

Benin Cumhuriyeti, Pan Afrika Dahomeyides Kuşağı (Batı Afrika) maden kaynakları potansiyeli

Mehmet ATAR¹ ve Emin ÇİFTÇİ¹

Öz

Benin'in mineral potansiyeli üç kategoride toplanabilir; (I) İnşaat ve tarım için hemen işletilebilir kaynaklar; bunlar arasında tuğla ve kiremit ve kendinden kilitli stabilize tuğla üretimi için killeri; kireç üretimi için mermer, kayrak taşı üretimi için kuvarsit, çimento ve kireç ve mikronize kalsit üretimi için kireçtaşı, blok taş ve kırma taş üretimi için granit; gübre olarak turba ve fosfatlar ve inşaat için kum yer almaktadır. (II) Veri doğrulama testi ve kullanım koşullarının iyileştirilmesini gerektiren kaynak birikimleri; bunlar arasında altın, mermer, süs taşları, kaolin, demir, alçı ve silis kumu yer almaktadır. (III) Katma değerler için geliştirilmesi ve teşvik edilmesi gereken kaynaklar; bunlar arasında altın, nikel, krom, boksit, değerli taşlar, zirkonyum, monazit, rutil ve jips bulunmaktadır.

1. Giriş

Benin Cumhuriyeti, tropikal kuşaklar arası bölgede yer alan ve toplam yüzölçümü 112.622 km² olan bir Batı Afrika ülkesidir. 6°15'K–12°30'K ve 1°00'D–3°40'D koordinatlarıyla sınırlanmıştır ve Nijer, Burkina Faso, Togo, Nijerya ve Atlantik Okyanusu ile çevrelenmiştir (Şekil 1). Oldukça engebeli bir rölyefe ve ortalama 200 m rakıma sahip bir kara şerididir.

Benin bölgesi, Pan-Afrika Dahomeyides Kuşağı'nın bir parçasıdır ve Batı Afrika'nın Pan-Afrika Kuşağı'nın güney kesimini oluşturur (Affaton, 1990; Castaing vd., 1993; Trompette, 1994; Peuca vd., 2005). Kuşak, Hoggar dağlarından Benin Körfezi boyunca uzanır ve doğuya doğru Orta Afrika'ya ve daha güneyde Brasiliano Kuşağı olarak adlandırılan Kuzeydoğu Brezilya'ya kadar devam eder (Caby, 1989; Caby vd., 1991; Monie vd., 1997). Dahomeyid Kuşağı'ndaki kayalar, yüksek basınç ve yüksek sıcaklık metamorfizmasından etkilenmiştir ve Neoproterozoyik yaşındadırlar (Affaton, 1990; Castaing vd., 1993; Attoh, 1998; Ferré vd., 2002).

Batı Afrika'nın Pan-Afrika Kuşağı, yüzyıllardır gayri resmi amatör madencilik faaliyetleri, mineral kaynakları potansiyeli ve mineral üretimi ile bilinmektedir (Robertson ve Peters, 2016).

Benin'de önemli mineral kaynakları keşfedilmiştir (Chermette, 1938, 1939; Chermette ve Olori-Togbé, 1966; Kriatov vd., 1980, 1995; Kirov ve Boboé, 1983; Adjo vd., 2019) ancak ekonomik potansiyeli hakkında çok az şey bilinmektedir. Aslında, Benin Cumhuriyeti'nin farklı yerlerinde potansiyel kaynaklar kanıtlanmış olsa da bunlar hakkında kapsamlı bir çalışma yapılmamıştır. Mevcut verilerin çoğu, yayınlanmamış yerli şirket raporları ve birkaç konferans özeti ile sınırlıdır. Ayrıntılı özellikler iyi bilinmemekle birlikte, bu sınırlı çalışmalar mineral veya malzeme kaynaklarının oluşumunu anlamada ve arama programlarının tasarlanmasında önemli ipuçları sunmaktadır.

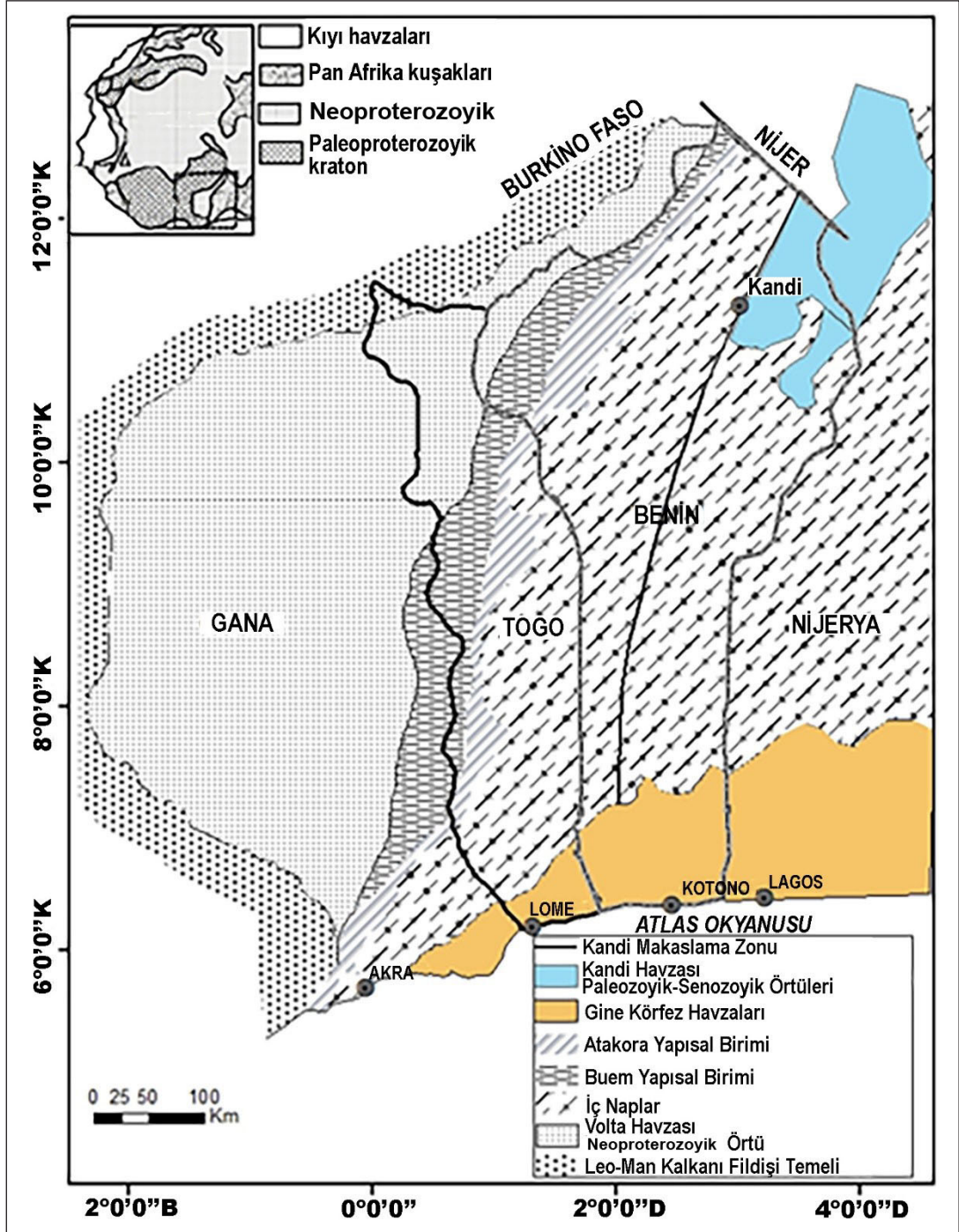
Bu çalışma, Benin Cumhuriyeti'nin mineral potansiyelini ortaya koymayı amaçlamaktadır. Mineral yatak türleri ve mineralizasyon yerleri vurgulanmakta ve potansiyel yorumları sunulmaktadır.

