Adıyaman University
Journal of Engineering Sciences
Adyü J Eng Sci 2025;12(27):344-350
Adıyaman Üniversitesi
Mühendislik Bilimleri Dergisi
Adyü Müh Bil Derg 2025;12(27):344-350
https://doi.org/10.54365/adyumbd.1710083

Research Article / Araştırma Makalesi

Horseshoe Adası'ndaki (Batı Antarktika) Malakit Oluşumlarının İncelenmesi

Investigation of Malachite Formations on Horseshoe Island (West Antarctica)

Semih Gildir [1*], Burcu Karataş [1]

[1] Çukurova-Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Türkiye.

Öz

Bu çalışma, Batı Antarktika Yarımadası'nda yer alan Horseshoe Adası'ndaki gabro kayaçları içerisinde gözlemlenen malakit oluşumlarını incelemektedir. TÜBİTAK 121Y357 numaralı proje kapsamında 2022 yılında gerçekleştirilen TAE-6 seferi sırasında toplanan örnekler üzerinde; petrografik analizler, mineralojik gözlemler ve tüm kaya jeokimyası analizi gerçekleştirilmiştir. Malakit oluşumunun bölgedeki hidrotermal alterasyon zonlarıyla doğrudan ilişkili olduğu belirlenmiş, özellikle gabro kayaçlarının çatlak ve boşluklarında sıvama veya damar şeklinde gelişim gösterdiği gözlemlenmiştir. Yapılan jeokimyasal analizlerde yüksek Cu ve Fe değerleri, malakitin sülfürlü bakır minerallerinin oksidasyonu sonucu geliştiğini desteklemektedir. Bu bulgular, düşük sıcaklıklı hidrotermal sistemlerin, post-magmatik süreçlerin etkisiyle şekillendiğini ve Antarktik Yarımadası boyunca yaygın olan kıtasal yay magmatizmasının son evrelerine ait karakteristikler taşıdığını ortaya koymaktadır. Horseshoe Adası'ndaki malakit oluşumları, bölgenin tektonik ve magmatik evriminin anlaşılmasına katkı sunan önemli bir göstergedir.

Anahtar Kelimeler: Malakit, Horseshoe, Antarktika

Abstract

This study examines the occurrence of malachite in gabbro rocks on Horseshoe Island in the West Antarctic Peninsula. As part of the TÜBİTAK project no. 121Y357, samples were collected during the TAE-6 expedition in 2022 and subjected to petrographic analysis, mineralogical observations, and whole-rock geochemical study. The results suggest that malachite formation is directly linked to hydrothermal alteration zones, particularly occurring as vein or coating structures within the fractures and cavities of the gabbroic host rocks. Geochemical analyses revealed elevated concentrations of cupper (Cu) and iron (Fe), supporting the idea that malachite formed through the oxidation of sulfide-bearing copper minerals. These findings suggest the development of low-temperature hydrothermal systems influenced by post-magmatic processes, reflecting the characteristics of the late -stages of continental arc magmatism widely observed along the Antarctica Peninsula. The malachite formations on Horseshoe Island are an important indicator that contributes to our understanding of the tectonic and magmatic evolution of the region

Keywords: *Malachite, Horseshoe, Antarctica*

[*] Sorumlu yazar e-posta (Corresponding e-mail): smhgldr@gmail.com
Geliş Tarihi (Received):30.05.2025, **Kabul Tarihi (Accepted):** 16.09.2025

1. Giriş

Antarktika kıtası, tektonik açıdan Doğu ve Batı Antarktika olmak üzere iki ana bölüme ayrılmaktadır. Doğu Antarktika, Prekambriyen yaşlı Doğu Antarktika kalkanı ile Transantarktik Dağ Kuşağı'nı içermektedir. Batı Antarktika ise, kendi içerisinde üç farklı tektonik birlikten oluşmaktadır. Bunlar; Weddel Denizi bölgesi, Batı Antarktika rift sistemi Marie Bryd ülkesi, Antarktika Yarımadası ve Tuston Adasından oluşmaktadır. Çalışma alanı Batı Antarktika Yarımadası'nda bulunan, Horseshoe Adası'nda yer almaktadır. Coğrafi konum olarak kuzeyde Adelaide Adası güneyde Aleksander Adası'nın bulunduğu Marguerite Körfezinin kuzeydoğusunda yer almaktadır (Şekil 1). Bu çalışma, Horseshoe Adası'nda yüzeylenen malakitli alterasyon zonlarından alınan örneklerin detaylı biçimde incelenmesini amaçlamaktadır. Tübitak 121Y357 nolu proje kapsamında 2022 yılında TAE-6 seferi kapsamında Horseshoe adasına gidilerek örnekleme yapılmıştır. Bu bağlamda, söz konusu örnekler üzerinde petrografik incelemeler, mineralojik çalışmalar ve tüm kaya jeokimyası analizi gerçekleştirilmiştir.

