

TİTANYUM MİNERAL YATAKLARI, KAYAÇLARDA TİTANYUM İÇERİĞİ VE BÖLÜMLENMESİ

Titanium mineral deposits, titanium contents and titanium partitioning in rocks

Ali Haydar GÜLTEKİN İTÜ Maden Fakültesi, Maslak-İSTANBUL

ÖZ: Bu makalede, titanyumun kayaçlardaki içeriği ve dağılımı incelenerek titanyum yataklarıyla ilişkin bazı yeni verilerin sunulması amaçlanmıştır. Yerkabuğunda oldukça bol bir element olan ve oksijene karşı kuvvetli bir afiniteye sahip olan titanyumun metal ve alaşımları günümüz uçak ve uzay endüstrisinde yüksek sıcaklığa karşı dayanıklı yapısal bileşenler olarak kullanılır.

Birincil titanyum yataklarında rutil ve ilmenit gibi ticari nitelikli titanyum mineralleri esas olarak, magmanın kristalizasyon ürünleridir veya metamorfik kayaçlarda yeniden kristallenme sonucu oluşurlar. Mağmanın kristalizasyon sürecinde titanyum davranışı, mağmanın ilksel titanyum içeriğine, Fe, Si ve Al'un kimyasal aktivitesine, oksijen basıncına ve kristalizasyon sıcaklığına bağlıdır.

Rutil içeren metamorfik kayaçlar yüksek sıcaklık ve basınç fasiyesi kayaçlarıyla ilişkilidir. Anortozit masifler, ticari yönden önemli titanyum kaynaklarını teşkil ederler.

ABSTRACT: This study is aimed to provide some new informations on the titanium content and titanium partitioning in rocks, and titanium deposits. Titanium is most abundant element in the earth's crust and has a strong affinity for oxygen. At the present, titanium metal and alloys are used in the aerospace industries as structural components strenght to high temperatures.

In the primary titanium deposits, titanium minerals such as rutile and ilmenite which have trade grade, form as products of the crystallization of igneous magmas and as recrystallization products in metamorphic rocks. The behavior of titanium in magmatic crystallization is depends on such factors as the initial titanium contents of the magma, the chemical activities of iron, silicon, and aluminum, the partial pressure of oxygen and the temperature of crystallization.

Rutile-bearing metamorphic rocks are generally related to hightemperature and pressure-facies rocks. Anorthosite massifs are economically important sources of titanium minerals.

GİRİŞ

Yerkabuğunda bolluk yönüyle 9. sırada yer alan ve bir yüzyılı aşkın zamandan beri endüstrinin bir çok kolunda kullanılan titanyum, metal halinde düşük yoğunluk, olağan üstü dayanım ve sertlik özelliği gösterir. Mineral biliminde bilinen 70'in üzerindeki mineraline karşın, ekonomik açıdan önemli olanları Ti-oksitlerce sınırlıdır.

Titanyum minerallerinin en önemli birincil yatakları bazik kayaçlar, ikincil yatakları ise kıyı kumları içinde yer alır. Dünyanın birçok yerinde, titanyum istihsalinin yapıldığı, ticari değeri yüksek ve bulunduğu ülkelerin toplam maden üretiminde önemli yeri olan yataklar biliniyorsa da, bugüne değin Türkiye'de mağmatik kayaçlarla ilişkili

bir titanyum yatağı ortaya koyulamamış, son yıllarda önemli rezervlerin bulunduğu anlaşılan ikincil yatakların yer aldığı akarsu alüvyonları ile sahil kumları ise yeterli derecede araştırılmamıştır. Araştırmaların ortaya koyacağı yeni bulguların ışığında detaylı prospeksiyon çalışmalarının yaygınlaştırılmasıyla ülkemiz ekonomisi için oldukça önemli olan yatakların tespiti, bugüne kadar yapılagelen çalışmaların ışığında, mümkün görünmektedir.

Bu çalışmanın başlıca amacından biri de Türkiye titanyum potansiyelinin ortaya koyulmasına katkıda bulunmaktır. Bu amaçla, kayaç ve minerallerde titanyum dağılımı irdelenerek, titanyum yatakları sınıflandırılmış ve tanımlanmıştır.

TİTANYUMUN DOĞADA BULUNUŞ ŞEKLİ VE ÖNEMİ

Litofil bir element olan ve oksijen ile diğer bazı elementlere karşı son derecede kuvvetli bir afiniteye sahip olduğundan, doğada metal halinde bulunmayan titanyumun ana cevher minerallerini ilmenit ve rutil teşkil eder. Titanyum eldesinde kullanılan ancak önemleri daha az olan diğer mineraller anatas, löykoksen ve perovskittir. Saf hale gümüş parlaklığı ve paslanmaz çelik davranışı sergileyen titanyumun bazı metallerle yaptığı alaşımları metal endüstrisinde arzulanan bazı özellikler verir ya da kuvvetlendirir. Bu nedenlerle metalurjistlerce yapı malzemelerinin en önemli üç metalinden biri olarak kabul edilir. Tablo 1 de Lee ve Yao (1970) tarafından önerilen yer kabuğunun ortalama titanyum içeriği, farklı kabuk tipleri ve toplam kabuk içindeki yüzdeleri dikkate alınarak verilmiştir.

Korozyona karşı dirençli oluşu ve beyaz kaya pigmenti olarak ağartıcı özelliği bulunması nedeniyle boya yapımında, kağıt endüstrisinde, vernik, plastik yapımında, kaynak çubuklarının kaplanmasında karbid, seramik, fiberglas ve kozmetik sanayinde yaygınca tüketilen titanyumun bir yapı malzemesi olarak başlıca kullanım alanını uçak ve gemi sanayisi oluşturur. Son yıllarda, tıbbi araç ve gereç sanayisi de titanyum metalinin yaygın şekilde kullanıldığı bir alan haline gelmiştir. Askeri amaçlı uçakların motorlarında, ateş duvarlarında, dış kaplamalarda, yağ ve yakıt tanklarında, örtü yüzeylerinde, motor bağlantı elemanlarında yüksek sıcaklığa karşı dayanıklı oluşu nedeniyle kullanılan titanyum metali, tuzlu suların sebep olduğu aşınmalara karşı dirençli olduğundan dolayı da denizaltı yapımında ve deniz suyundan içme sağlayan tesislerin imalatında kullanılır. ABD tarafından Merkür'e gönderilen uzay araçlarında yüksek oranda titanyum metali kullanılmış, Ay yüzeyine indirilen Lunar modelinde titanyum bileşiklerinden büyük ölçüde faydalanılmıştır.

Kayaç oluşturan silikat mineralleri oksid minerallerle karşılaştırıldığında kayacın titanyum toplamının büyük bir kısmını verirler. Kristal yapılarında titanyum bulunduran başlıca silikat minerallerini biotit, hornblend ve sfen oluştururken bunlara granat, klorit, muskovit ve titanlı ojit gibi mineraller eşlik eder. En yüksek titanyum oksid değerleri bazik (ancak ultrabazik hariç) ve alkali karakterli kayaçlarda kaydedilmiştir. Ultrabazik kayaçlarda toplam TiO_2 'nin %90'nı, bazik volkaniklerde yaklaşık yarısı, karbonatlarda tamamı, felsik intrüsf kayaçlarda ise %60'sı silikatlardan kaynaklanırken, metamorfik kayaçlarda bu oran değişkenlik gösterir.

Ilmenit, mağmatik kayaçlarda rutil oranla daha yaygındır ve bütün zamanların cevher üretiminde gelenek-

Tablo 1. Yer kabuğunda ortalama titanyum değerleri (Lee ve Yao, 1970)

Table 1. Average titanium abundance in the earth's crust (From Lee and Yao 1970).

Kabuk Tipi	Titanyum içeriği (Ağırlık yüzdesi)		Toplam kabuk içindeki yüzdesi
	Ti	TiO_2	
Tüm kabuk	0,64	1,07	100
Okyanussal kabuk	0,81	1,35	37
Kıtasal kabuk	0,53	0,88	63
Kalkanlar	0,55	0,92	44
Orojenik kuşaklar	0,50	0,83	19

sel titanyum minerali olmuştur. Birincil yataklar için tercih edilen tenör %56-60 TiO_2 kadardır. Rutil yönüyle daha fazla önem arz eden ikincil yatakların tenörü malzemenin ufalanmış olmasından dolayı %0.5-1.0 rutil kadar düşer. Bu nedenle günümüz madenciliğinde titanyum minerallerinin yarıdan fazlası bu tür yataklardan kazanılmaktadır. Görünen odur ki, önümüzdeki yıllarda plaserler, titanyumun kazanıldığı başlıca kaynakları oluşturmaya devam edecek, araştırmaların yoğunlaştığı başlıca yataklar olacaktır. Gelecekte, dünya titanyum üretimini olumlu yönde etkileyebilecek ve milyonlarca ton titanyumun kazanılmasını mümkün kılacak diğer bir kaynak yan ürün madenciliğidir.

MİNERALLERDE TiO_2 DAĞILIMI

Doğada çok sayıda titanyum minerali bulunmakla birlikte, bunlardan daha yaygın rastlanılanları Tablo 2'de topluca verilmiştir. Titanyum mineralleri içinde, kimyasal etkilere karşı yüksek dayanıklılık özelliği gösteren başlıca mineral, anatas ve brukitle TiO_2 polimorfları oluşturan rutildir. Bu özelliğinden dolayı rutili her yaşta kayaçlar içinde saptamak mümkündür (Pettijohn, 1941).

Bir diğer yaygın titanyum cevheri olan ilmenit, rutilin aksine düşük kararlılık indeksine sahiptir. Teorik olarak %52.5 TiO_2 içermekle birlikte kimyasal alterasyona

Tablo 2. Çeşitli titanyum mineralleri.
Table 2. Various titanium minerals.

<u>Mineral</u>	<u>Bileşim</u>	<u>Mineral</u>	<u>Bileşim</u>
İlmenit	FeTiO ₃	Titanomanyetit	(Fe ₃ O ₄)FeTiO ₃
Rutil	TiO ₂	Fulvit	TiO
Brukit	TiO ₂	Knopit	(CaTiCe ₂)O ₃
Anatas	TiO ₂	Kalkovskin	Fe ₃ Ti ₃ O ₉
Nigrin	(Ti,Fe)O ₂	Doetlerit	TiO ₂
Sfen (Titanit)	CaTiSiO ₅	Ansovit	Ti ₃ O ₅
Arizonit	Fe ₂ TiO ₅	Pirophanit	MnTiO ₃
Perovskit	CaTiO ₃	Ulvit	Fe ₂ TiO ₄
Geikielit	MgTiO ₃	Baritorit	BaTi(Si ₃ O ₉)
Kromrutil	(Ti,Cr)O ₂	Heptunit	Na ₂ FeTi/Si ₄ O ₁₂)

uğradığında çoğunlukla daha yüksek titanyum içeriği kazanır. İlmenitin yüksek titanyum içeriği alterasyon etkisi sonucu yapısında bulunan demirin uzaklaşması sonucu oluşmaktadır. Bu tür ilmenit mineralleri löykokslen olarak da adlandırılır. İlmenit ve rutil kadar önemi olan ve çoğunlukla alkali mağmatik kayaçlarda gözlenen Perovskit nadir toprak ve niobyum içeriği nedeniyle teorik içeriği olan %59 TiO₂'den daha az titanyum oksid değerleri verir.