2. Jeolojik Durum

2.1. Bölgesel Jeoloji

Batı Afrika'da bulunan Trans-Sahara / “daha büyük” Brasiliano kuşağı, batıda Batı Afrika Kratonu (DAK), doğuda Sahra Metakratonu ve Kongo Kratonu arasında uzanır (Şekil 1). 3000 km uzunluğa ve 500-800 km genişliğe varan kuzey-güney yönelimli bir Pan Afrika hareketli kuşağıdır (Cahen vd., 1984; Green, 1993). Kuşak, okyanus bölgesinin yitiminden ve birleşen Batı Afrika Kratonu, Kongo Kratonu ve Sahara Metakraton kıtasal blokları arasındaki çarpışmadan kaynaklanan, Batı Afrika kratonlarının kenarına paralel olan mega-kesme bölgelerinin oluşumuna neden olan (Black ve Liegeois, 1993) bir terrane (mikro levha) olarak yorumlanmaktadır (Caby, 1996; Caby, 1987; Liegeois vd., 2003). Doğu Gana, Togo, Benin, Nijerya ve Kamerun'daki Batı Afrika kıyılarından Çad, Nijer, Mali üzerinden Kuzey Afrika'daki Cezayir'e kadar uzanır (Castaing vd., 1993). Kuzey-güney yönlü makaslama zonu tarafından kesilen üç ana yüzeyleme alanı tanımlanabilir: (I) Kuzey Tuareg/Hoggar kalkanı, (II) Gourma Aulacogen ve (III) yalnızca Hoggar ve Dahomeyan kalkanlarında mevcut olan kapsamlı yüzlekleme temsil edilen güney Dahomeyan kalkanı (Petters, 1991; Trompet, 1994).

¹İTÜ Maden Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Maslak, Sarıyer, İstanbul, Türkiye.

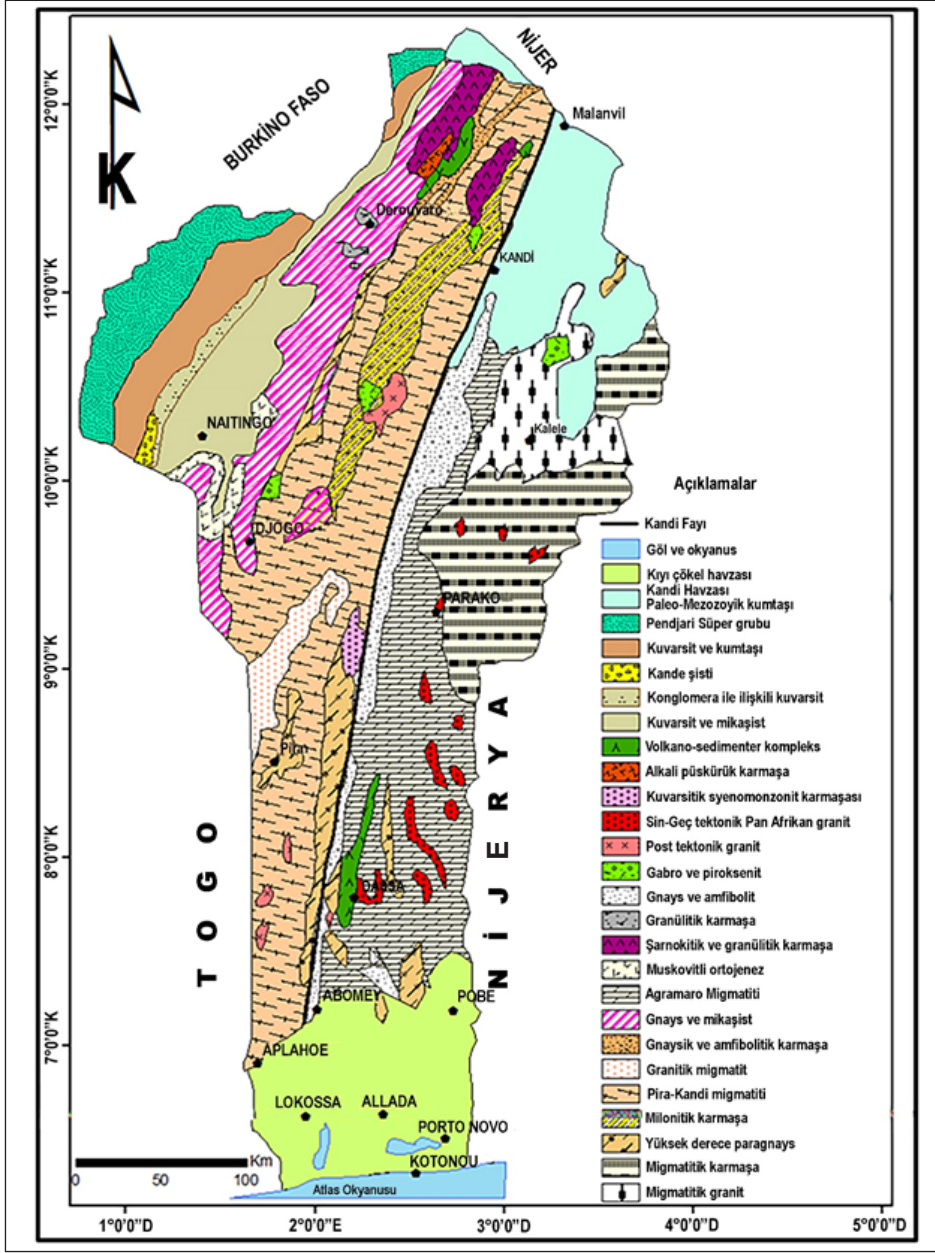


Şekil 1- Volta Havzası ve Pan-Afrika Dahomeyides Kuşağı'nın jeolojik haritası (Adjo vd., 2019'dan değiştirilerek hazırlanmıştır).

Pan-Afrika Dahomeyides Kuşağı olarak da bilinen bu güney Dahomey kalkanı, Volta Havzası'nın batısına doğru ve hatta doğrudan Gana'daki (Accra sektörü) Batı Afrika Kratonu üzerinde kurulmuştur (Şekil 2). Kuşak, Neoproterozoyik sırasında Benino-Nijerya Kalkanı ile Batı Afrika Kratonu'nun güneydoğu kenarı arasındaki kıta çarpışmasından kaynaklanmıştır (Caby, 1989; Affaton, 1990; Affaton

vd., 1991). Doğudan batıya doğru iç naplar, kenet kuşağı ve dış naplardan oluşur.

Batı Afrika Kratonu üzerine bindiren dış naplar, tektonik ve metamorfik pasif kenar tortul çökeltilerinden (Orta ila Geç Proterozoyik yaşlı) oluşmaktadır. Bu alan, Kante ve Atakora napları gibi orta ila yüksek basınç metamorfizması gösterir.



Şekil 2- Benin'in geliştirilmiş jeolojik haritası (Adjo vd., 2019).

