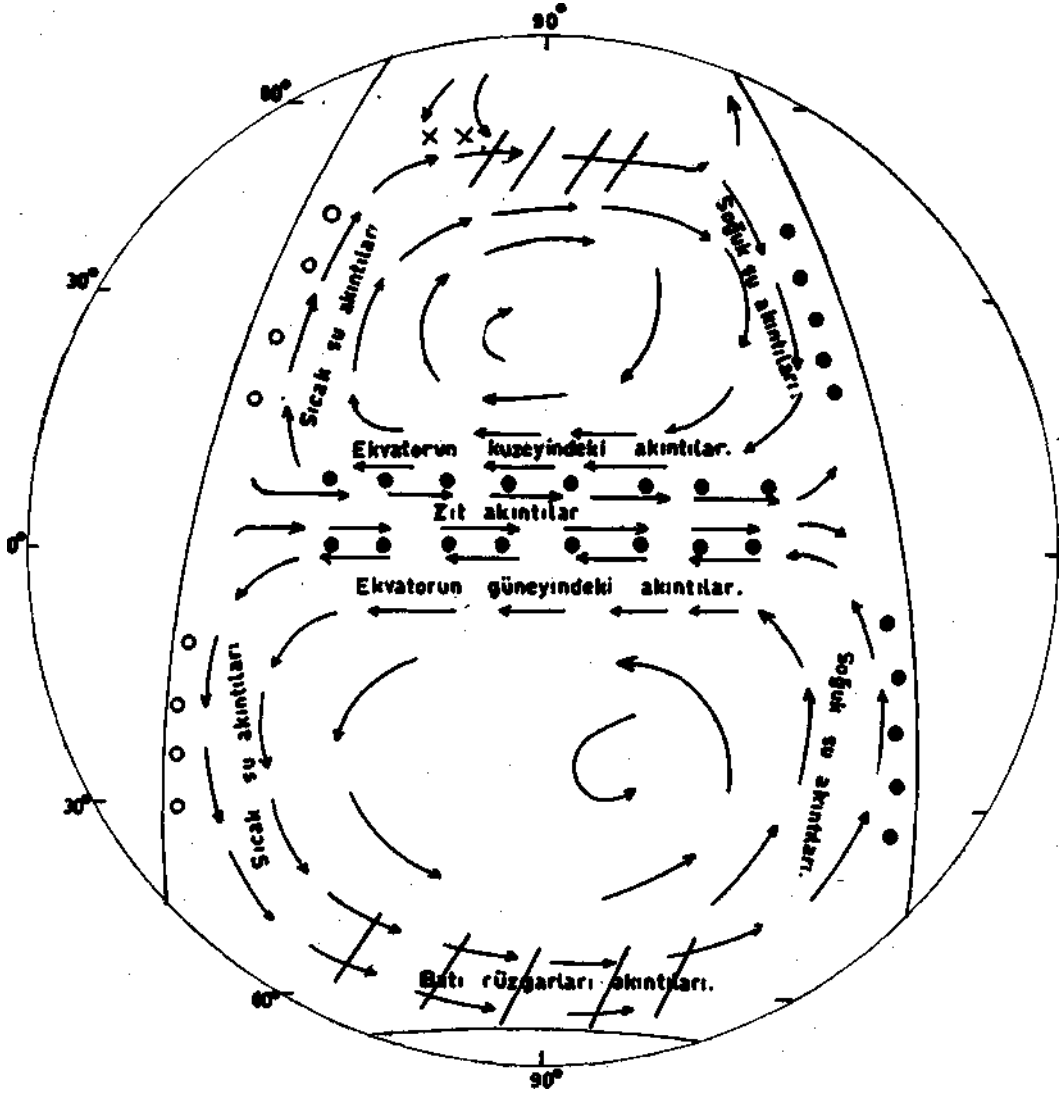
Fosforit jönezi için öriemli olan bir husus, —birkaç istisna hariç—ı bugünkü denizlerdeki fosforitlerin, bol fosforlu ve soğuk su akıntılarının yüzeye çıktığı ve ışığa başladığı self bölgelerinde oluşmakta olduğudur. Soğuk derin deniz suları 0,3 ppm P₀₄, sıcak ve yüzeysel deniz suları ise 30 misli daha az (0,01 ppm P₀₄) ihtiva etmektedirler (McKel-



Şekil : 1 Fosforun yer kabuğundaki devr-i daimi (Pettijohn'a göre) (1957)

Şekil — 2 İdeal bir Okyanusta yüzey akıntıları, besince zengin suların kabarma yerleri ve fosfat Sedimentasyonu

(See 'Fleming 1957)



LEJAND

- Suyun istikametinden saptması veya iki suyun birbirinden ayrılması suretiyle meydana gelen fosfat sedimentasyonu.
- XX İki akıntının Türbülans meydana getirmesi suretiyle meydana gelen fosfat sedimentasyonu.
- Gulf stream, Soğuk ve zit akıntılar sebebi ile meydana gelen fosfat sedimentasyonu (Mekanik çökeltme).
- /// Suyun soğuması v.s sebeplerle meydana gelen fosfat sedimentasyonu.