Kayaçlarda ve minerallerde titanyumun bölümlendirilmesiyle ilgili çalışmalar, ekonomik yatakların saptanmasında uygun ortamların neler olduğunu ortaya koyma yönüyle önem arzeder. Fe, Ti, V, Cr, Al, Mg ve Mn için yapılan elementsel analizler veya oksid minerallerinde sürdürülen iz element çalışmaları ya da mağmatik ve metamorfik kayaçlarda bazı silikat minerallerinin göreceli oranı titanyum yataklarının saptanmasında önemli katkı sağlar. Tablo 3'de Türkiye'de ki bazı mağmatik ve metamorfik kayaçlarda bulunan minerallerin titanyum içeriğine ilişkin saptanan veriler topluca sunulmuştur. Sınırlı sayıdaki veri nedeniyle sonuçların kesin olduğu söylenemez, ancak gerek mağmatik kayaçlarda gerekse de metamorfik kayaçlarda silikat minerallerinin, özellikle de biotitin toplam kayaç titanyum miktarının önem bir kısmını verdiği kapsamlı bir incelemeyi gerek kalmadan dikkati çeker.

Kayaçlarda yaygınca karşılaşılan titanyumlu silikat minerallerinden sfen, ideal yapıda, %41.0 TiO₂ içerirken biotit, kalk-alkalin mağmatik kayaçlarda %5.9, metamorfik kayaçlarda %5.0 TiO₂, hornblend mağmatik

kayaçlarda %2.7, metamorfik kayaçlarda %3.0 TiO₂ kadar titanyum içermektedir. Bu mineraller dışında volkanik ve (veya) alkali kayaçlarda %9.0 TiO₂ içerebilen titanlı ojit ile, bazı metamorfik kayaçlarda %17.1 kadar TiO₂ içerebilen melanitik andradit titanyum içerikleriyle karakteristik diğer silikat mineralleridir. Titanyumca fakir silikatleri, feldspat, muskovit, klorit, serpantin, bazı tür granatlar, disten, olivin ve epidot gibi mineraller oluşturur. Ortopirosken ve metamorfik klinopirosken benzer bir davranış birliği sergileyerek düşük miktarlarda titanyum değerleri gösterir ancak metamorfik klinopirosken devamlı olarak bir arada bulunduğu ortopiroskene göre daha yüksek titanyum içeriğiyle dikkati çeker (Force 1976 b-c).

TİTANYUM YATAKLARININ SINIFLANDIRILMASI

Uzun zamandan bu yana titanyum üretiminin yapılageldiği plaserler bir yana bırakılacak olunursa, ticari değeri olan birincil Fe-Ti oksid yataklarının tamamı mağmatik orjinlidir. Bununla birlikte, rutilin egemen titanyum minerali olduğu, ekonomik önemleri daha az olan metamorfik kayaçlarla ilişkili yataklara da rastlanılmaktadır. Titanyum yataklarını aşağıdaki şekilde sınıflandırmak mümkündür.

1. Mağmatik Yataklar:

A- Gabro, anortozit ve siyenit plütonları içinde uyumsuz yataklar.

Tablo 3. Bazı mağmatik ve metamorfik kayalarda, minerallerin TiO₂ içerikleri.**Table 3.** Average TiO₂ contents of minerals of some igneous and metamorphic rocks.

Kayaç	Referans	Mineral	Minerallerde TiO ₂ Yüzdesi (Ag. %'si)	Kayaçta Mineral Yüzdesi (Ag. %'si)	Minerallerin İçerdiği Titanyum Kayacın Toplam Titanyuma Oranı (%)
–					
Gnays	(0,45)*	Gültekin (1990) Biotit	0,95	10,3	22,0
		Plajiyoklaz	0,06	18,5	2,9
		Muskovit	0,63	7,1	9,9
		Rutil	95,0	0,06	12,7
		Granat	0,53	1,80	2,1
	(0,31)	Evirgen (1979) Plajiyoklaz	0,04	11,4	1,5
		Biotit	1,26	12,6	51,2
		Muskovit	0,08	8,1	2,1
Granat-mika şist	(0,92)	Gültekin (1990) Biotit	1,02	21,93	24,3
		Muskovit	0,80	20,40	17,7
		Plajiyoklaz	0,06	12,7	0,8
		Granat	0,81	2,6	2,3
		Rutil	95,0	0,3	40,0
		İlmenit	38,0	Eser	Geri kalan
Disten-Granat Şist	(2,38)	Gültekin (1990) Biotit	0,83	15,4	5,4
		Granat	0,92	3,4	1,31
		Rutil	90,0	2,10	79,41
Şist	(0,90)	Evirgen (1979) Plajiyoklaz	0,38	10,9	4,60
		Muskovit	0,43	33,7	16,10
Amfibolit	(2,98)	Gültekin (1990) Hornblend	0,80	75,83	20,0
		Plajiyoklaz	0,10	8,72	0,30
		Rutil	88,2	3,10	80-92
	(0,31)	Evirgen (1979) Hornblend	0,74	59,80	?
		Plajiyoklaz	0,61	23,90	47,0
Mermer	(0,21)	Gültekin(1990) Kalsit	0,05	89,54	21,3
		Rutil	?	Eser	Geri Kalan
Gabro	(0,93)	Tankut ve Sayın (1990) Amfibol	0,31	–	–
		Klinopiroksen	0,05	–	–
Granit	(0,35)	Bürküt (1966) Biotit	4,43	4,52	57,0
Granidiorit	(0,32)	Bürküt (1966) Biotit	2,32	5,91	43,0
Diyorit	(0,22)	Bürküt (1966) Biotit	2,95	4,17	56,0
Pegmatoid	(0,04)	Dağ (1988) Plajiyoklaz	Eser	32,7	–

* Parantez içindeki rakamlar kayacın ortalama TiO₂ içeriğini göstermektedir.

* (Average TiO₂ contents of rocks in parentheses).

- a) Kalıntı sıvı toplanması yatakları.
 - b) Sıvı karışmazlığı sonucu oluşan mağma eriyiğinin enjeksiyonu.
 - c) Pnömatolitik yada hidrotermal replasman yatakları.
- B- Bazik plütonik kayalarda uyumlu yatakları.
- a) Kalıntı mağma eriyiği toplanması.
 - b) Sıvı karışmazlığı sonucu oluşan yatakları.
 - c) Mağmadan kristalleşme sonucu oluşan yatakları.
2. Plaser Yatakları:
- A- Flüviyal plaser yatakları.
 - B- Kıyı plaser yatakları.
3. Metamorfik Yatakları:
- A- Bölgesel metamorfizma sonucu oluşmuş, yüksek dereceli metamorfik kayalarla ilişkili yatakları.
 - B- Palinjenez mağmalardan türeyen yatakları.
 - C- Eski bir yatağın metamorfizmasıyla oluşan yatakları.
4. Alterasyon Tipi Titanyum Yatakları:
- A- Gabro ve anortozitler üzerinde oluşan yatakları.
 - B- Metamorfik kayalarla ilişkili yatakları.
5. Volcano-Sedimanter Yatakları.
6. Titanyumun Yan Ürün Olarak Kazanıldığı Yatakları:
- A- Porfiri bakır yatakları.
 - B- Boksitler ve denizel fosfatlar.
 - C- Çok amaçlı plaserler.

1. MAĞMATİK YATAKLAR

a) Titanyumun mağmatik kayalardaki içeriği:

Bir çok araştırmacının yayınladığı kimyasal analiz sonuçları birarada irdelendiğinde, ultrabazik kayaların %0.05, bazik kayaların %1.5, nötr kayaların %1.3 ve felsik kayaların %0.38 ortalama TiO_2 içeriğine sahip oldukları ortaya çıkar. Genel anlamda, bazik ve nötr kayalar, ultrabazik ve asitik olana oranla daha yüksek TiO_2 değerleri içerirken, bir çok kayaç tipi için alkali karakterde olanlar, alkali olmayanlara göre yüksek titanyum içermeleriyle karakteristiktir. Alkali kayaların yüksek titanyum içeriği, mağmatik kayalarda titanyuma yönelik sürdürülen prospeksiyonlarda göz önüne alınmasında yarar bulunan önemli bir noktadır. Tablo 4'de Force (1976 a)'nın mağmatik kayalarda saptadığı ortalama titanyum içerikleri toplu olarak verilmiş, Tablo 5'de ise Türkiye'de bazı mağmatik kayaların kimyasal analiz sonuçları dikkate alınarak belirlenen ortalama TiO_2 değerleri sunulmuştur.

Gerek Tablo 4 ve gerekse Tablo 5'de sunulan veriler

aynı tür kayalar için birbirleriyle uyum gösterirler. Yüksek titanyum değerleri veren gabro, bazalt ve piroksenit türü kayalar aynı zamanda yer kabuğundaki her iki tablodan kolaylıkla görüleceği gibi alkali kayaların TiO_2 miktarı bu tür kayalardan beklenen yüksek titanyum içerikleriyle uyumludur.

b) Mağmatik titanyum yataklarının oluşumu ve özellikleri:

Mağmatik titanyum yataklarının oluşum şekil ve zamanı jeosenklinik evrimiyle ilişkili ultrabazik mağmanın differansiyasyon süreciyle ilintilidir. Gözlemler, en önemli yatakların yüzlerce km^2 'lik alanlara yayılım gösteren anortozitler ile gabrolar içinde bulunduğunu ortaya koyar. Temel cevherleşme ya bütünüyle ilmenitten yada çeşitli oranlarda karışmış ilmenit-magnetit topluluğu mineralerden oluşmaktadır.

Fe-Ti yataklarının geç mağmatik evrede oluşan yatakları oldukları ve oluşumlarında kristalleşme ile ayrılaşmanın, kalıntı ağır metal oksid eriyiklerinin mağma tabanında toplanmasının ve kalıntı eriyiklerde ağır sülfürlü sıvıların, sıvı karışmazlığı nedeniyle damlacıklar halinde ayrılarak toplanmasının çeşitli derecede etkilerinin bulunduğu kabul edilir. Yatakların köken sorunu, kristalleşme zamanı ve oluşan Ti-oksit minerallerinin kristal yapıları, iz element içerikleriyle yataklanma şekilleri dikkate alınarak çözülmeye çalışılır. Bu nedenle, başta ilmenit ve magnetit olmak üzere, bunlara eşlik eden diğer bazı oksid ve silikat minerallerinin iz element içeriklerinin niteliği ve niceliği pek çok araştırmacının yoğun ilgisini çekmiş, mağmanın differansiyasyonu sürecinde gelişen olayları belirlemede başvurulan temel nokta olmuştur. Yapılan elementsel analizler, esas olarak minerallerdeki katyonik yerdeğiştirme mekanizmasını ve koşullarını ortaya koymaya yönelik olup, bu amaçla kayaç ve minerallerin daha çok Fe, Ti, V, Cr, Al, Mg ve Mn içeriği belirlemeye çalışılmıştır.

Mağmatik titanyum yataklarına yönelik yapılagelen iz element çalışmaları, V, Cr ve Al'un magnetiti, Mg ve Mn'in ise ilmeniti tercih ettiğini, mağma kristalizasyonunun ilk evresinde oluşan magnetitin iz element içeriğinin daha yüksek olduğunu ortaya koyar. Erken mağmatik evreyi temsil eden magnetitlerin, Cr ve V içeriği geç evrede kristalleşenlere oranla daha yüksektir. Genel olarak, mağmatik magnetit metamorfik ve diğer tür magnetitlerle karşılaştırıldığında %25'lere varan oranda yüksek TiO_2 içermesiyle belirgindir. Mağma kristalleşmesinin erken evresinde oluşan ilmenit, geç evrede oluşana göre Mg'ça daha zengin, Mn'ça daha fakir olup, bir arada bulunduğu magnetitten daima daha düşük As, ve Ga değerleri

Tablo 4. Bazı mağmatik kayalarda ortalama TiO₂ değerleri (Ağırlık %'si, Force, 1976 a).
Table 4. Average TiO₂ contents of some igneous rocks (in Weight percent, from Force, 1976 a).