Horseshoe Adası'nda geçmiş yıllarda çeşitli araştırmacılar tarafından gerek jeolojik gerek ise jeokronolojik anlamda çalışmalar yapılmıştır [1, 2, 3]. Ancak Horseshoe Adası'nda bulunan plütonik kayaçlar içerisinde gelişmiş malakitlerin varlığı ve oluşum süreçlerine dair detaylı bir çalışma bulunmamaktadır. Bu nedenle malakit oluşumunun yan kayaçlarla ilişkisini, eşlik eden alterasyon ürünlerini ve bölgesel jeolojik süreçlerle olan etkileşimini ortaya koymak bu çalışmanın gerekliliği açısından önem arz etmektedir.

2. Materyal ve Metod

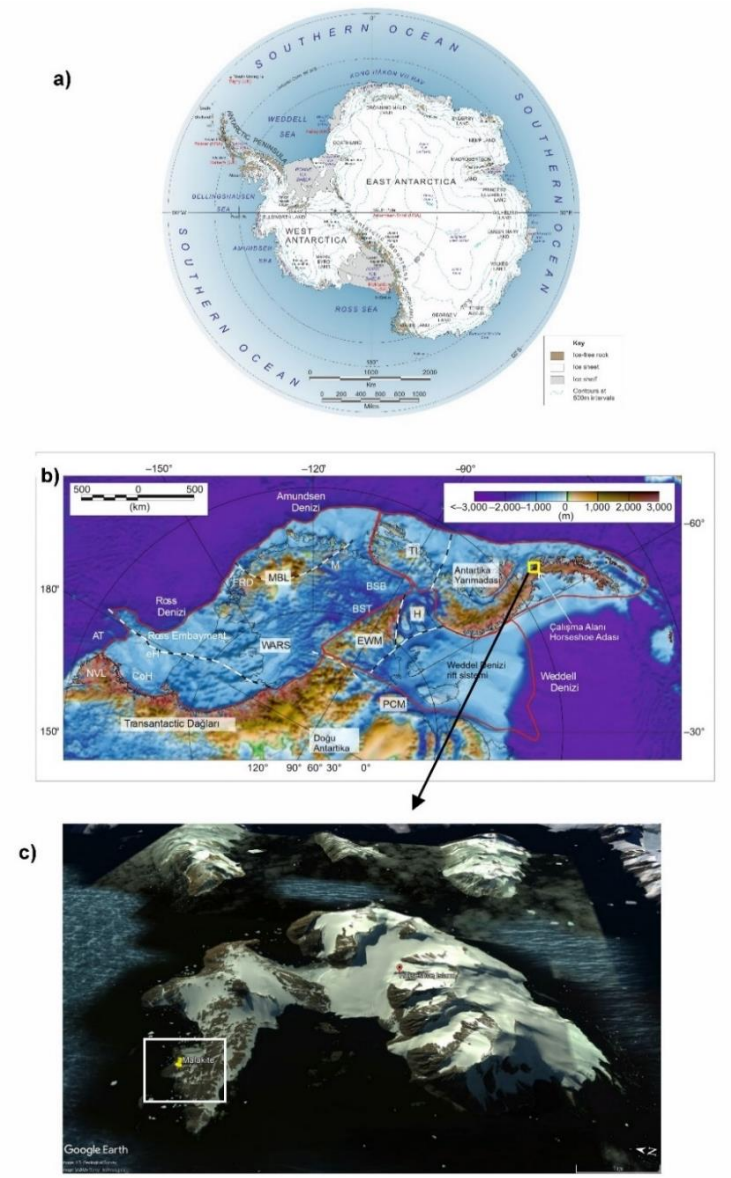
2.1. Materyal

Bu çalışmanın materyalini Horseshoe Adası'nda (Antarktika Yarımadası) yapılan arazi çalışmaları sırasında alınan malakit örnekleri oluşturmaktadır. Malakit minerali üzerinde parlak kesitler ve yan kayaçlarda ise ince kesitler hazırlanmıştır.

