

Kırkinci, S.F., et al., Antarktika: Yaşam Bilimleri ve Biyoteknoloji Araştırmalarının Gözden Geçirilmesi. International Journal of Life Sciences and Biotechnology, 2021. 4(1): p. 158- 177.
DOI: 10.38001/ijlsb.853472

Antarktika: Yaşam Bilimleri ve Biyoteknoloji Araştırmalarının Gözden Geçirilmesi

Süleyman Faruk Kırkinci¹ , Sevgi Marakli^{2,3} , Hasan Murat Aksoy⁴ , Didem Ozcimen⁵ , Yılmaz Kaya^{1,6} 

ÖZET

Yeryüzünde insanlar tarafından en son keşfedilen, en yüksek, en soğuk, en kurak ve nüfus yoğunluğu en az olan kıta Antarktika'dır. Aynı zamanda yeryüzünün kullanılabilen tatlı su kaynaklarının yaklaşık % 70'i buz halinde bu kıtada bulunmaktadır. Bu özellikleriyle geçmişten günümüze insan yaşamı olmadığı halde canlı yaşama doğal seleksiyon ile devam etmiştir. Antarktika, üzerinde barındırdığı doğal yaşam habitatlarıyla, bilim insanları için sınırları tüm kıta olan eşsiz bir laboratuvar gibidir. Antarktika'da az sayıda olmakla birlikte kıtaya özgü olan hayvan ve bitki türleri ile çeşitli alg, liken ve mikroorganizma türleri bulunmaktadır. Bilim insanları bu canlı formları üzerinde araştırmalar yaparak, küresel ısınma ve çevre problemleri gibi güncel sorunlara bir çözüm aramaktadırlar. Kıtadan izole edilen bazı türler, enzimler ve genler kullanılarak başta biyolojik kontrol olmak üzere biyoteknoloji, biyoremediasyon gibi farklı alanlarda çalışmalar devam etmektedir. Bu çalışmada, Antarktikada gerçekleştirilen yaşam bilimleri ve biyoteknoloji araştırmaları gözden geçirilmiştir.

MAKALE GEÇMİŞİ

Geliş

4 Ocak 2021

Kabul

24 Şubat 2021

ANAHTAR

KELİMELEK

Antarktika, antarktika biyoçeşitliliği, psikrotolerant bakteri, kutup algleri

¹ Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü, Ziraat Fakültesi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, Türkiye

² Merkezi Araştırma Uygulama Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi, Amasya Üniversitesi, Amasya, Türkiye

³ Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, Sabuncuoğlu Şerefeddin Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksek Okulu, Amasya, Türkiye

⁴ Bitki Koruma Bölümü, Ziraat Fakültesi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, Türkiye

⁵ Biyomühendislik Bölümü, Kimya-Metalurji Fakültesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

⁶ Biyoloji Bölümü, Fen Fakültesi, Kırgızistan Türkiye Manas Üniversitesi, Bişkek, Kırgızistan

*Corresponding Author: Yılmaz Kaya, e-mail: yilmaz.kaya@manas.edu.kg

Antarctica: A review of Life Sciences and Biotechnology Researches

ABSTRACT

Antarctica is the last discovered by humans on earth with the highest, the coldest, the driest and the lowest population density. At the same time, approximately 70 % of the usable fresh water reserves of the earth are found in this continent as a ice form. It has continued to live with natural selection with these features even though there is no human life from the past to the present. Antarctica with this natural habitat is like a unique laboratory for scientists whose borders are the entire continent. In Antarctica, there are a small number of animal and plant species specific to the continent as well as various algae, lichen and microorganism species. Scientists are searching for a solution about current problems such as global warming and environmental problems by performing investigations on these living forms. Studies in different areas such as biotechnology, bioremediation especially biological control are continue by using some species, enzymes and genes isolated from the continent. Life sciences and biotechnology researches carried out in Antarctica have been reviewed in this study.

ARTICLE HISTORY

Received

4 January 2021

Accepted

24 February 2021

KEY WORDS

Antarctic,
Antarctic biodiversity,
psychrotolerant
bacteria,
polar algae

Giriş

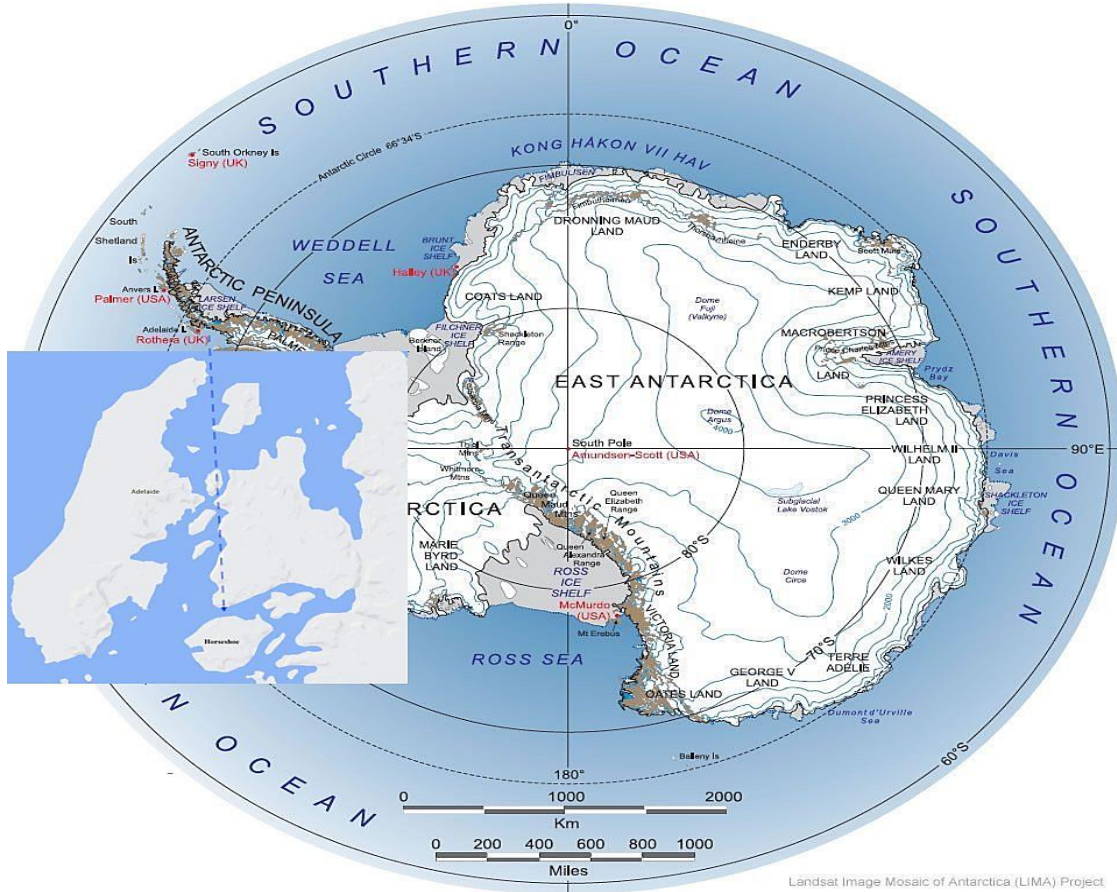
Arktik (Kuzey Kutbu), ismini Arktos'tan yani Kuzey Kutbundaki Büyük Ayı takımyıldızından almıştır [1,2]. Antarktika kelimesi ise etimolojik olarak Arktik bölgesinin karşısı anlamına gelmektedir. Kıtalar arasında Antarktika, büyüklük bakımından beşinci sırada yer almaktadır [3]. Bu kıtanın % 98'lik kısmı buzlarla kaplı olup toplamda 13.209.000 km² ölçümü ile yaklaşık olarak Avrupa'dan % 30, Avustralya'dan ise % 50 daha büyük alana sahiptir [4]. Bölge olarak yeryüzünün en güneyinde yer almaktadır. Bu kıta; yeryüzünün en kurak, en rüzgarlı ve en soğuk kıtasıdır. Kıta, Doğu ve Batı Antarktika olmak üzere iki bölgeden oluşmaktadır. Doğu Antarktika büyük ölçüde yüksek buz kaplı bir platodan oluşurken, Batı Antarktika büyük ölçüde dağlık adaları ve takımadalarını kapsayan bir buz tabakasından meydana gelmiştir. Doğu boylamlarında bulunan Doğu Antarktika, batı boylamlarında bulunan Batı Antarktika'dan daha büyüktür. Doğu ve Batı Antarktika yaklaşık 3.400 km uzunluğunda Transantarktik Dağlarıyla birbirinden ayrılır [3].

Ortalama kalınlığı yaklaşık 1.800 metre olan buz kütlesi, küresel tatlı su rezervleri açısından çok önemlidir. Kıtaya hakim olan buz tabakası, dünya buzunun yaklaşık % 90'ını ve dünya tatlı suyunun % 70'ini temsil eden yaklaşık 29 kilometreküp hacindedir [5]. Kıtanın bazı bölgeleri ise kullanılabilir suya erişimin zor olduğu soğuk ve kuru bir çöldür. Kıtada hakim olan karasal ekosistemde, bilinen binlerce organizma türü bulunmaktadır ve bu organizmaların çoğunu ekstrem koşullara kolaylıkla uyum

sağlayabilen mikroorganizmalar oluşturur. Kıtanın sahil ve deniz bölgelerindeki yaşam formları farklılaşarak zenginleşmektedir [3].