vey 1967). Ayrıca kalsiyum fosfatın akıntılı deniz suyundaki eriyebilme kabiliyetinin yükselen pH ve sıcaklık ile düştüğü bilinmesine rağmen (Kramer, 1964 ve Roberson, 1966), bu husus fosforitlerin oluşumunu izah için kâfi değildir. Zira 0,3 ppm lik bir PO_4^{3-} aktivitesinde mevcut bilinen pH ve sıcaklıklarda fosforitin anorganik olarak çökmesine imkân yoktur. Hemen hemen herkesçe kabul edilen ortak husus, fosforit oluşumunun organik yollarla olduğudur. Derinlerden gelen ve fosforu bol sular, o bölgedeki organik hayata pozitif yönde tesir etmekte ve mevcut fosfor pitoplankton (Phytoplankton) ve hayvanların kabuklarında fikse edilmektedir. Canlı sayısının, fosfor konsantrasyonuna bağlı olarak aynı oranla yükselmesi sedimana karışan ölü ve bol fosfat ihtiva eden organik madde oranını da yükseltmekte ve bu suretle, dipte bulunan sedimana, diğer bölgelere nazaran daha fazla fosfat dahil olmaktadır.

Sedimana giren ve fosfat ihtiva eden organik maddenin ayrışması sonucu, sediman içindeki pH'nın üstteki deniz suyuna nazaran daha düşük olması nedeniyle fosfatın erime kabiliyeti yükselmekte ve sediman eriyiğine «interstitial water» karışmaktadır. Yapılan analizlerde, sediman eriyiği içindeki fosfat konsantrasyonunun üstteki deniz suyu konsantrasyonuna nazaran 150 misline kadar yükselmiş olması, bu varsayımı doğrulamaktadır. Bruevitsch & Saitzeva (1958), Bering denizi dibindeki sediman eriyiği içinde 2,50 - 7,48 ppm (30-90 misli zenginleşme) ve Hazar denizi kuzeyindeki sediman eriyiklerinde ise 150 misli bir zenginleşme tesbit etmişlerdir. Çeşitli sediman eriyiklerinde, Bushinski (1964) ve Müller (1969) 50-100 mislilik bir konsantrasyondan bahsederler.

Öte yandan Bushinski'ye (1964) göre, sediman eriyikleri içindeki en yüksek fosfat konsantrasyonlarına 30-300 m derinliklerde rastlanmaktadır. Ki bu derinlikler de aktüel fosforit oluşumlarının rastlandığı bölgelerdir (Mero 1965). Herhalde bu durum fosil fosfat oluşumları için de geçerli sayılmalıdır.

Özetlersek, mevcut veriler, aktüel fosfat oluşumlarının, fosfatı nisbeten bol derin deniz akıntılarında ancak endirek olarak bağlı

bulduğunu göstermektedir. Ayrıca bu verilerden, fosforit oluşumunu tayin eden, daha çok sediman içindeki fizikoşimik ve petrojenetik şartların olduğu anlaşılmış bulunmaktadır. Sedimanda organik maddelerle giren fosfat, bu maddenin ayrışması esnasında sediman eriyiğine (interstitial water) karışmakta, ya konsantrasyon fazlaşması nedeniyle kalsiyum fosfat olarak sediman-deniz suyu geçişinde ayrışmakta veya sediman içindeki kalker komponentlerini replace etmektedir (Bushinski, 1964 ve Youssef, (1965).

Aktüel fosforitlerden en iyi araştırılmış olanı Kaliforniya açıklarındaki fosforit oluşumlarıdır. Bu nedenle bu konuya biraz daha detaylı girilecektir.

D' Anglejan (1967)'nin yaptığı çalışmalara göre, fosforitli bölüm, 80 km genişliğindeki ve ancak 200 m derinliğe kadar uzanan 13.000 km^2 lik bir alanı kaplamaktadır. Relyef monotondur. Öncelikle ilkbaharda fosforitli bölgeye derin deniz suları ile toplam olarak $7 \cdot 10^{16}$ ton P_2O_5 taşınmaktadır. Bunun ancak $3 \cdot 10^3$ tonu fitoplanktonlarla fikse edilerek sedimana ulaşabilmektedir. Yazarın yaptığı tahmine göre, bu bölgede son 0,5-1 Milyon yılda toplam olarak $1,5-3 \cdot 10^9$ Milyon ton P-A çökelmiştir.

Fosforit tanecikleri ince kum ve silt matrisi içinde bulunurlar ve irilikçe matrisde aynı özelliği taşırlar. İki türlü fosforit tipine tesadüf edilmiştir :

a) Koyu renkli, hiçbir tekstür göstermeyen ve yumurta biçimli kaprolitler (irilik 0,125-0,25 mm arasında),

b) biojen menşeli ve iri fraksiyonlar içinde bulunan yumrular Bu yumruların çoğunluğu yassı biçimlidir ve brakyopod kabuklarından oluştuğu kabul edilmektedir.

En yüksek apatit oranına (15-40!) 50 ile 100 m derinliklerde rastlanır. 100 m yi geçen derinliklerde ince ve çamurlu sedimanların hakim olduğu bölümlerde apatit oranı 5 % in altına düşer.

Gene 100-200 m derinliklerde bulunan submarin eşikler üzerinde serpinti halinde kalsitin apatit ile replace olması sonucu oluş-

muş fosforit yumruları bulunur. Bu kalkerler genellikle miyosen yaşlı formainifer kalkerleridir.