2.2. Metod

Malakit numuneleri ilk olarak, Çukurova Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kırma-Öğütme Laboratuarı ve Jeokimya Laboratuarı'nda çeneli kırıcıda kırıldıktan sonra, agat havanda 77 mikron boyutuna kadar öğütülmüştür. Daha sonra çeyrekleme metoduyla toz haldeki örnek kimyasal analiz için ayrılmıştır. Sonrasında örneğin neminin alınması amacıyla oda sıcaklığında kurutulmuştur. Kurutulan örnekler 0,1 mm'lik elekten geçirilmiştir. Elenen numuneler hassas terazide ortalama 1,00 gr tartılmıştır. Daha sonra 1,00 gr'lık numuneler ile çözelti hazırlama kısmına geçilmiştir. Çözelti için, 1 gr'lık örneklerin üzerine, 15 ml HCl ve 5 ml litre HNO_3 eklenmiş ve toplam 20 ml'lik çözelti hazırlanmıştır. Hazırlanan çözelti, sıcak plaka üzerinde 300°C'de ısıtılmış ve ısıtma işlemi, tepkime başlayıncaya kadar devam etmiştir. Tepkimeden sonra balon joje içerisine alınan çözelti üzerine 150 ml derişim oluna kadar deiyonize su ilave edilmiştir. Sonrasında soğumaya bırakılan numuneler metal içeriklerini belirleyebilmek için Atomik Absorbsiyon Spektrometre (AAS) cihazı ile ölçümü yapılmıştır.

Petrografik çalışmalar için parlak ve ince kesitler hazırlanmıştır. İlk olarak cevherli örnekler parlak kesit hazırlamak amacıyla uygun olarak belirlenen boyutlarda kesilmiş ve 0,1 mikron al-oksit tozu ile uygun olan kısımlar parlatılmıştır. Parlak kesitler Çukurova Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Araştırma Laboratuvarı'nda üstten aydınlatmalı Olympus (BX-51) mikroskop üzerinde incelenmiştir. Yan kayaçlardan hazırlanan ince kesitler, 0,5x2x4 cm boyutlarında hazırlanmıştır. Sonrasında pürüzlülüğü giderilmiş ve epoksi ile 0,1x2,5x5 cm boyutlarındaki cam üzerine yapıştırılmış ve aşındırıcı tozlar ile 0,3 mm kalınlığa kadar inceltme yapılmıştır. Son olarak ince kesitler Çukurova Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Araştırma Laboratuvarı'nda petrografik anlamda incelenmiştir.



Şekil 1. a) Antarktika kıtası genel görünüm b) Antarktika Yarımadası ve Thurston Adası tektonik birliğini etkileyen magmatik olaylar [4, 5]. WARS: Batı Antarktika Rift Sistemi; PCM: Pensacola Dağları; H: Haag Nunatakları; EWM: Ellsworth–Whitmore Dağları; TI: Thurston Adaları; MBL:Marry-Byrd Ülkesi c) Horseshoe adası görünümü ve örnek lokasyon noktası