Kayaç Tipi	1		2	
	TiO ₂	Analiz Sayısı	TiO ₂	Analiz Sayısı
Ultrabazik Kayaçlar				
Dunit	0,20	9	0,07	118
Peridotit	0,20	9	0,07	118
Alkali Peridotit	0,81	23	0,52	196
Proksenit	1,30	12	-	-
Alkali Piroksenit	0,53	46	0,83	294
Hornblendit	3,31	21	-	-
Kimberlit	2,86	15	-	-
	1,43	14	2,17	4,21
Bazik Kayaçlar				
Toleitik Bazalt	2,03	137	-	-
Olivinli Toleit	1,65	28	-	-
Normal Alkali Bazalt	2,63	96	-	-
Kıtasal Bazalt	-	-	1,50	445
Jeosenklinal Bazalt	-	-	1,67	360
Okyanussal Bazalt	-	-	2,67	148
Gabro	1,32	160	1,13	762
Norit	0,89	39	-	-
Alkali Gabro	2,86	42	-	-
Anortosit	0,32	17	-	-
Nötr Kayaçlar				
Diorit	1,50	50	1,00	678
Andezit	1,31	49	0,83	866
Toleitik Andezit	2,60	26	-	-
Alkali Andezit	2,84	37	-	-
Asidik Kayaçlar				
Tonalit	0,62	58	0,77	426
Dasit	0,64	50	0,57	480
Granodiorit	0,57	137	0,62	523
Riyodasit	0,66	115	-	-
Adamelit	0,56	121	-	-
Granit	0,37	72	0,33	1967
Riyolit	0,22	22	0,33	138
Alkali Kayaçlar				
Siyenit	0,83	18	0,68	426
Trakit	0,66	24	0,67	292
Monzonit	1,12	46	-	-
Latit	1,18	42	-	-
Nefelinli Siyenit	0,66	80	0,50	584
Fonolit	0,59	47	0,40	245

içermektedir. Diğer yandan kristalizasyonun ilerlemesiyle birlikte kayada Ni/Co oranında azalma, Mn/Fe⁺², Ga/Fe⁺³, Zn/Fe⁺² oranında artma ve V/Fe⁺³ Cr içeriğinde azalma meydana gelir. Bu ve benzeri diğer değerler mağmanın katılma sürecinde titanyum minerallerinin kristalleşme işlevinin belirlenmesine önemli katkılar sağlayan birer ipuçlarıdır. (Duchesne, 1972). Lister (1966), Fe-Ti oksid mineral yataklarının oluşumunu kontrol eden ana faktörleri şu şekilde ifade eder:

1) Mağma eriyiğinin kimyasal bileşimi, özellikle Fe⁺³ içeriği ve Fe/Ti oranı.

2) Ortamın oksijen fugasitesi.

3) Silis aktivitesi.

4) Kristalleşmeden sonraki soğuma zamanı.

Mağmatik yataklarda titanyum cevher mineralleri, ana kayada içinde erken mağmatik evrede katılmış silikatlarla reaksiyon kınları oluşturan serpinti taneler halindedir veya silikatlardan oluşan bir katman üzerinde zenginleşmiş zonlar oluştururlar. Bu yapılanmalar esas olarak, kayanın kristalleşme şekliyle ilişkilidir. Doğal olarak, kayada katılma hızının yüksek olması kalıntı mağma eriyiği içindeki Fe-Ti oksidlerin toplanma ve zenginleşme olanağı bulamadan kayada içinde serpinti halinde kristalleşmesine yol açar. Ancak kayada katılma hızı kristalleşen oksid minerallerinin tabanda toplanmalarına uygun ise, çoğunlukla uyum yataklanma veren zengin cevherleşmeler oluşur. Diğer yandan orojenik kuşakların bazik karakterli intrüzyonlarında gözlenen yüksek oksijen fugasitesi bu kristalleşmeyi kolaştıran ve kristalleşen oksid minerallerinin miktarını denetleyen bir rol üstlenir.

Fe-Ti yataklarında, Fe-Ti oksid mineralleri iki farklı katı eriyik serisinin üyeleridir. Bu seriler magnetit-ulvöspinel (Fe₃O₄-Fe₂TiO₄) ve hematit-ilmenit serileri (Fe₂O₃-FeTiO₃) olup, magnetit-ulvöspinel serisi mineralleri, yaklaşık 600°C sıcaklığın üzerinde spinel yapıda, hematit-ilmenit serisi mineralleri ise 950°C'nin üzerinde rombohedral yapıda tam bir katı eriyik verirler. FeO-Fe₂O₃-TiO₂ üçlü sistemleri üzerinde sürdürülen güncel çalışmalar, oksidasyon-eksölasyon sonucu magnetit-ulvöspinel serilerinde hematit-ilmenit serilerine geçişin mümkün olduğu ve birarada oluşmuş olan spinel ve rombohedral fazın bileşiminin sıcaklığın ve oksijen fugasitesinin bir fonksiyonu olduğunu ortaya koyar. Yüksek sıcaklık, düşük oksijen fugasitesi yüksek titanyum içeriğine sahip spinel fazın, düşük sıcaklık ve düşük oksijen fugasitesi ise düşük titanyum içerikli fazların oluşmasını sağlar (Buddington and Lindsley, 1964).

Titanyum yataklarının oluşumunda mağmanın differansiyasyon süreci, oksid minerallerinin kristallenmesini

ve titanyum içeriğini denetlemede önemli bir rol üstlenir. Bazı yataklarda differansiyasyonun başlangıcında, kristallenme ile birlikte ilk olarak hemo-ilmenitin, daha sonra magnetitin olduğu ve birlikte differansiyasyonun ilk evresini temsil eden Titanyumca fakir bir homojen magnetit+hemo-ilmenit birliğinin olduğu belirlenmiştir (Duchesne, 1972). Ancak, kristalizasyon ilerledikçe bu birlik yerini, titanyumca zengin magnetit+homojen ilmenit birliğine bırakır. Böylece, erken magmasal evreden geç magmasal evreye doğru belirgin bir titanyum artışının meydana geldiği anlaşılmaktadır. Ancak differansiyasyon sürecinde, Fe-Ti oksid minerallerinin birbirleriyle kontakta olmalarıyla gelişebilen bazı doğal reaksiyonların neden olduğu kimyasal değişimleri bu olaydan ayrı tutmak gerekir. Diğer yandan, mağmatik evrenin sonlarına doğru minerallerin içindeki çatlaklarda veya aralarında kapanlanarak varlığını korumuş olan H₂O ve H₂ gibi uçucuların sebep olduğu döterik yapılanma sıvı ve oksidler arasındaki reaksiyonel ilişkilerin hızlanmasına ve yeni fazların oluşmasına yol açar. Döterik yapılanma, ulvospinellerin oksidasyonu ile düşük sıcaklığı temsil eden yeni mineral birliklerinin oluşmasını sağlar ancak, sıcaklığın daha da azalmasıyla difüzyon olayları tamamen durduğundan döterik yapılanmada sona erer.

Buraya kadar değinilmiş olan veriler dikkate alındığında, Fe-Ti oksit minerallerinin kristalleşmesini, genel bir yaklaşımla, iki farklı şekilde açıklamalı mümkündür. Birinci durumda, belirli fiziko-kimyasal koşullar altında ağır metal oksid minerallerini oluşturmaya uygun yüksek oksijen fugasitesi ile Fe, Ti içeriğine sahip toleyitik bir mağma titanyum mineral yataklarını oluşturur. Bu tür bir mağmada kristalleşmeyle ayrılan oksit minerallerinin, gravite etkisiyle mağma tabanında birikmesi sonucu, çoğunlukla yalancı tabakalı (uyumlu) cevherleşmeler meydana gelmektedir. Titanyum oksid minerallerinin oluşmasını sağlayan ikinci faktör, silikat ve ağır metal oksid ile sülfürlü mağma haznesinden kaynaklanan, Fe ve Ti yanında P'ca da zenginleşmiş karışmaz sıvıların varlığıdır. Bazı ilmenit ve titonomagnetit-apatit cevherleşmeleri oluşumu bu yolla açıklanmaya çalışılmaktadır. Ancak gerek toleyitik bir mağmadan gravite etkisiyle, gerekse karışma sıvılarından itibaren gelişen cevherleşmelerin oluşum süreci bütünüyle mağmanın geç kristalleşme evresine denk düşer.

c) Anortozik masiflere bağlı titanyum yatakları

Anortozik masifler, dünyanın en önemli birinci titanyum kaynaklarını oluştururlar. Pek çok anortozik türü

Tablo 5. Türkiye'de bazı mağmatik kayaların ortalama TiO₂ değerleri**Table 5.** Average TiO₂ contents of some igneous rocks from Turkey.

Kayaç Tipi	TiO ₂	Analiz Sayısı	Referanslar
Ultrabazik Kayaçlar			
Dunit	0.03	12	Özkoçak (1969), Örgün (1992)
Peridotit	0.11	35	Ketin (1983), Çapan (1981), Örgün (1992)
Harzburjit	0.012	11	Özkoçak (1969), Örgün (1992)
Piroksenit	0.14	21	Özkoçak (1969), Örgün (1992)
Bazik Kayaçlar			
Gabro	0.89	43	Ketin (1983), Ayan (1959), Özkoçak (1969), Çoğulu (1975), Tankut ve Sayın (1990), Önen ve Unan (1988).
Olivinli Gabro	0.50	–	Ketin (1983).
Toleyitik Bazalt	0.85	13	Çoban (1988), Tokel (1977).
Alkali Bazalt	1.65	55	Ketin (1983), Özpeker (1973), Ercan ve diğ. (1985)
Kalkalkali Bazalt	0.92	8	Batum (1978). Gedik ve diğ. (1985)
Dolerit	1.32	27	Gültekin (1990), Ketin (1983), Çapan (1981), Özkoçak (1969)
Nötr Kayaçlar			
Diyorit	0.43	7	Bürküt (1966), Aydın (1974), Çoğulu (1975)
Andezit	0.77	87	Ercan ve diğ. (1985, 1990), Çoban (1988), Batum (1978), Innocenti ve diğ. (1975), Lambert ve diğ. (1974), Candan (1988), Kibici (1990).
Kalkalkali Traki-Andezit	0.69	19	Ketin (1983), Ercan ve diğ. (1985, 1990)
Asidik Kayaçlar			
Granodiyorit	0.46	163	Bürküt (1966), Aykol (1979), Solmaz (1983), İzdar (1968), Özkoçak (1969), Örgün (1992), Ayan (1959), Çoğulu (1975).
Kuvarsdiyorit	0.47	13	Bürküt (1966), Çoğulu (1975)
Granit	0.42	108	Yılmaz (1984), Aydın (1974), Tanyolu (1979), Uz (1973), Dağ (1988), Boztuğ ve Yılmaz (1983)
Kuvars Monzonit	0.13	15	Bürküt (1966), Çoğulu (1975)
Adamellit	0.10	2	Yılmaz (1984)
Dasit	0.49	20	Ercan ve diğ. (1990), Lambert ve diğ. (1977), Gedikoğlu ve diğ. (1985), Baş ve diğ. (1976), Ketin (1983), Innocenti ve diğ. (1976)
Kalkalkali Riyodasit	0.43	28	Ercan ve diğ. (1985), Ketin (1983), Ercan (1990), Lambert ve diğ. (1974).
Kalkalkali Riyolit	0.25	35	Baş ve diğ. (1968), Savaşcın (1974), Pişkin (1979), Batun (1978), Innocenti ve diğ. (1975), Ercan (1978, 1984, 1990).
Alkali Kayaçlar			
Siyenit	0.33	33	Solmaz (1983), Aydın (1974), Baykan (1988).
Trakit	0.45	18	Pişkin (1979), Özpeker (1973), Özgenç (1982).
Alkali Trakit	1.18	1	Özpeker (1973)
Alkali Trakit-Andezit	1.91	4	Özpeker (1973)
Monzonit	0.64	8	Aydın (1974)
Latit	0.77	6	Gedik ve diğ. (1985)
Alkali Latit	1.39	2	Özpeker (1973)

içinde andezin-anortozit masifler, diğerlerine oranla hem daha yaygındırlar, hem de daha zengin titanyum cevherleşmeleri içermeleriyle belirgindirler. Kimyasal bileşimleri dikkate alındığında anortozit masiflere bağlı iki farklı titanyum yatak tipi ayırtdılır (Herz, 1976 a):

1) Alkali özellik göstermeyen anortozit masiflere ilişkin gabrolar içinde yer alan ilmenit yatakları.