Fosforit oluşumunun halen devam etmekte olduğuna dair bir emare mevcut değildir. Alınan numunede yapılan bir C^{u} analizi 10^5 yıllık bir yaş ortaya koymuştur.

D' Anglejan (1967), Ames'in (1959) eksperimental çalışmasına dayanarak (bu çalışma ile eriyikte bulunan en az PO_4^{3-} konsantrasyonlarının bile kalkeri replace edebileceği gösterilmiştir), kaliforniya fosforit oluşumunu, sediman erylği içinde bulunan fosfatın kalkeri replace etmesine başlamaktadır.

Etrafı fosfat ayrışımı ile çevrelenmiş silt taneciklerinin bulunması, ayrıca, doğrudan bir sakınca mevcut değildir (Tablo : 1). Kaldı ki, 0/4-9,4 % oranında bulunan metal oksitlerden de (özellikle nadir topraklar) faydalanma olanağı mevcuttur. Öte yandan fosforitlerin bulunduğu kıyı bölgeleri için taşıma problemi de ortadan kalkmış olmaktadır.

Rezervler de oldukça olumlu bir durum arzeder : Mero'ya göre (1965), denizlerimizde mevcut fosforit miktarı toplam olarak 300 milyar tonu bulmaktadır. Bu miktarın ancak 10 % işletilebileceği kabul edilse bile ortaya 30 Milyar tonluk bir rezerv çıkmaktadır ki, bu da 1970 üretimi ile dünyanın 600 senelik ihtiyacının karşılanması demektir.

Diğer yönden, halledilmesi lâzım gelen sarsılmaz teknik problemler mevcuttur. Bu konuda araştırmaların halen yürütülmekte olmasına rağmen, gerek karalardaki fosfat rezervlerinin bolluğu ve gerekse fosfat fiyatlarının düşüklüğü nedeniyle, bu rezervlerin ancak ikibin senesinden sonra değerlendirileceği kabul edilmektedir.

Bu değerlendirmeyle, dünya endüstrisinin aktüel fosforitler içinde nispeten bol olan flor ve nadir topraklara olan ihtiyacının hızla yükselmesi de geniş ölçüde etkilenecektir.

B.212 Fosil fosfat yatakları

Fosil fosfat oluşumlarına Prekambrienden Terslere kadar bütün jeolojik formasyonlarda rastlanır.

doğruya' bir fosfat ayrışmasının mevcut olduğunu göstermektedir.

Sozkonusu fosforit oluşumlarına, bugünkü deniz diplerinde Georgis'ya yakın bölgelerde (Pevear & Pilkey, 1966; Pilkey & Lu, ternauer, 1967) ve kuzeybatı Afrika kıyı şelfinde (Tooms & Summerhayes, 1968) de rastlanmıştır. Fakat bu oluşumların, daha çok tersiyer yaşlı fosforit konsantrasyonlarının römaniye olması sonucu meydana geldikleri genel olarak kabul edilmektedir.

Özellikle son senelerde, aktüel fosfat yataklarının ekonomik değeri ve değerlendirmesi hakkında çalışmalar başlanmıştır. (Mero 1965; Halbach, 1971). Esasen, kimyasal bileşim yönünden böyle bir değerlendirme için

Bu yataklar için mevcut geniş literatürden en önemli olarak Salvan (1952), Ruhlman (1958), Gimmelfarb (1965), McKelvey (1967), Zanin ,(1969)-, Bushinski (1969) ve ikinci baskısı yapılan ve «British Sulphur Corporation tarafından yayınlanan «World survey of phosphate deposits» yayınlarını zikredebiliriz.

McKelvey (1967)'e göre, fosil fosfat yataklarının çoğunluğu, jenez yönünden aktüel fosfat yatakları ile aynı olması gereken sedimanler menşelidir.

Gittikçe derinliğini kaybeden bis self zonu üzerinde soğuk ve kıyı yönünde akan derin deniz akıntıları ısınmakta ve bu esnada gelen fosforun deniz canlıları ile fikse edilip sedimantasyona dahil edilmesi ile derin denizden kıyaya doğru şırı petrografik üniteler çökelmektedir :

- Koyu renkli linyitli kil
- Fosfatik kil
- Fosforit ve dolomit
- Chert ve diatomit
- Çeşitli karbonat fazies tipleri
- Salınar çökeltiler ve kırmızı veya açık renkli gre ve killer.

Söz konusu sediman tipleri aynı zamandan çökeldikleri gibi yanall geçişlidirler. Sensedimenter epirojenetik olaylar nedeniyle aynı sıraya dikey yönde de rastlamak mümkündür.

En kalın ve en ekonomik fosfat oluşumlarına jeosenklinal bölgelerinde ve linyitli kil-

ler ve chertlere fazieslerde rastlanır. Bunun için en tipik örnek, Rusya'daki kambrien yaşlı Kara-Tau fosfat yataklarıdır (Bushinski, 1964).

A.B.D. de en büyük fosfat rezervlerinin bulunduğu permien yaşlı «Phosphoria Formation»unda ise fosfortiler genellikle silisli kayalara (Rex chert member) ve linyitsiz silt ve kil sedimanlarına bağlı olarak bulunur (McKelvey et al. 1959).