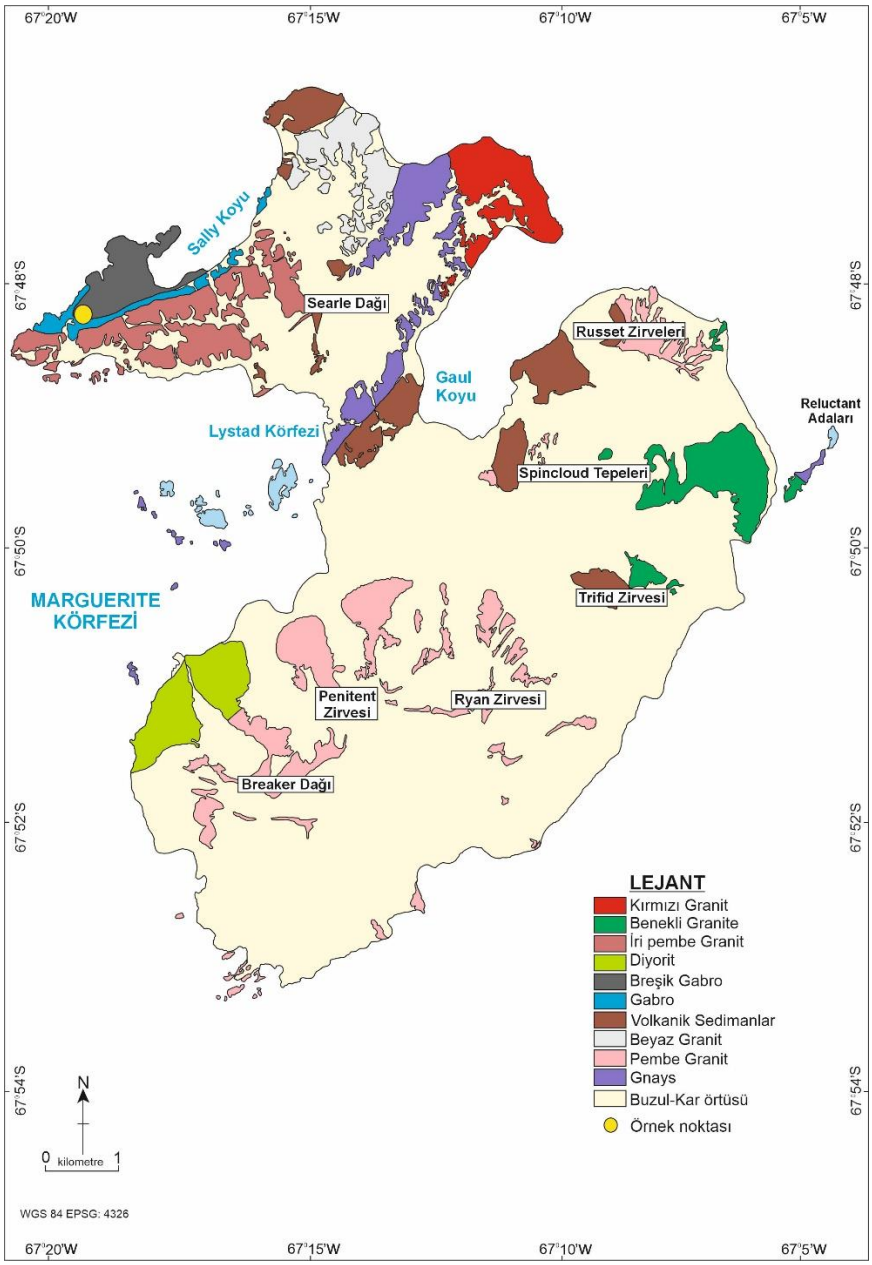
3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Bölgesel Jeoloji

Antarktika kıtası, tektonik ve jeodinamik evrim açısından dünyanın en kompleks bölgelerinden birini oluşturur. Bu kıta, genel olarak Doğu Antarktika (krater) ve Batı Antarktika (tektonik olarak aktif ve parçalı yapı) olmak üzere iki ana jeolojik bölgeye ayrılır [6]. Batı Antarktika, özellikle Antarktik Yarımadası (Antarctic Peninsula) boyunca gelişmiş olan yay tipi magmatizma, kabuksal büyüme ve subdüksiyon süreçleri ile karakterize edilir. Antarktik Yarımadası, Gondwana'nın güneybatı kenar marjını oluşturmuş ve Paleozoik'ten günümüze kadar süren subdüksiyon, akresyon ve çarpışma olaylarına ev sahipliği yapmıştır [7, 8]. Bu yay sistemi, doğuya dalan Paleo-Pasifik levhası üzerinde gelişmiş ve kıtanın batı kenarında plütonik, volkanik ve metamorfik kayaç topluluklarının oluşumunu tetiklemiştir [8]. Antarktik Yarımadası bu bağlamda üç büyük tektonik birimden oluşur ve jeodinamik özellikleri, farklı dönemlerdeki magmatizma ve deformasyon kayıtlarını yansıtır. Horseshoe adası temel kayaları olarak daha çok And-tipi olarak isimlendirilen gabro, diyorit ve farklı petrografik özelliklere

sahip granitler, Antarktika Yarımadası Volkanik Grubuna ait bazik dayk, tüf, aglomera ve andezitik lav içeren volkanik kayaçlar ve Antarktika Yarımadası metamorfik kompleksine ait bantlı paragnays ve yapraklanmış granit-gnayslara ev sahipliği yapmaktadır (Şekil 2).