Tarihin erken döneminden beri birçok denizci, kâşif, gezgin ve araştırmacı Antarktika ile ilgili çalışmalar yapmıştır. Antarktika, 1800'lü yıllarda batılı devletler tarafından kıta olarak keşfedilmesine karşın denizcimiz Piri Reis tarafından 1510'lu yıllarda Antarktika'ya en yakın nokta olan Tierra del Fuego çoktan haritalandırılmıştı. Bunun yanı sıra Dünya'nın Antarktika kısmına ve çevresine ait tek haritayı çizen Piri Reis'in 1528 tarihli dünya haritasında ise Atlantik Okyanusu'nun kuzeyinde yer alan Grönland'ın, Kanada'nın kuzey doğu kıyılarını gösterdiği bilinmektedir [6]. Piri Reis'in haritasından sonra batılılara ait kıta ile ilgili bilgiler ortaya çıkmıştır. James Cook denizcilik kariyerine Fransa ve Birleşik Krallık arasında meydana gelen "Yedi Yıl Savaşları" sırasında başlamıştır. Gösterdiği başarılar sonrasında İngiliz Deniz kuvvetlerinde görevli olan James Cook ve ekibi 1773'te Antarktika yakınlarındaki adaları keşfetmelerine karşın Antarktika'yı görememişlerdir [7]. Antarktika'nın 1800'lü yıllarda yine denizci olan asker kökenli Amudsen, Scott ve Shackelton tarafından keşfedilmesiyle birlikte sonraki yıllarda batılılar tarafından kıta olarak keşfi yapılmış ve bununla birlikte 1910'lu yıllardan sonra Antarktika üzerinde toprak kazanım istekleri başlamıştır [8]. Hiçbir ülkeye ait olmayan bu kıta "bilim ve barış" için 53 ülkenin imzası ile korunmakta ve bu ülkelerden 29'unun kararları ile merkezi Buenos Aires (Arjantin)'de bulunan bir sekreteryaya tarafından yönetilmektedir. Kararlar, her yıl danışman devletlerin alfabetik sırayla ev sahipliğinde ve oy birliğiyle alınmaktadır [9].

Antarktika Yarımadası, Güney Kutbu'nun tabanında bulunan Antarktika anakarasının en kuzey bölümüdür. Onu örten buz örtüsünün altında bir dizi kayalık adalardan oluşur. Bu kaya adaları toprak görevi gören bir buz tabakasıyla birbirlerine bağlanmıştır. Kıtanın tek uzantısı olan Antarktika Yarımadası aynı zamanda Antarktika'nın Güney Amerika'ya en yakın kısmıdır. Kıtanın en yumuşak iklimine sahip yer olan Antarktika Yarımadası, biyolojik çeşitlilik bakımından da kıtanın en zengin bölgesidir. Aynı zamanda bu yarımada; ABD'nin Palmer, İngiltere'nin Rothera, Avustralya'nın Casey, Güney Afrika'nın Sanea gibi birçok ülkenin araştırma üssüne ev sahipliği yapmaktadır (Şekil 1) [10].



Şekil 1 Antarktika kıtasının genel görüntüsü (www.geology.com/world/antarctica-satellite-image.shtm) adresinden alınarak modifiye edilmiştir

Antarktika'yı ziyaret eden ilk Türk bilim insanı Atok Karaali'dir ve bu bölge 1968 yılında Antarktika Adları Danışma Kurulu tarafından "Karaali Kayalıkları" olarak isimlendirilmiştir. Antarktika'da bulunan "İnan Tepesi" de kıtada bilimsel araştırmalar yürütmüş Türk Bilim İnsanı Prof. Dr. Umran İnan'ın adını taşımaktadır. 2019 yılı itibarıyla ülkemizin, 'Horseshoe' isimli yarımada geçici üssü de bulunmaktadır.

Bu derleme çalışması kapsamında Antarktika'da bulunan bitki, mikroorganizma ve alg biyoçeşitliliği ile ilgili biyoteknoloji araştırmaları incelenmiştir.

Antarktika Biyoçeşitliliği

Atlas, Hint ve Pasifik okyanusları ile çevrili olan Antarktika ekosisteminin oldukça karmaşık bir yapıya sahip olduğu görülebilmektedir. Antarktika, yeryüzünde bulunan en belirgin ekstrem şartları gösterebilen yeryüzündeki sayılı bölgelerden biridir. Antarktika; kıtadaki buzun kendisi, tatlı su, tuzlu su gölleri ve buz örtüleri de dahil olmak üzere kutup çöllerinden yemyeşil otlaklara ve ötrofik göllere kadar birbirinden

farklı ekosistemleri bünyesinde barındırır. Yani ekosisteminde hem ekstrem tuzlu ortamları hem de hiç tuzlu olmayan ortamları içerebilmektedir [11, 12].

Yapılan son çalışmalar, Antarktika orijinli canlıların kökeninin çok eski olduğunu ve milyonlarca yıldır izole bir şekilde canlılıklarını koruduklarını göstermiştir. Buradaki canlıların, 30 milyon yıldan fazladır yaşamlarını sürdürdüğü ama bazılarının da 12-1.8 milyon yıl önce soylarının tükenme noktasına geldiği düşünülmektedir. Günümüzde fosiller, buz tabakalarının arasında varlığını sürdürebilmiş tundra vejetasyonu ile karasal ve tatlı su faunalarının tanımlanmasına izin vermektedir. Bugün gördüğümüz karasal biyota, LGM (Last Glacial Maximum - Son Maksimum Buzul)'den bu yana yerleşik düzene geçen türlerden oluşmaktadır. 1960'lı yılların başlarında Antarktika'da gerçekleştirilen araştırmalar sayesinde özellikle Transantarktika Dağları ve Antarktika Yarımadası'ndaki makro düzeyde biyolojik çeşitliliğin çoğu tanımlanmıştır [13]. Daha yakın tarihli biyolojik çalışmalar karasal biyotanın çoğunun, bu kıtada izole bir şekilde süregelen uzun bir geçmişe sahip olduğuna işaret etmektedir. Biyocoğrafik analizler ise Antarktika'nın LGM ve Gondwana parçalanmasının son evreleri arasında (40 ile 60 milyon yıl önce) Güney Amerika ve Avustralya'dan izole hale geldiğini ve tatlı su kopepodları ile yaşayan akarların, Antarktika'daki evrimsel sürekliliğe uygun dağılıma sahip olduklarını belirlemiştir [14]. Çalışmalar kitlesel olarak, Antarktika Yarımadası ve Doğu Antarktika'da karasal biyotanın halen yaşamını sürdürdüğünü kanıtlamaktadır. Yapılan çalışmalara göre kanatsız Chironomidler, 49 ile 68 milyon yıldan beri Güney Georgia, Güney Shetland Adaları ve Antarktika Yarımadası'nda bulunmaktadır. Buzul barınaklarında, nematod faunası ve toprak ile ilişkili mikroorganizma çeşitliliği yoğun olarak bulunurken Cladosera, rotiferler ve diatomlar ise en az 130.000 yıldan beri Antarktik göllerde yaşamaktadır [14]. Ayrıca toplu olarak nototenioidler olarak adlandırılan türler de Antarktika'yı çevreleyen kıtasal buz sahanlıklarındaki balık faunası biyokütlesinin yaklaşık % 90'ını oluşturur. Bu canlıların, bir antifriz görevi gören glikoproteine sahip oldukları için Güney Okyanusu'nun donma noktasının altındaki buzlu sularında hayatta kalabildiği bildirilmiştir [15].

Kıta ekosisteminde yaşayabilen kuşlar ve su canlılarının başında penguenler ve fok balıkları gelmektedir. Güney Okyanusu'nun çeşitlilik içeren su yaşamı; balina ve diğer memeli deniz canlılarını kapsamaktadır.

Antarktik florası incelendiğinde ise kıtada hüküm süren aşırı soğuklar, birçok liken ve yalnızca birkaç yosun türü ile birlikte çiçek açan iki bitki türünün yaşamasına izin verir. Deniz ekosistemleri ise sığ kıyı bölgelerinden açık okyanusun derinliklerine ve buz ile kaplı bölgelerden buzsuz sıvı ortamlara kadar birbirinden çeşitli habitatlara sahiptir [13].

Bitki Çeşitliliği

Arktikte 400'e yakın bitki türü sayılabilmektedir. Buna karşın Antarktika sadece çiçekli iki bitki türüne sahiptir [24]. Bu kıta ayrıca özellikle düşük sıcaklıklara ve kuraklığa tolerans gösteren alt bitki gruplarına da (yosunlar, ciğer otları, likenler ve funguslar) ev sahipliği yapmaktadır. Bu ilkel yaşam formlarıyla beraber, bitki ve hayvanlar da kıtadaki yerlerini almışlardır [16] .