En dıştaki naplar, yeşil şist fasiyes toplulukları ile ankizonal şeyl ve kumtaşı, jasper, fillit ve çeşitli kuvarsitlerden oluşan Buem ve Atacora yapısal birimlerini oluşturur. Kenet kuşağı (ara naplar), batı dış naplarının üzerinde tektonik olarak uzanan ve doğu iç napların altında yatan bazik ve ultrabazik masifler, meta-sedimenter kayalar ve ortognayslardan oluşur (Caby, 1989; Affaton, 1990; Affaton vd., 1991; Castaing vd., 1993; Tairou vd., 2012). Benino-Nijerya kalkanını oluşturan iç naplar, Neoproterozoyik termotektonik olaylar sürecinde yeniden kristallenmiş ve remobilize olmuş çoğunlukla Arkeen plütonik

kayalardan (granit ve şarnokit gibi) türemiş olan ortognays ve granülit içeren anatektik gnayslardan oluşmaktadır (Caby, 1989; Castaing vd., 1993).

İç nap kayaları, bindirme ile ilişkili ve eş zamanlı ve geç levha içi (transcurrent) makaslama zonu ile ilişkili granitler tarafından kesilir (Neves vd., 2000; Caby, 2003; Attouh vd., 2013; Dawai vd., 2013; Adissin Glodji vd., 2014). Pan-Afrika/Brasiliano Kuşağı boyunca, Dahomeyides'teki Kandi Makaslama Zonu ve kuzeydoğu Brezilya'daki Trans-Brasiliano çizgisel yapısı, kuzeydoğu Brezilya ile Batı Afrika (Nijerya-

Benin-Togo-Gana) arasında iyi bir korelasyon gösteren önemli kıtalararası makaslama zonları mevcuttur (Caby, 1989; Trompette, 1994; Neves, 2003; Arthaud vd., 2008; Dos Santos vd., 2008).

2.2. Benin Cumhuriyeti'nin Özet Jeolojisi

Pan Afrikan Dahomeyides Kuşağı'nın güney kısmına ait olan Benin Cumhuriyeti'nin altında kristalin temel ve tortul kayalar bulunur. Kristalin temel kayaları, Benin topraklarının yaklaşık %83'ünü oluşturur ve 3 birimden oluşur: (I) Dahomeyidler Orojenik Kuşağı'nın dış napları, (II) Sütür zonu (orta nap) ve (III) İç napları. Aynı şekilde, tortul bölge 3 havzadan oluşur: (I) Kıyı Sedimanter Havzası, (II) Kandi Havzası ve (III) Volta Havzası (Pougnnet, 1957; Affaton vd., 1978; Bessoles ve Trompette, 1980) (Şekil 2).

(I) Dış naplar, Buem ve Atacora yapısal birimlerini kapsar. Buem Yapısal Birimi (BSU), dış nap bölgesinin en batı bölümünü oluşturur ve batıda Volta Havzası'na doğru itilmiştir (Şekil 2). Ağırlıklı olarak masif arkozlardan ve kalın bir şeyl yığını, kumtaşı ve volkanik kayalardan ve ayrıca serpantinleşmiş ultramafik kayalardan oluşur. Bu metasedimentler, Volta havzasının doğu yanal eşdeğeri ve Proterozoyik yaşlı metamorfik tortulları olarak yorumlanmaktadır ve Neoproterozoyik çarpışması sonucunda oluşmuşlardır (Affaton, 1990; Castaing vd., 1993; Affaton vd., 1997). Üst yeşilist-alt amfibolit fasiyesine ulaşan metamorfik dereceli Atacora Yapısal Birimi, KKD-GGB doğrultulu ve doğuya eğimli kalın bir nap yığını temsil eder. Kuvarsitik kumtaşı, kuvarsit, mikaşist, şist, fillit ve amfibolitten oluşur ve bir miktar konglomeratik horizon (seri) içerir (Affaton, 1990; Affaton vd., 1991, 1997; Attoh vd., 1997; Adjo vd., 2021). Atacora kayaları üzerinde mevcut olan radyometrik veriler oldukça farklı yaşlara sahip olup yalnızca Pan-Afrika olayını tanımlamaktadır. Institut de Recherche Breda (IRB, 1982), Atacora kuvarsitinde Neoproterozoyik yaşı (670 My) tespit etmiştir. Bu yaş, Attoh vd. (1997) tarafından tanımlanan 579.4 ± 0.8 My ve 608 ± 1.2 My ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ muskovit) yaşlarından oldukça farklıdır ve ona göre napların oluşması en genç yaş olan 575 My'a karşılık gelir. Ganade de Araujo vd. (2016), muskovit kuvarsit üzerinde Paleoproterozoyik zirkon taneleri keşfetmişler ve bunların en genci $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 1759 ± 53 My yaş verirken, klorit-serisit şist 662 ila 597 My arasında (yaklaşık 649 My pik veren) iyi tanımlanmış Neoproterozoyik yaşları vermiştir.

(II) Sütür zonu (orta nap), güneydoğu Gana'dan kuzeybatı Benin'e kadar iyi yüzeylenmiştir ve çarpıcı

pozitif yerçekimi ve magnetik anomalilerle belirgin dar ve litolojik olarak çeşitli bir alana karşılık gelir (El-Hadj Tidjani vd., 1997). UHP ve HP eklojitleri, HP granülitleri ve amfibolitleri barındıran zıt litolojik ve metamorfik özellikler gösteren çok sayıda dağınık bazik ve ultrabazik masiflerden oluşur (Attoh vd., 1997; Agbossoumondé vd., 2001, 2004; Duclaux vd., 2006). Bu kayalar, batıdaki dış napları tektonik olarak örter ve doğudaki iç napları üzerler (Caby, 1989; Affaton, 1990; Affaton vd., 1991; Castaing vd., 1993). Togo'daki Kabye masifleri olarak Benin'deki Derouvarou masifleri; meta-gabrolar, meta-diyoritler, amfibolitler ve pirokseno-amfibolitler ile ilişkili granülitlerden oluşur. Aktif kıta kenarındaki bir magmatik yayın köklerini temsil eden bu kayalar, WAC ile Benino-Nijerya kalkanı arasındaki çarpışma sırasında yüzeye çıkmıştır ve amfibolit veya yeşil şeyl fasiyeslerine dönüşmeden önce granülit fasiyesinin metamorfik koşullarında oluşmuştur (Agbossoumondé vd., 2004; Duclaux vd., 2006).

(III) Benin-Nijerya jeolojik provensini veya Benin yapısal birimini oluşturan iç naplar, granitoid plütonların barındıran bir ortam oluşturur. Ev sahibi plüton, migmatitler, metasedimanter (mermerler, kuvarsitler ve mikaşistler) ve yaygın olarak ortognays ve granülit içeren yüksek dereceli anatektik gnayslardan oluşur (Affaton vd., 1991; Adissin Glodji, 2012; Chala vd., 2015).

Benindeki tortul havzalar ise;

(I) Kıyı Sedimanter Havzası, (II) Kandi Havzası ve (III) Volta Havzasıdır (Pougnnet, 1957; Affaton vd., 1978; Bessoles ve Trompette, 1980) (Şekil 2).