2) Alkali andezin-anortozitler içinde bulunan dissemine ilmenit ve rutil yatakları.

Ultrabazik ve bazik komplekslerden gravite etkisiyle ayrılmış, bütünüyle kalsik veya nötr plajiyoklazlardan meydana gelen anortozitler, masif ya da stratiform olmak üzere iki ana gruba ayrılır. Ancak bugüne değin yapılmış olan çalışmalar mağmatik titanyum yataklarının büyük bir çoğunlukla masif tip anortozitlere bağlı olduğunu ortaya koymuştur. Örneğin, Amerika Birleşik Devletlerinde Adirondack (New York) anortozitine bağlı ilmenit yatakları Virginia'daki Roselant anortozitine bağlı rutil yatakları ve dünyanın en büyük ilmenit yatağı olarak kabul edilen Kanada'nın Quebec eyaletindeki Allard Lake anortozitine bağlı Lac Tio yatağı bu grubun en önemli yatakları arasındadır. Diğer yanda, Norveç'te Egersund-Sogndal anortozitine bağlı ilmenit yatakları, Ukrayna'daki ilmenit yatakları bu tür yataklara verilebilecek diğer örnekleri oluştururlar. Anortozitlerde, ana titanyum oksid minerallerini başta ilmenit ve rutil olmak üzere bu mineraller kadar yaygın gözlenen ilmeno-magnetit (Magnetit içinde ince taneli ilmenit), ilmeno-hematit (hematit içinde ilmenit), hemo-ilmenit (ilmenit içinde hematit iç büyümeleri) titano-magnetit (elementsel titanyum içeren magnetit) ve ulvöspinal türü mineraller oluşturur. Cevher tamamıyla anortozit mağması içinde kristalleşmiş ya da yan kayaç içinde uygun alanlara yerleşmiştir.

Titanyumlu anortozitler içerdikleri plajiyoklaz ve oksid mineralleri türüne göre de iki farklı gruba ayrılırlar (Herz,1976 a):

1) Labrodorit-anortozit masifler: Bu tip anortozitler An_{68-45} plajiyoklaz oranları ve titano-magnetit, ilmenit, magnetit içerikleriyle belgindir.

2) Andezin-anortozit masifler: An_{45-25} oranında plajiyoklaz ve hema-ilmenit içerirler. Ortopirosken/plajiyoklaz oranı diğer gruptan daha fazladır. "Adirondack tipi" olarak adlandırılan bu kayalar aralarında Roseland, Pluma Hidalgo ve St. Urbain gibi yatakların da bulunduğu dünyanın en önemli titanyum cevherleşmelerini içerirler. Kimyasal bileşimlerinde %3-4 oranında K_2O bulunması nedeniyle alkali tip anortozitler olarak da adlandırılan bu kayaçlar tekdüze olmayan bir mineral bileşimi ve ilmenite

eşlik eden rutil içerikleriyle belirgin bir ayrıcalık gösterirler. Yaygın masifler oluşturmaları nedeniyle petrografik, mineralojik ve kimyasal yönden pek ayrıntılı incelemelere sahne olan andezin-anortozitler, çoğunlukla üst amfibolit yada granulit fasiyesi kayaçlarının egemen olduğu metamorfik sahalarda, şarnokitik kayaçlarla ilişkili, oluşumlar sergilerler. Ancak, bazı sahalarda anortozitleri çevreler yapıda gözlenmiş olmalarına rağmen, şarnokitik kayaçlarla olan olası ilişki tam olarak açıklığa kavuşturulmuş değildir. Labradorit-anortozitlerden pertitik feldspat içermeleri ve ortopirosken oranının feldspat ve sulu mafik minerallerden olan fazlalığıyla bileşimsel bir farklılık gösteren andezin-anortozitler hem stratiform hem de diğer tür masif anortozitlerden daha yüksek titanyum içeriğine sahiptirler. Anortozitleri hedef olan titanyum prospeksiyonları stratiform (Labradorit) tipi anortozitlerin ekonomik titanyum yataklarını içermeleri yönüyle fakir olduklarını, buna karşın ekonomik yatakların hemen daima andezin-anortozitlerle ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır.

Şarnokitik birliği üyesi kayaçlarla birlikte norit ve gabro türü kayaçlar ve bazı metamorfik kayaçlarla olan bir aradılığı, bunlara ek olarak masiflerin yayıldığı sahalardaki negatif Bouger anomalisi titanyum prospeksiyonunun en dikkati çeken yönüdür. Bununla birlikte, Adirondack, Allard Lake ve Roseland masiflerinde belirgin şekilde gözlenen metamorfizma anortozitlere bağlı titanyum yataklarının kökenini açığa çıkarmada, tam bir görüş birliğine ulaşılmasını engellemiştir. Bu yataklar için yaygın kabul gören oluşum modeli cevherleşmenin mağmatik orjinli olduğu, daha sonraki bir evrede metamorfizmada farklı oranlarda etkilendiği şeklindedir (Force, 1976 c; Hertz, 1976 a).

d) Alkali kayaçlara bağlı titanyum yatakları

Alkali kayaçlara bağlı önemli titanyum cevherleşmelerine, Arkansas'da Magnet Cove, Rusya'da Kola yarımadası, Brezilya'da Tapira, Minas Gerais, Kolorado'da Iron Hill ve Idaho'da Lemhi County'de rastlanılır (Force, 1976 a-c; Herz, 1976 b).

Pekçok alkali özellikli kayaç yer kabuğunun ortalama içeriğinden daha fazla titanyum değeri içerir. Bu türün en büyük cevherleşmesi, Brezilya'nın Tapira bölgesinde yer alan karbonatit kompleksine bağlı ve titanyum içeriği birkaç on milyon tonu bulan yataklardır. Titanyum konusundaki çalışmalarıyla tanınmış olan Force (1976 a-b-c) alkali kayaçların titanyum içeriğinin ortalama %1.4-3.3 arasında olduğunu ileri sürer. Nitekim, Türkiye'de bazı mağmatik kayaçlarda sürdürülmüş olan çalışmaların sonuçları bir arada irdelendiğinde benzer

sonuçlara ulaşılmış, alkali kayaların yüksek titanyum içeriklerine sahip oldukları saptanmıştır (Tablo 5).

Alkali komplekslerin kristalizasyon sürecinde, Ti-oksit minerallerinin pek çoğu geç kristallenir. Mağma da belirli sıcaklık ve basınç koşulları altında Fe, Ti ve P'ce zenginleşen ve sıvı karışmazlığı gösteren eriyikler, alkali kayalara bağlı Fe-Ti oksit mineralleriyle apatit içeren bazı dayklarla ilişkili cevherleşmelerden sorumludur. Magnetit, ilmenit ve apatitçe zenginleşen bu tür eriyikler, çoğunlukla yüksek Na değerleri kazanır ve diyoritik bir bileşim sergiler. Diyoritik bileşimli bu tür mağmalar, kuvvetli bir differansiyasyona uğradıklarında titanyumca zengin esas olarak rutilin egemen olduğu, ancak ilmenitin de görüldüğü yatakların oluşmasını sağlarlar.

Damar tipi yataklanma yada dissemine cevherleşme veren alkali kayaç toplulukları genellikle nefelinli siyenitler, karbonatitler, trakit ve fonalitler, fenit türü feldspatik kayalar ile feldspat içermiyen ijolit türü kayalardan oluşur. Örneğin, rutilin baskın olduğu sfen, magnetit brukit ve perovskitin de görüldüğü Arkansas'daki Magnet Cove alkali kompleksi bir çember daykın çekirdeğine ijolitik ve karbonatitlerle başlayarak dışa doğru trakit ve fonalitle devam eder ve en dışta nefelinli siyenitli sona erer. Kompleks içinde yer alan feldspat-karbonat, feldspat, kuvars-feldspat ve fluorit bileşimli damarlar tipik rutil cevherleşmeleri içerirler.

2. PLASER YATAKLAR

Mağmatik yataklar kadar önemli olan plaser zenginleşmeler, özellikle rutil açısından dünyanın en önemli yatak tiplerini oluştururlar. Ticari değeri olan tüm plaserler ya bütünüyle rutil, yada rutille birlikte ilmenit üretiminin yapıldığı kaynaklardır.

Sedimanter kayaların TiO₂ değerleri Force (1976 a)'nın verileri dikkate alınarak Tablo 6'da topluca sunulmuştur. Buna göre şeyller en yüksek, kireçtaşları ise en düşük TiO₂ değerlerine sahip kayalar olup, ilksel malzemeleri plaser oluşturmaya yatkın olan kumtaşlarının titanyum miktarı çoğunlukla yüksek değerler gösterir.

Plaser titanyum yatakları çoğunlukla kıyı ve fluviyal oluşumlar halinde, daha seyrek olarak ta, alüvyal plaserleri şeklinde gözlenir. Ancak, kıyı plaserlerinin önemi diğer tür oluşumlara göre daha fazladır.

Kıyı yataklar çoğunlukla, onlarca metre kalınlık ve birkaç on kilometre uzunluğunda mercer, örtü veya tabaka şekilli yapılar gösterir. Cevherli seviyeler, birbiri ardınca yataklanmış kıyıya paralel şeritler halinde veya korunmuş fosil oluşumlar ile taraçalar şeklindedir. Zaman zaman deniz seviyesinin altında olanlarına da rastlanmıştır. Büyük yataklar çoğunlukla, fosil ve teras plaserlerinin

yeniden işlendiği, dalga hareketi ile kıyı akıntılarının etkili olduğu sahillerde oluşur. Kıyı plaser yataklarda, yüksek boylanma özelliği kazanmış ağır ve hafif mineral tanelerinden oluşan kırıntıların taşınma ve yer değiştirmesi, esas olarak deniz tabanıyla temas halinde gerçekleşir. Taşınma eşdeğerliliği olarak da tanımlanan bu hareket mekanizması kumlardaki eş boyutlu sedimanların çökkelimini sağlayan başlıca faktördür (Best and Bratshaw, 1985; Reid and Frostick, 1985; Tourtelot, 1986).

Tablo 6. Bazı sedimanter kayaların ortalama TiO₂ içerikleri (Force, 1976 a).

Table 6. Average TiO₂ contents of some sedimentary rocks (From Force, 1976 a).

