Journal of Microbial World
Volume 14, No. 1, May 2021

Review Article

Climate change and its effect on microbial diversity of extreme environments and infectious diseases outbreaks

Sepideh Meidaninikjeh[1], Parisa Mohammadi [2], Afsaneh Khanbabakhani [3]

[1] PhD student of Microbiology, Department of Microbiology, Faculty of Biological Sciences, Alzahra University, Tehran, Iran. [2] Associate Professor of Microbiology, Department of Microbiology, Faculty of Biological Sciences, Alzahra University, Tehran, Iran. [3] Laboratory expert, Department of Plant Sciences, Faculty of Biological Sciences, Alzahra University, Tehran, Iran.

Abstract

Climate change is one of the most important issues that has attracted a great deal of attention and caused many environmental problems for health systems and global economy. Studies have shown that during climate change, microorganisms also change significantly resulted in many problems including the recurrence and spread of infectious diseases, emerging diseases (COVID-19 pandemic), and antibiotic resistance. Climate change has led to famine, drought, floods, and global warming that threatens the lives of many people. famine, drought, floods, and global warming that threatens the lives of many people. Reducing greenhouse gas emissions, especially the use of less fossil fuels in industry, can be a preventative way. Therefore, it is significant to have plans to deal with climate change consequences in the environment. In this review paper, 71 articles from 1992 to 2020 were reviewed by mentioned keywords. Some specific extreme environments that are rich in valuable secondary metabolites and microorganisms but are fragile to climate change and also their microorganism's diversity and population which have been changed during climate change were reviewed.

Keywords: Emerging diseases, Climate change, COVID-19, Secondary metabolites, Drug resistance.

Received: 25 October 2020 Revised: 8 March 2021 Accepted: 27 April 2021

Correspondence to: Parisa Mohammadi

Tel: +98 021-85692728

E-mail: p.mohammadi@alzahra.ac.ir

Journal of Microbial World 2021, 14(1): 70-88

DOI: 10.30495/jmw.2021.690435

Copyright © 2019, This article is published in Journal of Microbial World as an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License. Non-commercial, unrestricted use, distribution, and reproduction of this article is permitted in any medium, provided the original work is properly cited.

مجله دنیای میکروب‌ها
سال چهاردهم شماره اول (پیاپی ٤٦) بهار ١٤٠٠
صفحات ٨٨-٧٠

Review Article

تغییرات آب و هوایی و تاثیر آن بر زیستگاه‌های سخت میکروبی و شیوع بیماری‌ها

سپیده میدانی نیکجه[١]، پریسا محمدی*[٢]، افسانه خان باباخانی[٣]

[١] دانشجوی دکتری تخصصی، گروه میکروبیولوژی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه الزهرا، تهران، ایران. [٢] دانشیار، گروه میکروبیولوژی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه الزهرا، تهران، ایران. [٣] کارشناس آزمایشگاه، گروه علوم گیاهی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه الزهرا، تهران، ایران.

چکیده

امروزه تغییرات اقلیمی یکی از موضوعاتی است که مورد توجه بسیار قرار گرفته و مشکلات زیادی را در حوزه سلامت و اقتصاد جهانی به همراه آورده است. بررسی‌ها نشان داده‌اند که در تغییرات اقلیمی، میکروارگانیسم‌ها نیز دچار تغییرات عمده‌ای می‌شوند که در پی آن جوامع انسانی را با مشکلات متعددی از جمله بروز دوباره برخی عفونت‌ها و یا انتشار بیماری‌های عفونی نوپدیدی مانند پاندمی کووید-١٩ و مقاومت‌های جدید آنتی بیوتیکی رو به رو نموده است. تغییرات اقلیمی منجر به قحطی، خشکسالی، سیل و گرم شدن کره زمین شده است که جان بسیاری از مردم را با خطر جدی مواجه می‌کند. کاهش گازهای گلخانه‌ای به خصوص استفاده کمتر از سوخت‌های فسیلی در صنعت می‌تواند تا حدی پیشگیری کننده باشد. بنابراین، داشتن برنامه برای رویارویی با پیامدهای محیطی تغییرات اقلیمی از اهمیت به سزایی برخوردار است. در این مقاله مروری، ٧١ مقاله در بازه زمانی سال‌های ١٩٩٢ تا ٢٠٢٠ از پایگاه‌های اطلاعاتی با استفاده از کلمات کلیدی اشاره شده جستجو و مورد بررسی قرار گرفت. از آنجایی‌که تغییر در الگوهای اقلیمی می‌تواند تنوع جمعیت میکروارگانیسم‌ها را تغییر دهد، در این مقاله به محیط‌های خاص که سرشار از متابولیت‌های ثانویه و میکروارگانیسم‌های با ارزش کره زمین هستند و نسبت به تغییرات اقلیمی بسیار آسیب پذیر هستند، توجه شده است.

واژگان کلیدی: بیماری‌های نوپدید، تغییرات اقلیمی، کووید-١٩، متابولیت‌های ثانویه، مقاومت آنتی‌بیوتیکی.

دریافت مقاله: ١٣٩٩/٨/٢٠ ویرایش مقاله: ١٣٩٩/١٢/١٨ پذیرش مقاله: ١٤٠٠/١/٢٣

مقدمه

اصطلاح اکوسیستم برای اولین بار در سال ١٩٣٥ توسط تانسلی (Tansley) به کار برده شد که اشاره به سیستم یکپارچه‌ای دارد که از اجزای زنده و غیر زنده و تعاملات پویای بین آن‌ها تشکیل شده است (١و٢). در جهان، اکوسیستم‌های متفاوتی وجود دارد که از مناطق استوایی تا دریاچه‌های معتدل آلپی، هر کدام دارای اجزای اشاره شده و تعاملات پویا هستند. بیش از ٧٠ سال پیش، تانسلی پیشنهاد نمود که بوم شناسان در مطالعات خود باید کل اکوسیستم، یعنی ارگانیسم‌های زنده و عوامل فیزیکی آن را در نظر بگیرند (٢). بنابراین، ویژگی هر اکوسیستم با توجه به موقعیت فیزیکوشیمیایی آن، متفاوت است. دما و بارش نشانگرهای خوبی برای تعیین الگوی‌های اقلیمی (آب و هوایی) در اکوسیستم‌های خشکی هستند. این عوامل تعیین کننده شرایط آب و هوایی و نوع پوشش گیاهی در آن منطقه می‌باشند. اکوسیستم‌های متنوعی مانند اکوسیستم‌های توندرا، جنگلی،

* آدرس برای مکاتبه: گروه میکروبیولوژی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه الزهرا، تهران، ایران.
تلفن: ٠٢١-٨٥٦٩٢٧٢٨ پست الکترونیک: p.mohammadi@alzahra.ac.ir

حقوق نویسندگان محفوظ است. این مقاله با دسترسی آزاد و تحت مجوز مالکیت خلاقانه (http://creativecommons.org/licenses/bync/4.0/) در فصلنامه دنیای میکروب‌ها منتشر شده است. هرگونه استفاده غیرتجاری فقط با استناد و ارجاع به اثر اصلی مجاز است.

چمن‌زار و بیابان، آب شیرین و دریا روی کره زمین وجود دارند. طبق تعریف دانشمندان، بیوم (Biome) یک ناحیه یا منطقه زیستی روی کره زمین است که گروهی از جانداران سازگار با آن شرایط، زندگی می‌کنند. بررسی‌ها نشان داده است که دما و رطوبت دو عامل اصلی در ایجاد بیوم است (۱و۲). بیوم‌ها بر اساس دما و بارش مطابق جدول ۱ تقسیم بندی می‌شوند:

جدول ۱: ویژگی‌های اساسی بیوم‌های اصلی کره زمین (۱).

بیوم	میانگین بارندگی سالانه (سانتی‌متر)	میانگین سالانه دما (سلسیوس)
توندرا	<۲۵	-۱۲
بیابان	<۲۵	۳۵
تایگا	۳۵-۱۰۰	۱۰
جنگل معتدل برگ ریز پاییزی	۷۵-۱۵۰	۰-۳۰
جنگل بارانی معتدل	۲۰۰-۴۰۰	۹-۱۲
جنگل بارانی گرمسیری	۲۰۰-۶۰۰	۲۵
علف زار یا چمن زار	۲۵-۷۵	۹-۲۵

اکوسیستم‌های افراطی: شامل بیابان‌های بیش از حد خشک، رسوبات دریاهای عمیق، خاک‌های پرمافراست (Permafrost soils) و همچنین محیط‌های بسیار اسیدی و یا محیط‌های افراطی با دمای بسیار زیاد هستند. چنین زیستگاه‌های افراطی با یک یا ترکیبی از عوامل محیطی مانند شرایط غیر اکسیژنی، خشکی، درجه حرارت شدید، غلظت کم مواد آلی، شوری زیاد و تابش شدید مشخص می‌شوند که در ادامه به طور مختصری به آن‌ها خواهیم پرداخت (۳).

الف) رسوبات دریاهای عمیق: در زیستگاه‌های دریایی میکروارگانیسم‌های متنوعی قادر به بیوسنتز متابولیت‌های فعال زیستی هستند. اما توجه کمتری به جمعیت میکروبی ساکن (Microbiota) رسوبات دریاهای عمیق به ویژه در مناطق قطبی و بسترهای اقیانوسی شده است. با این حال، باکتری‌ها و قارچ‌هایی که با شرایط افراطی این زیستگاه‌ها همچون درجه حرارت پایین (از ۱- تا ٤ درجه سلسیوس)، کمبود مواد مغذی و فشار هیدرواستاتیکی زیاد سازگار هستند، توجه دانشمندان زیادی را به خود جلب نموده است. *اکتینوباکترهای (Actinobacteria)* تحمل کننده شوری و مولد آنتی‌بیوتیک مانند *سودونوکاردیا* (*Pseudonocardia*)، *نوکاردیا* (*Nocardia*) و *استرپتومایسس* (*Streptomyces*) از این مناطق به کرات جدا شده‌اند (۳). اما، حضور *سیانوباکتری‌ها* (*Cyanobacteria*) و *آرکی‌ها* (*Archaea*) در رسوبات دریاهای عمیق قطبی، معمول نیست (٤).