Aynı fazies durumlarını, Kaliforniya'daki miosen yaşlı «Monterey» formationunda (Dickens, 1966), Kuzey Alaska'daki Misisipien ve trias yaşlı formasyonlarda (Patton & Matzko, 1959). Meksiko'daki jura yaşlı La Ca ja ve La Casita formasyonlarında (Rogers et al. 1961) Peru'nun «Sechura» gölündeki miosende (Harrington et al. (1966) ve kuzey Afrika'daki kretase ve eosen yaşlı büyük fosfat yataklarında rastlamak mümkündür.

McKelvey (1967)'e göre soğuk su akıntılarının indirekt tesiri ile oluşan fosfat konsantrasyonları, genellikle koyu renkli kil ve chertlerle fazies değişimi olan fosfatik kalker ve grelerden müteşekkildir. Aynı yazara göre ekonomik değerdeki fosfat konsantrasyonları, bu tip fosfatik çökeltilerin submarin alterasyon ve yıkanması sonucu meydana gelebilir. Bu durum en bariz şekilde Florida'daki pliosen yaşlı «Bone Valley» formasyonunda (Altschuler et al. 1964), Georgia ve Florida'daki miosen yaşlı fosfat yataklarında (Sever et al. 1967), Kuzey Karolina'daki miosen yaşlı «Pungo River» formasyonunda (Kimrey 1965), Brezilya'daki Recife bölgesindeki «Graname» formasyonunda (Harrington et al. 1966) rastlanmaktadır.

Bu çeşit ekonomik değerdeki fosfat oluşumları ayrıca, yüksek fosfor getiren ırmak ağzlarında (Estuary) da meydana gelebileceği kabul edilmektedir¹ (McKelvey, 1967). Burada da fosfor konsantrasyonunun yükselmesi, fosforit oluşumunda indirekt bir rol oynamaktadır.

Bunlardan başka, alterasyon yoluyla, résiduel ve alterasyon fosfat oluşumları da mümkündür (örneğin Florida ve Güney Carolina'daki «river pebble deposits» ve Ten-

nessee'deki «white rock» ile Bone Valley fosfat yatağının «leached zone»u).

B.22 Guano yatakları

Deniz kuşlarının ekskrementlerinden oluşan Guano yataklarına Özellikle ekvator yakınındaki sahil bölgelerinde ve adalarda rastlanır. (Aşağı Kaliforniya'nın batı sahilleri, Güney Amerika ve Afrika). Bu konsantrasyonlar genellikle birkaç yüzbin tonluk oluşumlardır.

McKelvey'e (1967) göre, taze kuş ekskrementleri 22 % N ve 4 % P_2O_5 ihtiva ederler. Ayrışma sonucu H havaya karışmakta ve artık maddede P_2O_5 oranı giderek yükselerek 10-12 % bulur. Bu alterasyon jeolojik zamanlarla gittikçe yoğunlaşarak 20-32 % lik P-A değerlerine varabilir.

Guano fosfatlarının mineralojisi oldukça karışıktır. Az ayrılmış olanlarında suda eriyebilen Amonyum ve Alkali okzalatlara, sülfatlara ve nitratlar ile çeşitli Mg-NH₄-fosfatlara rastlanır. Fosil ve şiddetli altere olmuş olanları öncelikle Kalsiyum fosfattan müteşekkildir (Örneğin Monetit ve Whitlockit).

Az yağışlı bölgelerde, Guanodaki fosfat alttaki ana kayaca taşınmakta ve burada çeşitli boşlukları doldurduğu gibi kayacı replace edebilmektedir. Aradan jeolojik zamanların geçmesi sonucu büyük kayaç kitleleri fosfatlaşabilmektedir. Batı Pasifik'teki Nauru adasında tenörü 39% P_2O_5 olan ve rezervi 90 Milyon ton olan (Hutchinson, 1950) bu tip bir fosfat yatağı mevcuttur.

Öte yandan bu çeşit oluşumların mineralojisi, alttaki ana kayacın petrografik yapısına bağlı bulunmaktadır. Ana kayaç, kalker ise, kalsiyum fosfat, silikat ise alüminyum fosfatlar meydana gelmektedir.

Bundan başka, Milattan önceki zamanlarda Göreme çevresindeki mağaralardaki güvercin artıklarından gübre olarak faydalandığı bilinmektedir.

C — Fosfat yataklarının araştırılması ve değerlendirilmesi :

C.1 Prospeksiyon

Fosfat yatakları prospeksiyonu herşeyden önce jenetik tipe göre /değişmek zorunlu-

ğundadır. Endojen yataklarda uygulanan prospeksiyon metodları Deans (1968) tarafından detaylı olarak belirtilmiştir. Guano yataklarındaki araştırmalar için de Warin (1968) in çalışmasını salık veririz. Biz, öncelikle gerek yurdumuz ve gerekse dünya fosfat üretimi için en önemli jönetik grubu teşkil eden sedimanter fosfat yataklarındaki prospeksiyon usüllerinden bahsetmekle yetineceğiz.