Kayaç Tipi	1		2		3	
	TiO ₂	Analiz Sayısı	TiO ₂	TiO ₂	Analiz Sayısı	
Kumtaşları	0,25	253	0,25	0,52	211	
Ortokuarsit	0,20	26	--	--	--	
Litik arenit	0,30	20	--	--	--	
Grovak	0,60	61	--	--	--	
Arkoz	0,30	32	--	--	--	
Silttaşı	0,59	235	--	--	--	
Şeyl	0,65	78	0,77	0,63	252	
Kireçtaşı	--	--	0,07	0,20	364	

Kıyı titanyum yatakları, Avustralya'nın doğu ve batı kıyılarında Birleşik Devletler'de Florida kıyılarında, Yeni Zelanda, Hindistan kıyıları ile Brezilya Kıyılarında oldukça geniş bir alana yayılmış, büyük rezervler halinde bulunurlar. Ayrıca, Mısır'ın kuzey kıyılarında, Mozambik'te, Madagaskar'ın kuzey kıyılarında ve ülkemizde doğu Karadeniz sahil kumlarında magnetitle birlikte ilmenitin yer aldığı plaserler bulunmaktadır. İlmenitle birlikte magnetitin izlendiği kumlar koyu renkten dolayı "siyah kumlar" olarak adlandırılır ve çoğunlukla ince tanelenmiş, ve 100 meşin altında tane çapları içeren titanyum minerallerince zenginleşmişlerdir. Kıyı ilmenit yataklarının belirgin bir özelliği ilmenitin atmosferik ayrışma sonucu löykoksene dönüşmesidir. Büyük çoğunlukla Tersiyer yaşlılardır. Bu tür oluşumlar en iyi bir şekilde Florida kıyı kumlarında görülmektedir.

Alüvyal plaser yataklar, Avustralya'nın doğu ve batı kıyısında bulunan kıyı plaserler işletilene kadar, dünyanın başlıca rutil kaynakları olarak işletilmiştir. Bu yataklarda

rutil farklı renk ve boyutlu, çoğu zaman birincil kayaçtaki kristal şeklini koruyan taneler halinde gözlenir. Çok ince boyutta iğnemsiz ve saç kılı şekiller gösteren rutil, kıyı plaserlerden farklı olarak, zaman zaman 5-6 cm'yi bulan iri kristallenmiş taneler şeklindedir. Esas olarak rutil için işletilen fluviyal yataklar, Virginia'daki plaserler için pek rahatlıkla söylenebileceği gibi, bazen önemli ilmenit derişimleri içerirler (Minard ve Others, 1976). Titanyum mineralleri çoğunlukla iri-orta taneli kum, ile çakıllı sedimanlar içinde, farklı kalınlık gösteren zengin seviyeler ya da serpinti taneler halinde izlenir. Fluviyal titanyum derişimleri en iyi bir şekilde, kaynaktan itibaren 10 km'lik bir uzaklıktan sonra ortaya çıkar. İşletilme tenörleri, rutil için ortalama %1.0 dolayındadır. En büyük alüvyal rutil plaserleri Sierra Leonne, Toga ve Virginia (A.B.D) de bulunurken, özellikle son yıllarda yapılan bazı çalışmalar ülkemizde de bu türdeki yatakların önemli bir potansiyel oluşturduğunu ortaya koymuştur (Gültekin, 1991 c, 1992; Dickson, 1986; Göncü, 1986).

Titanyum plaserlerinin önemli iki farklı yönüne değinmekte fayda vardır. Birincisi, bu plaserlerin, özellikle de fluviyal rutil oluşumlarının metamorfik masiflerle olan ilişkileridir. Bir çok yatak için metamorfikler, plaser rutil derişimlerine kaynaklık yapan ve bu yönleriyle dikkate alınmaları gereken kayaçlardır. Şüphesiz ki bu konu bir prospektör için önemli olacaktır. İkincisi rutilin bir yan ürün olarak bulunduğu pek çok plaserde, oldukça düşük tenörlerin ekonomik olarak işletilmesidir. Bunun en güzel örneği; Avustralya'nın doğu ve batı kıyılarında yer alan plaserlerde görülmektedir. Günümüzde bu yataklar esas olarak zirkon için işletilmekle birlikte %0.5 rutil içeriğine rağmen, yan ürün olarak rutilin üretimine de olanak tanıyan dünyanın başlıca rutil kaynaklarıdır (Force 1976 a-b-c).

3. METAMORFİK YATAKLAR

a) Metamorfik kayaçların titanyum içeriği:

Dünyada bazı tür metamorfik kayaçların genel ortalama TiO_2 içerikleri Tablo 7'de, bunlarla karşılaştırma amacıyla Türkiye'de çeşitli araştırmacıların analiz sonuçları dikkate alınarak tespit edilen metamorfik kayaçların ortalama TiO_2 içerikleri Tablo 8'de sunulmuştur.

Şist ve gnayslara bağlı yatakların en iyi bilineni, ilksel kayalarını sedimenter, volkanik ve intrusiflerin oluşturduğu kabul edilen Meksika'daki Pluma Hidalgo yatağıdır, ancak bu yatak, pek çok araştırmacı tarafından esas olarak mağmatik orjinli kabul edilir (Force 1976 c; Hertz 1976 a; Klemic ve diğerleri, 1976). Dünyanın bir çok yerinde metamorfiklerden elde edilen bulgular yeşil şistlerin titanyum içeriğinin %5'in üzerine nadiren

çıktığını göstermiştir. Sedimenter orjinli şist ve gnaysların titanyum içeriği, diğer türlerine oranla daha düşük değerler gösterir. Benzer şekilde, kumtaşlarının metamorfizmasıyla oluşan kuvarsitlerin titanyum içeriği çoğunlukla %1.0 TiO_2 değerinin altındadır.

Tablo 7. Bazı metamorfik kayaçlarda ortalama TiO_2 içeriği (Ağırlık %'si, Force, 1976 a).

Table 7. Average TiO_2 contents of some Metamorphic rocks (in weight percents, from Force, 1976 a).

Kayaç Tipi	TiO_2	Analiz Sayısı
Amfibolit	1.37	370
Gnays	0.58	410
Şist	0.60	538
Yeşilşist	1.64	13
Kuvarsit	0.23	7
Serpantinit	0.015	91
Glokofan Şist	0.78	5
Eklojit	1.27	16

Jeokimyası titanyum çevirimi, gerek metamorfik kayaçların titanyum içeriğini kontrol etmede gerekse de bunlardan türeyen plaserlere olan katkısı yönüyle önem arz eder. Yüzeysel koşullarda farklı türdeki kayaçların atmosferik ayrışmasıyla başlayan titanyum çevrimi serbestleşen kırıntılı malzemenin sedimantasyon havzasına taşınması, yığılması ve gömülmesiyle devam eder. Nihayet gömülen malzemenin yüksek sıcaklık ve basınç koşulları altında başkalaşım geçirmeye başlaması çevrimin son ve en önemli halkasını teşkil eder. İlerleyen metamorfizmayla birlikte, yeni şartlar altında duraysız olan titanyum içerikli bazı silikat minerallerinin, kayaç kimyasal bileşim ve oksijen basıncına bağlı olarak Ti-oksit minerallerine dönüşmesiyle çevrim tamamlanmış olur. Burda, metamorfizma süresince titanyumun davranışını ve titanyum oksit minerallerinin oluşumunu denetleyen faktörlerin neler olduğunu yinelenmeyecek, yalnızca bu konudaki referansların sunulmasıyla yetinilecektir (Gjelsvik, 1957; Shannon ve Park, 1964; Buddington ve Lindsley 1964; Schuiling ve Vink 1967, Kwak 1968, Dachille ve diğerleri 1968; Jamieson ve Olinger 1969; Force 1976 a-b, Marsh ve Sheridan 1976; Blake ve Morgan 1976, Goldsmith ve Force 1978; Gültekin 1986 b, 1992).

Tablo 8. Türkiye'de bazı metamorfik kayaların ortalama TiO₂ içerikleri

Table 8. Average TiO₂ contents of some metamorphic rocks from Turkey.

Kayaç Tipi	TiO ₂	Analiz Sayısı	Referans
Gnays	0,60	127	Bürküt (1977), Nuhoglu (1988), Genç (1990), Gültekin (1990).
Ortognays	0,91	22	Bürküt (1977)
Paragnays	0,90	48	Bürküt (1977), Gültekin (1990).
İnce taneli Gnays	0,49	41	Solmaz (1983), Nuhoglu (1988), Dağ (1988), Gültekin (1990), Candan (1988).
Şist	0,58	143	Solmaz (1983), Dağ (1988), Nuhoglu (1988), Candan (1988), Gültekin (1990).
Kuarsit	0,09	67	Solmaz (1983), Gültekin (1990).
Amfibolit	1,55	27	Aydın (1974), Evirgen (1979), Dağ (1988), Gültekin (1990).
Migmatit	0,86	6	Dağ (1988).
Glokofan			
Şist	1,30	4	Eren (1979).
Mermer	0,10	19	Solmaz (1983), Gültekin (1990).
Serpantinit	0,08	23	Arda (1972), Candan (1988).
Eklojit	1,46	5	Eren (1979).

Metamorfik kayalara bağlı titanyum yatakları içinde, Urallarda eklojitler içinde bulunan %4.5 rutil içerikli Shubinsk yatağı, dünyada bu türde işletilmiş bir kaç yataktan biridir. Ancak azda olsa, diğer metamorfik kayalara bağlı ve zaman zaman madencilik faaliyetlerine sahne olunmuş bazı titanyum yataklarına rastlanılmıştır. Bunlara Orta Ural'larda ortalama %1.5 rutil içerikli Kuznechikha yatağı iyi bir örnek oluşturur (Smirnov ve diğerleri, 1983). Metamorfik kayalardan, başta mavi şist ve ilişkili yüksek basınç fasiyesi kayaları olmak üzere,

üst amfibolit ve daha yüksek derecede metamorfizmaya uğramış kayalar rutil açısından en umutlu olanlardır. Şüphesiz ki bu raslantı değildir, bütünüyle yüksek sıcaklık ve basınç koşullarında rutil ve ilmenitin davranışı ile ilişkilidir.

Metamorfik kayalarda rutil detritik karakterli olabileceği gibi doğrudan metamorfik orjinli de olabilir. Detritik karakterli rutil, yeşil şist fasiyesi kayalarıyla, sınırlıdır. Türkiye'de Menderes Masifi metamorfik kayalarında, biotit-granat şistler içinde bu tür rutilere rastlanılmış, ancak ilerleyen metamorfizmayla birlikte disten-granat şist ve gnayslar içinde metamorfik orjinli rutil belirlenmiştir (Gültekin, 1990, 1992).

Yüksek dereceli metamorfizma koşullarını temsil eden kayalar örneğin; gnayslar, amfibolitler, mavi şistler ve eklojitler rutil içermeye daha yatkındır. Dünyanın bir çok yerinde gnayslara yönelik sürdürülen çalışmalar bu kayaların bazı koşullarda %5-6'lara varan oranda yüksek rutil içeriğine sahip olduğunu ortaya koymuştur. Bugün için, yüksek maliyet nedeniyle rutil işletmeciliğinin yapılamadığı bu tür kayalar, gelecekte ekonomik faktörlere bağlı olarak önem kazanacak birer potansiyel kaynak olarak kabul edilirler.

b) Gnayslara bağlı rutil oluşumları:

Rutil içeren gnayslar büyük çoğunlukla Prekambriyen yaşlıdır ve rutil içerikleriyle mineralojik bileşimleri arasında belirgin bir ilişki yansıtırlar. Titanyumca zenginleşmiş olanlar esas olarak disten ya da sillimat içeren türdedir. Rutil çoğunlukla 0.1-0.5 mm'lik tane boyutlu ve özşekilli, yarı özşekilli dissemine taneler halindedir. Ancak zaman zaman, mercek veya tabaka şekilli yataklanmalarda görülür. Örneğin; Colorado Front Range gnayslarında, kalınlığı 15 cm-30 m. arasında olan ve %20-30 arasında sillimanit içereğiyle birlikte topaz kuvars, biotit, apatit, zirkon ve muskovit gibi minerallerde içeren mercek şekilli yataklanmalar saptanmıştır. Rutil içeriği %5'lere kadar yükselebilen Front Range gnaysları bu özelliklerinden dolayı ayrıntılı incelemelere konu olmuştur. Pek çok metamorfik masife Front Range gnayslarına benzer şekilde, çoğunlukla disten veya sillimanitin eşlik ettiği rutil oluşumlarına rastlanılmışsa da ise de bunlar, birer potansiyel rezerv olarak önem arz ederler. Bu oluşuklardan, Virginia'da Farmille sahasında %0.5-1 rutil içeren ve ABD'nin bilinen disten kaynaklarının %50'sini oluşturan disten-kuvarsitler, Kuzey-Güney Carolina'da King Mountain sahasında sedimanter orjinli disten ve sillimanit kuvarsitler, Georgia Graves Mountainin %05-1 rutil içerikli Paleozoyik serizit-disten kuvarsitleri,