ب) مناطق به شدت اسیدی: به طور کلی، هایپر اسیدوفیل‌ها به میکروارگانیسم‌هایی اطلاق می‌شود که بهینه رشد آن‌ها در pH کمتر از ۳ مشاهده می‌شود (۵). این میکروارگانیسم‌ها در دریاچه‌های اسیدی، خاک‌های سولفاتی و ضایعات اسیدی معادن فلزات به وفور یافت می‌شوند (٦و۷).

پ) خاک‌های پرمافراست: پرمافراست لایه‌ای از پوسته زمین است که حداقل برای دو سال متوالی در دمای صفر و زیر صفر درجه سلسیوس قرار گرفته باشد (۸). تخمین زده می‌شود که تقریباً ۲۵ درصد مناطق کره زمین توسط خاک‌های پرمافراست پوشیده شده است. این خاک‌ها، همراه با لایه‌های فوقانی که به طور طبیعی در حال ذوب هستند، زیستگاه‌های منحصر به فردی را برای اجتماعات میکروبی فعال و سازگار با سرما فراهم می‌کنند. طبق تعریف، میکروارگانیسم‌های سازگار با دماهای ۱۷- تا ۱۰+ درجه سلسیوس به عنوان سرما دوست‌ها (کرایوفیلیک) شناخته می‌شوند. میکروارگانیسم‌های سرمادوست همچنین می‌توانند با ذخیره انرژی به صورت پلی فسفات، تری گلیسیرید، استرهای وکس و گلیکوژن، متابولیسم و جذب مواد مغذی را کاهش دهند. همچنین آن‌ها می‌توانند ساختار سلولی خود را با تنظیم تولید اسیدهای چرب منشعب و اشباع سازگار کنند تا سیالیت غشای سلول را در دمای انجماد حفظ کنند (۳). برای مثال باکتری‌های جدا شده از خاک‌های پرمافراست در چین به گروه‌های فیلوژنتیکی *اکتینوباکتر* (*Actinobacteria*)، *پروتئوباکتر* (*Proteobacteria*)، *فرمیکیوتس* (*Firmicutes*) و

CFB گروه باکتری‌های *سایتوفاگا* (*Cytophaga*)، *فوزوباکتریوم* (*Fusobacterium*) و *باکتروئیدس* (*Bacteroides*)) تعلق داشتند. براساس شواهد موجود، سیاره زمین طی ۶۵۰ میلیون سال گذشته حداقل یک بار به طور کامل یخ زده است و این نشان می‌دهد که میکروارگانیسم‌ها برای زنده ماندن می‌بایست با این شرایط سخت، سازگار می‌شدند (۹).

ج) مناطق داغ: میکروارگانیسم‌های گرمادوست و شدیدا گرمادوست در چشمه‌ها و مجاری آب گرم دریاهای عمیق وجود دارند که از جمله باکتری‌های گرمادوست این مناطق می‌توان به باکتری‌های جنس آنوکسی *باسیلوس* (*Anoxybacillus*)، *ژئوباسیلوس* (*Geobacillus*)، *میوباسیلوس* (*Miobacillus*)، و *ترموس* (*Thermus*) اشاره کرد(۱۰و۱۱). دمای رشد بهینه برای میکروارگانیسم‌های گرمادوست حدود ۵۵ درجه سلسیوس و برای میکروارگانیسم‌های به شدت گرما دوست بیشتر از ۸۰ درجه سلسیوس گزارش شده است. اما سایر فاکتورهای محیطی، مانند pH کم و غلظت زیاد نمکی، انتشار میکروارگانیسم‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. میکروارگانیسم‌های به شدت گرمادوست حاوی پلی آمین‌هایی هستند که کمک می‌کنند پلیمرهای زنجیره‌ای عملکردی برای مدت طولانی در دماهای بالا حفظ شوند (۱۲).

د) زیستگاه‌های نمکی: در طی تکامل میکروارگانیسم‌های نمک دوستی که در شرایط سخت محیطی رشد می‌کنند، مجهز به مکانیسم‌های مولکولی و سلولی شده اند که برای مقابله با عواملی مانند افزایش فشار اسمزی و کمبود آب ایجاد شده‌اند. این در حالی است که میکروارگانیسم‌های مقاوم به شوری قادرند در محیط فاقد نمک به خوبی رشد کنند اما می‌توانند غلظت‌های خاصی از نمک را نیز تحمل کنند. امروزه، متابولیت‌های میکروارگانیسم‌های نمک دوست به عنوان منبع ترکیبات بیواکتیو شناخته شده‌اند. باکتری‌های موجود در مناطق به شدت نمک دوست مربوط به شاخه *اکتینوباکتر*، *سیانوباکتر*، *فرمی کوتس*، *پروتئوباکتر* و *باکتروئیدس* هستند (۳).

و) بیابان‌ها: تا سال‌های اخیر میکروبیولوژیست‌ها توجه زیادی به بیابان‌ها نداشتند، در حالیکه که بیابان‌ها بیش از ۲۰ درصد از کره زمین را تشکیل می‌دهند (۱۳). مطالعات مقدماتی در حوزه میکروبیوم بیابان‌ها انجام شده است (۱۴و۱۶)، اما بیشترین مطالعات مربوط به تنوع میکروارگانیسم‌های قابل کشت در بیوم‌های بیابانی صحرای آتاکاما (Atacama) در شمال شیلی است. در خاک صحرای آتاکاما که میانگین بارندگی سالانه به میانگین تبخیر سالانه به ترتیب ۰/۰۲ و ۰/۰۵ درصد می‌باشد، برخی میکروارگانیسم‌ها به ویژه *اکتینوباکتری‌ها* جدا شده‌اند (۳). این شرایط کم آبی توسط عوامل دیگری مانند وجود اکسیدان‌های غیر آلی، میزان بسیار کم کربن آلی، نوسانات شدید دما و تابش شدید خورشید تشدید می‌شود که محدود کننده رشد و بقای حیات میکروبی در این نواحی خشک می‌باشد (۱۷). تا همین اواخر اعتقاد بر این بود که چنین شرایط سختی امکان هر نوع زندگی را در صحرای آتاکاما عملاً غیرممکن می‌کند. اما، اکنون مشخص شده است که گروه‌های مختلفی از میکروارگانیسم‌ها، با شرایط سخت محیطی بیابانی سازگار شده‌اند (۱۸)، تا جایی که کاهش شدید باران در مرکز منطقه خیلی خشک و کویری آتاکاما، منجر به تغییر جمعیت میکروبی آن گردید (۱۹).

ز) میکروارگانیسم‌ها و متابولیت‌های آن‌ها در مناطق افراطی: در سال‌های اخیر، *اکتینوباکتری‌های* رشته‌ای بی شماری از خاک‌های بیابانی جدا شده‌اند و نه تنها جنس‌های گزارش شده در اکثر محیط‌ها مثل *استرپتومایسس*، بلکه جنس‌های کمتر مطالعه شده‌ای مانند *اکتینومادورا* (*Actinomadura*)، *آمایکولاتوپسیس* (*Amycolatopsis*)، *نوکاردیوپسیس* (*Nocardiopsis*)، *نونومورا* (*Nonomuraea*)، *ساکارو پلی اسپورا* (*Saccharopolyspora*) و *ساکاروتریکس* (*Saccharothrix*) نیز جدا شده‌اند. همچنین، میکروارگانیسم‌هایی مانند *سیانوباکترها* و همچنین قارچ‌های موجود در این مناطق به ترتیب با تولید پیگمان و ملانین در برابر اشعه فرابنفش (UV) از خود محافظت می‌کنند (۳). برخی از این باکتری‌ها، توانایی سنتز بسیاری از متابولیت‌های ویژه را

دارند. ژنوم این گروه از میکروارگانیسم‌ها، حاوی ژن‌های مرتبط با تنش هستند که سبب سازگاری *اکتینوباکتری‌ها* در شرایط محیطی افراطی زیستگاه صحرایی آتاکاما می‌شود (۲۰و۲۱). ژن‌های مرتبط با تنش در این میکروارگانیسم‌ها، موجب مقاومت این گروه از میکروارگانیسم‌ها در برابر فقر ماده غذایی و کربن، نوسانات دما، اسمزیته زیاد و پرتوهای شدید فرابنفش می‌شود. طی مطالعات انجام شده از صحرای ساحارا (Sahara)، باکتری‌های مقاوم به اشعه گاما همچون *ژئودرماتوفیلوس پولوریس* (*Geodermatophilus pulveris*) جدا شده است (۲۲). *اکتینوباکتری‌های* تحمل کننده شرایط قلیایی جدا شده از خاک‌های خیلی خشک نمکی و شرایط قلیایی، با خشکی و دمای شدید سازگاری پیدا کرده‌اند (۲۳). *استرپتومایسس ابوراویینسیس* (*Streptomyces aburaviensis*) سویه‌ای است که از خاک بیابان خشک و شور کوچ (Kutch) در هند جدا شده است که می‌تواند در حضور کلرید سدیم ۱۵٪ و در pH حدود ۸/۵ رشد کند (۲٤). همچنین *مایستوکولا منگنواکسیدانس* (*Mycetocola manganoxydans*) *اکتینوباکتری* قلیا دوست بدون اسپوری است که از صحرای تاکلاماکان (*Taklamakam*) جدا شده است و می‌تواند یون‌های منگنز را اکسید کند (۲۵). در مطالعه‌ی دیگر، سویه‌ی جدیدی از *استرپتومایسس* قلیایی دوست از خاک قلیایی منطقه خشک بوهو (Boho) در ایرلند شمالی جدا شده است که قادر به تحمل تابش شدید ٤ گری (Gray) است و در pH حدود ۱۰/۵ رشد می‌کند و دارای اثرات ضد باکتریایی است که می‌تواند رشد پاتوژن‌هایی مانند *استافیلوکوکوس اورئوس* (*Staphylococcus aureus*)، *کلبسیلا نمونیه* (*Klebsiella pneumoniae*)، *اسینتوباکتر بامانی* (*Acinetobacter baumannii*)، *سودوموناس آئروجینوسا* (*Pseudomonas aeruginosa*)، *انتروکوکوس فیسیوم* (*Enterococcus faecium*) و گونه‌های *انتروباکتر* (*Enterobacte* spp.) را مهار نماید (۲٦). در جدول ۲ *اکتینوباکتری‌های* موجود در زیستگاه‌های افراطی مختلف نشان داده شده است.

