

Başmakale

Toplumda mikrobiyoloji okuryazarlığının acilen geliştirilmesi gereklidir

Kenneth Timmis^{1*}, Ricardo Cavicchioli², José Luis García³, Balbina Nogales⁴, Max Chavarría⁵, Lisa Stein⁶, Terry J. McGenity⁷, Nicole Webster⁸, Brajesh Singh⁹, Jo Handelsman¹⁰, Victor de Lorenzo¹¹, Carla Pruzzo¹², James Timmis¹³, Juan Luis Ramos Martín¹⁴, Willy Verstraete¹⁵, Mike Jetten¹⁶, Antoine Danchin¹⁷, Wei Huang¹⁸, Jack Gilbert¹⁹, Rup Lal²⁰, Helena Santos²¹, Sang Yup Lee²², Angela Sessitsch²³, Paola Bonfante²⁴, Lone Gram²⁵, Raymond T. P. Lin²⁶, Eliora Ron²⁷, Z. Ceren Karahan²⁸, Jan Roelof van der Meer²⁹, Seza Artunkal³⁰, Dieter Jahn¹ ve Lucy Harper³¹

¹Institute of Microbiology, Technical University Braunschweig, Germany.

²School of Biotechnology and Biomolecular Sciences, The University of New South Wales, Sydney, Australia.

³Department of Environmental Biology, Centro de Investigaciones Biológicas (CIB) (CSIC), Madrid, Spain.

⁴Area Microbiologia, Dept. Biologia, Universitat de les Illes Balears, Palma de Mallorca, Spain.

⁵Escuela de Química & Centro de Investigaciones en Productos Naturales (CIPRONA), Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

⁶Dept. of Biological Sciences, University of Alberta, Edmonton, Canada.

⁷School of Biological Sciences, University of Essex, Colchester, UK.

⁸Australian Institute of Marine Science, Townsville and Australian Centre for Ecogenomics, University of Queensland, Brisbane, Queensland, Australia.

⁹Hawkesbury Institute for the Environment, University of Western Sydney, Penrith, Australia.

¹⁰Wisconsin Institute for Discovery, University of Wisconsin-Madison, USA.

¹¹Systems Biology Program, Centro Nacional de Biotecnología, CSIC, Madrid, Spain.

¹²Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e della Vita (DISTAV), Università degli Studi di Genova, Italy.

¹³Athena Institute, Vrije Universiteit Amsterdam, The Netherlands.

¹⁴Estación Experimental del Zaidín-CSIC, Granada, Spain.

¹⁵Center for Microbial Ecology and Technology (CMET), Ghent University, Belgium.

¹⁶Department of Microbiology, Radboud University Nijmegen, The Netherlands.

¹⁷Institut Cochin INSERM U1016 – CNRS UMR8104 – Université Paris Descartes, Paris, France.

¹⁸Department of Engineering Science, University of Oxford, UK.

¹⁹Dept. of Pediatrics, University of California at San Diego, USA.

²⁰Department of Zoology, Molecular Biology Laboratory, University of Delhi, India.

²¹Instituto de Tecnologia Química e Biológica. Universidade Nova de Lisboa, Oeiras, Portugal.

²²Department of Chemical and Biomolecular Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Daejeon, Republic of Korea.

²³Bioresources Unit, AIT Austrian Institute of Technology, Tulln, Austria.

²⁴Department of Life Science and Systems Biology, University of Torino. Italy. ²⁵Department of Systems Biology, Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark.

²⁶Department of Microbiology and Immunology, National University of Singapore.

²⁷School of Molecular Cell Biology & Biotechnology, Tel Aviv University, Israel. ²⁸Dept. of Medical Microbiology, Ankara University, Turkey.

²⁹Institut de Microbiologie Fondamentale, University of Lausanne, Switzerland,

³⁰Department of Clinical Microbiology, Haydarpaşa Numune Training Hospital, Istanbul, Turkey,

³¹Society for Applied Microbiology, London, UK.