Sedimanter fosfat yataklarının prospeksiyon çalışmaları öncelikle şu temellere dayanmak zorundadır :

1 — Sedimanter fosfat yatakları marin bir ortamda oluşurlar. Fosfat teşekkül eden basenin açık denize açık olması gereklidir. Öte yandan, fosfat teşekkülünün karalardan gelen detritik materyalle ilişkisi yoktur.

2 — Ekonomik değerli fosfat horizonları genel olarak, sedimantasyon hızı en az olan bölümlerde meydana gelir. Örneğin Togo'daki fosfat yatağında ekonomik değerdeki bölümlerdeki kalınlık 10 m iken, bu diğer bölümlerde 100 m ye kadar kalınlaşmakta ve tenor de aynı oranda azalmaktadır (Slanski, 1968). Diğer bir deyimle, fosforit oluşumu için uzun zaman gerekir ve bu zaman içindeki oluşum şartlarının da sabit kalması şarttır.

3 — Buradan hareket ederek, fosforit yataklarına magmatik ve tektonik aktivitenin az ve hafif olduğu jeolojik zamanlarda rastlandığı söylenebilir. Tektonik genellikle senjönetik karakterdeki epirojönetik kırılmardan ve nadiren de mahdut entansiteli kıvrılma olaylarından ileri geçmez.

4 — Mevcut bilgiler dayanılarak, fosforit oluşumu için gerekli şartların hangi jeolojik zamanlarda ve dünyanın hangi bölgelerinde olduğu ortaya çıkarılmış bulunmaktadır. (Strakhov, 1960; Freas, 1968). Bu zamanları, genel olarak, iki şiddetli örojenez arası ve peneleşme fazları olarak nitelendirebiliriz. Fosforit oluşumu esnasında iklimin ayrıca humid olduğu ve kutuplarda da buzul kütlelerinin mevcut olmadığı veya çok az olduğu kabul edilmektedir.

Sedimanter fosfat yataklarının prospeksiyonuna literatürde geniş yer verilmiştir. (Gim-

melfarb, 1962; McKelvey, 1968; Slansky, 1968; Notholt, 1968; Freas & Eckstrom, 1968, v.b.). «case history» olarak nitelendiren ve bir yatağın bulunuşundan değerlendirilmesine kadar devam eden araştırmaları özetleyen neşriyatta önemli bir yer tutar (Sheldon, 1964; Rüssel, 1968, Cathcart, 1968; v.b.).

Sedimanter fosfat yatakları prospeksiyonunda genel olarak şu sistem uygulanmaktadır :

1 — İlgili bölge hakkındaki bilinen bütün bilgi değerlendirilir (jeolojik araştırmalar, sondaj loğları, diğer madenleri ilgilendiren raporlar v.s.). Buradan fosfat oluşumuna en uygun bölgeler ortaya çıkarılır.

2 — Fosfat ümitli bölgenin büyüklüğüne göre 1/25 000 lik veya 1/50 000 lik fotojeolojik haritası yapılarak, jeolojik formasyonların yönüerv eğimleri ve tektonik yapıları ortaya çıkarılır.

3 — Fosfat ümitli jeolojik formasyonur, yönüne elik yönde, helikopter veya uçaklarla radioaktivite ölçme uçuşları yapılır ve anomaliler ißsbit edilerek jeolojik haritaya aktarılır. • (Bilindiği gibi sedimanter fosfat 50-200 ppm (Wassermann et al. 1963) arasında uranyum ihtiva ederler ve bu özellikleri ile diğer formasyonlardan ayrılırlar). Ancak radioaktivite ölçülerinin başarısı için, fosfatlı seviyenin aflöre olması gereklidir. Örtülü . fosfat horizonları genellikle hiçbir radioaktivite anomalisi vermez (Würzburger, 1968). Bu nedenle, anomaliler ortaya çıkmamış olsa dahi çalışmalara devam edilmelidir.

Öte yandan, bitümlü horizonlar da hemen hemen aynı oranda uranyum ihtiva ettikleri için, kontaminasyon tehlikesi mevcuttur.

4 — Uçuş traversleri, jeolojik haritalama ile kontrol edilir ve tesbit edilen petrografik ünitelerin P_2O_5 muhtevaları yarı kantitatif metotlarla araştırılarak haritaya aktarılır. Bu yönde en çok uygulanan ' metod «Shapiro» testidir (Roseveare, 1966).

Bu prospeksiyon çalışmaları sonucu, fosfat horizonlarının yanall yayılımı ortaya çıkarılmış ve ekonomik olarak en ümitli bölüm sınırlanmış olmaktadır. Bunu, sınırlanan bölge içindeki detay çalışmalar izler.

C. 2 — Detay etüdler

Jeolojik ve jeofizik çalışmalar sonucu ortaya çıkarılan en ümitli alanda yapılan araştırmalar iki grupta toplanır :

a) Arazi çalışmaları,

1 — Topografik harita alma

Ümitli alanın büyüklüğüne göre, bölgenin 1/10 000 veya 1/5000 lik topografik haritası yapılır. Bu gerek rezerv hesabı ve gerekse öngörülen kuyu, galeri, yarma ve sondaj yerlerinin tesbiti yönünden gereklidir.