جدول ۲: *اکتینوباکترهای* جدا و شناسایی شده از مناطق مختلف افراطی (۳)

نواحی بسیار خشک	نواحی بسیار خشک	نواحی بسیار خشک
جنس	جنس	گونه
Actinomadura	*Terrabacter*	*Amycolatopsis desertii*
Amycolatopsis	*Streptomyces*	*Micromonospora inaquosa*
Arthrobacter	*Saccharothrix*	*Pseudonocardia nigra*
Blastococcus	*Saccharopolyspora*	*Modestobacter caceresii*
Geodermatophilus	*Pseudonocardia*	*Streptomyces asenjonii*
Kribella	*Nonomuraea*	*Streptomyces atacamensis*
Lentzae	*Nocardioides*	*Streptomyces bullii*
Modestobacter	گونه	*Streptomyces desertii*
Microlunatus	*Blastococcus atacamensis*	*Streptomyces leeuwenhoekii*
Micromonospora	*Geodermatophilus chilensis*	*Micromonospora arida*
Mycobacterium	*Lentzea chajnantorensis*	*Amycolatopsis vastitatis*
Nocardia	*Micromonospora acroterricola*	

رسوبات دریاهای عمیق	رسوبات دریاهای عمیق	زیستگاه شور یا بسیار شور	چشمه‌های آب گرم
جنس	گونه	جنس	جنس
Dermacoccus	*Dermacoccus abysii*	*Micromonospora*	*Actinospica*
Micromonospora	*Dermacoccus barathri*	*Nocardia*	*Amycolatopsis*
Rhodococcus	*Dermacoccus profundi*	*Pseudonocardia*	*Couchiplanes*
Streptomyces	*Williamsia marianensis*	*Streptomyces*	*Glycomyces*
Tsukamurella			*Mycobacterium*
Williamsia			

سیانوباکتری‌ها پروکاریوت‌های فتوسنتز کننده اکسیژنی هستند که گروه فیلوژنتیکی واحدی را تشکیل می‌دهند و طیف گسترده‌ای از ترکیبات فعال زیستی از جمله ترکیبات ضد میکروبی، ضد سمی و ضد التهابی را تولید می‌کنند (۲۷و۲۸). *سیانوباکتری‌ها*، همچنین رنگیزه تولید می‌کنند که این رنگیزه‌ها آن‌ها را در برابر دوزهای کشنده پرتوهای ماورای بنفش در زیستگاه‌های خیلی خشک محافظت می‌کند (۲۹). گونه‌های *کرووکوکسیدیوپسیس* (*Chroococcidiopsis*)، *سیانوباکتری‌های* ساکن سنگ (اندولیت) هستند که برای اولین بار از بیابان نگب (Negev) (منطقه‌ای بیابانی بزرگ در جنوب سرزمین فلسطین) گزارش شده‌اند، که توانایی چشمگیری در مقابله با خشکی و تابش شدید خورشید در بیوم‌های بیابانی دارند (۳). همانند *اکتینوباکتری‌ها* و *سیانوباکتری‌ها*، قارچ‌ها نیز مجهز به طیف وسیعی از مکانیسم‌های سازگاری هستند که به آن‌ها امکان

حیات و مقاومت در برابر محیط‌های خیلی سختی مانند اکوسیستم‌های بیابانی را می‌دهد. آن‌ها توانایی تولید رنگیزه‌های ملانینی دارند که قارچ‌ها را در برابر پرتو فرابنفش محافظت می‌کند (۳).

میکروارگانیسم‌های فتوتروف نقش مهمی در بقا، نگهداری و ترمیم اکوسیستم‌های طبیعی و محیط‌ها به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک دارند. در مطالعه‌ای که روی نمونه خاک پارک ملی خبر استان کرمان در ایران صورت گرفت، برای اولین بار جداسازی فتوتروف‌ها از این مناطق گزارش شد. *سیانوباکترهای* جدا شده متعلق به پنج جنس *تریکوکلئوس* (*Trichocoleus*)، *لپتولینگبیا* (*Leptolyngbya*)، *فیشرلا* (*Fischerella*)، *کرووکوکیدیوپسیس* (*Chroococcidiopsis*) و *استانیریا* (*Stanieria*) بودند. علاوه‌براین، جلبک‌های سبز متعلق به جنس *کلروسارسینوپسیس* (*Chlorosarcinopsis*)، *میرمسیا* (*Myrmecia*) و *براکتاکوکوس* (*Bracteacoccus*) نیز از این منطقه جدا شد (۳۰).

تنوع قارچی گسترده‌ای از ماسه‌های بیابانی خاورمیانه ثبت شده است (۳۱) و سه گونه قارچی جدید *دایوریسپورا اومانیانا* (*Diverispora omaniana*)، *سپتوگلوموس ناکیلوم* (*Septoglomus nakheelum*) و *ریزوفاگوس آرابیکوس* (*Rhizophagus arabicus*) از بیابان‌های عمان جدا وگزارش شده است (۳۲). در جدول ۳ قارچ‌های جدا و شناسایی شده ازمناطق مختلف افراطی نشان داده شده است.

درمورد ویروس‌ها باید گفت که همه ویروس‌های جدا شده از محیط‌های افراطی دارای اسید دئوکسی ریبونوکلئیک (DNA) دو رشته‌ای هستند. اندازه ژنوم آن‌ها از ۱۴ تا ۸۰ کیلو جفت باز گزارش شده است. این شکل ژنوم، پایدارترین شکل ژنوم برای مقابله با محدودیت‌های شدید زیستگاه‌های افراطی می‌باشد (۳۳). این مسئله همچنین می‌تواند علت جدا نشدن ویروس‌های دارای اسید ریبونوکلئیک (RNA) را از محیط‌های گرم توجیه کند. فورتر (Forterre) بر این عقیده است که ویروس‌ها نقش مهمی در تبدیل اسید ریبونوکلئیک به اسید

جدول ۳: قارچ‌های جدا و شناسایی شده از مناطق افراطی مختلف (۳)

نواحی بسیار خشک	رسوبات دریاهای عمیق	زیستگاه‌های شور	چشمه‌های آب گرم
جنس	جنس	جنس	جنس
Alternaria	*Aspergillus*	*Aspergillus*	*Aspergillus*
Amandinea	*Cladospora*	*Cryptococcus*	*Cladosporium*
Aspergillus	*Cladosporium*	*Pichia*	*Emericella*
Buellia	*Geomyces*	*Graphium*	*Eutorium*
Caloplaca	*Oidiodendron*	*Penicillium*	*Hortea*
Cladosporium	*Penicillium*	*Rhodotorula*	*Penicillium*
Diploicia	*Thielavia*	*Micromonospora*	*Trimmatostroma*
Fusarium		*Nocardia*	*Wallenia*
Myriospora		*Pseudonocardia*	*Aspergillus*
Micromonospora		*Streptomyces*	*Amycolatopsis*
Neucatenulostroma			*Couchiplanes*
Penicillium			*Glycomyces*
Rhizocarpon			*Mycobacterium*

دئوکسی ریبونوکلئیک و ظهور سه دومین (پروکاریوت، یوکاریوت و آرکی) در حیات داشته‌اند (۳۳).

مکانیسم‌های مختلفی از جمله سیستم ترمیم اسید دئوکسی ریبونوکلئیک، رنگدانه‌های کاروتنوئیدی، آنزیم‌های حذف کننده رادیکال‌های فعال اکسیژن (ROS) مانند کاتالازها، سوپراکسیدازها، دیسموتازها و پراکسیدازها و کمپلکس‌های آنتی اکسیدانی حاوی منگنز (Mn^{+2}) برای غلبه بر تنش اکسیداتیو در میکروارگانیسم‌های تحمل کننده خشکی و پرتوهای خورشیدی شناخته شده‌اند (۳۴). اگرچه اکوسیستم‌های خشکی، فراوان ترین بیوم‌های کره زمین هستند، اما تنوع میکروبی و فعالیت‌های متابولیکی بالقوه آن‌ها کمتر شناخته شده است. کویر لوت با دمای بیش از ۷۰ درجه سلسیوس گرم‌ترین نقطه کره زمین در سال های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۰ گزارش شده است. تنوع باکتریایی کویر لوت ایران ناشناخته است. جدایه‌های جدیدی از *مادستوباکتر* (*Modestobacter*) به نام‌های *مادستوباکتر* (*Modestobacter*. A2) و ماریتالا (*Maritalea*. B9) از ماسه‌های سطحی منطقه گندم بریان کویر

لوت جمع‌آوری شدند که مقاوم به خشکی و تابش در حد ۲ تا ٤ کیلوگرمی بودند(۳۵). زیستگاه‌های افراطی نسبت به تغییرات اقلیمی آسیب پذیرتر هستند، از این رو نیاز به حفاظت بیشتری دارند. در این مناطق میکروارگانیسم‌هایی وجود دارند که می‌توانند منابع جدید دارویی و درمانی باشند. ترکیبات دارای نیتروژن، ماکرولیدها (Macrolides)، پلی کتایدها (Polyketides)، ترپن‌ها (Terpens)، لیپیدها (Lipids) و کاروتنوئیدها (Carotenoids) از جمله متابولیت‌های اختصاصی هستند که کاربردهای ضد باکتریایی، ضد سرطان، ضد ویروس، ضد قارچ و ضد التهاب دارند. برای مثال باسیل‌های گرما دوست به نام *ترموس فیلفورمیس* (*Thermus filformis*) گروهی از کاروتنوئیدهای آنتی اکسیدان از جمله زآگزانتین (Zeaxanthin)، زآگزانتین مونوگلوکوزید (Zeaxanthin monoglucoside)، ترموزآگزانتین (Thermozeaxanthin) و ترموبیس‌زآگزانتین (Thermobiszeaxanthin) را تولید می‌کند (۳).