Özet

Mikroplar ve mikrobiyal aktivite, insanların, tüm biyolojik evrenin, hatta gezegenimizin tüm yüzeyiyle atmosferinin sağlıklı işleyişi bakımından, dolayısıyla da sağlık ve esenlik halinin sağlanmasında son derece önemli, yaygın ve genellikle de olumlu bir etkiye sahiptir. Güneş ile birlikte ve güneşin önemli katkısıyla mikroplar, biyosferin yaşam destek sistemini oluşturur. Bu nedenle, bireyler ve ailelerin günlük yaşamlarında alacağı kararlarda olsun, toplumun her kesiminden bireyler ile sorumluluk mevkiinde bulunanların ulusal ve gezegenle ilgili sağlık konularını değerlendirme, plan yapma ve uygun politikalar oluşturmada olsun, mikrobiyal aktiviteyi göz önünde bulundurmaları şarttır. Hal böyle iken, finansal olayların, sağlık ve ulaşım gibi konuların insanoğluna etkisi genellikle kabul edilir de, mikrobiyal aktivitenin önemi, mikropların hayatımızı nasıl etkilediği ve insanlık yararına nasıl kullanılabilecekleri bilgisi -mikrobiyoloji okuryazarlığı- toplum genelinde de, karar verici kesimde de eksik kalır. Mikrobiyal aktiviteyi etkileyecek tercihler çoğunlukla berrak olmaktan uzaktır; mevcut bilgilerde ise kimi zaman yan tutulduğu görülür ve eksiktirler; bu da ciddi bir belirsizlik ortaya çıkartır. Bunun sonucu olarak kanıta dayalı “en iyi” kararlar bile, hiç de azımsanmayacak sıklıkta öngörülemeyen, kastedilmemiş ve hatta istenmeyen sonuçlar doğurur. Bu nedenle bizler, bilgiye dayalı kişisel kararlar alınması için, devlette ve iş dünyasında politikalar geliştirilmesi ve bu politikalar geliştirilirken de toplumsal paydaşların sürece bilgiyle donanmış olarak katılabilmesi için 'mikrobiyoloji okuryazarlığı'nın vazgeçilmez olduğunu ileri sürüyoruz. Ana mikrobiyal aktivitenin nelerden oluştuğu bilgisi, çocukluktan yetişkinliğe geçiş sürecinde halen okullarda öğretilmekte olan pek çok konu kadar önem taşır ve bu nedenle de bu bilgi, genel eğitimin bir parçası olarak edinilmelidir. *Mikrobiyoloji okuryazarlığı, tüm dünyada, vatandaşların görev tanımlarının bir parçası haline gelmelidir. Bu konuları eğitim müfredatına alarak toplumda mikrobiyoloji okuryazarlığı oluşturmak için biz burada, okul öncesinden liseye kadar tüm yaşlara uyarlanabilecek ve anahtar mikrobiyal aktiviteler ile bunların günlük yaşamımıza olan etkisini, insanlığın ve gezegenimizin karşı karşıya olduğu “Büyük Sorunlar”ı ile sürdürülebilirlik ve “Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri” bağlamında ele alan temel bir öğretim kavramı ve formatını öneriyoruz. Mikrobiyologların, mikrobiyoloji derneklerinin, mikrobiyoloji profesyonellerinin bu girişimde yer almalarını; gerek temel kavramların biçimlendirilmesine yardım ederek, gerekse çocuklara uygun ve çekici öğretim araç ve materyaller geliştirilmesi için kaynak oluşturarak girişimin etkisini güçlendirmelerini; daha da önemlisi öğretmenleri, politikacıları, iş adamlarını ve ilgili resmi ve gayri-resmi kuruluşları bu girişimi destekleme ve geliştirme için ikna etmek suretiyle katkı sağlamalarını öneriyoruz. Mikrobiyoloji okuryazarlığı toplumda gerçeklik kazanmalıdır.*

Bağlam

Mikrobiyomlar ve biyomlar.