2 — Kuyu, galeri ve yarma faaliyetleri

Bu çalışmaların amacı, sınırlanan bölge içindeki tenor ve rezerv dağılımı dekapaj kalınlığını, tesbit ederek ekonomik bir işletme plânına temel hazırlamaktır. Önce alan içinde bir dekapaj sistemi hazırlanır ve bu sisteme göre alan yarma, galeri, kuyu ve sondajlarla tahkik edilir. Kuyularla ulaşılamayacak derinlikler için sondaj yapılır. Numune miktarının düşüklüğü, masrafların yüksek olması, nedenleriyle sondaj ancak özel hallerde ve öncelikle fosfat horizonunun derinlerdeki devamlılığını tahkik için uygulanır.

Karelaaj aralığı, ilgili yatağın

- Yatak tipine
- Tektonik durumuna
- Kalınlığına ve kalınlık değişimine
- Tenörüne ve tenor değişimine
- Beklenen dekapaj kalınlığına
- Bölgedeki işçi ve enerji fiatlarına ve fosfat fiatlarına göre değişir ve bu faktörlerden hareket edilerek en optimal aralık hesap edilir.

Fosfat horizonunun derine kaçan bölüm lerini tahkik(için özellikle İsrail'de jeoelektrik metodlar da uygulanmıştır (Würzburger, 1968). Fakat elde edilen bilgilerin sıhhat derecesinin düşüklüğü ve masrafların yüksekliği nedeniyle nadiren uygulanır.

Yapılan her kuyu, yarma ve galeri için bir profil alınır ve bu profilde,

- Her petrografik ünitenin makroskopik niteliği

— Cevher kalınlığı ve yapısı

— Dekapaj kalınlığı

belirtilir ve haritaya aktarılarak koordine edilir.

3 — Numune alma

Her yarma, galeri ve kuyudaki cevherli zondan,

— Kimyasal bileşimi

— Mineralojik yapısı

— Zenginleştirme testleri yapmak gayesiyle numune alınır. Oluk numuneleri tercih edilir. 10 cm x 10 cm x seviye kalınlığı en çok tercih edilen numune boyutlarıdır.

Cevherli zon dışındaki her petrografik üniteden bir¹ numune alınarak petrografik ve mineralojik tayini yapılır.

Numune almada dikkat edilecek diğer bir husus, tabii aflörmanlar ile taze yeni kazılmış aflörmanlar arasındaki tenor farkıdır. Tabii aflörmanlarda genellikle P_2O_5 tenörü diğerlerine nazaran oldukça düşüktür ve bu sebepten, daima taze aflörmanlardan numune almak gerekir. (Özellikle sıcak ve yağışsız iklimlerde rastlanan bu durum, kapillar yoluyla SO_4 ve Na tonlarının yeryüzüne taşınması ve tenörü düşürmesi sonucu ortaya çıkmaktadır).

b) Laboratuvar çalışmaları :

1 — Kimyasal analizler : Cevherli zondan alınan her oluk numunesinin bir kimyasal analizi yapılır ve bu analizde su komponentlerin oranları tesbit edilir :

P_2O_5 , SiO_2 , Al_2O_3 , FeA , CaO , SrO , BaO , MgO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , MnO , SCh , F , Cl , UA , Y_2O_3 , CO_2 , C , H_2O \ H_2O -.

2 — Mineralojik tayinler : Her petrografik ünitenin bir mineralojik ve petrografik tayini yapılır. Özellikle cevherin mineralojik yapısı mikroskopik ve röntgenografik tayinlerle ortaya çıkarılmaya çalışılır. Bu arada dekapaj bölümünün fiziksel ve kimyasal özellikleri de tayin edilir.

3 — Elek analizleri : Cevherin tane dağılımı ve buna bağlı olan tenor değişimi, zenginleştirme için büyük önem taşır. Bu yolla

özellikle mekanik zenginleştirme için en optimal tane büyüklüğü ortaya çıkarılır ve zenginleştirme testlerinde uygulanacak kırma, öğütme ayırma ameliyeleri buna göre ayarlanır.

Elek analiz sayısı, cevherin yanal yönde gösterdiği tenor ve mineralojik değişme durumuna göre ayarlanır. Fakat her cevher numunesi için bir elek analizi en ideal olanıdır.

4 — Zenginleştirme testleri : Cevher hakkında ortaya çıkarılan mineralojik, kimyasal elek analizleri sonucuna göre en uygun zenginleştirme metodu tesbit edilir. Bu önce laboratuvar çapında, detay etüd çalışmaları sonunda pilot çapta tecrübeler çerçevesi içinde uygulanır. Söz konusu cevherin zenginleştirilmesi için en uygun kırma, öğütme ve separasyon kombinasyonu tesbit edilir. Kalker gangli fosfatlar içinde kalsinasyon metodu aynı şekilde tecrübe edilir. Flotasyon, masraflı olması nedeniyle ancak özel hallerde uygulanır (bak. Ö. Ayışkan, Fosfat cevheri zenginleştirilmesi ve Türkiye için önemi).

c) İşletme ve değerlendirme :

Arazi ve laboratuvarında yapılan detay etüdier sonucu, fosfatlı bölgedeki rezerv ve tenor dağılımı ile dekapaj durumu ve buna ilâve olarak cevherin mineralojik, kimyasal ve teknolojik özellikleri ortaya çıkarılmış demektir. Bu sonuçlar bir «fizibilite etüdü» çerçevesi içinde değerlendirilir.