Deschampsia antarctica Desv. (Antarctic hairgrass; Antarktika çayırsaçı)

Poaceae ailesinin bir üyesi olan ve $2n=26$ kromozoma sahip olan *Deschampsia antarctica* Desv. Antarktika'da bulunan iki çiçekli bitkiden monokotil olanıdır [17]. *Deschampsia antarctica* en zor çevre koşullarına (aşırı düşük sıcaklık, kuraklık, yüksek tuzluluk, sel, yüksek UV radyasyonu ve düşük yağış) başarıyla adapte olmuştur. Doku kültürü, genetik, morfolojik, fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler düzeylerde olmak üzere farklı biyoteknolojik çalışmalarda yaygın olarak kullanılan bir bitkidir [18,19,20,24,26,33,34,35].

Romero ve ark. (1999), yaptıkları çalışmada Antarktika'da yetişen *D. antarctica* örneklerinin *in vitro* koşullarında yetişenlere kıyasla (2 °C ve 13 °C'de) küçük epidermal hücre boyutu, yüksek hücre yoğunluğu, karmaşık hücre formu, kalın kütikül yapısı, yüksek stoma yoğunluğu, fazla yaprak kalınlığı ve küçük lümen damarları gibi anatomik özelliklerinin farklı olduğunu göstermiştir [21]. Bu bitki, ayrıca ekstrem soğuk ve kuru koşullara tolerans göstererek donma noktasında fotosentez yapabilir. Maksimum fotosentetik aktivitenin 13 °C'de gerçekleştiği ve 0 °C'de maksimal fotosentezin % 30'unun korunduğu bildirilmiştir [22].

Deschampsia antarctica donma toleransı mekanizmasının bir parçası olarak büyüme döneminde antifriz proteinleri üretmekte ve yapısal olmayan karbonhidratları biriktirmektedir [21]. RI (Recrystallisation Inhibition - Buz Kristalizasyonunu Engelleme) aktivitesi; bitkiyi, buz kristallerinin zararlı etkilerine karşı korumakta, Antarktika çimlerinin hayatta kalmasını ve donma toleransını sürdürmesini

sağlamaktadır. Bahsi geçen özellikler bu bitkinin stres toleransı ile ilgili genler açısından önemli ve değerli bir genetik kaynak olduğunu göstermektedir [23]. Çeşitli araştırmalar, *D. antarctica*'nın abiyotik etmenlere (özellikle soğuğa karşı) geliştirdiği savunma mekanizmalarının bazılarında ışık tutmuştur. Byun ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada, *D. antarctica* C repeat binding factor 7'yi (DaCBF7), monokot grubu V CBF homologlarının bir üyesi olarak tanımlamıştır. Bitkilerde donmaya karşı adaptasyondan sorumlu mekanizmaların araştırılması için *D. antarctica* bitkisinin, model bir organizma olarak kullanılabilmesi belirtilmiştir [23]. Ayrıca bu bitkinin; değerli tarımsal mahsullerde üreme stratejilerinin geliştirilmesine izin veren, stres toleransı ve çevresel adaptasyonla ilişkili olan bir gen kaynağı olarak kullanılabilmesi de öne sürülmektedir [24]. Bu amaçla, John ve ark. (2009), bir antifriz geni olan *DaIRIP4* genini *Arabidopsis thaliana* bitkisine aktarmış ve bu genin soğuk iklimli yaşam alanlarında buz kristalizasyonunu engelleyici aktiviteyi meydana getirmek için yeterli olduğunu rapor etmişlerdir [25]. Ayrıca *D. antarctica*'nın farmasötik amaçlı kullanılan ekstraktlarının, UV radyasyonuna karşı koruyucu etkiler gösterdiği de bilinmektedir [24,26].

Canlılar âleminde bitkiler, çoğu zaman zengin bir mikroorganizma çeşitliliği ile iletişim ve etkileşim halindedir. Bakteriler, bitkilerin toprak üstü ve toprak altı organlarının yüzeylerinde olabildiği gibi doku içinde de görülebilir. Bu bakterilerden olan ve bitkilerin iç dokularında yer alan mikroorganizmalara endofit bakteriler adı verilir [27,28]. Podolich ve ark. (2019), *D. antarctica* bitkisini, Antarktika'nın birbirinden uzak bölgelerinden toplayarak bakteriyel etkileşimleri incelemişlerdir. Endofik bakterilerden olan *Alphaproteobacteria*, *Betaproteobacteria*, *Gammaproteobacteria*, *Firmicutes*, *Cytophaga-Flavobacteria* ve *Actinobacteria* bakterilerini tespit etmiş ve bunlar arasında en fazla bulunanın ise *Pseudomonas* olduğunu rapor etmişlerdir [29,30,31,32].

Colobanthus quitensis (Antarktika pearlwort; Antarktika karanfil otu)

Colobanthus quitensis karanfiller ailesinden Antarktika'da doğal olarak yetişen dikotil bir bitkidir. Ekstrem şartlarda yaşayan model bir bitki olan *C. quitensis*, 2n=80 kromozoma sahiptir ve genom büyüklüğü 1.95 pg'dir [36,37].

Bu bitki, Antarktika biyomu içinde sadece Antarktika yarımadasında ve Antarktika sınırları içinde yer alan adalarda bulunmaktadır [40]. Bununla birlikte bu bitkinin

dağılım coğrafyası ise Andes bölgesinin bir kısmını ve Falkland adalarını içine alan Sub-Antarktika'yı kapsamaktadır. Bu bitki, kendi kendine döllen ve kendine tozlanan bir bitkidir [41,42,44,45]. Antarktika'nın koşullarına karşın bu bitki hemen hemen her yıl bolca çiçek açmakta, tozlaşma ve döllenmeden sonra tohum üretmektedir. Tohumlarda çevre koşullarına bağlı olarak kayıplar yaşanmaktadır [38,39,46, 53,54,55]. *Deschampsia antarctica* bitkisinde olduğu gibi *C. quitensis* bitkisinde de farklı alanlarda çalışmalar yapılmaktadır. Cuba Díaz ve ark. [43], *C. quitensis* ile ilgili popülasyonlar arasında potansiyel farklılıklar göz önüne alınarak çimlenme ve çimlenme öncesi çalışmalar yapmış ve asitle muamele etmenin çimlenme üzerindeki olumlu etkilerini bildirmişlerdir [49,50,51,52]. Elde edilen bulgular ile tüm *C. quitensis* popülasyonlarına uygulanabilen etkili protokoller oluşturulmuştur. Hughes [47] ise küresel ısınma ile ilgili araştırmalarında kutup bölgeleri ve benzeri bitki örtüsünü çalışmıştır. Antarktika kıtasına özgü *D. antarctica* ve *C. quitensis* bitkilerini ve küresel ısınma etkileşimlerini incelemiştir. Yaptığı çalışmanın sonucunda isimleri geçen iki damarlı bitkide 0 °C'nin, bu bitkilerin fiziksel büyümesini etkilediğini ve sınırlandırdığını rapor etmiştir. Ayrıca bu bitkilerde, özellikle soğuk direnci yaygın olarak çalışılmıştır ve ticari olarak uygulamaları değerlendirilmiştir [48,56]. Zuniga ve ark. (2009) ise *C. quitensis* bitkisi ile ilgili *in vitro* şartlarda yaptığı mikroçoğaltım çalışmasında temel doku kültürü parametrelerini belirlemiştir. Bu çalışma ile iki ay içinde bitki sayısının yaklaşık dört ile beş kat arttığı rapor edilmiştir. Bu metod, Antarktik gen kaynaklarının *in vitro* koşullarda çoğaltılmasını, muhafaza edilmesini ve gelecek çalışmalar için erişilebilirliğini sağlayabilir [59].

Yukarıda belirtilen farklı araştırmalar olmak üzere birçok çalışmada Antarktika kaynaklı bitkilerin genetik materyalleri, ekstem koşullara toleransta rol oynayan adaptasyon mekanizmaları ve bu mekanizmaların ürünü olan metabolik bileşikler yaygın olarak incelenmektedir. Elde edilen sonuçların tarım ve sanayi sektörünün gelişmesine katkıda bulunabileceği ve ilgili konularda yeni ufuklar açabileceği vurgulanmaktadır.