تغییرات اقلیمی و اثرات آن در شیوع بیماری‌ها

بیماری‌های نوپدید به بیماری‌هایی گفته می‌شوند که به تازگی ظهور و شیوع پیدا کرده‌اند و تا کنون شناسایی نشده‌اند. همچنین، بیماری‌هایی که به شکل جدیدی شیوع پیدا می‌کنند نیز جزء بیماری‌های نوپدید محسوب می‌شوند که شامل موارد بسیاری در طی ۲۰ سال گذشته و قبل از آن هستند. به عبارت دیگر، بیماری‌های نوپدید یا به تازگی ایجاد شده‌اند و یا در گذشته اطلاعاتی درباره آن‌ها وجود داشته است اما عامل بیماری آن‌ها ناشناخته و نامعلوم بوده است. به عنوان مثال *کرونا ویروس سندروم حاد تنفسی-۱* (*SARS-CoV-1*) و *کرونا ویروس سندروم حاد تنفسی-۲* (*SARS-CoV-2*) از جمله عوامل عفونت‌زای نوپدید در سطح جهان می‌باشند (۳٦). برخی بیماری‌ها نیز پس از مدت زمانی دوباره فعال می‌شوند که جزء دسته بیماری‌های بازپدید قرار می‌گیرند. بنظر می‌رسد حیوانات و مداخله انسان‌ها در محیط زندگی آن‌ها، سبب فراهم شدن شرایط انتقال این بیماری‌ها می‌شود (۳۷). همچنین از بیماری‌های نوظهور و در حال ظهور در دهه گذشته می‌توان به تب خون‌ریزی دهنده ابولا (Ebola hemorrhagic fever) در آفریقا، مرس (MERS) در خاورمیانه و زیکا (Zika)، چیکونگونیا (Chikungunya)، تب زرد (Yellow fever) و تب دانگ (Dengue fever) در آمریکای شمالی و جنوبی اشاره نمود (۳۸).

در گزارشی که توسط بیش از ۱۳۵۰ متخصص از ۹۵ کشور دنیا تهیه شد، مشخص گردید که انسان در طی ۵۰ سال گذشته با سرعت بیشتر و بطور گسترده‌تری از هر دوره زمانی در تاریخ حیات، آسیب‌های قابل ملاحظه و غیر قابل برگشتی را در تنوع موجودات زنده ایجاد کرده است (۱). تغییرات قابل توجه در فاکتورهای اقلیمی در یک دوره زمانی (دهه‌ها یا حتی بیشتر) را تغییرات اقلیمی می‌گویند که می‌تواند در سطح منطقه‌ای یا جهانی رخ دهد. دقیق‌ترین متغیرهای آب و هوایی شامل الگوی بارش، رطوبت، درجه حرارت متوسط، شدت باد، افزایش سطح آب دریا و اسیدی شدن آب اقیانوس‌ها هستند (۳۹). آژانس محیط زیست اروپا از افزایش ۰/۷٤ درجه سلسیوس در میانگین دمای جهانی در قرن بیستم، افزایش مداوم سالانه معادل ۱/۸ میلی‌متر سطح آب دریا از سال ۱۹٦۱ و کاهش ۲/۷ درصدی یخ‌های دریای قطب شمال در هر دهه خبر داد. کارشناسان آب و هوا همچنین افزایش چشمگیر شدت حوادث آب و هوایی طی چند دهه گذشته را تأیید کرده اند. افزایش قابل توجه میانگین دما از ۱/۵ درجه سلسیوس به ۵/۸ درجه سلسیوس در قرن بیست و یکم، وقایع شدید آب و هوایی مانند سیل و خشکسالی به عنوان تغییرات اقلیمی کوتاه مدت می‌توانند تهدیدهای جدی را برای سلامتی انسان از جهات مختلف ایجاد کنند (٤۰). پیش بینی می‌شود که در مقایسه با سال‌های ۲۰۰٤-۱۹۸۰، در سال‌های ۲۰٤۹-۲۰۲۵ ایران به احتمال زیاد، دوره‌های طولانی‌تری از دمای حداکثری و خشکسالی را در قسمت‌های جنوبی کشور تجربه خواهد کرد بارش کمتر از ۲ میلی‌متر در طول مدت حداقل ۱۲۰ روز و میانگین دما بیش از

(۳۰ درجه سلسیوس) و همچنین میزان رطوبت و ریزش باران (برای ۳ روز بارش کل باران بیش از ۱۱۰ میلی‌متر) و احتمال وقوع سیل افزایش خواهد یافت (۴۱). با توجه به عوامل اجتماعی، اقتصادی، زیست محیطی و ویژگی‌های انگل–میزبان، تغییرات اقلیمی می‌تواند بر بروز و شیوع بیماری‌های موجود در زیست بوم دریایی و خشکی تاثیر بگذارد. درک شیوع بیماری و طراحی استراتژی‌های مؤثر کنترل، مستلزم آگاهی از بوم شناسی پاتوژن‌ها، ناقلین و میزبان‌ها و تأثیر عوامل محیطی بر روی آن‌ها می‌باشد. به عنوان مثال، با افزایش دمای سطح آب دریا، بیماری مرجان افزایش می‌یابد که احتمال ارتباط پاتوژن‌های میکروبی در این مورد غیر قابل انکار است. به عبارت دیگر گرم شدن اقیانوس می‌تواند میکروبیوم مرجان را تغییر داده، تعادل انگل–میزبان را به هم زده و مکانیسم‌های دفاعی و مسیرهای چرخه مواد مغذی که در بیماری‌زایی و سلامت نقش دارند را تغییر دهد. اسیدی شدن آب اقیانوس‌ها، همچنین ممکن است به طور مستقیم باعث آسیب به بافت‌های موجوداتی مانند ماهی‌ها شود که منجر به آسیب به سیستم ایمنی جاندار شده و فرصتی را برای حمله باکتری‌های مختلف بیماری‌زا ایجاد می‌کند. در واقع، تغییرات اقلیمی با تغییر شرایط انگل–میزبان باعث افزایش خطر بیماری می‌شود (۴۲). سیل یکی از شایع‌ترین بلایای طبیعی است که در سراسر جهان رخ می‌دهد. بین وقوع سیل و شیوع بیماری‌های عفونی پوست، بافت نرم و عفونت‌های دستگاه گوارش رابطه مستقیم مشاهده شده است (۴۰). در ادامه به بررسی تغییرات آب و هوا و تاثیر آن بر شیوع بیماری‌ها می‌پردازیم (۴۳). در ادامه به تغییرات آب و هوا و تاثیر آن بر شیوع بیماری‌ها اشاره می‌شود.

بیماری‌های منتقل شونده از آب

بیماری‌های منتقله از آب از طریق تماس با آب، نوشیدن آب و مصرف غذاهای دریایی ایجاد می‌شوند. کمپیلو باکتر (*Campylobacter*)، کالسی ویروس (*Calicivirus*)، ژیاردیا (*Giardia*)، ویبریو کلرا (*Vibrio cholerae*) و سایر گونه‌های ویبریو مثل ویبریو پاراهمولیتیکوس (*V.parahaemolyticus*) و ویبریو ولنیفیکوس (*V.vulnificus*) و همچنین کریپتوسپوریدیوم (*Cryptosporidium*) از جمله پاتوژن‌هایی منتقل شونده از راه آب می‌باشند (۴۴). همچنین، روتا ویروس (*Rotavirus*) نیز از طریق آب انتقال می‌یابد. مشخص شده است بین گسترش برخی گونه‌های بیماری‌زای *ویبریو* و افزایش درجه حرارت کره زمین و کاهش شوری محیط‌های آبی در مناطق ساحلی مانند مصب رودخانه‌ها که در نتیجه افزایش بارندگی رخ می‌دهد، ارتباط مستقیمی وجود دارد. همچنین، افزایش درجه حرارت سطح دریا، با افزایش فراوانی *ویبریو کلرا* در بنگلادش و سایر گونه‌های پاتوژن *ویبریو* در منطقه دریای بالتیک، اقیانوس اطلس شمالی و دریای شمالی رابطه مستقیمی وجود دارد. تغییر در دما، میزان بارش، شوری و چرخه‌های ال نینو (Elnino) (ال نینو یکی از چرخه‌های مشهور آب و هوایی است) بر بقا، تکثیر و انتقال پاتوژن در محیط تاثیر می‌گذارند (۴۲و۴۵و۴۷). *ویبریو کلرا* در شرایط نامساعد محیطی و کمبود مواد مغذی می‌تواند بیوفیلم تشکیل بدهد و در حالت خفته زنده بماند. *ویبریو کلرا* مانند سایر گونه‌های ویبریو مانند ویبریو *پاراهمولیتیکوس*، ویبریو *ولنیفیکوس* و ویبریو *آلجینولیتیکوس* (*V.alginolyticus*) توزیع فصلی دارند و در ماه‌های گرم سال در مناطق معتدل عامل بیماری است (۴۴).

بیماری‌های منتقل شونده از هوا

رطوبت نسبی، دما و باد در بقای پاتوژن‌هایی مانند *آنفلوانزا* (*Influenza*)، *هانتا ویروس* (*Hantavirus*) و *کریپتوسپوریدیوم* (*Cryptosporidium*) و دامنه میزبان آن‌ها تاثیر می‌گذارند. ویروس آنفلوانزای پرندگان *H5N1* توسط باد می‌تواند به مناطق دورتر هم انتقال یابد. تراکم ویروس *آنفلوانزا A* (*H1N1*) در طوفان گرد و غبار آسیا، نسبت به سایر روزهای سال به طور قابل توجهی بیشتر است. کاهش دما و افزایش رطوبت، انتقال ویروس *آنفلوانزا A* (*H1N1*) را افزایش می‌دهد. *هانتا ویروس* که سبب سندروم ریوی هانتا ویروس (HPS) می‌شود، در

شرایط افراطی مانند سیل شیوع می‌یابد. در این شرایط، موش‌ها در جستجوی غذا به خانه‌های انسان نزدیک می‌شوند و می‌توانند این بیماری را به سرعت انتقال دهند(۴۰و۴۲).