Bu değerlendirmenin temeli, elde edilecek konsantrenin şu şartları taşıyacak durumda olmasıdır (Putzer, 1968).

enaz 58 % Trikalsiyum fosfat (26,6 % P_2O_5)

En çok 5 % $CaCO_3$

En çok 3 % $AlaOy$

En çok 3 % F^Cfe . Yapılan arazi ve laboratuvar çalışmalarına dayanılarak bu bileşimdeki bir konsantre için elverişli bölümler tesbit edilir ve bir işletme planına işaretenir.

Öte taraftan eldeki mevcut bilgilere dayanılarak, ekonomik bir işletmeye elverişli bir dekapaj sınırı tesbit edilerek işletme planına işlenir. «Kritik dekapaj» adı verilen bu

değerin hesaplanmasında öncelikle şu faktörler gözönüne alınır :

- Öngörülen işletme metodu,
- Dekapajdaki kayaçların fiziksel ve petrojenetik özellikleri ve dekapaj masrafları,
- Cevher kalınlığı ve tenörü,
- İşçilik ve enerji ücretleri,
- Bölgedeki nakliye ücretleri,
- Fosfat fiyatları.

Ekonomik bir değerlendirme için dayanan temel, işletme maliyetinin tüvenan fosfat fiyatının en çok yarısını geçmemesidir.

İşletmede açık işletme esastır. Yeraltı işletmesinin de uygulandığı, bilinmektedir (Mısır Tunus ve İsrail'de olduğu gibi).

BİBLİYOGRAFİK TANITIM

ALTSCHULER, Z. S., CATCHART, J. B. & E. J. YOUNG (1964): Geology and geochemistry of the Bone Valley formation and its phosphate deposits. Geol. Soc. Amer. ann. Meet., Miami Beach 1964. Guidebook, field trip 6 m 68 sahife.

AMES, L. L. (1959): The genesis of phosphate deposits. Econ. Geol., 54, S. 829-840.

BERGER, I. A. (1963): Organic Geochemistry. Symposium Publ. Div., Pergamon Press, Oxford - London - New York - Paris, 658 sahife.

BRITISH SULPHUR CORPORATION (1970). A world survey of phosphate deposits (3rd ed.). The British Sulphur Corp., Ltd., London.

BRUEVTRCH, S. V. & E. D. SAITZEVA (1958) • On the chemistry of the Bering Sea sediments. Pap. Inst. Oveanol., 26, 8 - 108.

BUSHINSKI, G. I. (1964): On shallow water origin of (phosphorite sediments. L.M.J.U. van Straaten (ed., 1964), Deltaic and shallow marin deposits, Elsevier Publ. Co., Amsterdam, kitabında sahife 62_70.

BUSHINSKI, G. I. (1969): Old phosphorites of Asia and their genesis. IPST, Jerusalem, 266 sahife.

CAROZZI, A. (1960): Microscopic sedimentary petrography. Wiley & Sons, New York - London, 485 sahife.

CATHCART, J. B. (1968): Phosphate exploration in Colombia. UN Mineral Resources Div. Series No. 32, S. 248 - 255.