Mikroorganizma Çeşitliliği

Kutup toprakları; doğrudan kuvvetli rüzgarlara, ekstrem düşük sıcaklıklara, kışın düşük yazın yoğun UV radyasyonuna bununla birlikte düşük seviyeli yağışlara maruz kalmaktadır [60]. Bu ekstrem çevre koşullarına karşın Antarktik tundra topraklarının

diğer biyomlara benzer hatta daha fazla mikrobiyal çeşitlilik barındırdığı bilinmektedir [61]. Bu durum, ekosistemdeki biyolojik aktivitelerin çoğunun mikroorganizmalar tarafından kontrol edildiğini göstermektedir [62]. Her ne kadar kutupsal mikroorganizmalar iklim koşullarından dolayı düşük mikrobiyal aktivite gösterebilirler besin döngüsündeki rolleri yine de önemlidir [63]. Bu mikroorganizmalar besin ağının temelini oluştururlar ve biyojeokimyasal döngülerde biyoçözünürlük gibi önemli görevleri vardır [64, 65]. Bununla birlikte ekolojik önemlerine karşın Antarktika mikrobiyal çeşitliliği ve bu çeşitliliğin coğrafik dağılımı hakkında yeterince bilgi bulunmamaktadır [66, 67]. Sistematik örnekleme bulunmaması, coğrafik izolasyon ve özellikle Antarktika'ya ulaşılabilirlik gibi problemlerden dolayı mikrobiyal biyoçeşitlilik hakkında yapılan çalışmalar, teknolojinin gelişmesiyle beraber artmıştır [68,69,70,71,72] .

Bu biyolojik çeşitliliğe verilecek örneklerden biri bazı göllerin organik karbon kaynağının çok az olması veya çok fazla olması ya da fosforca zengin olması gibi özelliklerinden dolayı, metanol, azot ve fosfor parçalayan bakterileri bünyelerinde barındırmasıdır [73,74]. Farklı olarak Yergeau ve ark. (2007) tarafından elde edilen bulgular, büyük ölçekli biyocoğrafik bölgelerde azalan mikrobiyal çeşitliliği göstermektedir [75]. Ancak, Kara Antarktikası dışında kalan bazı habitatlarda hiçbir azalma durumu yoktur, tam tersine bu habitatlarda bulunan fungus çeşitliliği üzerine yapılan birçok olumlu çalışma bulunmaktadır [76, 77]. Ayrıca, Antarktika'daki stabil deniz ortamlarındaki habitatlarda da mikroorganizma çeşitliliğinde hiçbir azalma durumu söz konusu değildir. Antarktika topraklarındaki bakteri çeşitliliği ile ilgili daha fazla çalışma yapıldığı için diğer canlılara kıyasla bakterilerin çok daha çeşitli ve sayıca fazla olduğu bildirilmiştir [78, 79, 80, 81]. Bununla beraber, Antarktika'da mikroorganizmaların biyocoğrafik çeşitliliği üzerine yapılan çalışmalar hala başlangıç seviyesindedir.

Gloeocapsa cinsi, kuru vadilerin kayalıklarındaki ekstrem koşullara yüksek adaptasyon gösteren az sayıdaki kriptoendolitik taksondan biridir. *Arthrobacter* spp., *Brevibacterium* spp. ve *Corynebacterium* spp. gibi aktinobakteriler, Antarktika'nın kuru vadilerinde öne çıkmaktadır [81]. Termofilik bakteriler ise 'Kuzey Victoria Land'daki 'Mt. Rittman' ve 'Mt. Melbourne' yakınlarındaki termal olarak ısıtılmış sıcak topraklardan izole edilmiştir [82]. Antarktika; *Staphylococcus*, *Bacillus*,

Corynebacterium, *Micrococcus*, *Streptococcus*, *Neisseria* ve *Pseudomonas* cinsine ait bakterileri de bünyesinde barındırmaktadır [83]. Yürütülen araştırmalarda tanımlanmış bakteri türleri řu şekildedir; *Acinetobacter* spp., *Alicyclobacillus acidocaldarius*, *Aquaspirillum* spp., *Arthrobacter* spp., *Azospirillum* spp., *Bacillus* spp., *Bacillus fumarioli*, *Bacillus thermoantarcticus*, *Bizionia argentinensis*, *Brevibacterium* spp., *Brevibacterium antarcticum*, *Brevundimonas* spp., *Chryseobacterium* spp., *Corynebacterium* spp., *Flavobacterium* spp., *Gloeocapsa* spp., *Hymenobacter roseosalivarius*, *Leptolyngbya frigida*, *Massila* spp., *Micrococcus* spp., *Modestobacter multiseptatus*, *Neisseria* spp., *Nocardia* spp., *Nostoc commune*, *Paenibacillus* spp., *Planococcus* spp., *Pseudonocardia antarctica*, *Pseudomonas* spp., *Psychrobacter* spp., *Sphingobacterium* spp., *Staphylococcus* spp., *Stenotrophomonas* spp., *Streptococcus* spp., ve *Streptomyces* spp. [82]. Bu mikroorganizmaların birbirinden farklı işlevleri bulunmaktadır. Azot döngüsünde önemli rolleri olan *Planctomycetes* mikroorganizması, azot üretimine yol açan amonyumun anaerobik oksidasyonuna katılır. Deniz ve tatlı su ortamlarında genellikle daha fazla bulunurlar. Bununla birlikte kutup toprakları da dahil olmak üzere karasal ortamlarda değişken miktarlarda tespit edilmiştir [84].

Bunların yanı sıra III. Ulusal Antarktik bilimseferi kapsamında, Galindez adasından alınan su örneklerinden literatürde ilk defa pestisitleri parçalayan bakteriler tanımlanmıştır. Bu bakteriler; *Psychrobacter* sp. strain *TaeBurcu001* (Aksesyon numarası MN061637.1) ve *Psychrobacter* sp. strain *TaeBurcu002* olarak isimlendirilerek NCBI'a (Aksesyon numarası MN960390.1) yüklenmiş ve literatüre kazandırılmıştır [85]. Ayrıca bu bakteri türlerinin dışında, III. Ulusal Antartik bilimsefer kapsamında, 'Horseshoe' Adası'ndan alınan buz örneklerinden literatürde ilk defa Antarktika'dan izole edilmiş *Blastomonas* sp. strain YTU.POLAR.001 (Aksesyon numarası MN384971) ve *Achromobacter* sp. strain YTU.KUTUP.001 (Aksesyon numarası MN396385) isimli bakteriler de NCBI'a yüklenerek literatüre kazandırılmıştır [86,87].

Arkea ve fungal toplulukları da kutup mikrobiyal topluluklarının önemli parçalarıdır. Fungal toplulukların kutuplarda varyasyon göstermesine karşın genellikle *Ascomycota* ve *Basidiomycota* diğer varyetelere kıyasla daha baskın olan karasal ayrıştırıcılarıdır. Bununla birlikte bölgede bollukları, çeşitlilikleri ve dağılımları çalışılmaya devam edilmektedir [88].

Kutuplarda sürekli donmuş olan topraklar (permafrost), Dünya'nın kara yüzeyinin önemli bir alanını kapsamaktadır. Kuzey Kutbu ve Antarktika bölgelerindeki permafrost çökeltilerinde bulunan bazı mikroorganizmaların, uzun süreler boyunca hayatta kalabildiği gösterilmiştir [89]. Permafrost özellikli bölgelerden çok sayıda soğuğa dirençli mikroorganizmanın bulunduğu bilinmektedir [90]. Permafrost alanlar sadece bir bakteri deposu değildir, aynı zamanda arkeler [91], maya [92], aktinomiset ve mikromisetler de [93] içerir. Bunlarla beraber farklı yaş ve kökene sahip permafrost yüzeylerden alınan örneklerde canlı protozoanlar bulunmuştur [94].

Ayrıca bu mikroorganizma türlerinin yanısıra III. Ulusal Antarktik bilim seferi kapsamında toplanan örneklerde yeni mikroorganizma ırkları da izole edilmiştir. Bu mikroorganizmalar üzerinde genomik DNA izolasyonundan sonra 18S rRNA analizleri yapılmıştır. Her bir izolat için elde edilen dizi analiz sonuçları, NCBI veri tabanında bulunan suşlara ait diziler ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen bu ırklara ait diziler, NCBI veri tabanına kayıtlı yapılarak aksesyon numarası alınmıştır. Özellikle kutuplardan alınan örneklerden literatürde ilk defa Antarktika'dan izole edilmiş *Paracercomonas* sp. strain TAE3-YTU.004 (Aksesyon numarası MW485507.1) (95), *Flamella arnhemensis* strain TAE3-YTU.007 (Aksesyon numarası MW485950.1) (96), *Flamella balnearia* strain TAE3-YTU.005 (Aksesyon numarası MW487484.1) (97), *Flamella arnhemensis* strain TAE3-YTU.006 (Aksesyon numarası MW513457.1) (98), *Paracercomonas* sp. strain TAE3-YTU.008 (Aksesyon numarası MW521096.1) (99) olarak NCBI'a yüklenmiş ve literatüre kazandırılmıştır.