در دسامبر ۲۰۱۹، شیوع ذات الریه در ووهان چین به واسطه کرونا ویروس جدید (*کرونا ویروس سندروم حاد تنفسی-۲*) (*SARS-CoV-2*) مشاهده شد و به طور گسترده‌ای در سرتاسر این کشور گسترش یافت و سرانجام سبب پاندمی در جهان شد که هنوز هم ادامه دارد. سازمان بهداشت جهانی در ۳۰ ژانویه ۲۰۲۰، شیوع این ویروس را یک مشکل بین‌المللی اعلام کرد (۴۸). آنالیزهای فیلوژنتیکی نشان داده‌اند که ویروس عامل کووید-۱۹ یک ویروس زونوتیک (مشترک بین انسان و حیوان) است (۴۹). در بیماران علامت دار در کمتر از ۷ روز علایمی مانند تب، سرفه، خستگی، گرفتگی بینی، و عفونت‌های دستگاه تنفسی فوقانی ایجاد می‌شود که در هفته دوم یا سوم می‌تواند به سمت تنگی نفس، درد قفسه سینه و ذات الریه پیش رود (۵۰). در مطالعه‌ای گزارش شد که تغییرات اقلیمی ممکن است روی عفونت‌های بومی تاثیر بگذارند، اما در همه‌گیری پاتوژن‌های نوظهور، آب و هوا می‌تواند نقش اندکی در همه گیری داشته باشد (۵۱).

بیماری‌های منتقل شونده از غذا

مطالعات نشان داده است که گونه‌های *سالمونلا* (*Salmonella*) و *کمپیلوباکتر* (*Campylobacter*) می‌توانند تحت تاثیر تغییرات دما و میزان بارش قرار بگیرند و این عوامل بر تکثیر پاتوژن و پاسخ میزبان اثر می‌گذارند. دمای کم سطح آب برای رشد این باکتری‌ها مطلوب‌تر است. در دمای بالای آب و پرتوهای شدید فرابنفش، سایر باکتری‌ها می‌توانند بر آن‌ها غلبه کرده و منجر به از بین رفتن گونه‌های *کمپیلوباکتر* شوند. افزایش استقرار این باکتری در گوشت، با افزایش دما رابطه‌ای نمایی دارند (۴۰و۴۲). گزارش‌ها حاکی از آن است که بارندگی و شدت آن می‌تواند منجر به افزایش شیوع *کمپیلوباکتر* در کشورهای شمال اروپا شود (۵۲). تغییر در الگوی فصلی مانند بارندگی شدید، سیل و افزایش گرما و دما بر پویایی بیماری سالمونلوز (بیماری حاصل از گونه‌های *سالمونلا*) تاثیر می‌گذارد (۵۳).

بیماری‌های منتقل شونده از راه وکتور

وکتورها به عنوان یک میزبان حد واسط عمل می‌کنند که می‌توانند پاتوژن‌ها را به میزبان اصلی انتقال دهند (۴۰). پاتوژن‌هایی که از طریق آب، هوا و غذا و وکتورها انتقال می‌یابند، در برابر اثرات تغییر اقلیمی بیشتر حساس می‌باشند. در بیماری‌های ناشی از وکتور، تغییر آب و هوا بر توزیع ناقل‌ها تاثیر می‌گذارد که این امر سبب تغییر دامنه انتقال بیماری‌ها و همچنین تغییر میزان انتقال وکتورهای بیماری‌زا می‌شود. فاصله بین تغذیه وکتور از یک میزبان آلوده تا آلودگی خود وکتور، در میزان انتقال بیماری توسط وکتور اهمیت دارد. در دماهای گرمتر، این زمان به طور قابل ملاحظه ای کاهش می‌یابد و فرصت بیشتری برای انتقال بیماری توسط وکتور ایجاد می‌شود. در طی تغییرات اقلیمی، برخی از بیماری‌های وابسته به وکتور پدیدار شده‌اند. به عنوان نمونه، پیش بینی می‌شود که شیوع بیماری زبان آبی (Blue tongue disease) که در اروپا یک بیماری مهم ویروسی است و توسط حشرات منتقل و سبب بیماری در دام می‌شود، در آینده بیشتر شود (۴۶و۵۴و۷). بیماری لایم (Lyme)، تب دانگ (Dengue fever)، مالاریا (Malaria)، بیماری ویروس نیل غربی (West Nile virus disease)، انسفالیت ژاپنی (Japanese encephalitis)، لیشمانیا (Leishmania)، انسفالیت منتقله از کنه (Tick borne encephalitis)، تب زرد (Yellow fever)، شیستوزومیازیس (Schistosomiasis) و چیکونگونیا (Chikungunya) از جمله بیماری‌هایی هستند که توسط وکتور انتقال می‌یابند و در سال‌های اخیر در طی تغییرات اقلیمی به کرات دیده شده‌اند. عامل بیماری لیشمانیوز یا سالک (Leishmaniasis) انگل *لیشمانیا اینفنتوم* (*Leishmania infantum*) است. گزش پشه خاکی معمولاً در ماه‌های تابستان بیشتر است، اگرچه شرایط خیلی خشک و گرم هوا برای بقای پشه خاکی مناسب نیست. دما تا حد زیادی در دوره خفتگی (Diapause) و بلوغ انگل

لیشمانیا اینفنتوم در بدن پشه خاکی آلوده موثر است (۴۰و۴۲).

وکتور بیماری مالاریا که عامل آن *پلاسمودیوم فالسیپاروم* (*Plasmodium falciparum*) می‌باشد، پشه آنوفل است که بطورمستقیم تحت تاثیر تغییرات اقلیمی قرار دارد. در واقع سرعت رشد *پلاسمودیوم فالسیپاروم* در گرما افزایش می‌یابد. بررسی‌ها نشان داده است که حدود ۲۶ روز طول می‌کشد تا *پلاسمودیوم فالسیپاروم* در دمای ۲۰ درجه سلسیوس رشد کند، در حالیکه در دمای ۲۵ درجه سلسیوس این میزان به ۱۳ روز کاهش می‌یابد. گزارش‌ها نشان داده است که در نپال به دنبال گرم شدن هوا، توزیع انواع مختلف پشه آنوفل افزایش و از ۳۸ ناحیه به ۶۸ ناحیه گسترش یافته است (۴۰و۴۲). همچنین یافته‌ها نشان می‌دهد که پشه‌های آنوفل حداقل در ۱۱۵ مکان در ایران وجود دارند. آن‌ها با مناطق آب و هوایی ایران سازگار هستند. دما، بارش، رطوبت نسبی، شدت و جهت باد از مهمترین عوامل آب و هوایی مؤثر بر رشد و تکثیر پشه آنوفل، پلاسمودیوم و شیوع مالاریا هستند. بنابراین، با توجه به تغییر آب و هوایی در حال وقوع، ممکن است این بیماری شیوع پیدا کند که نیازمند برنامه ریزی برای کنترل بیماری مالاریا را می‌باشد (۵۸).

در مطالعه‌ای دیگر نشان داده شده است که ویروس انسفالیت ژاپنی می‌تواند به راحتی در دمای ۲۵ الی ۲۶ درجه سلسیوس انتقال یابد. وکتور این ویروس، پشه‌ی *کولکس تری تینیو رینچاشز* (*Culex tritaeniorhynchus*) است که افزایش دما باعث شده است که این وکتور به دنبال پناهگاه جدید بگردد و توزیع خود را گسترش دهد و از شمال هند به نپال گسترش یابد و در نپال هم به صورت اندمی درآید. *ویروس دانگی* (*Dengue*) که عامل تب دانگ است نیز متاثر از رطوبت نسبی و باران می‌باشد که این عوامل موجب انتشار ویروس *دانگ* و شیوع بیماری در یانگون (Yangon) و سنگاپور است. وکتور بیماری تب دانگ پشه *آئدس اجیپتی* (*Aedes aegypti*) است که افزایش مداوم دما و تغییرات الگوی بارش منجر به افزایش رشد این وکتور شده است. بارش می‌تواند رفتار، اندازه جمعیت و وکتور را تغییر دهد. بارندگی بیش از ۵۰ میلی‌متر، شیوع این بیماری را به طور موثری افزایش می‌دهد، هر چند که بارش خیلی شدید میزان شیوع را کاهش می‌دهد. نتایج تحقیقات نشان می‌دهند که کره زمین در هر دهه از سال‌های ۱۹۵۰ تا ۲۰۰۰ حدود ۱/۵ برابر در گسترش پشه *آئدس اجیپتی* مساعدتر شده است و این آمار تا سال ۲۰۵۰ می‌تواند ۳/۲ و یا ۴/۴ برابر در هر دهه شود (۵۹).

امروزه شیوع تب زرد در آفریقا و آمریکای جنوبی رو به افزایش است و همچنین نقش گونه‌های مختلف پشه *کولکس* (*Culex*) که وکتور ویروس بیماری تب نیل غربی است نیز با تغییرات دما، بارش و رطوبت رابطه مستقیم دارد. مثال دیگر انسفالیت منتقله از راه کنه می‌باشد که وکتور آن کنه *ایکسودس رسینوس* (*Ixodes Ricinus*) است که فعالیت و رشد آن با افزایش رطوبت و دما بیشتر می‌شود. به دلیل زمستان‌های معتدل و طولانی شدن بهار و پاییز، میزان شیوع *ایکسودس رسینوس* از ۱۲/۵ درصد به حدود ۲۶/۸درصد در سوئد در سال‌های ۲۰۰۸-۱۹۹۰ رسید. وکتور *شیستوزومیازیس* حلزون *انکوملانیا هاپنسیس* (*Oncomelania hupensis*) است که با افزایش مداوم دمای زمستان دامنه توزیع خود را گسترش داده است. در نتیجه، شیستوزومیازیس در شمال چین بطور فزاینده‌ای گسترش یافته است. تب ویروسی چیکونگونیا که عامل آن ویروس چیکونگونیا (*Chikungunya*) است و پشه (*Aedes spp.*) میزبان حد واسط آن است، مثال دیگری است که نشان می‌دهد برای انتقال بهینه این ویروس زمستان‌ها و تابستان‌های معتدل با دمای حدود ۲۰ درجه سلسیوس و میانگین بارندگی بیش از ۵۰ میلی‌لیتر لازم است (۴۰و۴۲).