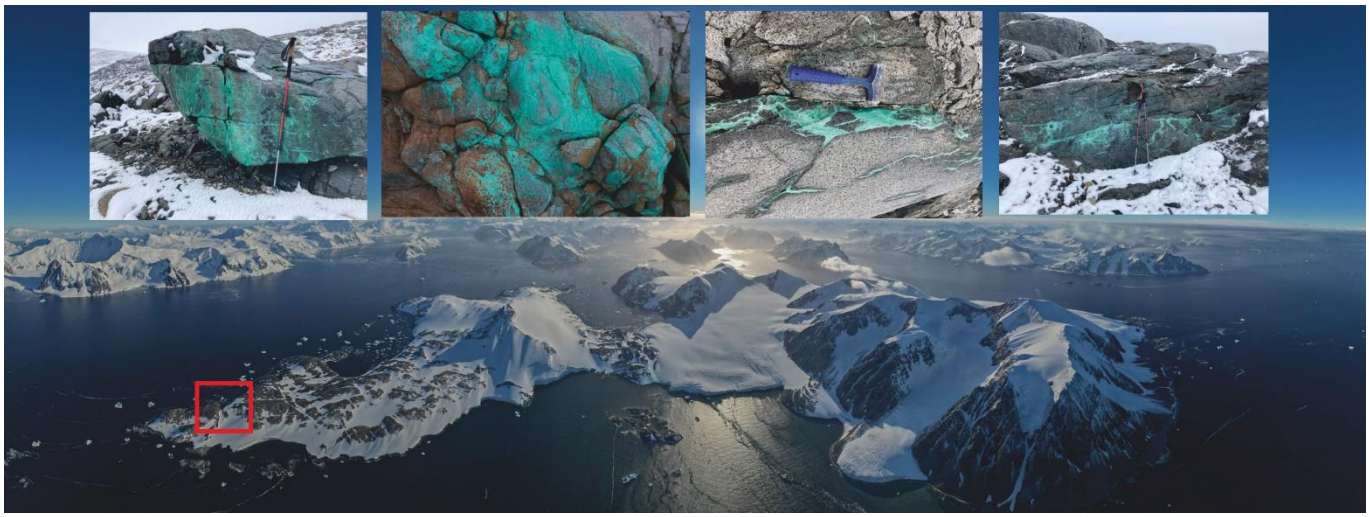
Horseshoe Adası'nda başlıca metamorfik kayaçlar ortognayslar ve metasedimanter kayaçlardır. Bölgedeki kalın volkanik istif içinde gnaysik parçalar yer almaktadır. Ayrıca Jura veya Geç Triyas yaşlı, granitten diyorite kadar değişen plutonik kayaçlar bulunmaktadır. Bu plutonik kütleler, yer yer milonitik deformasyon ürünleri ve bantlı ortognayslarla ilişkili olarak gelişmiştir. Metasedimanter kayaçlar, ince taneli siyah şist, kuvars-mika şist, volkanik ve granitik parçalar içeren deforme konglomeraları içerir [2, 3]. Batı Antarktika Yarımadasında Horseshoe adası yakınlarında bulunan Dismal Adasında yürütülen ayrıntılı jeo/termo-kronolojik çalışmalar, bu bölgedeki magmatik ve yapısal gelişmelerin zamanlaması hakkında önemli ipuçları sunmuştur [9]. Horseshoe Adası'nda gözlemlenen malakitler, bölgedeki gabro kayaçları içinde gelişmiş hidrotermal alterasyon zonları ile doğrudan ilişkilidir. Özellikle damar ve kırık zonları çevresinde görülen bu mineral, mavi-yeşil renkli ince damarlar, damarcıklar ya da nodüler birikintiler şeklinde bulunur. [10, 11].