- D'ANGLEJAN, B. F. (1967): Origin of marine phosphorites off Baja California, Mexico. *Marine Geology*, 5, s. 15 - 44.
- DEANS, T. (1968): Exploration for apatite deposits associated with carbinatites and pyroxenites. U. N. Mineral Resources Div., Series No. 32, S. 109-118.
- DICKERT, P. F. (1966): Tertiary phosphatic facies of the Coast Ranges. E. H. Bailey (1966): *Geology of Northern California*, California Div. Mines and Geol. Bull., 190, sahife 289-304.
- FREAS, D. H. (1968): Exploration for Florida phosphate deposits U. N. Mineral Resources Div. Series No. 32, s. 187 - 200.
- FREAS, D. H. & ECKSTROM, C. L. (1968): Areas of potential upwelling and phosphorite deposition during Tertiary, Mesozoic and late Paleozoic time. U. N. Mineral Resources Div., Series No. 32, s. 228 - 238.
- GIMMELFARB, B. M. (1962): Fosforit nedir, nerede ve nasıl aranır (rusca). *Gosgeolteohisdat*, 2. Baskı, Moskova, 19 sahife. (1965): *Sovyetler Birliği'ndeki fosforit yataklarının Nedra, Moskova*, 307 sahife.
- GOİDSCHMIDT, V. M. (1958): *Geochemistry*. Oxford at the Clarendon Press, 730 sahife.
- HALBACH, P. (1971): *Konkretionaere Bodenbildungen als nutzbare Mineral-rohstoffe im Meer. Bergbau - Wiss.*, 18, s. 221-227.
- HARRINGTON, J. F., WARD, D. E. & V. E. McKELVEY (1966): Sources of fertilizer minerals in South America, a preliminary study. U.S. Geol. Surv. Bull., No. 1240, 66 sahife.
- HUTCHINSON, G. E. (1950): The biochemistry of vertebrate excretion. *Amer. Mus. Nat. Hist. Bull.*, 96, 554 sahife.
- KIMREY, J. O. (1965): Description of the Pungo River formation in Beaufort County, North Carolina. N. Carolina Dept. Conserv. Develop. Div.)Miner. Resources Bull., 79, 131 sahife.
- KRAMER, J. R. (1964): Sea water saturation with apatites and carbonates, *Science*, 146, s. 637-638.
- LIEBAU, F. & S. KORITNIG (1970): Phosphorus. K. H. Wedepohl (1970), *Handbook of geochemistry*, volume II - 2.
- McKELVEY, V. E. (1967): Phosphate deposits. Contributions to economic; geology. U.S. Geol. Surv. Bull., 1252 - D, s. 1 - 21.
- MsKELVEY, V. E. (1968): Successful new techniques in prospecting for phosphate deposits. U. N. Mineral Resources Dev. Series No. 32, S. 207-211.
- McKELVEY, V. E. et al. (1959): The Phosphoria Park City and Shedhorn formations in the Western Phosphate Field. U.S. Geol. Surv., Prof. Pap., 313 - A, s. 1 - 47.
- MERO, J. L. (1965): The mineral resources of the sea. Elsevier Publ. Co., Amsterdam, 312 sahife.
- MÜLLER, G. (1969): Diagenetic changes in interstitial waters of holocene Lake Constance sediments. *Nature*, 224, s. 238 - 239.
- NOTHOLT, A. J. G. (1988): Phosphate exploration techniques. U. N. Mineral Resources Dev. Series No. 32, S. 214-228.
- PATTON, W. W. & J. J. MATZKO (1959): Phosphate deposits in Northern Alaska. U.S. Geol. Surv., Prof. Pap., 302 - A, s. 1 - 17.
- PETTIJOHN, F. J. (1957): *Sedimentary rocks*. Harper & Broth., New York, 718 sahife.
- PEVEAR, D. R. & O. H. PILKEY (1966) : Phosphorite in Georgia continental shelf sediments. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 77 s. 849-858.
- PILKEY, O. H. & J. L. LUTERNAUER (1967) : A (North Carolina shelf phosphate deposit of possible commercial interest. *Southern Geol.*, 8, s. 33-51.
- PUTZER, H. (1968): *Industrie - Minerale. A. Bentz & H. J. Martini (1968), Lehrbuch der angew. Geologie Bd. 2, Tl. 1, F. Enke, Stuttgart, kitabından.*
- ROBERSON, C. E. (1966): Solubility implications of apatite in sea water. *Geol. Surv. Res. 1966 kitabından. U.S. Geol. Surv. Prof. Pap.*, 550 - D, *β*. 178-185.
- ROGERS, C. L. et al. (1961): Meksika fosfat yatakları (ispanyolca). *Mexico Consejo Recursos Nat. no Renovales Bol.*, 56, 322 sahife.
- RUHLMANN, E. R. (1958): Phosphate rock pt. 1; Mining, beneficiation and marketing. U.S. Bureau of Mines Inf. Cire, 7814, 33 sahife.
- RÜSSEL, R. T. (1968): Discovery of major phosphate deposits in NW Queensland, Australia. U. N. Mineral Resources Dev. Ser. No. 32, s. 241 - 248.

- SALVAN, H. (1952): Phosphates. **Géologie des gîtes minéraux marocains** notes et mémoires, No. 57. Div. des Mines et de la Géol. du Maroc, s. 283-320.
- SHAPIRO, L. (1952): Simple field method for the determination of phosphate in phosphate rocks. *Amer. Miner.*, 37, S. 341-342.
- SEVER, C. W. et al. (1967): Phosphate deposits of south central Georgia and northcentral Florida. Georgia Dept. Mines, Min. Geol., S. Georgia Minerals Prog. Proj. Rep. No. 7, 62 sahife.
- SHELDON, R. P. (1964): Exploration of phosphorite in Turkey. - A case history. *Econ. Geol.*, 59, S. 1159-1175.
- SLANSKY, M. (1968): General rules for prospecting for sedimentary phosphates. U. N. Mineral Resources Dev. Series No. 32, S. 211 - 214,
- STRAKHOV, N. M. (1980): Climate and phosphate accumulation. *Econ. Geol. USSR*, Nos. 1-2, s. **1.13**.
- TOOMS, J. S. & C. P. SUMMERHAYES (1938) : Phosphatic rocks from the Northwest African continental shelf.
- TUTTLE, O. F. & J. GITTINS (1966): Carbonatites. Wiley & Sons, London, 460 sahife.
- WARIN, O. N. (1968): Deposits of phosphate rock in Oceania. U. N. (Mineral Resources Dev. Ser. No. 32, s. 124-132.
- WASSERMANN, M. et al. (1968): Recherches concernant l'état de santé des travailleurs des mines de phosphates de la zone tropicale et subtropicale. Proc. XIV. internat. Congr. Occup. Health Madrid.
- WEDEPOHl, K. H. (1967): Geochemie. Sammlung Göschen, Bd. 1224 -1224 b, 220 sahife.
- WÜRZBURGER, U. (1968) : A survey of phosphate deposits in Israel. U. N. Mineral Resources Dev. Ser. No. 32, s. 152 -165.
- YOUSSEF, M. T. (1965) : Genesis of bedded phosphates *Econ. Geol.*, 60, s. 590 - 600.
- ZANIN, Y. N. (1969) : Geology of the phosphate crusts of weathering and associated phosphate deposits.