تغییرات اقلیمی و افزایش مقاومت آنتی‌بیوتیکی

بررسی‌ها نشان می‌دهند که وقوع سیل حتی می‌تواند انتشار میکروارگانیسم‌های مقاوم به آنتی بیوتیک‌ها را افزایش دهد. با توجه به کاربرد چشمگیر آنتی بیوتیک‌ها در کشاورزی و وجود میکروارگانیسم‌های مقاوم به آنتی بیوتیک در زباله‌های جامد و

مایع، خطر انتشار میکروارگانیسم‌های مقاوم وجود دارد که می‌تواند منجر به انتقال مستقیم ژن‌های مقاومت به پاتوژن‌های انسانی شود (۶۰). به دنبال تغییرات اقلیمی و گرم شدن کره زمین، مقاومت *سودوموناس آئروجینوسا* در برابر کاربابنم (Carbapenem) افزایش یافته است و این مقاومت تا سال ۲۰۳۹ دو برابر می‌شود (۶۱). مطالعات در آمریکا نشان می‌دهد که طی سال‌های ۲۰۱۵-۲۰۱۳، افزایش دمای روزانه (حداقل ۱۰ درجه سلسیوس که تا پایان قرن برای برخی از مناطق ایالات متحده پیش بینی شده است) منجر به افزایش میزان مقاومت آنتی‌بیوتیکی در برخی میکروارگانیسم‌ها مانند *اشریشیا کلی* (*Escherichia coli*) و *کلبسیلا نمونیه* (*Klebsiella Pneumoniae*) می‌شود. این مقاومت برای *استافیلوکوکوس اورئوس* حدود ۴-۲ درصد گزارش شده است و تا ۱۰ درصد برای برخی از آنتی بیوتیک‌ها قابل افزایش است. در واقع، مشاهده شده است که انتقال افقی ترانسپوزن‌ها مقاومت به آنتی‌بیوتیک‌ها با افزایش درجه حرارت تسهیل می‌گردد و نرخ رشد پاتوژن به دلیل بالا رفتن مقاومت محیطی افزایش می‌یابد (۶۲).

تغییرات اقلیمی و گرم شدن کره زمین بر مدت و شدت پراکنش هاگ قارچ‌ها اثر می‌گذارد و از سویی منجر به تشدید آسم و آلرژی و مشکلات تنفسی می‌شود. علاوه بر این، تغییرات اقلیمی و گرم شدن کره زمین بر تنوع میکروبی خاک اثر گذاشته و تنوع آن را کاهش می‌دهد و سبب کاهش کیفیت خاکی می‌شود که این گروه از میکروارگانیسم‌ها نقش مهمی در حمایت از رشد گیاه دارد (۶۳).

تغییرات اقلیمی و تخریب آثار باستانی

مناطق باستانی، ساختمان‌ها، مساجد، تندیس‌ها، موزه‌ها و اشیا همگی تحت تاثیر شرایط تنش‌زای اقلیمی و محیطی قرار می‌گیرند و بسیاری از این آثار واجد میکرواکوسیستم‌هایی هستند که شرایط افراطی از نظر منابع غذایی و سایر تنش‌های محیطی دارند. مشکل فرسایش زیستی بناهای سنگی باستانی مربوط به کشورهایی می‌شود که غنی از آثار باستانی هستند و در ایران نیز آثار باستانی بسیاری وجود دارد که بسیاری از آن‌ها در سازمان جهانی یونسکو به ثبت رسیده‌اند. در مطالعه‌ای، فرسایش فیزیکی ناشی از هجوم هیف‌های قارچی و گلسنگ ها در منافذ بین کریستال‌های سنگی بنای تاریخی تخت جمشید بررسی شد و مشخص گردید که این فرسایش باعث سست شدن ساختار سنگی چنین بناهایی می‌شود. علاوه بر فرسایش فیزیکی، تولید اسیدهای آلی توسط گلسنگ‌ها سبب فرسایش شیمیایی سنگ‌ها و بناهای سنگی می‌شود. چندین سویه از باکتری‌ها و قارچ‌های شبه مخمری سیاه نیز در این مطالعه جدا و کشت شدند (۶۴). مقبره کوروش و منطقه پاسارگاد نیز مانند سایر آثار باستانی دیگر تحت تاثیر استقرار جمعیت‌های میکروبی به خصوص گونه‌های مختلف گلسنگ‌های پوسته‌ای (Crustose) از جمله گلسنگ *کالوگایا* (*Calogaya*) قرار گرفته است که در فرسایش زیستی این مقبره نقش دارند (۶۴). از جمله قارچ‌های ساکن مقبره می‌توان به گونه‌های جنس‌های *کالدوسپوریوم* (*Caldosporium*)، *امبلیزیا* (*Embelllisia* sp.)، *کریپتوکوکوس* (*Cryptococcus*)، *کاندیدا* (*Candida*)، *میروزیما* (*Meyerozyma*)، *فوزاریوم* (*Fusarium*)، *آرتیرینیوم* (*Arthirinium*)، *اولوکلادیوم* (*Ulocladium*)، *هومیکولا* (*Humicola*) و *سودوزیما* (*Pseudozyma*) اشاره نمود (۶۵). رشد این ارگانیسم‌ها بطور مستقیم تحت تاثیرفاکتورهای اقلیمی مانند دما و رطوبت است که به نظر می‌رسد همراه با تغییرات اقلیمی فراوانی شان نیز در آینده تغییر کند.

نتیجه‌گیری

اصطلاح تغییرات اقلیمی یا آب و هوایی به تغییرات قابل سنجش و قابل مشاهده آب و هوا در مدت زمان طولانی اشاره دارد که با قحطی، موج گرما، باران‌های شدید، سیل، خشکی، کمبود آب، طوفان‌های گرد و غبار، آتش سوزی، طوفان‌های گرمسیری، ذوب شدن برف و یخ‌ها مشخص می‌شود. تغییرات آب و هوا و گرم شدن کره زمین اثرات فاجعه باری بر

اکوسیستم‌های انسانی، حیوانی و محیط زیست خواهد داشت (۳۸).

در حدود ۲۰ سال گذشته، دولتمردان کشورهای ثروتمند حاضر نبودند حتی درصد کمی از بودجه‌ای که امروزه برای جلوگیری از تغییرات اقلیمی و کاهش تنوع زیستی خرج می‌کنند را در این راه سرمایه‌گذاری کنند. این تهدیدهای طولانی، دهه‌ها است که شناخته شده‌اند، اما نسبت به آن‌ها اقدام موثری صورت نگرفته است (٦٦). در طول قرن گذشته اثرات مخرب فعالیت انسان و استفاده غیر علمی از اکوسیستم‌ها به وضوح دیده می‌شود. عمده تغییرات ایجاد شده به دست بشر عبارتند از افزایش حدود ٦٠ درصد دی اکسید کربن طی سال‌های ۱۷۵۰ تا سال ۱۹۵۹، تخریب تقریباً ٦٠ درصد از اکوسیستم‌های مفید زمین، برداشت ۲ برابری از ظرفیت رودخانه‌ها و دریاچه‌ها در سال ۱۹٦۰، از بین رفتن ۳۵ درصد از منطقه حرا (Mangrove area) طی چند دهه گذشته، کاهش ۲۰ درصد از صخره‌های مرجانی جهان می‌باشد. در نتیجه، انسان امروزه باید هزینه بیشتری را برای اصلاح و بهبود وضعیت اکوسیستم‌های مختلف بپردازد (۱).

بررسی‌ها نشان داده‌اند که بین وقوع سیل و شیوع بیماری‌های عفونی ارتباط جدی وجود دارد (٤۳). مدل‌های زیستی طراحی شده پیش بینی می‌کنند که میزان ابتلا به بیماری‌ها از ۱۸ درصد در سال ۲۰۱۰ به بیش از ۸۰ درصد در سال ۲۰۲۰ افزایش یابد (٦۷). گرم شدن کره زمین بر توزیع جغرافیایی وکتورها، میزبان‌های حد واسط بی مهرگان مانند حشرات، جوندگان و پرندگان مهاجر تاثیر می‌گذارد. به عنوان نمونه، *کلامیدیا* (*Chlamydia*) که یک باکتری بیماری‌زای مشترک بین حیوان و انسان است، می‌تواند توسط پرندگان حمل شود و طبق گزارش سازمان بهداشت جهانی سالانه ۹۲ میلیون نفر را آلوده کند. این بیماری با مهاجرت پرندگان مرتبط است که به نوبه خود تحت تاثیر تغییرات اقلیمی و اکولوژیکی است (۳۸). همان طور که قبلاً اشاره شد، تغییر در پارامترهای روزانه هوا، به ویژه دما و بارش، بیشتر بر میکروارگانیسم‌هایی که دوره‌ای از زندگی خود را در میزبان‌های خارجی مانند کنه یا پشه می‌گذرانند، اثر می‌گذارد. عفونت‌های ناشی از باکتری‌ها و قارچ‌های محلی باعث می‌شوند که بیماری‌های منتقله از راه هوا، غذا، وکتور و آب رشد فزاینده‌ای داشته باشند (٤۰و٦۸). طیف گسترده‌ای از میکروارگانیسم‌ها باعث بیماری‌های گیاهی با منشای قارچی، باکتریایی و ویروسی می‌شوند. بنابراین، می‌توانند بر تولید محصولات کشاورزی تأثیر بگذارند. ارزیابی بیش از ٦۰۰ آفات زراعی مانند نماتدها، حشرات و عوامل بیماری زای گیاهی، گسترشی را به سمت قطب‌ها نشان می‌دهند که ناشی از تغییرات اقلیمی است (٤۲).

از اثرات منفی گرم شدن کره زمین و تغییرات اقلیمی بر سلامت انسان غفلت شده است. تخمین زده می‌شود که ۳٤ درصد از کل بیماری‌های کودکان و ۳٦ درصد از مرگ و میر کودکان در سراسر جهان به تغییر عوامل محیطی مرتبط است. شیوع وبا، مالاریا، اسهال یا تب دانگ همه تحت تاثیر تغییرات اقلیمی است (۳۸). تغییرات اقلیمی مخصوص کشور خاصی نیست و همه کشورها تحت تاثیر آن قرار می‌گیرند و تا زمانی که همدلی بین کشورها نباشد، هیچ کشوری نمی‌تواند به تنهایی از عواقب تغییرات اقلیمی در امان باشد (۳۸). تغییرات اقلیمی سبب قحطی، کاهش تنوع زیستی، اختلال در اکوسیستم خشکی و آبی، آسیب به لایه اوزون، تغییر در ذخایر آبی، افزایش دمای کره زمین، تخریب آب رودخانه‌ها و شهرهای ساحلی می‌شود (۳۸). برخی معتقدند که شیوع پاندمی کووید-۱۹ اثرات مثبتی بر اقلیم سراسر جهان به جا گذاشته است و از جمله اثرات مثبت آن می‌توان به بهبود نسبی وضعیت محیط زیست و کاهش گازهای گلخانه‌ای و ترمیم لایه ازن اشاره کرد (٦۹).