Şekil 2. Horseshoe adasının jeoloji haritası [2, 3]

3.2. Malakit Oluşumu

Metamorfik birimleri kesen gabro kayaçları üzerinde bulunan malakitler genellikle ikincil bir bakır karbonat minerali olup, sülfürlü bakır minerallerinin süperjen oksidasyonu sonucu oluşur [7]. Horseshoe Adası'nda gözlemlenen malakit mineralleri, bölgedeki kayaçlar içinde gelişmiş hidrotermal alterasyon zonları ile doğrudan ilişkilidir. Malakit ($Cu_2(CO_3)(OH)_2$) minerali, mavi-yeşil renkli ince damarlar, damarcıklar ya da nodüler birikintiler şeklinde bulunur (Şekil 3). Malakitin en sık eşlik ettiği mineraller arasında azurit ($Cu_3(CO_3)_2(OH)_2$), kalkopirit ($CuFeS_2$), pirit (FeS_2) ve yer yer hematit (Fe_2O_3) gözlenmektedir [10, 11]. Arazi gözlemlerine göre, malakit oluşumuna ev sahipliği yapan kayaçları genellikle gabrolar oluşturmaktadır.



Şekil 3. Horseshoe adası ve malakitlerin arazinden görünümleri

3.3. Jeokimya

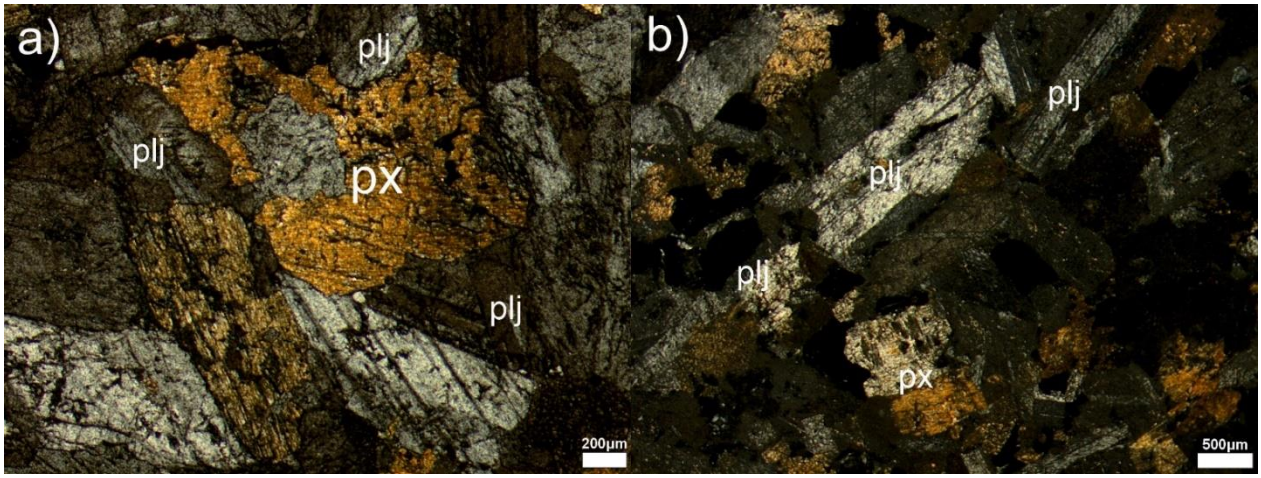
Malakit örneklerinin birinden yapılan ana oksit ve iz element analizinde %2.92 Cu, %6.2 Fe, %1.8 Al, 1558.7 ppm Ni, 436.4 ppm Mn, 205.4 ppm Co ve 119.7 ppm Zn değerleri bulunmuştur (Çizelge 1). Analiz sonuçlarındanda elde edilen Fe, Ni ve Co değerleri yankayacın mafik bileşiminden kaynaklıdır. Malakitlerin parlak kesit incelemelerinde bulunan pirit mineralleri yine yüksek Fe içeriğini desteklemektedir. Malakit minerali, tipik olarak bakır açısından zengin hidrotermal sistemlerin yüzeysel oksidasyon zonlarında ve pirit gibi minerallerle birlikte görülür [7]. Bu hidrotermal zonlar içinde yer alan sülfür ve karbonat mineralleri önemli bir yer tutar. Bunlar arasında özellikle malakit dikkati çeker. Horseshoe Adası'ndaki bu tür bakır karbonatlarının oluşum mekanizmasının ortaya konulması, yalnızca yerel cevherleşme süreçlerini anlamaya yardımcı olmakla kalmaz, aynı zamanda Antarktik Yarımadası boyunca uzanan yay magmatizmasına eşlik eden hidrotermal sistemlerin evrimini anlamada da önemli katkılar sağlar. Bu sebeple Horseshoe Adası'nda bulunan gabro kayaçları çatlaklarında, boşluklarında ve yer yer sıvama şekilde yer alan malakitlerin anlaşılması önem taşımaktadır.