Mikrobiyal Çeşitliliğin Potansiyel Kullanım Alanları

Kutupsal çevre koşullarına karşın Güney Kutbu topraklarında yaşayan mikroorganizmaların hepsi ekstremofilik değildir. Psikrofiller soğuk ortamlarda yaşarlar ve bu organizmaların çoğu 0 °C'nin altındaki düşük sıcaklıklarda hayatta kalabilirler ancak daha yüksek sıcaklıklarda da optimum şekilde büyüyebilirler [100]. *Pseudomonas*'ın B17 ve B18 suşları, optimum büyüme sıcaklığı 25 °C olmasına karşın 0 °C ile 30 °C arasında da büyüyebilmektedir. Ayrıca, 5 °C'de metabolik olarak aktiftirler ve hem alkanları hem de naftaleni petrol hidrokarbonundan bozabilirler [101]. Soğuğa adapte olan bazı organizmalar gıda endüstrisinde mikrobiyal kontaminasyonu önlemek, hücre dokularının kriyoprezervasyonunu artırmak ve dondurulmuş gıdaların dokusunu ve lezzetini korumak için yaygın olarak kullanılan antifriz proteinleri

üretebilmektedir [102]. Bu proteinler, fungus gibi mikroorganizmalarda ve az sayıda bakteri türünde özellikle de Antarktika göllerinden izole edilen Gammaproteobakteriler de tanımlanmıştır. Ayrıca, bazı mikroorganizmalar düşük sıcaklıklarda mezofilik enzimlere göre daha aktif ve kararlı olan ve böylece düşük sıcaklıklı endüstriyel işlemler için kullanılabilir soğuk aktif veya psikrofilik enzimler de üretebilmektedir [103].

Bununla beraber son yıllarda antibiyotiklerin çoğuna dirençli hale gelen suşların artması nedeniyle mikrobiyal çeşitliliğin tıbbi amaçlar doğrultusunda incelenmesi de potansiyel anlamda bir öncelik haline gelmiştir. Mikrobiyal çeşitliliğin yoğun olduğu noktalarda, mikroorganizmalar bir arada yaşadıkları ve özellikle enerji kaynakları konusunda birbirleriyle rekabet edebilecek yollar geliştirdikleri için bu noktalarda tıbbi araştırmalara öncelik verilmektedir. Funguslar ve bakteriler; birçok ekstrem ortamda tanımlandıkları ve bu ortamların zorlu koşullarında hayatta kalmak ve gelişmek amacıyla özel yöntemler geliştirdiklerinden potansiyel farmasötik uygulamaları olan antibiyotikler, antitümör ilaçlar veya kolesterol düşürücü ilaçlar gibi yeni biyoaktif metabolitler için zengin bir kaynak oluşturmaktadır [88, 104,105]. Antarktika süngerleri ile ilişkili bazı fungus türlerinin de antimikrobiyal ve antitümoral aktivitelere sahip olduğu gösterilmiştir [106]. *Actinomyces* dünya çapında en önemli antibiyotik kaynaklarından biridir ve Arktik *Actinomyces* biyoprospektif için güçlü bir potansiyele sahiptir [107, 108]. *Streptomyces* spp. organizmasının Doğu Sibirya sedimentlerinden izole edilen *ART5* suşunun *Candida albicans*'a karşı inhibe edici aktivite gösterdiği bildirilmiştir [109].

Bunların yanı sıra, biyoremediasyon için de Antarktik mikroorganizmaların kullanılabilir potansiyelleri vardır. Günümüzdeki sanayileşmiş ve sanayileşmekte olan devletlerin ekonomilerinde sentetik kimyasallara dayanan sanayilerin katkısı önemlidir. Bu sanayilerde hammaddelerin işlenmesinde kısa sürede ekonomik olarak kaliteli bir tüketici ürünü elde etmek için ucuz ve biyolojik olarak çözünmeyen birbirinden farklı kimyasal maddeler kullanılmaktadır. Bu kimyasallar zaman içinde canlılara ve doğaya zarar vermektedir. Bunlardan kurtulmak için en yeni ve güvenilir yöntemlerden biri ise biyoremediasyondur. Biyoremediasyon canlı organizmaları kullanarak kirliliğin temizlenmesi anlamındadır. Özellikle pestisitler gibi kimyasallar, tarım arazileri başta olmak üzere ormanları ve doğamızı tehdit etmektedir. Bu kirliliklerden kurtulmak için

birçok mikroorganizma tuz gölleri [110], bazik göller [111] ve tarım alanları [112] gibi birbirinden farklı lokasyonlardan izole edilerek biyoremidasyon için kullanılmıştır. Kutup çalışmaları ile birlikte kutup bölgelerinden potansiyel türler izole edilip, pestisitler gibi kirleticilere karşı biyolojik mücadele ile doğa daha temiz hale getirilebilmektedir [85].

Kutup Algleri

Antarktika'nın sınırlı karasal ekosistemlerinde, tüm fotosentetik organizmalar yaşam alanlarının ekolojisine önemli bir katkıda bulunmaktadır. Buzsuz zemin, Antarktika kıtasının sadece % 0.18'ini oluşturmaktadır. Ancak, fotosentetik yaşam bu alanla sınırlı değildir. Kıyı bölgelerde gerçekleşen alg patlamaları dolayısıyla belirli bölgelerde yeşil ve kırmızı renkler görülmektedir. Antarktika'daki kar algleri, ilk olarak 1950'lerde ve 1960'larda yapılan keşiflerle tanımlanmıştır ve o zamandan beri Antarktika'da bulunan çeşitli alg türleri incelenmektedir. Tek bir kar alg patlamasının binlerce metrekareyi kapsayabileceği düşünüldüğünde kar algleri potansiyel olarak bölgenin en önemli fotosentetik birincil üreticilerinden biridir. Bununla birlikte karasal ve deniz ekosistemlerine besin sağlanmasını da etkilemektedir. Son yıllarda küresel ısınmanın sonucu olarak, Antarktika Yarımadası'ndaki ısınma sanayi öncesi sıcaklıklara göre 1.5 °C'yi aşmıştır. Bu bakımdan özellikle kar alglerinin Antarktika'nın biyosferine nasıl uyum sağladığını ve küresel ısınmaya karşı olası tepkilerini anlamak, iklim değişikliğinin Antarktika'nın bitki örtüsü üzerindeki genel etkisini inceleme açısından çok önemlidir [113, 114].

Algal hücrelerin konsantrasyonu, binlerce hücrelik bir popülasyon mL^{-1} değerine ulaştığında, kar veya buzda renk değişikliği meydana gelir. Renk ve yoğunluğu, pigment kompozisyonuna ve popülasyon yoğunluğuna bağlıdır. Alg patlamaları ortam koşullarına göre baskın olarak içerdikleri pigment ve metabolitlerine göre kırmızı, yeşil ve sarı-kahverengi renklere olabilir. Örneğin klorofil baskın olduğunda yeşil kar görülürken, fukoksantin gibi birincil karotenoidler baskınsa, altın-kahverengi kar ortaya çıkabilir [115].

Arktik ve Antarktik'te deniz buzu içinde en bol bulunan mikroalgal taksonlar diatomlardır (*Bacillariophyceae*). Sadece Kuzey Kutbu'nda 550'den fazla diatom türü tanımlanmıştır. Kuzey Kutbu'nda; *Fragilaria*, *Cylindrotheca* ve *Achnanthes* nispeten yaygın tek hücreli diatom cinsleridir, Antarktika'da ise *Amphiprora*, *Pinnularia*,

Pleurosigma, *Synedra* ve *Tropidoneis* türlerinin varlığı bildirilmiştir. Algler en çok birinci yıl buzunda, dip buzda, deniz buzunun iç kısmındaki boşluk katmanlarında ve buz boşluklarında görülmektedir. Deniz buzu içindeki mikroalg patlama genellikle oldukça kısa ömürlüdür. Alg biyokütlesi, yetersiz ışık, düşük sıcaklık ve yüksek deniz buzu tuzluluğu nedeniyle kışın genellikle düşüktür. Alg konsantrasyonları ışık ve sıcaklık arttıkça ve tuzluluk azaldıkça ilkbaharda hızla artar [116].

III. Ulusal Antarktik bilim seferi kapsamında Antarktika'dan yeni alg suşları da izole edilmiştir. Özellikle kutuplardan alınan örneklerden literatürde ilk defa Antarktika'dan izole edilmiş *Chlorella variabilis* strain YTU.ANTARCTIC.001 (Aksesyon numarası MN372092) [117], *Auxenochlorella pyrenoidosa* strain Ozcimen.001 (Aksesyon numarası MT951391) [118], *Chlorella sorokiniana strain* Egemen.001 (Aksesyon numarası MW147167.1) [119] olarak NCBI'a yüklenerek literatüre kazandırılmıştır.

Mikroalgler, suyun bulunduğu her ortamda çoğalabilen, türlerine ve yetiştikleri ortam koşullarına göre değişik oranlarda yağ, protein ve karbonhidrat içeren bitki benzeri mikroskobik canlılardır. Bu mikroorganizmalar üstün adaptasyon mekanizmaları sayesinde Antarktika gibi ekstrem koşullara bile dayanabilmektedir. Antarktik mikroalgler, içerdikleri yüksek oranda yağ, protein ve karbonhidrat sayesinde gıda, hayvan yemi ve enerji alanlarında kullanılabilir. Bu içeriklerin yanı sıra bu mikroalgler, buldukları ortamın koşullarına adapte olabilmek için hücre içi ve hücre dışına fukoksantin, astaksantin, beta-karoten, klorofiller, çoklu doymamış yağ asitleri, steroller ve peptidler gibi birçok değerli metabolit sentezler. Bu intraselüler ve ekstraselüler metabolitler; antibiyotik, antiviral, antikanser, antifungal, antibakteriyal, antiinflamatuvar ve hipokolestrolemik özellik göstermektedir. Kutup mikroalgleri bu özellikleri ile ilaç alanındaki biyoteknolojik uygulamaların yanısıra kozmetik, gıda ve gıda katkı maddesi, gübre, hayvan yemi ve enerji alanlarında da kullanılabilir [120, 121, 122, 123].