تغییرات اقلیمی اغلب به عنوان یک تحدید عمده در نظر گرفته می‌شود (۷۰). از پاندمی کووید-۱۹ می‌توان درس و الگو گرفت تا تمهیدات لازم به منظور کنترل همه‌گیری بیماری‌های دیگر و همچنین پیامدهای تغییرات اقلیمی در آینده جلوگیری کرد. از سویی، محیط‌های افراطی کره زمین سرشار از میکروارگانیسم‌هایی هستند که دارای متابولیت‌های ثانویه ارزشمندی می‌باشند و نسبت به شرایط اقلیمی آسیب پذیر

می‌باشند. تا سال ۲۰۰۹ شناسایی حدود ۲۲۱ متابولیت اختصاصی از موجودات این مناطق گزارش شد که بیشتر آن‌ها در ساخت ترکیبات ضد میکروبی و ضد سرطان کاربرد داشتند (۳).

عوامل طبیعی مانند تغییرات خورشیدی و فعالیت آتش فشانی (۷۱) و همچنین عوامل انسانی از جمله استخراج معادن، استفاده از سوخت‌های فسیلی، نبود مدیریت صحیح کشاورزی، جنگل زدایی، شهرنشینی، بهره برداری زیاد از زمین سبب تغییرات اقلیمی می‌شوند و تغییرات اقلیمی، جمعیت میکروبی را تغییر می‌دهد (۳و۳۸). تغییرات اقلیمی با سیل، خشکسالی، آتش سوزی، طوفان همراه می‌باشد (۳۸) که این تغییرات ممکن است سبب آسیب و فرسایش آثار باستانی ارزشمند شود. این شرایط ممکن است شدت تنش‌های محیطی را تحت تاثیر قرار دهد و سبب افزایش فرآیندهای فرسودگی زیستی این آثار نیز شود. علاوه بر این، تغییر جمعیت میکروبی در اثر تغییرات اقلیمی نیز خود ممکن است سبب تغییر غیرقابل برگشت و آسیب به این آثار ارزشمند شود که تحقیقات بیشتری در این زمینه لازم است. برای کنترل تغییرات اقلیمی و کاهش اثرات زیان‌بار ناشی از آن، نوآوری و استفاده از تکنولوژی‌های جدید برای رسیدن به راه حل‌های پیشگیری، تشخیص و درمان بیماری‌های عفونی و همچنین استفاده از منابع تجدید پذیر نو به جای سوخت‌های فسیلی از جمله اولویت‌هاست. کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از استفاده کمتر از سوخت‌های فسیلی در صنعت از جمله روش‌های پیشگیرانه می‌تواند باشد. همکاری‌های بین المللی بیشتری لازم است تا الگوی تغییرات اقلیمی به خوبی شناخته شود. برای مثال استفاده از تمام منابع تجدیدپذیر مانند باد و گرما، استفاده از حمل و نقل الکتریکی به جای سوخت‌های فسیلی، بهینه کردن وسایل الکتریکی به دلیل کاهش مصرف انرژی و استفاده از عایق‌های حرارتی در ساختمان‌ها به منظور کاهش هزینه‌های گرمایشی و سرمایشی از جمله آن‌هاست. امروزه روی مناطق افراطی واجد میکروارگانیسم‌های با ارزش تحقیقات بیشتری باید انجام شود و پیشنهاد می‌شود که محققین و موسسات مرتبط سیاست‌هایی را وضع کنند تا از جمعیت‌های میکروبی این مناطق و ذخایر ژنتیکی با ارزش آن‌ها حفاظت کنند. بنابراین، افزایش آگاهی عمومی، افزایش ظرفیت موسسات تحقیقاتی و سرمایه گذاری جهت کنترل تغییرات اقلیمی ضروری است.

تشکر و قدردانی

این مقاله مستخرج از بخشی از مطالعات انجام گرفته در هسته پژوهشی نویسنده مسئول است که توسط معاونت محترم پژوهشی حمایت گردیده است که بدین وسیله تقدیر می‌گردد.

ملاحظات اخلاقی

نکات اخلاقی شامل سرقت ادبی، داده سازی، تحریف داده‌ها و انتشار دوگانه توسط نویسندگان رعایت شده است.

تعارض منافع

وجود ندارد.

References

1. Fath BD. Ecosystem Ecology. In: Jørgensen SE. Fath BD. editors. Encyclopedia of ecology. 2nd ed. Oxford. Academic Press; 2019: 473-478.
2. Jørgensen SE. Ecosystem Ecology. In: Jørgensen SE. Fath BD. editors. Encyclopedia of ecology. 1st ed. Oxford. Academic Press; 2009: 1155-1165.
3. Sayed AM. Hassan MH. Alhadrami HA. Hassan HM. Goodfellow M. Rateb ME. Extreme environments: microbiology leading to specialized metabolites. J Appl Microbiol. 2020; 128 (3):630-57.
4. Dickinson I. Goodall-Copestake W. Thorne MA. Schlitt T. Ávila-Jiménez ML. Pearce DA. Extremophiles in an Antarctic marine ecosystem. Microorganisms. 2016;4(1):8.
5. Johnson D.B. Quatrini R. Acidophile microbiology in space and time. In: Johnson D.B. Quatrini R. Acidophiles: life in extremely acidic environments. 1st ed. Irland. Caister Academic Press; 2016: 3-16.
6. Mirete S. Morgante V. González-Pastor JE. Acidophiles: diversity and mechanisms of adaptation to acidic environments. In: Stan-Lotter H. Fendrihan S. editors. Adaption of Microbial Life to Environmental Extremes. 1st ed. Switzerland. Springer Cham; 2017: 227-251.
7. Druschel GK. Baker BJ. Gihring TM. Banfield JF. Acid mine drainage biogeochemistry at Iron Mountain California. Geochem Trans. 2004 ;5(2):13.
8. Jansson JK. Taş N. The microbial ecology of permafrost. Nat Rev Microbiol. 2014;12(6): 414-25.
9. Schopf JW. Klein C. The Proterozoic biosphere: a multidisciplinary study. 1st ed. UK. Cambridge University Press; 1992.
10. Urbieta MS. Donati ER. Chan KG. Shahar S. Sin LL. Goh KM. Thermophiles in the genomic era: biodiversity, science, and applications. Biotechnol Adv. 2015; 33(6):633-47.
11. Rastogi G. Bhalla A. Adhikari A. Bischoff KM. Hughes SR. Christopher LP. Sani RK. Characterization of thermostable cellulases produced by Bacillus and Geobacillus strains. Bioresour. Technol. 2010;101(22):8798-806.
12. Hidese R. Fukuda W. Niitsu M. Fujiwara S. Identification of branched-chain polyamines in hyperthermophiles. In: Alcázar R. Tiburcio A. editors. Polyamines: Methods in Molecular Biology. New York. Humana Press. 2018;1694: 81-94.
13. Laity J.J. Deserts and desert environments. United States. John Wiley & Sons. 2009; 3.
14. Ouchari L. Boukeskasse A. Bouizgarne B. Ouhdouch Y. Antimicrobial potential of actinomycetes isolated from the unexplored hot Merzouga desert and their taxonomic diversity. Biol Open. 2019; 8(2): 1-7.

15. Tiwari K. Upadhyay DJ. Mösker E. Süssmuth R. Gupta RK. Culturable bioactive actinomycetes from the great Indian Thar Desert. Ann Microbiol. 2015;65(4):1901-14.

16. Kurapova AI. Zenova GM. Sudnitsyn II. Kizilova AK. Manucharova NA. Norovsuren ZH. Zvyagintsev DG. Thermotolerant and thermophilic actinomycetes from soils of Mongolia desert steppe zone. Microbiology. 2012;81(1):98-108.

17. Gómez-Silva B. Lithobiontic life: “Atacama rocks are well and alive”. Antonie Van Leeuwenhoek. 2018;111(8):1333-43.

18. Schulze-Makuch D. Wagner D. Kounaves SP. Mangelsdorf K. Devine KG. de Vera JP. Schmitt-Kopplin P. Grossart HP. Parro V. Kaupenjohann M. Galy A. Transitory microbial habitat in the hyperarid Atacama Desert. Proc Natl Acad Sci USA. 2018;115(11):2670-5.

19. Azua-Bustos A. Fairén AG. González-Silva C. Ascaso C. Carrizo D. Fernández-Martínez MÁ. Fernández-Sampedro M. García-Descalzo L. García-Villadangos M. Martin-Redondo MP. Sánchez-García L. Unprecedented rains decimate surface microbial communities in the hyperarid core of the Atacama Desert. Scientific Reports. 2018;8(1):1-10.

20. Idris H. Nouioui I. Pathom-Aree W. Castro J.F. Bull A.T. Andrews B.A. Asenjo J.A. Goodfellow M. 2018. Amycolatopsis vastitatis sp. nov., an isolate from a high-altitude subsurface soil on Cerro Chajnantor, northern Chile. Antonie Van Leeuwenhoek. 2018; 111 (9): 1523-1533.

21. Carro L. Razmilic V. Nouioui I. Richardson L. Pan C. Golinska, P. Asenjo J.A. Bull A.T. Klenk, H.P. Goodfellow M. 2018; Hunting for cultivable Micromonospora strains in soils of the Atacama Desert. AntonieV Leeuwenhoek.2018; 111(8):1375-1387.

22. Hezbri K. Ghodhbane-Gtari F. Del Carmen Montero-Calasanz M. Nouioui I, Rohde M. Spröer, C. Schumann P. Klenk HP. Maher Gtari M. "Geodermatophilus pulveris sp. nov., a gamma-radiation-resistant actinobacterium isolated from the Sahara Desert." Int J Syst and Evol Microbiol. 2016; 66 (10): 3828-3834.

23. Mohammadipanah F. Wink J. Actinobacteria from arid and desert habitats: diversity and biological activity. Front. Microbiol. 2016; 6:1541.

24. Thumar JT. Dhulia K. Singh SP. Isolation and partial purification of an antimicrobial agent from halotolerant alkaliphilic Streptomyces aburaviensis strain Kut-8. World J Microbiol Biotechnol. 2010;26(11):2081-7.