(I) Kıyı sedimanter havzası çökelleri Arkeen (yaklaşık 2700-3200 My) ve Eburnean (yaklaşık 1.7-2.0 Ga) yaşındadır ve Neoproterozoyik termotektonik olaylar sırasında tamamen deforme olmuş, yeniden kristalleşmiş ve yeniden hareketlenmiştir (Caby, 1989; Ajibade ve Wright, 1989; Castaing vd., 1993; Attoh vd., 2013; Adissin Glodji vd., 2014). Bu bölge, Daho-Mahou ve Pako Havzaları gibi daha genç düşük dereceli volkano-sedimanter havzaları içerir (Boussari, 1975; IRB, 1989; Adissin Glodji, 2012; Adissin Glodji vd., 2014). Ayrıca, deformasyonun yüksek ila düşük sıcaklık koşulları altında meydana geldiği geniş (50 km genişliğe kadar), K-G doğrultulu sağ yönlü transcurrent makaslama bölgesini temsil eden Kandi çizgisel yapısı tarafından çapraz olarak kesilir (Adissin Glodji, 2012). Adissin Glodji (2012) tarafından Kandi çizgiselliği içindeki granülit ve amfibolit fasiyesinden elde edilen 2091 ± 14 My ve 2057 ± 8 My U-Pb zirkon yaşları, sırasıyla granülit

fasiyes koşullarında kristalleşme ve metamorfik iz (imprint) olarak yorumlanmıştır. Amfibolit gnays fasiyesi, bu metamorfik koşullarda makaslama ile ilişkili milonitik deformasyona karşılık gelen 606±5 My Neoproterozoyik yaşını vermiştir.

(II) Kuzeydoğuda yer alan Kandi havzası; Paleozoyik yaşlı kıtasal ve denizel formasyonlardan meydana gelir, Mezozoyik yaşlı kıtasal formasyonları ve Kuvaterner oluşumları içerir (Institut de Recherches Breda IRB, 1982).

(III) Kuzeybatıda yer alan Volta Havzası çökelleri üç gruba ayrılır: Mezo ve Neoproterozoyik (1100-600 My) yaştaki iki grup (I ve II), (500-300 My) Paleozoyik yaştaki üçüncü grup (III) (Affaton, 1990; Affaton vd., 1991). Birinci grup (I) (altta), arjilit ile siltli bir dizi ile ara tabakalı iki kumlu diziden oluşurken; ikinci grup (II) (ortada) tillit, arjilit, silttaş ve fosforit ile ilişkili dolomitik kireçtaşından oluşur; üçüncü grup (III) (üstte), arjilit, silttaş, kumtaş ve konglomeradan oluşmaktadır.

3. Benin'in Maden Potansiyeli

Mineral kaynakları, çeşitli yan kayalarda endüstriyel hammadde ve metalik mineral oluşumları halinde bulunur. Bununla birlikte, bu kaynakların bir kısmının varlığı halihazırda kanıtlanmıştır ve kullanılmaktadır veya geliştirilmeye açıktır (Şekil 3), bazı kaynaklar ise zuhur halindedir. Bu ikincisinin ayrıntılı çalışılması ve araştırılması, mineral yataklarının keşfedilmesine imkan sağlayabilir. Bu çalışmada, mineral kaynakları, yatakların etki alanına (sedimanter havza veya kristalin temel) göre sınıflandırılacaktır.

3.1. Sedimanter Alanlardaki Mineral Kaynakları

Bu alanlar; demir, kalker, çakıl, kum, kil, kaolin ve turba gibi kanıtlanmış önemli kaynaklara ev sahipliği yapmaktadır.

3.1.1. Demir Oluşumları

Benin'deki en yüksek tenörlü demir yatağı, Kıta Terminali Formasyonu'nun baskın olduğu Kandi Havzası'nda bulunmaktadır. Formasyon Oligosen yaşlıdır (Dominique vd., 2018) ve masif ve oolitik götit ile demirli kumtaşlarından oluşmaktadır. Demirli konkresyon ve kaolinit içeren büyük bir kırıntılı yayılım olarak bulunur (Alidou, 1983; Lang vd., 1986). Yatak geleneksel olarak kolonyal dönemde işletilmiştir (Hubert, 1908). Tahmini rezervler yaklaşık 500 milyon tona ulaşmaktadır (OBRGM, 2000, Çizelge 1). Loubou-Loubou ve Madékali'deki

yataklar, demir cevherinin %46-52 Fe₂O₃, %13-15 SiO₂ ve %3-%8 Al₂O₃ ile karakterize edildiğini ortaya koymuştur (DGM ve OBRGM, 2007).

3.1.2. Kireçtaşı

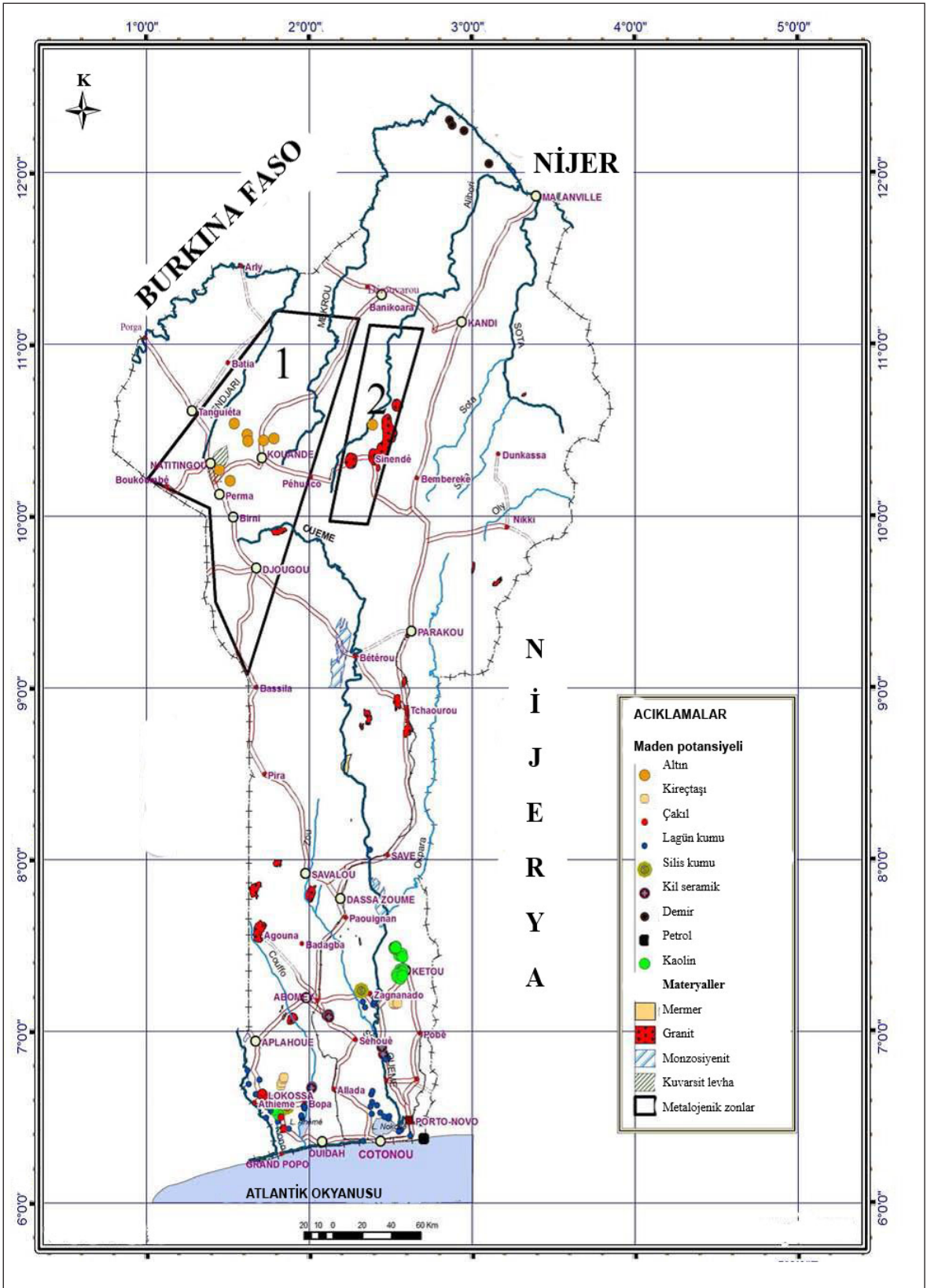
Benin'in kireçtaşı yataklarından bazıları şu anda dört firma tarafından çimento üretimi için işletilmektedir. Yataklardan kireç üretmek için de yararlanılabilir ve hali hazırda varlığı kanıtlanmış olanlar; Onigbolo, Massè, Gbakpodji ve Ahlan yataklarıdır (OBRGM, 2000; DGM ve OBRGM, 2007). Bu kaynaklar kıyı sedimanter havzasında bulunmaktadır. Özellikleri Çizelge 1'de sunulmaktadır. Tchito-Dénou çevresindeki kaynağı değerlendirmek için kapsamlı araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