Sonuç

Gezegimizin geçmişine ait bilgiler bir saklı hazine gibi Antarktika'da bulunmaktadır. Dünyamızın özellikle kirlilik ve küresel ısınma gibi küresel sorunlarını çözmeye bu kıta insanlığa yardımcı olacaktır. Dünya tatlı su kaynaklarının % 70'ini barındıran Antarktika, canlı yaşamı ve canlıların geçirdiği süreçleri öğrenme bakımından çok önemlidir. Özellikle son yüzyılda Dünyamızın en büyük problemlerinden olan küresel

ısınma, çevre kirliliği ve çeşitli sağlık problemlerini çözmede Antarktika kıtasında araştırılan bitki, alg ve mikroorganizmalar fayda sağlayacaktır. Örnek olarak tarım arazilerinde kullanılan çeşitli sentetik kimyasal yapıları pestisitlerin topraktan temizlenmesi ve azaltılmasında Antarktika kaynaklı mikroorganizmalardan faydalanılabilmektedir. Aynı zamanda kutup algleri başta olmak üzere kıta üzerinde yaşayan canlılardan çeşitli faydalı ekstraktlar çıkartılarak bunların teröpatik etkileri sayesinde bazı hastalıkların tedavisinde kullanılabilecekleri düşünülmektedir. Asya ve Avrupa kıtasının keşime noktasında bulunan ve sanayileşmekte olan Türkiye, kirlilik ve küresel ısınma gibi sorunlardan etkilenmektedir. Bu yüzden Antarktika temelli çalışmalardan elde edilen sonuçlar ile sorunlarımızın çözümüne yönelik projeler oluşturulmalıdır. Antarktika çalışmaları ülkemiz için stratejik ve ulusal öncelikli alanlardan olup Türk bilim insanlarının Antarktika ile ilgili araştırmalara yönlendirilmesi, bu konudaki bilimsel ve teknolojik yetkinliğin artırılmasının sağlanması ve bu konularda daha fazla bilimsel çalışmaların yapılması için desteklerin sunulması büyük önem arz etmektedir.

Teşekkür

Tüm yazarlar; Cumhurbaşkanlığı himayesinde, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı uhdesinde ve İTÜ Kutup Araştırmaları Uyg-Ar Merkezi koordinasyonunda gerçekleştirilen TAE-III seferinde desteklenen projelerinden dolayı teşekkürlerini sunar. Prof. Dr. Didem Özçimen, yapmış olduğu kutup çalışmalarına desteklerinden dolayı TÜBA-GEBİP Ödülü kapsamında Türkiye Bilimler Akademisi (TÜBA)'ne teşekkürlerini sunar.

Kaynaklar

1. WorldAtlas 2018. <https://www.worldatlas.com/articles/what-are-the-origins-of-the-names-arctic-and-antarctica.html>
2. Liddell, H. G., Scott, R., Crane, G., Stuart Jones, H. and McKenzie, R., A Greek-English Lexicon Antarctica. Oxford: Clarendon Press, 2002.
3. Encyclopædia Britannica 2019. <https://www.britannica.com/place/Antarctica>
4. World Geography 2019. <https://www.enchantedlearning.com/geography/continents/Land.shtml>
5. Scott K. N., Ice and Mineral Resources. In: Liggett D., Storey B., Cook Y., Meduna V. (eds) Exploring the Last Continent. Springer Cham., 2015.
6. Burcu Ö, Küresel Salgınlar Kutup Bölgelerinde Öğreneceklerimiz ve Geleceğimiz. Küresel Salgının Anatomisi: İnsan ve Toplumun Geleceği. 2020, Tuba Bilimler Akademisi. p:1019-1029, 978-605-2249-46-8.
7. Encyclopedia 2020. <https://www.encyclopedia.com/people/history/explorers-travelers-and-conquerors-biographies/james-cook> Erişim tarihi: [08.02.2021]
8. Ingrid, H., et al., Early knowledge of Antarctica's vegetation: Expanding past and current evidence. Revista Chilena de Historia Natural, 2012. 85: p. 409-418.
9. Harris, CM. and J. Meadows, Environmental management in Antarctica Instruments and institutions. Marine Pollution Bulletin, 1992. 25(9-12): p. 239-249.

10. Stewart, J., Antarctica an Encyclopedia, Second edition. McFarland & Company Inc., North Carolina, U.S.A., 2011.
11. Barrett, J. E., et al., Variation in biogeochemistry and soil biodiversity across spatial scales in a polar desert ecosystem. *Ecology*, 2004. 85: p. 3105-3118.
12. Thomas, D. N., et al., The biology of polar regions. Oxford University Press, Oxford, UK, 2008.
13. Convey, P. et al., The spatial structure of Antarctic biodiversity. *Ecological monographs*, 2014. 84, p. 203-244
14. Convey, P. and Stevens, M. I., Antarctic biodiversity. *Science*, 2007. 317 (5846): p.1877-1878.
15. Gilbert, J. A., et al., Demonstration of antifreeze protein activity in Antarctic lake bacteria. *Microbiology*, 2004. 150(1): p. 171-180.
16. British Antarctic Survey 2020. <https://www.bas.ac.uk/about/antarctica/wildlife/plants/> Erişim tarihi: [04.01.2021].
17. Amosova, A. V., et al., Molecular Cytogenetic Analysis of *Deschampsia antarctica* Desv. (Poaceae), Maritime Antarctic. *PloS one*, 2015. 10(9).
18. Ruhland, C. T., et al., The influence of ultraviolet-B radiation on growth, hydroxycinnamic acids and flavonoids of *Deschampsia antarctica* during Springtime ozone depletion in Antarctica. *Photochemistry Photobiology*, 2005. 81(5): p. 1086-1093.
19. Pascual-Díaz, J.P., Serçe, S., Hradecká, I., et al., Genome size constancy in Antarctic populations of *Colobanthus quitensis* and *Deschampsia antarctica*. *Polar Biology*, 2020. 43: p. 1407–1413.
20. Lee, J. et al., Combined analysis of the chloroplast genome and transcriptome of the Antarctic vascular plant *Deschampsia antarctica* Desv. *PLoS One*, 2014. 9(6): e101100.
21. Romero, M., et al., Leaf anatomy of *Deschampsia antarctica* (Poaceae) from the Maritime Antarctic and its plastic response to changes in the growth conditions. *Revista Chilena de Historia Natural*, 1999. 72(1): p. 411-425.
22. Barcikowski, A., et al., *Deschampsia antarctica* (Poaceae)—the only native grass from Antarctica. L. Frey (Ed.), *Studies on Grasses in Poland*, W. Szafer Institute of Botany, 2001. PAS, Kraków. p. 367-377
23. Byun, M., et al., Constitutive expression of DaCBF7, an Antarctic vascular plant *Deschampsia antarctica* CBF homolog, resulted in improved cold tolerance in transgenic rice plants. *Plant Science*, 2015. 236(1): p. 61-74.
24. Amosova, A., et al., Molecular cytogenetic analysis of *Deschampsia antarctica* Desv.(Poaceae), maritime Antarctic. *PloS One*, 2015. 10(9): p. e0138878.
25. John, U., et al., Ice recrystallization inhibition proteins (IRIPs) and freeze tolerance in the cryophilic Antarctic hair grass *Deschampsia antarctica* E. Desv. *Plant, Cell & Environment*, 2009. 32(4): p. 336-348.
26. Rabert, C., et al., Expression of *Deschampsia antarctica* Desv. polypeptide with lipase activity in a *Pichia pastoris* vector. *International Journal of Molecular Sciences*, 2014. 15(2): p. 2359-2367
27. Kucuk, C., Bitki Probiyotik Bakteriler: Bitkiler Üzerindeki Roller ve Uygulamalar. *International Journal of Life Sciences and Biotechnology*, 2019. 2(1): p. 1-15.
28. Kucuk, C. and A. Almaca, Bitki gelişimini teşvik eden rizobakteriler tarafından üretilen metabolitler ve bitki gelişimine etkileri. *International Journal of Life Sciences and Biotechnology*, 2020. 3(1): p. 81- 94.
29. Podolich, O., et al., First record of the endophytic bacteria of *Deschampsia antarctica* E. Desv. from two distant localities of the maritime Antarctica. *bioRxiv*, 2019. p. 1-15
30. Mühlhling, M., Woolven-Allen, J., Murrell, J. C, Improved group-specific PCR primers for denaturing gradient gel electrophoresis analysis of the genetic diversity of complex microbial communities. *The ISME Journal*, 2008. 2(1): p. 379-392
31. Park, M., et al., Endophytic bacterial diversity of an Antarctic moss, *Sanionia uncinata*. *Antarctic Science*, 2013. 25(1): p. 51-54.