Çizelge 1. X1 nolu örneğin tüm kaya jeokimya analiz sonucu (Cu, Fe, ve Al %; Ni, Mn, Co, ve Zn ppm cinsindendir).

Cu	2.92
Fe	6.2
Al	1.8
Ni	1558.7
Mn	436.4
Co	205.4
Zn	119.7

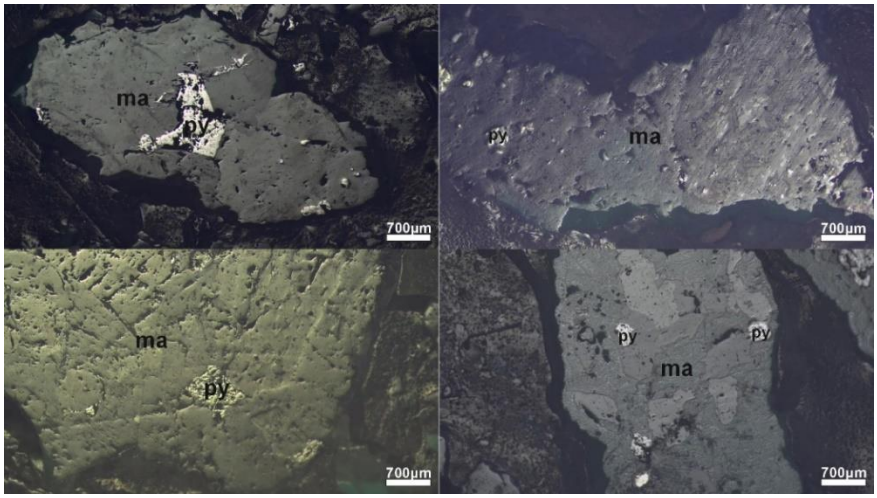
3.4. Petrografi

Malakitlerin yan kayacını oluşturan gabrolara ait genel ince kesit görüntüsü Şekil 4'de verilmektedir. Örneğin mineral bileşimini plajiyoklaz + piroksenden oluşturmaktadır. Ofitik dokuya sahip gabroda plajiyoklazlar çift nikolde siyah ve grinin tonlarında girişim renklerine sahiptir. Tek nikolde ise pleokroizma sunmamaktadır. Kesit içerisinde plajiyoklazlar %65-75 oranında bulunmakta ve tipik polisentetik ikizlenme göstermektedir. Piroksen mineralleri ise çift nikolde ikinci ve üçüncü sıranın renklerinde girişim renklerine sahiptir ve yaklaşık olarak %15-20 oranında bulunmaktadır.



Şekil 4. Yan kayaçlara ait ince kesit görüntüleri (plj: pilajiyoklaz, px: piroksen)

Malakitin parlak kesit görüntülerinde anizotropisi gri renkli ve açık yeşil iç refleksiyon renginde görülmektedir. Malakitler; incelenen kesitlerde ince lifsi, yarı-opak formda, boşlukları doldurur şekilde kristalleşmiştir. Ayrıca malakitlerde pirit kapanımları da gözlenmektedir. Piritler özşekilli-yarı özşekilli olarak bulunmaktadır (Şekil 5).



Şekil 5. Malakit mineraline ait parlak kesit görüntüleri (ma: malakit, py: pirit)

4. Sonuç ve Öneriler

Çalışma alanında metamorfik birimler içerisinde yer alan gabrolardaki malakitler kayacın çatlak ve boşluklarına dolmuş, yer yer de sıvama şekilde yer almaktadır. Bölgedeki malakit oluşumu, genellikle düşük sıcaklıklı hidrotermal akışkanların etkisiyle gelişmiş olup, bu süreçler pirit–kalkopirit mineralizasyonunun oksidasyonuna bağlı olarak meydana gelmiştir. Bu durum, adada gözlenen yeşil renkli karbonat mineralleri ve bunların mikroskobik ve makroskobik yayılımı, kesitlerde yer alan pirit

mineralleri ve malakitli tüm kaya örneği üzerinde yapılan ana oksit element analiz sonuçlarında Fe ve Cu değerlerinin yüksek çıkması ile desteklenmektedir.