25. Luo X. Wang J. Zeng XC. Wang Y. Zhou L. Nie Y. Dai J. Fang C. Mycetocola manganoxydans sp. nov., an actinobacterium isolated from the Taklamakan desert. Int J Syst Evol. 2012; 62(12):2967-70.

26. Terra L. Dyson PJ. Hitchings MD. Thomas L. Abdelhameed A. Banat IM. Gazze SA. Vujaklija D. Facey PD. Francis LW. Quinn GA. A novel alkaliphilic Streptomyces inhibits ESKAPE pathogens. Front Microbiol. 2018; 9 (1):2458.

27. Vijayakumar S. Menakha M. Pharmaceutical applications of cyanobacteria A review. J Acute Med. 2015;5(1):15-23.

28. Micallef ML. D'Agostino PM. Sharma D. Viswanathan R. Moffitt MC. Genome mining for natural product biosynthetic gene clusters in the Subsection V cyanobacteria. BMC Genomics. 2015;16(1):669.

29. Powell JT. Chatziefthimiou AD. Banack SA. Cox PA. Metcalf JS. Desert crust microorganisms, their environment, and human health. J Arid Environ. 2015 ;112 (1):127-33.

30. Juy-abad FK. Mohammadi P. Zarrabi M. The identification of some phototrophic microorganisms from a semi-arid ecosystem in Iran. CR Acad Bulg Sci. 2018;71 (12): 1629-1637.

31. Murgia M. Fiamma M. Barac A. Deligios M. Mazzarello V. Paglietti B. Cappuccinelli P. Al-Qahtani A. Squartini A. Rubino S. Al-Ahdal MN. Biodiversity of fungi in hot desert sands. Microbiologyopen. 2019;8(1):e00595.

32. Symanczik S. Błaszkowski J. Chwat G. Boller T. Wiemken A. Al-Yahya'ei MN. Three new species of arbuscular mycorrhizal fungi discovered at one location in a desert of Oman: Diversispora omaniana, Septoglomus nakheelum and Rhizophagus arabicus. Mycologia. 2014;106(2):243-59.

33. Le Romancer M. Gaillard M. Geslin C. Prieur D. Viruses in extreme environments. Rev. Environ. 2007; 6: 99-113.

34. Slade D. Radman M. Oxidative stress resistance in Deinococcus radiodurans. Microbiol Mol Biol R. 2011;75(1):133-91.

35. Shirsalimian MS. Sepahy AA. Amoozegar MA. Kalantar SM. Dabbagh R. Isolation of two radiation resistant and desiccation tolerant bacteria, Modestobacter sp. A2 and Maritalea sp. B9, from Gandom Beryan Hill in the Lut Desert of Iran. Microbiology. 2018;87(3):363-71.

36. Mukherjee S. Emerging infectious diseases: epidemiological perspective. Indian J Dermatol. 2017; 62(5): 459.

37. Woolhouse M.E. S. Gowtage-Sequeria. Host range and emerging and reemerging pathogens. Emerg Infect Dis. 2005; 11(12): 1842.

38. El-Sayed. A. M. Kamel, Climatic changes and their role in emergence and re-emergence of diseases. Environ Sci Pollut Res Int. 2020; 27 (1): 22336–22352.

39. Patz JA. Frumkin H. Holloway T. Vimont DJ. Haines A. Climate change: challenges and opportunities for global health. Jama. 2014;312(15):1565-80.

40. Khan MD. Thi Vu HH. Lai QT. Ahn JW. Aggravation of human diseases and climate change nexus. Int J Environ Res Public Health. 2019;16(15):2799.41.

41. Vaghefi SA. Keykhai M. Jahanbakhshi F. Sheikholeslami J. Ahmadi A. Yang H. Abbaspour KC. The future of extreme climate in Iran. Sci Rep. 2019;9(1):1-1.39.

42. Cavicchioli R. Ripple WJ. Timmis KN. Azam F. Bakken LR. Baylis M. Behrenfeld MJ. Boetius A. Boyd PW. Classen AT. Crowther TW. Scientists' warning to humanity: microorganisms and climate change. Nat Rev Microbiol. 2019;17(9):569-86.

43. Carignan A. Valiquette L. Laupland KB. Impact of climate change on emerging infectious diseases: Implications for Canada. Jammi. 2019 ;4(2):55-9.

44. Christaki E. Dimitriou P. Pantavou K. Nikolopoulos GK. The Impact of Climate Change on Cholera: A Review on the Global Status and Future Challenges. Atmosphere. 2020;11(5):449.

45. Vezzulli L. Grande C. Reid PC. Hélaouët P. Edwards M. Höfle MG. Brettar I. Colwell RR. Pruzzo C. Climate influence on Vibrio and associated human diseases during the past half-century in the coastal North Atlantic. PNAS. 2016;113(34): E5062-71.

46. Baker-Austin C. Trinanes JA. Taylor NG. Hartnell R. Siitonen A. Martinez-Urtaza J. Emerging Vibrio risk at high latitudes in response to ocean warming. Nat Clim Change. 2013;3(1):73-7.

47. Pascual M. Rodó X. Ellner SP. Colwell R. Bouma MJ. Cholera dynamics and El Nino-southern oscillation. Science. 2000;289(5485):1766-9.

48. Zheng YY. Ma YT. Zhang JY. Xie X. COVID-19 and the cardiovascular system. Nat Rev Cardiol. 2020;17(5):259-60.

49. Hamid S. Mir MY. Rohela GK. Noval coronavirus disease (COVID-19): A pandemic (Epidemiology, Pathogenesis and potential therapeutics). New Microbes New Infect. 2020; 35: 100679.

50. Velavan TP. Meyer CG. The COVID-19 epidemic. Trop Med Int Health. 2020;25(3):278.

51. Baker RE. Yang W. Vecchi GA. Metcalf CJ. Grenfell BT. Susceptible supply limits the role of climate in the early SARS-CoV-2 pandemic. Science. 2020; 369 (6501): 315-319.

52. Kuhn KG. Nygård KM. Guzman-Herrador B. Sunde LS. Rimhanen-Finne R. Trönnberg L. Jepsen MR. Ruuhela R. Wong WK. Ethelberg S. Campylobacter infections expected to increase due to climate change in Northern Europe. Sci. Rep. 2020;10(1):1-9.

53. Braide W. Justice-Alucho CH. Ohabughiro N. Adeleye SA. Global climate change and changes in disease distribution: a review in retrospect. Int J Adv Res Biol Sci. 2020;7(2): 32-46.

54. McIntyre KM. Setzkorn C. Hepworth PJ. Morand S. Morse AP. Baylis M. Systematic assessment of the climate sensitivity of important human and domestic animals pathogens in Europe. Sci. Rep. 2017;7(1):1-0.

55. Semenza JC. Domanović D. Blood supply under threat. Nat Clim Change. 2013;3(5):432-5.

56. Semenza JC. Herbst S. Rechenburg A. Suk JE. Höser C. Schreiber C. Kistemann T. Climate change impact assessment of food-and waterborne diseases. Crit Rev Environ Sci Technol. 2012;42(8):857-90.

57. Patz JA. Campbell-Lendrum D. Holloway T. Foley JA. Impact of regional climate change on human health. Nature. 2005;438 (7066):310-7.

58. Babaie J. Barati M. Azizi M. Ephtekhari A. Sadat SJ. A systematic evidence review of the effect of climate change on malaria in Iran. J Parasit Dis. 2018;42(3):331-40.

59. Iwamura T. Guzman-Holst A. Murray KA. Accelerating invasion potential of disease vector Aedes aegypti under climate change. Nat Commun. 2020;11(1):1-0.

60. Wang N. Guo X. Xu J. Kong X. Gao S. Shan Z. Pollution characteristics and environmental risk assessment of typical veterinary antibiotics in livestock farms in Southeastern China. J Environ Sci Heal A, Part B. 2014;49(7):468-79.

61. Kaba HE. Kuhlmann E. Scheithauer S. Thinking outside the box: association of antimicrobial resistance with climate warming in Europe–a 30 country observational study. Int J Hyg Envir Heal. 2020;223(1):151-8.

62. MacFadden DR. McGough SF. Fisman D. Santillana M. Brownstein JS. Antibiotic resistance increases with local temperature. Nat Clim Change. 2018;8(6):510-4.

63. D'Amato G. Holgate ST. Pawankar R. Ledford DK. Cecchi L. Al-Ahmad M. Al-Enezi F, Al-Muhsen S. Ansotegui I. Baena-Cagnani CE. Baker DJ. Meteorological conditions, climate change, new emerging factors, and asthma and related allergic disorders. World Allergy Organ. 2015;8(1):1-52.

64. Mohammadi P. Krumbein WE. Biodeterioration of ancient stone materials from the Persepolis monuments (Iran). Aerobiologia (Bologna). 2008;24 (1):27-33.

65. Mohammadi P, Maghboli-Balasjin N. Isolation and molecular identification of deteriorating fungi from Cyrus the Great tomb stones. Iran J Microbiol. 2014;6(5):361.

66. Goymann W. What the Corona (SARS-CoV 2) pandemic, climate change, and the biodiversity crisis teach us about human nature. Ethology. 2020;126(6):593.

67. Leighton PA. Koffi JK. Pelcat Y. Lindsay LR. Ogden NH. Predicting the speed of tick invasion: an empirical model of range expansion for the Lyme disease vector Ixodes scapularis in Canada. Journal of Applied Ecology. 2012; 49(2):457-64.

68. Gasmi S. Ogden NH. Lindsay LR. Burns S. Fleming S. Badcock J. Hanan S. Gaulin C. Leblanc MA. Russell C. Nelder M. Emerging Infections: Surveillance for Lyme disease in Canada: 2009–2015. CCDR. 2017;43(10):194.

69. Chakraborty I. Maity P. COVID-19 outbreak: Migration, effects on society, global environment and prevention. Sci Total Environ. 2020; 728: 138882.

70. McCarty JP. Ecological consequences of recent climate change. Conserv Biol. 2001;15 (2):320-31.

71. Fahey DW. Doherty SJ. Hibbard KA. Romanou A. Taylor PC. Physical drivers of climate change. In: Wuebbles DJ. Fahey DW. Hibbard KA. Dokken DJ. Stewart BC. Maycock TK editors. Change Research Program. 4th ed. Climate Science Special Report. U.S. 2017; 73-113.