3.1.3. Kil

Önemli ve çeşitli kil birikintileri, Benin'in kıyı sedimanter havzasının doğu, orta ve batı kısımlarında bulunur (Çizelge 1). Özellikle; seramik, pişmiş tuğla, endüstriyel ve zanaat seramikleri, fayans, ilaç endüstrisi ve çanak çömlek imalatında birçok endüstriyel uygulamaya sahiptirler. Zogbodomey'deki, kil yatakları tuğla üretimi için yarı endüstriyel bir yöntemle işletilmektedir ve Batı'da Sè'de bulunan kil yatakları ise çanak çömlek üretiminde kullanılmaktadır. Djègbé, Sakété ve Ouémé gibi diğer yataklar henüz değerlendirilmemiştir (OBRGM, 2000; DGM ve OBRGM, 2007).

Çizelge 1- Kıyı sedimanter havzasında kanıtlanmış bazı kaynakların genel özellikleri.

Mineral Kaynakları	Bölge	Tahmini Rezerv (ton)	Konum
Demir	Loubou-Loubou	266.000.000	KD
	Madékali	240.000.000	KD
Kireçtaşı	Onigbolo	90.000.000	GD
	Massè	17.500.000	GD
	Gbakpodji	15.000.000	GD
	Ahlan	1.575.000	Merkez
Kil	Zogbodomey	10.000.000	Merkez
	Massi	1.500.000	Merkez
	Gbedji-Kotovi	5.000.000	GB
Kum	Ouémé-Sò	1010.000.000	G
	Aholouyèmè	110.000.000	G
	Dékoungbé-Hédomé	50.000.000	G
Silika kumu	Sèmè-Kpodji	120.000.000	GD
	Houéyogbé	700.000	GB



Şekil 3- Benin'in maden potansiyeli haritası (OBRGM ve DGM, 2007'den değiştirilmiştir).

3.1.4. Kaolin

Kıyı sedimanter havzasında iki kaolin yatağı keşfedilmiştir. Bunlar; çanak çömlek, seramik, sıhhi malzeme, beyaz çimento ve ilaç üretimi için işletilmektedir. Kétou'da demir oksit safsızlığı barındıran 1 milyar m³ kaolin; Adakplamè çevresinde ise 1 milyon m³ beyaz kaolin varlığı kanıtlanmıştır (OBRGM, 2000; DGM ve OBRGM, 2007).

3.1.5. Kum

Genellikle yapı ve inşaat sektörlerinde malzeme olarak kullanılır. Sahil dışında önemli yataklar keşfedilmiştir. Bunların arasında Ouémé-Sô, Aholouyèmè ve Dékoungbé-Hédomé'deki alüvyal düzlük yatakları vardır. Eski su yataklarında yüzeyleyenler; özellikle Toffo, Allada, Tori-Bossito, Ouidah (Assogbénu Daho) bölgelerindeki kıyı tortul havzasında, ayrıca Ahémé Gölü kıyısında tespit edilmiştir. Ülkenin diğer bölgelerinde nehir vadileri potansiyel kum birikimi (akarsu kumu) alanları oluşturur. Bu yerlerin bazılarındaki tahmini rezervler Çizelge 1'de verilmiştir.

Ayrıca, cam ve seramik üretiminde kullanılan silis kumu hammaddesinin çıkartıldığı yataklar da bulunmaktadır. Bu yataklardaki; SiO₂ içeriği, Sèmè-Kpodji ve Houéyogbé bölgelerinde %98'e ulaşmaktadır. Bu bölgelerde tahmini rezervler sırasıyla 1.200.000 ton ve 700.000 ton'dur.

Ayrıca, rezervin 13.081.000 m³'e ulaştığı Sè bölgesinde de değerli çakıl yatakları bulunmaktadır. Lokossa, Djakotomey ve Dogbo bölgelerindeki yataklar henüz değerlendirilmemiştir ve ilave çalışmalara ihtiyaç vardır.

3.1.6. Fosfat

Hayvan yemi, gübre, deterjan ve fosfor üretiminde kullanılan fosfatın en büyük yatağı, %25,2 P₂O₅ içeren 5.500.000 ton kanıtlanmış rezerviyle Mékrou'dur. Yatak ne yazık ki "dünya mirası" olarak sınıflandırılan W Park içinde yer almaktadır.

3.1.7. Turba

Petrole benzer şekilde, turba; evsel ve endüstriyel yakıt (küçük endüstrilerde); bahçecilikte, fidanlıklarda ve orman restorasyonunda toprak ıslahı için tarımsal gübre olarak; atık su arıtımında kompostlamayı kolaylaştırmak için evsel katı atık yönetiminde girdi olarak kullanılmaya duyarlı bir fosil yakıttır. Turba yatakları, ülkenin güneyindeki Hèvié (Cococodji) ve Dangbo'da (Dogla) bulunur. Cococodji'deki turba yatağı; çok ayrılmış, kompakt ve siyah renkte olup aşağıdaki özellikleri göstermektedir (Çizelge 2). Cococodji'deki turbanın tersine,

Dogla'daki turba yatağı ayrılmış, daha az kompakt olup benzer özellikler sunmaktadır (Çizelge 2). Her iki bölgede de tahmini rezerv 6 milyon ton kadardır. Daha ekolojik, çevreye daha saygılı ve sürdürülebilir ekonomik etkiye sahip olduğu için bu torfun tarımda kullanılması tavsiye edilmektedir.

Çizelge 2 - Cococodji ve Dogla turbalarının başlıca özellikleri.

Özellik	Cococodji	Dogla
pH	5,8	5,44
Nem (%)	5	>5
Kalorifik değer (kcal/kg)	3800	3000
Kül içeriği (%)	24	24
Karbon içeriği (%)	60	40

3.2. Kristalin Temeldeki Mineral Kaynakları

Benin'in temel kayalarında varlığı kanıtlanmış çeşitli yataklar arasında; altın, mermer, süs taşları ve kolumbit-tantalit (koltan) bulunmaktadır.