California'da White Mountain sahasında ticari değerde andaluzit içeren kuvars-serizit ve kuvars-mikaturmalin şistler içindeki rutil oluşumları, Arizona'da Yuma County'te dissemine rutil içeren disten-kuvarsitler ile küçük hacimli kuvars damarları içinde gözlenen iri rutil kristalleri ve Arizona'nın Santa Cruz metamorfik sahasında yer alan, konglomera ve kumtaşlarının kontak metamorfizmasıyla oluşmuş rutilli kuvarsitler, en iyi bilinenleri teşkil ederler (Marsh ve Sheridan, 1976; Force, 1976 a-b-c; Smirnov ve diğerleri 1973). Pek çok ülkede, ABD'nin metamorfik kayaçlarında görülen türde rutil oluşumlarına rastlamak mümkündür, bu konuda yeterli verilerin bulunduğunu söylemek güçtür. Dünyanın en büyük rutil üreticisi Avustralya'nın doğu ve batı kıyılarında sahil kuşları içinde bulunan rutil, aynı zamanda kaynak kayaçlar olan Prekambriyen yaşlı kristalin şistler içinde de bulunur. Hindistan'da olasılıkla bazik lav ve boksitik kil orjinli biotit-sillimanit şistler içinde dissemine rutil oluşumları saptanmıştır. İsviçre'de Prekambriyen kuvarsitler içinde ortalama içeriği %1.0 kadar olan çubuk şekilli rutil kristallerine ilmenit, profillit ve zirkon eşlik eder. Norveç'te sillimanit bileşimli, korundumda içeren gnayslar içinde %1.0 kadar rutil bulunur. Benzer şekilde, güney-batı Afrika'da, sillimanit-korundum içeren metamorfik kayaçlarda rutil %1.0 oranında bulunan tali bir mineraldir.

c) Titanyumca Zengin Kayaçların Metamorfizmasıyla Oluşmuş Yataklar:

Titanyumca zengin birincil kayaçların metamorfizmasıyla oluşmuş yataklara en iyi örnek Norveç'in batısında, Fjord bölgesinde bulunan cevherleşmelerdir. Dört farklı sahada yer alan ve bazıları işletilmiş olan titanyum yataklarından güney-batı ucunda, Egersund-Sognal sahasında görülenler Avrupa'nın en büyük yataklarını oluştururlar. Prekambriyen yaşlı gnayslarla çevrelenmiş büyük bir anortozit kütleri içinde ilmenitten oluşan mercer şekilli cevherleşmenin magmatik orjinli olduğu kabul edilir. Ancak Sunmore sahasında bulunan dört farklı cevherleşmenin kökeni tartışmalıdır. Biri dışında diğer üçünün etkili bir metamorfizmaya uğradıkları varsayılır. Gjelsvik (1957) tarafından önerilen oluşum modeline göre, sahada bulunan dört cevherleşmeden biri olan Qvre Roddal yatağının köken kayası, olivince zengin bazaltik bir mağmanın differansiyasyonu sonucu oluşmuş ve ilksel özelliklerini büyük ölçüde korunmuş bir gabrodur. Diğer üç cevherleşmeyi oluşturan Oyen, Verkshaugen ve Fiskå cevherleri sedimanter kökenli malzemenin metamorfizmasıyla oluşmuş, ilmenitten meydana gelmiş titanyum yataklarıdır. Bu yatakların saptanan yüksek Cr, Ni ve V değerlerinin olasılıkla sedimanter orjinli bir malzemeden kaynaklanmış olabileceği ileri sürülmüştür.

d) Metamorfik sahalarda palinjenez mağmalardan türeyen yataklar:

Bu tanıma uygunluk gösteren yataklar esas olarak, şist ve gnays karmaşığı ile migmatitleşmenin yaygın izlendiği büyük metamorfik masiflerde uyumlu yada uyumsuz yerleşmiş kuvars damarlarına eşlik eder. Cevherleşme çoğunlukla rutilden ibaret olup, anatas disten, apatit, plajiyoklaz gibi minerallerle birlikte izlenir. Çoğu zaman kuvars, kayacın mineral bileşiminin %90 veya daha fazlasını oluşturur. Kuvars damarları anateksis sonucu oluşmuş palinjenez mağmaların son ürünleri olarak kabul edilir (Schuiling, 1962; Gültekin, 1992). Özşekilli yada özşekilsiz, kristaller halinde ve tane boyutu geniş bir aralıkta değişimler gösteren rutil kimyasal yönden saf değildir. Yer yer yüksek Fe, Nb, Ta ve V içeriğiyle karakteristiktir.

Türkiye'de bu tür rutil oluşumları en belirgin şekilde, Menderes Masifi metamorfik kayalarını kesen, en fazla 100 metrelik uzunluklar halinde izlenen kuvars damarları içinde görülür. Varlığı uzun zamandan beri bilinen ve çoğunlukla metamorfiklerden beslenen rutilli alüvyonlar için bir kaynak kaya olan kuvars damarları 5-6 cm.'yi bulan iri rutil kristalleri içermeleriyle karakteristiktir. Nitekim, bu özelliklerinden dolayı bir kısmı küçük çapta madencilik faaliyetine de sahne olmuştur. Ancak, kuvars damarlarının küçük hacimli oluşu, kapsamlı bir üretimin yapımında büyük bir oluşturmaktadır.

4. ALTERASYON TİPİ TİTANYUM YATAKLARI

Alterasyon tipi titanyum yatakları çoğunlukla gabro, anortozit türü magmatik kayaçlar, daha az olarak metamorfik kayaçlar üzerinde, atmosferik ayrışma sonucu oluşmuş ticari yönden fazlaca bir önem göstermeyen yataklardır. Alterasyon sonucu gelişen zenginleşmeler ve oluşan yeni ürünler daha sonraki bir evrede metamorfizma sürecine dahil olurlarsa, Colorado rutil içeren sillimanitli gnays örneğinde görüldüğü gibi, daha büyük önem arzederler. Bu tür oluşumlara dünyanın bir çok yerinde rastlanılmaktadır. Hindistan'da iki bazı rutilli disten-kuvarsitlerin bazaltların atmosferik ayrışması sonucu oluşmuş boksitik kil orjinli olduğu ileri sürülmüştür (Marsh ve Sheridan, 1976). Ukrayna ve Kazakistan'ta gabro ve anortozitler ile metamorfik kayaçların atmosferik ayrışması sonucunda bu kayaçların üzerinde oluşmuş bazı titanyum yataklarının varlığı bilinmektedir (Smirnov ve diğerleri, 1983).

Bu tür yataklarda ayrışma sonucu oluşmuş kabuk kalınlığı bir kaç 10 metre kadardır. İlmenit içeriği m³'te bir kaç yüz kilogram, rutil ise birkaç on kilogram

civarındadır. Ana kayacın titanyum minerali aynı zamanda ayrılmış kabuğun titanyum cevherini oluşturur. Kazakistan'da metamorfik kayaların alterasyonu ile oluşmuş olan ve m³'te 180 kg. ilmenit, 74 kg. rutil içeren Kundybay yatağı alterasyon sonucu oluşmuş yataklara iyi bir örnektir (Smirnov ve diğerleri, 1983).

5. VOLKANO-SEDİMANTER YATAKLAR

Ticari değerleri az, nadiren rastlanılan titanyum yataklarıdır. Çoğunlukla, bazik bileşimli kayalardan türemiş olan, kırıntılı malzeme içeriği zengin tüf, tüfit ve tüf arakatlı kumtaşlarıyla ilişkilidirler. Titanyum mineralleri esas olarak birbirleriyle çimentolanmış iri tüfçenlik kayaç parçacıkları içindedir. Tane boyutları 0.5 mm. nin üzerine ender olarak çıkar. Terrijenik malzemenin artışına ilişkin, ilmenit yada rutil miktarında düşüş, bazik bileşimli kayalardan türemiş olduklarını kuvvetlendirir. Olasılıkla sığ denizel ortamlarda yerleşmiş ve çoğunlukla ilmenitten oluşan bu tür yataklar zaman zaman yoğun denizaltı volkanik aktiviteye de maruz kalmıştır. Bu türün en iyi bilinen cevherleşmelerine Rusya Cumhuriyeti'nde Voronezh Bölgesinde yer alan Nizhny-Mamon yataklarında rastlanılır (Smirnov ve diğerleri, 1983).

6. TİTANYUMUN YAN ÜRÜN OLARAK KAZANILDIĞI YATAKLAR

İşletilen bazı madenlerden yan ürün olarak titanyumun kazanılmasıyla dünya ilmenit üretiminin %20, rutil üretiminin ise yaklaşık %7 dolayında bir artış gösterebileceği ileri sürülmüştür (Force, 1976 a). Ancak bu oranları, bir çok ülkenin maden üretimi istatistik verilerinin yeterince bilinmemesi nedeniyle kesin olduğu söylenemez.

Boksitlerde titanyum minerallerine, kimyasal işlevler sonunda oluşmuş kalıntı malzemeler içinde rastlanılır. Bu konuyla ilişkili olarak yayınlanmış olan çok sayıda bilimsel eser daha çok ince taneli malzeme içinde bulunan titanyum minerallerini kazanma imkanına yönelik kimyasal yöntemleri konu alır (Stamper, 1965). Ülkemizde Payas ve Seydişehir'de boksitin işlenmesinden oluşan kırmızı renkli çamurlu artıklar %5.5-10.5 arasında titanyum içeriğine sahiptir, ancak bu çamurlu artıkların değerlendirilmesi şimdilik mümkün görünmemektedir.

Rutil, porfiri bakır yataklarında bakırın oluşumundan sorumlu hidrotermal solüsyonların kayaçta oluşturduğu alterasyon sonucunda oluşan minerallerden biridir. Williams ve Cesbron. (1977), hidrotermal alterasyona uğramış kayaçlarda rutilin oluşumundan iki farklı reaksiyonun sorumlu olduğunu ileri sürerler. Araştırmacılara göre, birinci reaksiyon doğrudan sülfür girişi sonucu hornblend ve biotit gibi mafik minerallerin sülfür basıncı etkisiyle parçalanarak pirit, magnetit rutil ve bazı çubuk şekilli silikatlara dönüşmesiyle belirginleşir. Önceleri

Schuiling ve Vink (1967) tarafından ileri sürülmüş olan, daha sonraları Williams ve Cesbron (1977) tarafından da savunulmuş olan rutilin oluşumundan sorumlu ikincil reaksiyon büyük ölçüde yüksek CO₂ basıncının etkisiyle gelişmektedir. Bu modele göre rutil, sfen ve karbonattan oluşan üçlü bir sistemde reaksiyon dengesi CO₂ basıncının bir fonksiyonu olup, yüksek CO₂ basıncı rutilin kristalleşmesi yönünde etkili olmaktadır.

Bazı denizel fosfatlar içinde rutil ve ilmenite rastlanılmıştır. Bu konuda bilinen en iyi örnek Florida'da bulunan fosfat yataklarıdır. Yatakta gözlenmiş olan titanyum mineralleri, Bone Valley formasyonunda fosfat çakıllı konglomeralar içinde detritik taneler halindedir. Atmosferik ayrışmaya mazur kaldığı kabul edilen ilmenitin TiO₂ içeriği %60'dan daha fazladır.