32. Podolich, O., et al., Reviving of the endophytic bacterial community as a putative mechanism of plant resistance. *Plant Soil*, 2015. 388(1): p. 367-377.
33. Cuba, M., et al., Micropropagation of *Deschampsia antarctica* a frost-resistant Antarctic plant. *Antarctic Science*, 2005. 17(1): p. 69-70.
34. Osorio, J., et al., The effects of growth regulators and a scanning electron microscope study of somatic embryogenesis in Antarctic hair grass (*Deschampsia antarctica* Desv.). *Polar Biology*, 2014. 37: p. 217-225.
35. Marely, C. D., et al., Advances of native and non-native Antarctic species to *in vitro* conservation: improvement of disinfection protocols. *Scientific Reports*, 2020. 10: p.1.
36. Cuba-Díaz, M., et al., Genome size comparison in *Colobanthus quitensis* populations show differences in species ploidy. *Polar Biology*, 2016. 40(7): p. 1475-1480.
37. Marhold, K., et al., IAPT chromosome data 30/2. *Taxon*, 2019. 68(5): p. 1124-1130.
38. Gielwanowska, I., Bochenek, A. and Szczuka, E., Development of the pollen in the Antarctic flowering plant *Colobanthus quitensis* [Kunth] Bartl. *Acta Agrobotanica*, 2007. 60(3): p. 3-8.
39. Cuba-Díaz, M., et al., Optimización de parámetros para la propagación *in vitro* de *Colobanthus quitensis* (Kunth) Bartl. *Gayana Botánica*, 2014. 71(1): p. 58-67.
40. Zúñiga, G. E., et al., Micropropagation of Antarctic *Colobanthus quitensis*. *Antarctic Science*, 2009. 21(2): p. 149-150.
41. Smith, R. I. L., Terrestrial plant biology of the sub-Antarctic and Antarctic. In: Laws, R. M., ed. *Antarctic biology*. Academic Press, 1984. p. 61-162.
42. Moore, D. M., Studies in *Colobanthus quitensis* (Kunth) Bartl. and *Deschampsia antarctica* Desv. II. Taxonomy, distribution and relationships. *British Antarctic Survey Bulletin*, 1970. 23: p. 63-80.
43. Convey, P., Reproduction of Antarctic flowering plants. *Antarctic Science*, 1996. 8: p. 127-134.
44. Vera, M. L., Colonization and demographic structure of *Deschampsia antarctica* and *Colobanthus quitensis* along an altitudinal gradient on Livingston Island, South Shetland Islands, Antarctica. *Polar Research*, 2011. 30(1): p. 71-86.
45. Cannone, N., et al., S. Vascular plants changes in extreme environments: effect of multiple drivers. *Climatic Change*, 2016. 134(4): p. 651-665.
46. Convey, P. et al., The spatial structure of Antarctic biodiversity. *Ecological Monographs*, 2014. 84(2): p. 203-244.
47. Hughes L., Biological consequences of global warming: Is the signal already, *Trends in Ecology & Evolution*, 2000. 15(2): p. 56-61.
48. Bravo, L. A., et al., Cold resistance in antarctic angiosperms. *Physiologia Plantarum*, 2001. 111: p. 55-65.
49. Oldham, P. D. and Kindness, J., Biodiversity Research and innovation in Antarctica and the Southern Ocean. *bioRxiv*, 2020. <https://doi.org/10.1101/2020.05.03.074849>
50. Torres-Díaz M., et al., Biological interactions and simulated climate change modulates the ecophysiological performance of *Colobanthus quitensis* in the Antarctic ecosystem. *PLoS ONE*, 2016. 11(10): e0164844.
51. Smith, R. L., Vascular plants as bioindicators of regional warming in antarctica. *Oecologia*, 1994. 99: p. 322-328.
52. Pérez-Torres, E., et al., The role of photochemical quenching and antioxidants in photoprotection of *Deschampsia antarctica*. *Functional Plant Biology*, 2004. 31(7): p. 731-741.
53. Rozema, J., et al. The role of UV-B radiation in aquatic and terrestrial ecosystems an experimental and functional analysis of the evolution of uv-absorbing compounds. *Journal of Photochemistry and Photobiology B-biology*, 2002. 66(2): p.12.
54. Salvucci, M. E. and Crafts-Brandner S. J., Relationship between the heat tolerance of photosynthesis and the thermal stability of rubisco activase in plants from contrasting thermal environments. *Plant Physiology*, 2004. 134: p. 1460-1470.

55. Gidekel, M. et al., Identification and characterization of three novel cold acclimation-responsive genes from the extremophile hair grass *Deschampsia antarctica* desv. *Extremophiles*, 2003. 7: p. 459-469.
56. German, S., Peter, J. U. And Martina, P. R., Ice recrystallisation inhibition protein or antifreeze proteins from *deschampsia*, *lolium* and *festuca* species of grass. WO, 2005. <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2005049835>
57. Manuel, G., et al., Plant promoter. US 7273931 B2, 2007. <https://lens.org/053-289-529-443-956>
58. Bravo, L. A. and Griffith, M., Characterization of antifreeze activity in antarctic plants. *Journal of Experimental Botany*, 2005. 56: p. 1189-1196.
59. Manuel, G., et al., Agent for cutaneous photoprotection against UVA/UVB rays [Internet]. US 8357407 B2, 2013. Available: <https://patents.google.com/patent/CA2723787A1/en>
60. Cuba-Díaz, M., et al., Advances of native and non-native Antarctic species to *in vitro* conservation: improvement of disinfection protocols. *Scientific Reports*, 2020. 10(3845): p. 1-10.
61. Nemergut, D. R., et al., Structure and function of alpine and arctic soil microbial communities. *Research in microbiology*, 2005. 156(7): p. 775-784.
62. Sabbe, K., E., et al., Benthic diatom flora of freshwater and saline lakes in the Larsemann Hills and Rauer Islands, East Antarctica. *Antarctic Science*, 2003. 15(2): p. 227-248.
63. Convey, P. and Stevens, M. I., Antarctic biodiversity. *Science*, 2007. 317(5846): p. 1877-1878.
64. Jakosky, B. M., et al., Subfreezing activity of microorganisms and the potential habitability of Mars' polar regions. *Astrobiology*, 2003, 3: p. 343-350.
65. Vincent W. F., Evolutionary origins of Antarctic microbiota: invasion, selection and endemism. *Antarctic Science*, 2000. 12: p. 374-385.
66. Friedmann E. I. (ed), *Antarctic microbiology*. John Wiley & Sons, 1993.
67. Gibson, J. A. E., et al., Biogeographic trends in Antarctic lake communities; In *Trends in Antarctic Terrestrial and Limnetic Ecosystems*. Bergstrom, D. M., Convey, P. and Huiskes, A.H.L. (eds.) Springer, (2006a). p. 71-99.
68. Simmons, B. L., Long-term experimental warming reduces soil nematode populations in the McMurdo Dry Valleys, Antarctica. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009. 41(10): p. 2052-2060.
69. Aislabie, J. M., Jordan, S. and Barker, G. M., Relation between soil classification and bacterial diversity in soils of the Ross Sea region, Antarctica. *Geoderma*, 2008. 144: p. 9-20.
70. Tytgat, B., et al., Bacterial community composition in relation to bedrock type and macrobiota in soils from the Sør Rondane Mountains, East Antarctica. *FEMS Microbiology Ecology*, 2016. 92(9).
71. Papale, M. et al., Prokaryotic assemblages within permafrost active layer at Edmonson Point (Northern Victoria Land, Antarctica). *Soil Biology & Biochemistry*, 2018. 123: p. 165-179.
72. Koo, H., et al., Metagenomic analysis of microbial community compositions and cold-responsive stress genes in selected antarctic lacustrine and soil ecosystems. *Life*, 2018. 8(3): p. 29.
73. Shivaji, S., Bacterial biodiversity, cold adaptation and biotechnological importance of bacteria occurring in Antarctica. *Proceedings of the Indian National Science Academy*, 2017. 83: p. 327-352.
74. Laybourn-Parry, J., W. Quayle, and T., Henshaw, The biology and evolution of Antarctic saline lakes in relation to salinity and trophy. *Polar Biology*, 2002. 25(7): p. 542-552.
75. Convey, P., et al., The spatial structure of Antarctic biodiversity. *Ecological Monographs*, 2014. 84: p. 203-244.
76. Yergeau, E., et al., Size and structure of bacterial, fungal and nematode communities along an Antarctic environmental gradient. *FEMS Microbiology Ecology*, 2007. 59: p. 436-451.
77. Dennis, P. G., et al., Soil fungal community composition does not alter along latitudinal gradient through the maritime and sub- Antarctic. *Fungal Ecology*, 2012. 5: p. 403-408.