3.2.1. Mermer

Mermer yatakları, Benin bölgesinin güneydoğusunda, özellikle Idadjo, Lanta ve Atomè-Lonkly bölgelerinde yüzeylemektedir. Bu yataklardan elde edilen mermerler blok olarak kesildikten, cilalandıktan (plakalar ve levhalar halinde) veya kırılarak, şekil verildikten, zımparalandıktan ve cilalandıktan sonra (örneğin granit) zemin ve duvar kaplaması amaçlı kullanılmaktadırlar. Ayrıca, kireç üretimi için de kullanılabilirler. Atomè-Lonkly, Idadjo ve Lanta yataklarının kanıtlanmış rezervi sırasıyla 16.250.000 ton, 6.000.000 ton ve 375.000 ton'dur. Montèwo ve Bagbononhoué bölgelerinde bulunan diğer yataklar, ayrıntılı çalışmalara ihtiyaç duyduklarından henüz değerlendirilmemiştir.

3.2.2. Diğer süs taşları

Zemin ve duvarların kaplanması için kesilmiş ve parlatılmış diğer önemli süs taşı rezervleri temel kayalarında bulunmaktadır. Bunlar, Wari-Marò'nun siyeno-monzonitleri olan Dassa-Zoumè, Gobada, Fita ve Parakou'nun granitleri ve Atacora'nın (Buem) jasper ve serpantinitidir. Ayrıca, Pototoumana-Kompagorou granülitleri ve şarnokitleri; Dèrouvarou granülitleri ve Pako'nun alkalın püskürme kompleksi kayaları da bu başlık altında sınıflandırılırlar.

3.2.3. Altın

Benin'de altın cevherleşmeleri, çeşitli yan kayalarda bulunan birincil kuvars damarları ile ilişkili olanlar ve ikincil (alüvyal veya plaser) olmak üzere iki tip olarak ele alınabilir. Bilinen kuvars damarları ile ilişkili altın yatakları, Atacora metalojenik kuşağında,

özellikle de Perma damar-tipi Au yatağında bulunur. Bu sonuncusu, farklı litolojilerde ve jeolojik ortamlarda altınlı kuvars damarlarına ev sahipliği yapmıştır (OBRGM ve DGM, 2007; Adjo vd., 2019; Adjo vd., 2021a, b). Atacora altın içeren metalojenik kuşak Perma, Sarga, Sina-Issiré bölgelerini kapsar. Perma'daki ana damarlardaki kanıtlanmış rezerv, koloniyal dönemde ortalama 9 g/ton tenörle 1ton altın olarak gerçekleşmiştir. Halen mevcut olan Perma alüvyal yatak rezervinin 400 kg olduğu tahmin edilmektedir (cevher tenörü 1 g/m³tür). Sarga ve Sina-Issiré alüvyal altın yataklarının kanıtlanmış rezervleri 1'er tondur. Mevcut durumda, Atacora'nın altın içeren metalojenik bölgeleri 18 maden bölgesine (parsel) bölünmüş durumda olup, bunların bir kısmı şimdiden madencilik şirketlerine ruhsatlandırılmıştır.

Ayrıca, burası Benin'in kuzey doğusunda Alibori Metalojenik kuşağında bulunmakta olup, kuşak; ayrıca altın, krom, nikel, titanyum, vb. aramak için dokuz madencilik bölgesine bölünmüş olup, tüm bu bölgeler halen aramalara açık durumdadır.

4. Değerlendirme

Henüz değerlendirilmemiş metalojenik ve mineralojik oluşumlar

Rezervleri, esas itibarıyla bilinen kanıtlanmış maden kaynaklarının yanı sıra bazı madenler de zuhur haliyle bilinmektedir. Bunların rezervlerini değerlendirmek için detaylı çalışma gerekmektedir. Tespit edilen bu minerallerden en önemlileri şu şekilde gruplandırılabilir:

Değerli metaller

Kouandé'nin kuzeyindeki Kouba, Daro, Tansé ve Nimbéré, Bénin'in kuzeybatı kesimindeki Kouarfá, Tampobré ve Pouya'nın (Donga ve Atacora bölümleri), ülkenin kuzeydoğusundaki (Alibori bölümü) Yarra, Koundé, Pessoulou, Nibiori, Lougou'nun damar ve alüvyal altın oluşumları.

Endüstriyel mineraller

Ouémé nehri ve kollarının (Okpara, Igbeffa, Kilibo) alüvyonlarında; kassiterit, kolumbit-tantalit, şeelit ve monazit gibi bazı mineraller tespit edilmiştir. Kalay grubunun metalleri (kalay, niyobyum, tantal, tungsten), Dunkassa-Kalalé ve Sinendé'de de tanımlanmıştır. Diğer mineral oluşumları: Paouignan sektöründe bulunan mangan; Tanguiéta'nın kuzeybatısındaki Bontomo'dan kromit; Tobre'nin güneyinden nikel; Bembéréké'nin güneyindeki Koubagou'dan boksit; Borgou Departmanından volfram; Kalalé, Ségbana ve Okpara'dan nadir

metal oksitler (seryum, lantan, itriyum gibi); Segbana bölgesindeki Ouarandji ve Sassouana'dan zirkonyum; toryum inklüzyonlarından kaynaklanan yüksek düzeyde radyoaktivite ile karakterize edilen Sota alüvyonundaki monazitler.

Değerli taşlar ve diğer ekonomik mineraller

Benin'de bilinen taşlar arasında değerli ve yarı değerli taşlar bulunur. Atacora Bölümü'ndeki Magou ve Kiatiko alüvyonunda ve Couffo'nun bir kolunun alüvyonlarında mikroskobik elmaslar gözlenmiştir. Yarı değerli taşlar olarak adlandırılan taşlar Benin'de; Atacora (Porga) ve Collines (Ikémon) yörelerinde turmalin ve Alibori (Ségbana) Bölümü'nde zirkondur. Tespit edilen diğer taşlar: Borgou (Wari, Bétérou) ve Collines (Kilibo, Igbeffa, Idadjo, Ikémon) bölgelerinde Yukarı Okpara'da beril; Donga (Wassa Pehunco) bölümünde korund; Donga, Atacora, Alibori ve Borgou yörelerinde yakut; Tchaourou (Borgou Departmanı) yöresinde otomorfik kuvars; Birni, Péhunco, Tehaourou, Savé ve Kérou'nun rutilleri. Diğer mineraller veya ekonomik kıymeti olan doğal oluşumlar arasında; Tchoumi-Tchoumi muskoviti; Djougou bölgesindeki (Donga Departmanı) Bariénoü ve Yatanrha'dan gelen asbest; ve Pobè (Plato Bölümü), Bopa-Bakpodji'den (Mono Bölümü) fosfat; Pobè ve Bopa -Bakpodji'den alçı taşı; kıyı bölgelerinde turba ve linyit ve Kétou platosunun karbonlu seviyeleri (OBRGM ve DGM, 2007) sayılabilir.

5. Sonuçlar

Benin'in mineral kaynakları potansiyelinin analizi, hâlihazırda işletilebilecek keşfedilebilir yatakların olduğunu ortaya koymaktadır, aynı zamanda Benin'in jeolojik yapısı ile kıtasal ölçekteki tektonik trendler birlikte değerlendirildiğinde, yeni keşifler için önemli potansiyele sahip olduğu söylenebilir. Bunun için önemli ölçüde sistematik ve ayrıntılı araştırmalara ve bunları hayata geçirebilecek finansmana ihtiyaç olduğu aşikardır.

Benin'in, bilinen kaynaklarının yanı sıra; başta altın ve nadir metal oksitler olmak üzere önemli mineral kaynaklarının keşfedilmeyi beklediği düşünülmektedir.