Yukarıda değinilen yataklar dışında pek çok farklı türde yatakta titanyumun yan ürün olarak kazanılması mümkündür. Güney Afrika'da bulunan ve dünyanın en önemli krom, vanadyum ve platinyum kaynağı olan Bushveld kompleksinde bir yan ürün olarak büyük miktarlara varan oranda titanyum kazanılır. İlmenit tenörü %1-10 arasındadır. Yüzde birlik bir tenör ortalamasına göre yatakta 2 milyon tonluk ilmenitin bulunduğu tespit saptanmıştır (Espenshade, 1973).

SONUÇLAR

Yerkabuğunda oldukça yaygın olan ve birçok oksid ve silikat minerali bilinen titanyumun cevher oluşturabilen mineralleri rutil ve ilmenitle sınırlıdır. Titanyumlu silikat mineralleri kayacın toplam titanyumuna katkı sağlayan ekonomik değeri bulunmayan, yalnızca olabilecek bir jeo-kimyasal titanyum çevirimine katılacak olası mineralizasyonlara ilmenit ve rutil veren birer mineral olarak arz ederler. Birçok kayaç türü içinde alkali karakterde olanlar yüksek titanyum içerikleriyle dikkatleri çeker. Özellikle doğrudan manto kökenli olan alkali volkanitlerin yüksek titanyum dioksit değerleri bu kayaçları tanımlamada belirgin bir ip ucurdur. Bu kayaçların ortalama TiO₂ değerleri çoğunlukla %2-4 arasında kalır. Buna karşın kıtasal kabuk veya kıtasal özünleme içeren manto ürünlerinden oluşan mağmasal kayaçlar ile volkanitlerin ortalama titanyum içerikleri genelde %1.0 TiO₂ altında olup, bu değerlerin üzerine nadiren çıkar. Kıtasal kabuğun, okyanusal kabuktan belirgin şekilde düşük titanyum içeriğine sahip olması varılan genel sonuçlara uyumluluk gösterir.

Dünyanın en büyük magmatik titanyum yatakları esas olarak andezin-anortozitler içinde yer alır. Bu yataklarda cevher mineralleri değişmez şekilde Fe-Ti oksid minerallerinden oluşur. Yatakların titanyum içeriği çoğunlukla %10-30 TiO₂ arasında değerler alır. Alkali karakter kazanmış olanlarda ilmenitle birlikte rutile rastlamak olağandır. Ülkemizde bugüne değin, magmatik titanyum yataklarının bulunduğu dair verilere

rastlanılmamış, buna karşın titanyum içeriği yüksek bazı demir yataklarının varlığı ortaya konmuştur.

Metamorfik kayalar içinde yüksek sıcaklık ve basınç koşullarını temsil eden kayaların metamorfik orjinli yüksek rutil içerikleri bunların başlıca karakteristik özelliklerinden birini oluşturur. Buna karşın düşük sıcaklık ve basınç koşullarında oluşmuş metamorfikler içinde zaman zaman anatasla birlikte detritik kökenli rutile rastlanılmaktadır. Eklojit, glükofan şist ve amfibolitler en yüksek titanyum içeriğine sahip metamorfik kayalardır.

Metamorfikler içinde rutil ve ilmenitin oluşumundan ilerleyen metamorfizma sorumludur. Metamorfik rutil ilk defa disten zonunda ortaya çıkar. Sillimanit zonunda ise büyük ölçüde serbestleşmiştir. Bu nedenle disten ve sillimanitin izlendiği metamorfik kayalar içinde rutile rastlama olanağı daha yüksektir.

Plaser titanyum yatakları esas olarak rutilin üretildiği yataklar olup, dünya rutil üretiminin yarısından fazlasını karşılarlar. Gerek düşük tenörlerin işletilmesine elverişli olmaları gerekse rutil ve ilmenitin doğal olarak serbestleşmiş olması bu yataklara olan ilginin artmasına yol açmıştır. Bu türdeki yataklar Türkiye içinde önemli birer titanyum potansiyelidir.

Alterasyon sonucu oluşmuş titanyum yatakları ile volkano-sedimanter titanyum yataklarının fazlayca bir önemleri yoktur. Doğada her iki şekilde oluşmuş olan yatakların sayısı oldukça sınırlıdır.

Bazı yataklarda yan ürün olarak titanyumun kazanılması ilginç olabilir. Madencilik pasaları bazı durumlarda yüksek TiO_2 değerlerine sahip olduğundan mutlaka değerlendirilmelidir ve bu yolla önemli bir titanyum potansiyeline sahip olunabileceği hatırlanmalıdır.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Arda, O., 1972, Adana'nın Osmaniye-Yarpuz-Kaynak Havalisindeki Serpantinlerin Kompozisyon ve Orjinlerinin Araştırılması ve Sınıflandırılması, M. T. A. Dergisi, Sayı: 78, Sayfa: 36-43.
- Ayan, M., 1959, Contribution a L'étude Petrographique et Géologique de la Région Située a'Nord-Est de Kaman (Turquie) Tome I-II, Doktora Tezi, p.440.
- Aydın, Y., 1974, Etude Petrographique et Geochimique de la Partle Centrale du Massif d'Istranca (Turquie) Doktora Tezi, 130 sayfa.
- Aykol, A., 1979, Kırklareli-Demirköy Sokulumunun Petroloji ve Jeokimyası, İ. T. Ü. Maden Fak. Doçentlik Tezi, 204 sayfa.
- Baş, H. ve diğ. 1986, Ulukışla-Çamardı (Niğde) Volkanitlerinin Bazı Petrolojik ve Jeokimyasal Özellikleri, Jeoloji Mühendisliği, Sayı: 26, Sayfa: 37-34.
- Bayhan, H., 1988, Bayındır (Kaman) Yöresindeki Alkali Kayaların Jeokimyası ve Kökensel Yorumu, Türkiye Jeoloji Bülteni, C. 31, Sayfa: 59-70.

- Batum, I., 1978, Nevşehir Güneybatısındaki Göllüdağ ve Acıgöl Yöresi Volkanitlerinin Jeolojisi ve Petrografisi, Yerbilimleri, Sayı: 4, 1-2.
- Best, J. L., Bratshaw, A. C., 1985, Flow Separation-A Physical Process For The Concentration of Heavy Minerals Within Alluvial Channels, J. Geol. Soc. London, Vol. 142, pp. 347-375.
- Blake, M. C. and Morgan, B. A., 1976, Rutile and Sphene in Blueschist and Related High-Pressure-Facies Rocks, Geological Survey Professional, paper 959. C1-C6.
- Boehm, G. A. W., 1949, Titanium: A New Metal, Scientific American, pp.258 1-6.
- Boztuğ, D. ve Yılmaz, O., 1983, Büyükçağ-Elmalıçağ Granitoyidi (Kastamonu) ve Çevre Kayalarının Mineralojik-Petrografik ve Jeokimyasal İncelenmesi, Yerbilimleri Dergisi, Sayı:10, Sayfa: 71-89.
- Buddington, A. F., and Lindsley, D. H., 1964, Iron-Titanium Oxide Minerals and Synthetic Equivalents, Journal of Petrology, Vol. 5, Part. 2, pp. 310-357.
- Bürküt, Y., 1966, Kuzeybatı Anadolu'da Yeralan Plütonların Mukayeseli Jenetik Etüdü. İ. T. Ü., doktora Tezi, 272 sayfa.
- Bürküt, Y., 1977, Orta ve Para Gnayslarda Li, Rb, Cs ve Sr'un Dağılımı ve Bazı Petrolojik Sonuçlar, İ. T. Ü. Maden Fak. 68 sayfa.
- Candan, O., 1988, Demirci-Borlu Arasında Kalan Yörenin (Menderes Masifi Kuzey Kanadı) Petrografisi, Petrolojisi ve Mineralojisi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Doktora Tezi.
- Çağatay, A., 1979, Hakkari-Çukurca-Taşbaşı Fosil Plaser Zuhuru ve İçinde Gözlenen Prekambriyen Yaşta Ultrabazik Kayaç İzleri, Jeoloji Mühendisliği, Mayıs sayısı, Sayfa: 15-22.
- Çapan, U. Z., 1981, Toros Kuşağına Ait Beş Ofiyolit Masifinde (Marmaris, Mersin, Pozantı, Pınarbaşı, Divriği) Major Element Analizlerinin İstatistiksel Yorumu: 1. Ortalama Değerlerin Karşılaştırılması. Yerbilimleri, Sayı: 7.
- Çoban, F., 1988, Batı Karadeniz Bölgesinde Üst Kretase Yaşlı Akçakoca Volkanitlerinin Petrokimyasal Özellikleri, Jeoloji Mühendisliği, Sayı: 16, Sayfa: 43-48.
- Çoğulu, E., 1975, Gümüşhane ve Rize Bölgelerinde Petrolojik ve Jeokronometrik araştırmalar, İ. T. Ü. Kütüphanesi, No. 1034.
- Dachille, F. and Others, 1968, Pressure-Temperature Studies of Anatase, Brookite Rutile and TiO_2 -II. The American Mineralogist, Vol. 53, pp. 1229-1939.
- Dağ, N., 1988, Gördes Pegmatoidlerinin Mineralojik ve Jeokimyasal İncelenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Doktora Tezi, 142 Sayfa.
- Dickson, T., 1986, Turkey's Minerals, Industrial Minerals, No. 227.