78. Niederberger, T. D., et al., Microbial community composition in soils of Northern Victoria Land, Antarctica. *Environmental Microbiology*, 2008. 10: p. 1713-1724.
79. Cary, S. C., et al., On the rocks: microbial ecology of Antarctic cold desert soils. *Nature Reviews Microbiology*, 2010. 8: p. 129-138.
80. Chong, C. W., et al., Patterns in the distribution of soil bacterial 16S rRNA gene sequences from different regions of Antarctica. *Geoderma*, 2012. 181: p. 45-55.
81. Vyverman, W., et al., Evidence for widespread endemism among Antarctic micro-organisms. *Polar Science*, 2010. 4: p. 103-113.
82. Cary, S. C., et al., On the rocks: the microbiology of Antarctic Dry Valley soils. *Nature Reviews Microbiology*, 2010. 8(2): p. 129.
83. Adams, B. J., et al., Diversity and distribution of Victoria Land biota. *Soil Biology and Biochemistry*, 2006. 38(10): p. 3003-3018.
84. Pearce, D. A., et al., Microorganisms in the atmosphere over Antarctica. *FEMS Microbiology Ecology*, 2009. 69(2): p. 143-157.
85. Kirkinci, S. F., et al., Identification of Dalapon degrading bacterial strain, *Psychrobacter* sp. *TaeBurcu001* isolated from Antarctica. *Polar Science*, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.polar.2021.100656>
86. Ozcimen, D., et al., Isolation of *Blastomonas* sp. from Horseshoe Island, Skua Lake, Antarctica, YTU.POLAR.001, MN384971, NCBI GenBank, 28-August-2019
87. Ozcimen, D., et al., Isolation of *Achromobacter* sp. from Horseshoe Island, Skua Lake, Antarctica, YTU.KUTUP.001, MN396385, NCBI GenBank, 31-August-2019.
88. Humbert, S., et al., Molecular detection of anammox bacteria in terrestrial ecosystems: distribution and diversity. *The ISME Journal*, 2010. 4(3): p. 450.
89. Shmakova, L., N. Bondarenko, and A., Smirnov, Viable species of *Flamella* (Amoebozoa: Variosea) isolated from ancient arctic permafrost sediments. *Protist*, 2016. 167(1): p. 13-30, <http://dx.doi.org/10.1016/j.protis.2015.11.001>.
90. Gilichinsky, D., et al., Bacteria in permafrost. In *Psychrophiles: From Biodiversity to Biotechnology*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2008. p. 83-102, ISBN 9783540743347.
91. Rivkina, E., et al., Biogeochemistry of methane and methanogenic archaea in permafrost. *FEMS Microbiology Ecology*, 2007. 61 (1): p. 1-15.
92. Faizutdinova, R., et al., Yeasts Isolated from Ancient Permafrost , J.D. Castello, S.O. Rogers (Eds.), *Life in Ancient Ice*, 2005, Princeton University Press, Princeton, NJ. P. 118-126.
93. Kochkina, G. A., et al., Survival of micromycetes and actinobacteria under conditions of long-term natural cryopreservation. *Microbiology*, 2001. 70(1): p. 356-364.
94. Stoupin D., Cryptic diversity within the choanoflagellate morphospecies complex *Codosiga botrytis* - phylogeny and morphology of ancient and modern isolates. *European Journal of Protistology*, 2012. 48: p. 263-273.
95. Ozcimen, D., et al., Isolation of *Paracercomonas* sp. TAE3-YTU.004 from Galindez Island, Antarctica, MW485507.1, NCBI GenBank, 22-January-2021.
96. Ozcimen, D., et al., Isolation of *Flamella arnhemensis* strain TAE3-YTU.007 from Galindez Island, Antarctica, MW485950.1, NCBI GenBank, 23- January-2021.
97. Ozcimen, D., et al., Isolation of *Flamella balnearia* strain TAE3-YTU.005 from Horseshoe Island, Skua Lake, Antarctica, MW487484.1, NCBI GenBank, 24- January-2021.
98. Ozcimen, D., et al., Isolation of *Flamella arnhemensis* strain TAE3-YTU.006 from Horseshoe Island, Antarctica, MW513457.1, NCBI GenBank, 30-January -2021.
99. Ozcimen, D., et al., Isolation of *Paracercomonas* sp. TAE3-YTU.008 from Horseshoe Island, Skua Lake, Antarctica, MW521096.1, NCBI GenBank, 31 -January -2021.
100. Malard, L. A. and Pearce, D. A., Microbial diversity and biogeography in Arctic soils. *Environmental Microbiology Reports*, 2018. 10(6): 611-625.
101. Morita, R. Y., Psychrophilic bacteria. *Bacteriological Reviews*, 1975. 39(2): p. 144.

102. Whyte, L. G., Bourbonnière, L., and Greer, C. W., Biodegradation of petroleum hydrocarbons by psychrotrophic *Pseudomonas* strains possessing both alkane (alk) and naphthalene (nah) catabolic pathways. *Applied and Environmental Microbiology*, 1997. 63(9): p. 3719-3723.
103. Sepideh, P., et al., Psychrophilic enzymes: structural adaptation, pharmaceutical and industrial applications. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2021. 105(1): p. 899-907. 10.1007/s00253-020-11074-0.
104. Gon, O. and Heemstra, P. C., *Fishes of The Southern Ocean*. JLB Smith Institute of Ichthyology Grahamstown, 1990. South Africa.
105. Gostinčar, C. et al., Extremotolerance in fungi: evolution on the edge. *FEMS Microbiology Ecology*, 2009. 71(1): p. 2-11.
106. Medema, M. H., et al., antiSMASH: rapid identification, annotation and analysis of secondary metabolite biosynthesis gene clusters in bacterial and fungal genome sequences. *Nucleic Acids Research*, 2011. 39(2): p. 339-346.
107. Henríquez, M., et al., Diversity of cultivable fungi associated with Antarctic marine sponges and screening for their antimicrobial, antitumoral and antioxidant potential. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 2014. 30(1): p. 65-76.
108. Bredholdt, H., et al., Rare actinomycete bacteria from the shallow water sediments of the Trondheim fjord, Norway: isolation, diversity and biological activity. *Environmental Microbiology*, 2007. 9(11): p. 2756-2764.
109. Liao, L., et al., Bioprospecting potential of halogenases from Arctic marine actinomycetes. *BMC Microbiology*, 2016. 16(1): p. 34.
110. Akcay K., Kaya Y. (2020). Isolation, characterization and molecular identification of a halotolerant *Bacillus megaterium* CTBmeg1 able to grow on halogenated compounds. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*. 2019. 33(1): p. 945-953.
111. Wahhab, B. H. A., et al., Identification and characterization of a 2, 2-dichloropropionic acid (2, 2-DCP) degrading alkalotolerant bacterium strain BHS1 isolated from Blue Lake, Turkey. *Journal of Tropical Life Science*, 2020. 10(3): p. 245-252.
112. Edbeib, M., F., et al., Further analysis of *Burkholderia pseudomallei* MF2 and Identification of putative dehalogenase gene by PCR. *Indonesian Journal of Chemistry*, 2020. 20(2): p. 386-394.
113. Torstensson, A., et al., Elevated temperature and decreased salinity both affect the biochemical composition of the Antarctic sea-ice diatom *Nitzschia lecointei*, but not increased pCO₂. *Polar Biol*, 2019. 42(1): p. 2149-2164. <https://doi.org/10.1007/s00300-019-02589-y>
114. Gray, A., et al., Remote sensing reveals Antarctic green snow algae as important terrestrial carbon sink. *Nature Communications*, 2020. 11(2527): p. 1-9.
115. Hoham, R., W., and D., Remias, Snow and Glacial Algae: A Review. *Journal of Phycology*, 2020. 56(1): p. 264-282. <https://doi.org/10.1111/jpy.12952>
116. Arrigo, K., R., Sea Ice Ecosystems. *Annual Review of Marine Science*, 2014. 6(1): p. 439-467.
117. Özçimen D., et al., Isolation, characterization and identification of *Chlorella variabilis* isolated from Horseshoe Island, Skua Lake, Antarctica, YTU.ANTARCTIC.001, MN372092, NCBI GenBank, 2019.
118. Özçimen D., et al., Isolation, characterization and identification of *Auxenochlorella pyrenoidosa* strain Ozcimen.001 isolated from Horseshoe Island, Skua Lake, Antarctica, MT951391, NCBI GenBank, 2020.
119. Özçimen D., et al., Isolation, characterization and identification of *Chlorella sorokiniana* strain Egemen.001 isolated from Horseshoe Island, Skua Lake, Antarctica, MW147167.1, NCBI GenBank, 2020.
120. Del Campo, J., A., García-González, M., and Guerrero, M., G., Outdoor cultivation of microalgae for carotenoid production: current state and perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2007. 74(6): p. 1163-1174.

121. Sathasivam, R., et al., Microalgae metabolites: A rich source for food and medicine. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 2019. 26(4): p. 709-722.
122. Huilca, G., Licto, L., and Flores, R., Production of lipids from psychrophilic microalgae present in antarctic glaciers for the synthesis of biofuel. *Revista Vínculos*, 2020. 4(1): p. 35-51.
123. Jha, D., et al., Microalgae-based Pharmaceuticals and Nutraceuticals: An Emerging Field with Immense Market Potential. *ChemBioEng Reviews*, 2017. 4(4): p. 257-272.