Değinilen Belgeler

Adissin Glodji, L. 2012. La zone de cisaillement de Kandi et le magmatisme associé dans la région de Savalou-Dassa (Bénin): étude structurale, pétrologique et géochronologique [Thèse de doctorat]. Saint-Etienne: Université Jean Monnet Saint-Etienne (France) et Université d'Abomey-Calavi (Bénin), 260p.

- Adissin Glodji, L., Bascou, J., Yessoufou, S., Ménot, R. P., Villaros, A. 2014. Relationships between deformation and magmatism in the Pan-African Kandi Shear Zone: Microstructural and AMS studies of Ediacaran granitoids intrusions in central Bénin (West Africa). *African Earth Sciences*, 97, 143–160.
- Adjo, F. B., Adissin Glodji, L., Bolarinwa, T. A., Nude, P. M., Anagonou, B. 2021a. Geochemistry of Gold-bearing Metamorphic Rocks of the Natitingou area, Atacora Structural Unit, Northwestern Bénin (West Africa): Implications for Au genesis. *Geochemistry*. 81. 125739. 10.1016/j.chemer.2021.125739.
- Adjo, F. B., Bolarinwa, A.T., Adissin Glodji, L., Nguimatsia Dongmo, F. W., Olajide-Kayode, J. O. 2019. A review of the current state of knowledge on gold mineralisation in Benin Republic, West Africa, *Applied Earth Science*, 128:1, 2-14.
- Adjo, F. B., Bolarinwa, T.A., Adissin Glodji, L., Nude, P. M., Anagonou, B., Olajide-Kayode, J. O. 2021b. Petrographic, Geochemical and Structural Characteristics of Gold-bearing Metasedimentary rocks from the Atacora Structural Unit, Northwestern Bénin Republic. *Arabian Journal of Geosciences*, vol. 14, no. 8.
- Affaton, P. 1990. Le bassin des Volta (Afrique de l'Ouest): une marge passive, d'âge protérozoïque supérieur, tectonisée au Panafricain (600±50 Ma) [Thèse de doctorat d'Etat]. Marseille: Université Aix-Marseilles III, 462p.
- Affaton, P., Aguirre, L., Ménot, R. P. 1997. Thermal and geodynamic setting of the Buem volcanic rocks near Tiélé, Northwest Bénin, West Africa. *Precambrian Research*, 82, 191-209.
- Affaton, P., Lassere, J.L., Lawson, L.T., Vincent, P.L. 1978. Notice Explicative des cartes géologiques à 1/200.000 de la République du Togo et de la République Populaire du Bénin entre les 9è et 10è de Latitude Nord (Feuille Bassari-Djougou et Feuille Parakou- Nikki). *Rapp. Bur. Nat. Rech. Min. du Togo (B.N.R.M.) Bur.Rech. Geol. Min. Fr. (B.R.G.M.) et Off. Béninois Mines (OBEMINES)*, 70 p.
- Affaton, P., Rahaman, M. A., Trompette, R., Sougy, J. 1991. The Dahomeyide orogen: tectonothermal evolution and relationships with the Volta basin. In: Dallmeyer, R, D., Lécorché, J, P., editors. *The West African Orogens and Circum-Atlantic Correlatives*. Berlin: Springer-Verlag., p. 107–122.
- Agbossoumondé, Y., Guillot, S., Ménot, R.P. 2004. Pan-African subduction–collision event evidenced by high-P coronas in metanorites from the Agou massif (southern Togo). *Precambrian Research*, 135, 1-21.
- Agbossoumondé, Y., Ménot, R. P., Guillot, S. 2001. Metamorphic evolution of Neoproterozoic eclogites from south Togo (West Africa). *Journal of African Earth Sciences*, 33, 227-244.
- Ajibade, A.C., Wright, J. B. 1989. The Togo-Benin-Nigeria shield: evidence of crustal aggregation in the Pan-African belt. *Tectonophysics*. 165(1–4):125–129.
- Alidou, S. 1983. Geological Survey of Kandi Paleo-Mesozoic basin. PhD Thesis, University of Dijon, 328 p.
- Arthaud, M. H., Caby, R., Fuck, A., Dantas, E.L., Parente, C. V. 2008. Geology of the northern Borborema Province, NE Brazil and its correlation with Nigeria, NW Africa. *Geological Society, London, Special Publications*. 294:49–67.
- Attoh, K. 1998. High-pressure granulite facies metamorphism in the Pan-African Dahomeyide Orogen, West Africa. *Journal of Geology*, 106, 236–246.
- Attoh, K., Dallmeyer, R. D., Affaton, P. 1997. Chronology of nappe assembly in the Pan-African Dahomeyide orogen, West Africa: evidence from ⁴⁰Ar/³⁹Ar mineral ages. *Precambrian Research*, 82, 153–171.
- Attoh, K., Samson, S., Agbossoumondé, Y., Nude, P. M., Morgan, J. 2013. Geochemical characteristics and U-Pb zircon LAICPMS ages of granitoids from the Pan-African Dahomeyide orogen, West Africa. *Journal of African Earth Sciences* 79:1
- Bessoles, B., Trompette, R. 1980. Géologie de l'Afrique: La chaîne panafricaine: «zone mobile d'Afrique centrale (partie sud) et zone mobile soudanaise », B.R.G.M., Orléans, France, 397p.
- Black, R., Liégeois, J.P. 1993. Cratons, Mobile Belts, Alkaline Rocks and Continental Lithospheric Mantle: The Pan-African Testimony. *Journal of the Geological Society*, 150, 89-98.
- Boussari, W. T. 1975. Contribution à l'étude géologique du socle cristallin de la zone panafricaine (Région centrale du Dahomey). *Doct Sci Terre Géol Appl Besançon, Fr.*236(p):105.
- Caby, R. 1987. The Pan-African Belt of West Africa from the Sahara Desert to the Gulf of Benin. In J.P. Schaer, & J. Rodgers (Eds.), *Anatomy of Mountain Ranges* (pp. 129-170). Princeton University Press.
- Caby, R. 1989. Precambrian terranes of Benin-Nigeria and Northeast Brazil and the late Proterozoic South Atlantic fit. *Geological Society of America Special Paper* 230:145–158.