Horseshoe Adası'nda gözlenen hidrotermal alterasyon, bölgenin post-magmatik süreçlere maruz kaldığını belirtmektedir. Malakit ve pirit gibi mineraller ise bu süreçlere bağlı gelişmiştir. Malakit ve pirit oluşumları, adanın hem tektonik hem de magmatik evriminin önemli bir temsilcisi olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda, Horseshoe Adası'ndaki malakit oluşumları, kıtasal yay ortamında gelişmiş granitik magmatizmanın son evrelerinde etkili olmuş düşük sıcaklıklı hidrotermal sistemlerin ürünüdür. Bu sistemler, yüzey altı oksidasyon zonlarında, sülfürlü bakır minerallerinin bozunmasıyla ikincil karbonat fazlarını oluşturmuştur.

Teşekkür

Bu çalışma T.C. Cumhurbaşkanlığı himayesinde, T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı uhdesinde ve TÜBİTAK MAM Kutup Araştırmaları Enstitüsü koordinasyonunca desteklenmiştir. Ayrıca 121Y357 numaralı ve 'Horseshoe Adası'nda (Batı Antarktika) Yüzeyleyen Tektono-Magmatik ve Metamorfik Birimlerin Yüzeyleme Yaşlarının Fizyon İzi ve U-Th/He Yöntemi ile Araştırılması' başlıklı proje tarafından desteklenmiştir. Arazi çalışmalarını gerçekleştiren ve makale sürecinde her zaman destek olan Prof. Dr. Fatih KARAOĞLAN'a teşekkür ederiz.

Katkı Beyanı

Laboratuvar çalışmaları S.G. & B.K, Veri analizleri ve yorumlama S.G. & B.K., Biçimsel analizler S.G., Makalenin yazımı S.G. & B.K.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar, makalenin herhangi bir kurum, kuruluş, kişi ile kişisel ve finansal çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedirler.

Kaynaklar

[1] Dalziel IWD, Elliot DH. West Antarctica: Problem child of Gondwanaland. Tectonics 1982;1(1):3–19.
[2] Matthews DW. The geology of Horseshoe and Lagotellerie Islands, Marguerite Bay, Graham Land. British Antarctic Survey Bulletin 1983;52:125–154.
[3] Yıldırım C. Geomorphology of Horseshoe Island, Marguerite Bay, Antarctica. Journal of Maps 2020;16(2):56–67. doi.org/10.1080/17445647.2019.1692700.
[4] Fretwell P, Pritchard HD, Vaughan DG, Bamber JL, Barrand NE, Bell R, et al. Bedmap2: improved ice bed, surface and thickness datasets for Antarctica. The Cryosphere 2013;7(1):375-393 doi: 10.5194/tc-7-375-2013.
[5] Jordan TA., Riley TR, Siddoway CS. The geological history and evolution of West Antarctica. Nature Reviews Earth & Environment 2020;1(2):117-133 doi: 10.1038/s43017-019-0013-6
[6] Dalziel IWD. Antarctica; a tale of two supercontinents. Annual Review of Earth and Planetary Sciences 1992;20:501–526.
[7] Burton-Johnson A, Riley TR. Autochthonous v. accreted terrane development of continental margins: A revised in situ tectonic history of the Antarctic Peninsula. Journal of the Geological Society 2015;172(6):822–835.
[8] Vaughan APM, Storey BC. The eastern Palmer Land shear zone: a new terrane accretion model for the Mesozoic development of the Antarctic Peninsula. Journal of the Geological Society 2000;157:1243–1256.
[9] Karaoğlan F, Karataş B, Özdemir Y, Gülyüz E, Vassilev O, Selbesoğlu MO, Gildir S. The geo/thermochronology of Dismal Island (Marguerite Bay, Antarctic Peninsula). Turkish Journal of Earth Sciences 2023;32(8):975–988. doi: 10.55730/1300-0985.1887.
[10] Hedenquist JW, Lowenstern JB. The role of magmas in the formation of hydrothermal ore deposits. Nature 1994;370:519–527.
[11] Smellie JL, Hole MJ. Products and processes in Pliocene–Recent, subaqueous to emergent volcanism in the Antarctic Peninsula: examples of englacial Surtseyan volcano construction. Bulletin of Volcanology 1997;58:628–646.