- Duchesne, J., 1972, Iron-Titanium Oxide Minerals in the Bjerkrem-Sognal Massif, South-Western Norway, *Journal of Petrology*. Vol. 13, Part. 1, pp. 57-81.
- Ercan, T. ve diğ., 1978, Uşak Yöresindeki Neojen Havzaların Jeolojisi. T. J. K. Bülteni, Sayı: 21/2.
- Ercan, T. ve diğ., 1979, Uşak Volkanitlerinin Petrolojisi ve Plaka Tektoniği Açısından Ege Bölgesindeki Yeri, T. J. K. Bülteni, 22/2, Sayfa: 185-198.
- Ercan, T. ve diğ., 1985, Batı Anadolu Senozoyik Volkanitlerine Ait Yeni Kimyasal, İzotopik ve Radyometrik Verilerin Yorumu, T. J. K. Bülteni, Cilt. 28, Sayı: 2, Sayfa: 121-136.
- Ercan, T. ve diğ., 1990, Balıkesir-Bandırma Arasının Jeolojisi, Tersiyer Volkanizmasının Petrolojisi ve Bölgesel Yayılımı, M. T. A. Dergisi Sayı: 110, Sayfa: 113-130.
- Ercan, T. ve Türkecan, A., 1984, Batı Anadolu-Ege Adaları-Yunanistan ve Bulgaristan'daki Plütonların Gözden Geçirilişi, T. J. K. Ketin Simpozyumu, Sayfa: 189-208.
- Erdoğan, B., 1990, İzmir-Ankara Zonu ile Karaburun Kuşağının Tektonik İlişkisi, M. T. A. Dergisi, Sayı: 110, Sayfa: 1-15.
- Eren, R. H., 1979, Kastamonu-Taşköprü Bölgesi Metamorfitlelerinin Jeolojik ve Petrografik Etüdü, İ. T. Ü. Doktora Tezi.
- Erkan, Y., 1975, Orta Anadolu Masifinin Güneybatısında (Kırşehir Bölgesi) Etkili Rejyonel Metamorfizmanın Petrolojik İncelenmesi, Doktora Tezi, Sayfa: 149.
- Espenshade, G., 1973, Kyanite and Related Minerals, U. S. Geol. Survey Prof. Paper, 820, pp. 304-312.
- Evirgen, M. M., 1979, Menderes Masifi Metamorfizmasına Petroloji, Petrokimya ve Jenez Açısından Yaklaşımlar (Ödemiş-Tire-Bayındır-Turgutlu Yöresi) H. Üniversitesi, Doktora Tezi.
- Force, E. R., 1976 a, Titanium Contents and Titanium Partitioning in Rocks, Geological Survey Professional paper, 959, A1-Ag.
- Force, E. R., 1976 b, Titanium Minerals in Deposits of Other Minerals, Geological Survey Professional Paper, 959, F1-F14.
- Force, E. R., 1976 c, Metamorphic Source Rocks of Titanium Placer Deposits -A Geochemical Cycle, Geological Survey Professional Paper, 1959, B6-B13.
- Force, E. R., 1980, The Provenance of Rutile, *Journal of Sedimentary Petrology*, Vol. 50, No. 2, pp. 485-488.
- Gallagher, M. J., 1974, Rutile and Zircon in North Umbrian Beach Sands, *Institution of Mining and Metallurgy Bulletin*, No. 813, pp. B97-98.
- Gedikoğlu, A. ve diğ., 1985, Doğu Karadeniz Çevreleşmesine bir örnek: Ocaklı (Çağca- Trabzon) Manganez Zuhuru. *Jeoloji Mühendisliği*, Sayı: 25, Sayfa: 23-38.
- Genç, S., 1990, Bitlis Masifi, Çökekyazı-Gökyay (Hizan, Bitlis) Yöresi Metamorfitlelerinin Petrografisi, Metamorfizması ve Kökeni T. J. K. Bülteni, Cilt. 38, Sayı: 2, Sayfa: 1-14.
- Gjelsvik, T., 1957, Geochemical and Mineralogical Investigation of Ti-Taniferous Iron Ores, West Coast of Norway, *Economic Geology*, Vol. 52, pp. 482-498.
- Goldsmith, R., Force, E. R., 1978, *Mineral Deposita*, 13, pp. 329-343.
- Göncü, N., 1986, Titanyum Mineralleri ve Geleceği, *Yer yuvarı ve İnsan*, Cilt. 11, Sayı: 4, Sayfa: 3-7.
- Gültekin, A. H., 1989 a, Titanyum Yatakları ve Türkiye'nin Potansiyeli, *Maden dergisi*, Yıl. 1, Sayı: 3, Sayfa: 11-13.
- Gültekin, A. H., 1986 b, Metamorfik Kayaçlarda Titanyumun Dağılımı, İ. T. Ü. Dergisi, Cilt. 47, Sayı: 2.
- Gültekin, A. H., 1990, Menderes Masifi (Çiniyeri-Küre Bölgesi) Plaser Rutil Yatakları, İ. T. Ü. Fen Bilimleri Enst., Doktora Tezi, Sayfa: 256.
- Gültekin, A. H., 1991 a, Titanyum Endüstriyel Önemi, *Maden Dergisi*, Eylül Sayısı, Sayfa: 12.
- Gültekin, A. H., 1991 b, Dünya Alüvyal Altın Plaserleri, İ. T. Ü. Dergisi Cilt 49. Sayı: 2, Sayfa: 30-39.
- Gültekin, A. H., 1991 c, Çiniyeri-Küre (Tire) Sahasındaki Fulival Sedimanların Ağır Mineralleri, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, C. 34, Sayfa: 73-83.
- Gültekin, A. H., 1992, Çiniyeri-Küre Bölgesi (Menderes Masifi) Metamorfik Kayalarında Rutilin Kökeni ve Fluvial Sedimanların Rutil İçeriği, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, Cilt. 35, Sayı: 1.
- Herz, N., 1976 a, Titanium deposits in Anorthosite Massifs, *Geological Survey Professional Paper*, 959, D1-6.
- Herz, N., 1976 b, Titanium Deposits in Alkalic Igneous Rocks, *Geological Survey Professional Paper*, 959, E1-E6.
- İzdar, E., 1968, Kozak İntusif Masifi Petrolojisi ve Paleozoyik Çevre Kayaçları ile Jeolojik Bağlantıları, T. J. K. Bülteni, XI/1-2.
- Innocenti, F., et al., 1975, The Neogene Calcalkaline Volcanism of Central Anatolia: Geochronological Data on Kayseri-Niğde Area. *Geol. Mag.*, 112/4, pp. 349-360.
- Jamieson, J. C., and Olinger, B., 1969, Pressure-Temperature Studies of Anatase, Brookite, Rutile and TiO₂ (R): A Discussion, *the American Mineralogist*, Vol.54, pp. 1477-1481.
- Kartashov, I. P., 1971, Geological Features of Alluvial Placers, *Economic Geology*, Vol. 66, pp. 870-885.
- Ketin, İ., 1983, Türkiye Jeolojisine Genel Bir Bakış, İ. T. Ü. Maden Fak. Sayı: 1259, Sayfa: 595.
- Kibici, Y., 1990, Sarıcakaya (Eskişehir) Volkanitlerinin Petrolojisi ve Kökensel Yorumu. T. J. K. Bülteni, Cilt. 33, Sayı: 2, Sayfa: 69-78.

- Klemic and Others, 1976, Titanium, Geol. Survey Prof. Paper, 820, pp. 653-665.
- Kwak, A. P., 1968, Ti in Biotite and Muscovite as an Indication of Metamorphic Grade In Almandine Amphibolite Facies Rocks From Sudbury Ontario, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 32, pp. 1222-1229.
- Lambert, R. J., et al. 1974, Chemical Petrology of a Suite of Calcaline Lavas From Mount Ararat, Turkey, *Jour. of Geology*, Vol. 82, pp. 419-438.
- Lee, T. and Yao, C., 1970, Abundance of Chemical Elements in the Earth's Crust and its Major Tectonic Units: *Internat. Geology Rev.* V.12, pp. 778-786.
- Lister, G. F., 1966, The Composition and Origin of Selected Iron-Titanium Deposits, *Economic Geology*, Vol. 61, pp. 275-310.
- Marsh, S., and Sheridan, D. M., 1976, Rutile in Precambrian Sillimanite-Quartz Gneiss and Related Rocks, East-Central Front Range, Colorado, *Geological Survey Professional Paper*, 959. G1-G17.
- Minard, J. P. and Other, 1976, Alluvial İlmenite Placer Deposits, Central Virginia, *Geological Survey Professional Paper*, 959-H.
- M. T. A. Dergisi, 1966, Ağır ve Nadir Mineraller ve Kıymetli Mineraller Arama Projesi, No: 4636.
- Nuhoğlu, İ., 1988, Çavdar-Demirtepe (Söke-Aydın) Demir Yatağının Petrokimyasal İncelenmesi, *T. J. K. Bülteni*, Cilt. 31, Sayı: 2, s. 37-50.
- Önen, A. P. ve Ünan, Ç., 1988, Kaman (Kırşehir) Kuzeydoğusunda Bulunan Gabroların Mineralojisi, Petrografisi, *T. J. K. Bülteni*, Cilt. 31, Sayfa: 23-28.
- Örgün, Y., 1992, Orhaneli Bölgesi Ultrabaziklerinin Kimyasal Özellikleri. *İ.TÜ Dergisi*, (Yayınlanacak).
- Özpeker, I., 1973, Nemrut Yanardağının Volkanolojik İncelenmesi, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu, Temel Bilimler Araştırma Grubu, Proje No: TBAG-83, Sayfa: 68.
- Özkoçak, O., 1969, Etude Ge'ologique du Massif Ultrabazique d'Orhaneli et de Sa Proche Bordure, These, Univ. Paris. 181 p.
- Pişkin, Ö., 1979, Kadıkalesi-Girelbelen (Turgutreis-Muğla) Pb-Zn-Cu Cevherleşmelerinin Mineralojik-Jenetik İncelenmesi, Doçentlik Tezi, Ege Üniversitesi.
- Pettijohn, F. J., 1941, Persistence of Heavy Minerals and Geologic Age, *The Journal of Geology*, Vol. XLIX., No. 1, pp. 610-625.
- Reid, I., and Frostck, L. E., 1985, Role Setting Entrainment and Dispersive Equivalence and Interstic Trapping in Placer Formation. *J. Geol. Soc. London*, Vol. 142, pp. 739-746.
- Savaşçın, Y., 1794, Batı Anadolu'da Andezit ve Bazalt Jenezi Sorununa Katkıları, *T.J.K.Bülteni*, Sayı: 1211.
- Schuilng, R. D., and Vink, B. W., 1967, Stability Relations of Some Titanium-Minerals (Sphene, Perovskite, Rutile, Anatase), *Geochemica et cosmochimica Acta*, Vol. 31, pp. 2399-2411.
- Schuilng, R. D., 1962, Türkiye'nin Güneybatısındaki Menderes Migmatit Kompleksinin Petrolojisi, Yaşı ve Yapısı Hakkında, *M. T. A. Dergisi*, Sayı: 58, Sayfa: 71-83.
- Scott, P. W., 1977, Titanium in Aegirines-a Comment On: Crystallizations Trends of Pyroxenes From The Alcaline Volcanic Rocks of Tenerife, Canary Islands, *Mineralogical Magazine*, Vol. 41, pp. 553-554.
- Shannon, R. D., and Park, J. A., 1964, Topotaxy in the Anatase-Rutile Transformation, *the American Mineralogist*, Vol. 49.
- Smirnov, W. I. and Other, 1983, *Studies of Mineral Deposit*, Moscow, pp. 50-59.
- Solmaz, O. M., 1983, Çukur (Kayseri) Bölgesi Siyenitik Kompleksinin Petrolojik Etüdü. *İ. T. Ü. Doktora Tezi*, Sayfa: 85.
- Stamper, J.W., 1965, Titanium, Mineral Fact and Problems, *Buletin* 630, pp. 970-990.
- Tanyolu, E., 1979, Marmara Adası Metamorfik Serilerinin Petrolojik Etüdü, *Z. D. M. M. A. Maden Bölümü, Doktora Tezi*.
- Tankut, A., 1990, Ankara Ofiyolit Melanj Kuşağı İçindeki Ofiyolitik Kayaçların Tektonik Oluşum Ortamlarına Jeokimyasal Bir Yaklaşım, *M. T. A. Dergisi*, Sayı: 110, Sayfa: 17-28.
- Tankut, A., ve Sayın N. M., 1990, Edige Ofiyolit Kütlesindeki Mineral Fazları. *M. T. A. Dergisi*, Sayı: 110, Sayfa: 97-111.
- Tokel, S., 1977, Doğu Karadeniz Bölgesinde Eosen Yaşlı Kalk-Alkalen Andezitler ve Jeotektonizma, *T. J. K. Bülteni* 20/1. Sayfa: 49-54.
- Tourtlot, H. A., 1968, Hydraulic Equivalence of Grains of Quartz and Heavier Minerals and Implications for the Study of Placers. *U. S. Geol. Survey Profess. Paper*, 594-F, pp. F1-F13.
- Uncugil, G., 1969, Küçük Menderes Nehri Alüvyonlarında Titanla İlgili Ağır Minerallerin Alüvyoner Prospeksiyon Raporu. *M. T. A. Raporu*, No: 8653, Sayfa: 6.
- Uz, B., 1973, Les Formation Métamorphiques et Granitiques du Massif Ancien d'Akdağ (Simav-Turquie) et Leur Convertures Volcano-Sedimentaire. Tome. I-II, *Doktora Tezi*.
- Williams, S. A., and Cesbron, F. P. 1977, Rutile and Apatite: Use Ful Prospecting Guides for Porphyry Copper Deposits, *Mineralogical Magazine*, Vol. 41, pp. 288-292.
- Yılmaz, Y., 1984, Türkiye'nin Jeolojik Tarihinde Mağmatik Etkinlik ve Tektonik Evrimle İlişkisi, *Türkiye Jeoloji Kurumu, Ketin Simpozyumu*, Sayfa: 63-81.