- Caby, R. 1996. A review of the In Ouzzal granulitic terrane (Tuareg shield, Algeria): its significance within the Pan-African Trans-Saharan belt. *Journal of Metamorphic Geology* 14 (6), 659–666.
- Caby, R. 2003. Terrane assembly and geodynamic evolution of central-western Hoggar: a synthesis. *Journal of African Earth Sciences* 37:133–159.
- Caby, R., Sial, A. N., Arthaud, M. H., Vauchez, A. 1991. Crustal evolution and the Brasiliano Orogeny in North-east Brazil. In: Dallmeyer, R. D., Lécorché, J. P., editors. *The West African Orogens and Circum-Atlantic Correlatives*. Berlin: Springer. p. 373–397.
- Cahen, N.J., Snelling, J. D., Vail, J. R., Bonhomme, M., Ledent, D. 1984. *The Geochronology and Evolution of Africa*. Oxford Univ. Press, Oxford, *Precambrian Research*, 36, 181-193.
- Castaing, C., Triboulet, C., Feybesse, J. L., Chèvremont, P. 1993. Tectonometamorphic evolution of the Ghana, Togo and Benin in the light of the Pan-African/Brasiliano orogeny. *Tectonophysics*. 218:323–342.
- Chala, D., Tairou, M. S., Wenmenga, U., Kwekam, M., Affaton, P., Kalsbeek, F., Tossa, C., Houéto, A. 2015. Pan-African deformation markers in the migmatitic complexes of Parakou-Nikki (Northeast Benin). *Journal of African Earth Sciences*, 111, 387-398.
- Chermette, A. 1938. Relations entre les amphibolites et la présence d'or dans la région de Natitingou (Haut Dahomey). *Bull Service Mines AOF*. 2:5–8, Dakar.
- Chermette, A. 1939. Le gisement d'or filonien de la Perma, Service Mines AOF, Dakar, 9p.
- Chermette, A., Olori-Togbé, G. 1966. Les recherches minières de la République du Bénin. Publication N.G.B. Paris 17è.14p.
- Dawaï, D., Bouchez, J. L., Paquette, J. L., Tchameni, R. 2013. The Pan-African quartz syenite of Guider (north-Cameroon): magnetic fabric and U–Pb dating of a late orogenic emplacement. *Precambrian Research* 236:132–144.
- Direction Générale des Mines (DGM) et Office Béninoise des Recherches Géologiques et Minières (OBRGM). 2007. Orientations et plan d'actions stratégiques de développement du secteur minier en République du Bénin. Cotonou: Commission ad hoc. 77p.
- Dominique, C., Grimaud, J.-L., Beauvais, A., Bamba, O. 2018. West African Lateritic Pediments: Landform-Regolith Evolution Processes and Mineral Exploration Pitfalls. Elsevier, *Earth-Science Reviews*, 124-146.
- Dos Santos, T. J. S., Fetter, A.H., Neto, J. A. N. 2008. Comparisons between the northwestern Borborema Province, NE Brazil, and the southwestern Pharusian Dahomey Belt, SW Central Africa. *Geological Society of London Special Publications* 294:101–120.
- Duclaux, G., Ménot, R.P., Guillot, S., Agbossoumondé, Y., Hilairé, N. 2006. The mafic layered complex of the Kabyé massif (north Togo and north Benin): Evidence of a Pan-African granulitic continental arc root. *Precambrian Research*, 151, 101-118.
- El-Hadj Tidjani, M., Affaton, P., Louis, P., Socohou, A. 1997. Gravity characteristics of the Pan-African Orogen in Ghana, Togo and Benin (West Africa). *Journal of African Earth Sciences* 24(3):241–258.
- Ferré, E., Gleizes, G., Caby, R. 2002. Obliquely convergent tectonics and granite emplacement in the Trans-Saharan belt of Eastern Nigeria: a synthesis. *Precambrian Research* 114:199–219.
- Ganade de Araujo, C. E., Cordani, U. G., Agbossoumounde, Y., Caby, R., Basei, M. A. S., Weinberg, R. F., and Sato, K. 2016. Tightening-up NE Brazil and NW Africa connections: new U-Pb/Lu-Hf zircon data of a complete plate tectonic cycle in the Dahomey belt of the West Gondwana Orogen in Togo and Benin. *Precambrian Research*, 276, 24-42.
- Green, J. C. 1993. Proterozoic Rifts. In: Condie, K. C. (Ed.), *Proterozoic Crustal Evolution*. Elsevier Science, pp. 536.
- Hubert, H. 1908. *Scientific Mission in Dahomey*, Iris, lilliad, Université Lille 1. 628 p.
- Institut de Recherche Breda. 1982. Notice explicative de la carte géologique à 1/200.000. Feuille de Malaville. 150p.
- Institut de Recherche Breda. 1989. Notice explicative de la carte géologique à 1/200.000. Feuilles Pira-Savè, Abomey-Zagnanado, Lokossa, PortoNovo. 77p.
- Kirov, M., Boboé, F. 1983. Rapport sur l'exploitation pilote de l'or alluvionnaire de la rivière Tapapokounta-Secteur Perma. OBEMINES, RB. 102p.
- Kriatov, B. M., Biterman, I. M., Gamaleia, J. N., Karpov, L. M., Migdisov, S. A., Nikitine, A. I., Rozanov, V. I., Rounov, B. E., Tchernov, S. A., Chtchenikov, V. A. 1980. La constitution et les substances utiles du territoire de la République du Bénin entre le 10ème et le 11ème parallèle de latitudes Nord. Rapport du levé de prospection géologique à l'échelle de 1/200.000 entre les 10ème et 11ème parallèles de latitudes Nord effectués en 1977-1980. OBEMINES, RB. 393p.

- Kriatov, B. M., Biterman, I. M., Gamaleia, J. N., Karpov, L. M., Migdisov, S. A., Nikitine, A. I., Rozanov, V. I., Rounov, vB. E., Tchernov, S. A., Chtchenikov, V. A. 1995. Notice explicative de la carte géologique à 1/200.000: Feuilles Sansanné-Mango, Natitingou, Bembèrèkè; 1ère Edition, Mémoire n° 4. OBEMINES, RB. 67p.
- Lang, J., Kogbe, C., Alidou, S., Alzouma, K., Dubois, D., Houessou, A., Trichet, J. 1986 The Siderolithic of the West African Tertiary and the Concept of the Continental Terminal. Bulletin de la Societe geologique de France, 2, 605-622.
- Liegeois, J. P., Latouch, L., Boughrara, M., Navez, J., Guiraud, M. 2003. The LATEA metacraton (Central Hoggar, Tuareg shield, Algeria): behaviour of an old passive margin during the Pan-African orogeny. Journal of African Earth Sciences 37 (3–4), 161–190.
- Monie, O., Caby, R., Arthaud, M. H. 1997. The Neoproterozoic Brasiliano orogeny in northeast Brazil: 40/Ar/39Ar and petrostructural data from Ceara. Precambrian Res. 81, 241-264.
- Neves, S. P., Vauchez, A., Feraud, G. 2000. Tectono-thermal evolution, magma emplacement, and shear zone development in the Caruaru area (Borborema Province, NE Brazil).
- Neves, S. P. 2003. Proterozoic history of the Borborema province (NE Brazil): correlations with neighboring cratons and Pan-African belts and implications for the evolution of western Gondwana. Tectonics 22:1031.
- Office Béninoise des Recherches Géologiques et Minières. 2000. Potentialités minières du Bénin. Cotonou: MMEH, OBRGM. 50p.
- Petters, S. W., 1991. Late Proterozoic-Early Paleozoic Pan-African Mobile Belts. In: Regional Geology of Africa. Lecture Notes in Earth Sciences. Springer Berlin Heidelberg, pp. 254–420.
- Peuca, J. J., Capdevila, R., Drareni, A., Mahdjoub, Y. 2005. The Eglab massif in the West African craton (Algeria), an original segment of the Eburnean orogenic belt: petrology, geochemistry and geochronology. Precambrian Research 136:309–352.
- Pougnnet, R. 1957. Le précambrien du Dahomey Bulletin de la Direction Fédérale des Mines et de la Géologie de l’Afrique Occidentale Française, Dakar, n°22, 186p.
- Robertson, M., Peters, L. 2016. West African Goldfields. Episodes. 39(39):155–176.
- Tairou, M. S., Affaton, P., Anum, S. 2012. Modèle d’empilement tectonique panafricain au Sud-Est du Ghana: cas de l’unité structurale de l’Akwapim dans le secteur de Peduase. Africa Geoscience Review 19 (1 & 2):77–91.
- Trompette, R. 1994. Geology of Western Gondwana (2000–500 Ma). Pan-African-Brasiliano Aggregation of South America and Africa. Rotterdam: Balkema, 350p.