Mikroorganizma toplulukları, biyosferdeki tüm makroorganizmalarla -hayvanlar ve bitkilerle- temasta olan vücudumuzun bütün yüzeylerinde ikinci bir deri tabakası oluşturur. Bu mikrobiyal “deri”, ek dinamik ve ekofizyolojik bariyerler oluşturmak suretiyle epitel yüzeylerinin fiziksel ve kimyasal bariyer fonksiyonlarını (örneğin patojen saldırısına karşı) kuvvetlendirir. Bariyer aktivitelerine ek olarak bu mikrobiyal topluluklar ayrıca, konakları ile çok yönlü, karmaşık ilişkiler kurar; konaklarının temel fonksiyonlarını gerçekleştirmesinde ve biyolojik özellikleri ile esenliklerini sürdürmesinde önemli rol oynarlar. Örneğin, bitkilerle ilişkili mikroplar, büyüme için gerekli olan azot gibi esansiyel minerallerin kazanılmasını sağlar (gerçekten de, mikropların aracılık ettiği azot fiksasyonu olmasa bitkiler, onları tüketerek gelişen ve evrimleşen hayvanlara yetecek miktarda biyokütle üretemezdi); ayrıca, bitkileri enfeksiyonlara karşı korur ve bitkinin büyümesini hızlandıran hormon benzeri bileşikler üretirler. Bitkilerin taşıdığı bazı mikroplar hayvanlar için toksiktir ve bu sayede bitkiyi avcılarına karşı koruyan bir savunma aracı olarak görev yapar. Mikroorganizmalar hayvanları hastalıktan korur; inekler gibi gevişgetirenlerin yediği besinleri fermente eder ve böcekler için gıdaları sindirirler. Esas olarak tüm makroorganizmaların yüzeyleri mikrobiyal topluluklarla kaplı olmakla birlikte, bazıları konak hücrelerinin içinde yaşayan ve “endosimbiyotik” olarak adlandırılan mikroorganizmalar da barındırılırlar. Endosimbiyontlar; böcekler (bazıları hattâ konağının cinsiyetini bile belirleyebilir), süngerler, bitkiler gibi çeşitli organizmaların ve protozoonlar gibi bazı başka mikroorganizmaların yaşam döngüsünde önemli roller üstlenirler. Fotosentez yapan organizmalarda güneş enerjisini toplamaktan (plastidler) ve çoğu organizmada enerji üretiminden sorumlu (mitokondri) olan hücre içi organeller; endosimbiyotik bakterilerden evrilmiştir. *Mikrobiyom* [mikrobiyom: Özelleşmiş fiziko-kimyasal özellikleri olan ve iyi tanımlanmış bir yaşam alanını işgal eden, karakteristik mikrobiyal topluluk. Terim sadece içinde yer alan mikroorganizmaları değil, aynı zamanda bunların sergiledikleri eylemleri de içermektedir (Whipps ve ark., 1988)] olarak adlandırılan bir organizmanın mikrobiyal komponenti, organizmanın kimliği ve ekofizyolojisinin vazgeçilmez bir özelliğidir: mikroptan arındırılmış hayvanlar ve bitkiler, gelişme programları sekteye uğratılmış laboratuvar ucubeleri olup kendi doğal ortamlarına uyum sağlayamazlar ve doğal ortamda yaşayamazlar. *Mikrobiyom* ile konağın oluşturduğu bütünleşmiş yapı, *biyom* olarak adlandırılır. Mikrobiyomun uyumunun bozulması, *disbiyozis* denen duruma yol açar ve mikrobiyomun konağıyla ilişkileri ile organizmanın esenlik halinin devamı için gereken fonksiyonları da bozar. Nitekim bu durum, arılarda bağırsak mikrobiyal topluluğunun glifosfat herbisidi ile bozulması sonucunda patojenlere duyarlılığın arttığının gösterilmesiyle kanıtlanmıştır (Motta ve ark., 2018).

İnsan vücudunun %50'si mikroplardan oluşur

Hücre sayısı açısından bakılacak olursa, insan *biyomunun* %50'sini mikroplar oluşturur (Sender ve ark., 2016). İnsan bağırsak mikropları, aldığımız gıdaların çoğunu sindirir ve onları özümseyebileceğimiz ve yararlanabileceğimiz besin maddelerine dönüştürür; esansiyel vitaminleri, aminoasitleri ve kendimizin yapamayacağı diğer mikrobeseinleri oluşturur; hormon benzeri bileşikler üreterek ikinci bir endokrin sistem gibi çalışır (Brown ve Hazen, 2015). Birçok fiziksel ve ruhsal hastalığın gelişiminde önemli rol oynarlar (Wang ve ark., 2017; Du Toit, 2019). İnsan mikrobiyom *disbiyozisine* en güzel örnek, bağırsak mikrobiyal topluluğunun antibiyotik kullanımına bağlı olarak bozulması sonucu *Clostridium difficile*'nin üstünlüğü ele geçirmesi ve psödomembranöz enterokolite neden olmasıdır (Bartlett, 1979). Doğumdan ölüme kadar mikrobik ortaklarımızla sıkı fıkı, dinamik ve karşılıklı yarar sağlayan bir ilişki içinde yaşadığımızı ve iç içe geçmiş bu iki taraflı ilişkinin bizim (ve tabii ki onların da) ne ve nasıl – dolayısıyla kim– olduğumuzu önemli ölçüde belirlediğini anlamamız, son derece önemlidir. Descartes'in sözlerini güncelleyecek olursak: *Düşünüyorum, öyleyse varız.*

Tanıdığımız insanlar hakkında ne kadar az şey bildiğimizi, haliyle onlara ne ölçüde güvenebileceğimizi dert ettiğimiz halde, iç içe yaşadığımız, hakkımızda esas söz sahibi olan hatırı sayılır "arkadaşlar"ımız hakkında neredeyse hiçbir şey bilmiyoruz. Kişisel esenliğimizi en üst seviyeye çıkarma becerisi kazanabilmek için şunları çok iyi kavramamız gerekiyor:

- *Mikrobiyal ortaklarımız ne yapıyorlar?*
- *Yaptıklarının bize etkisi nedir?*
- *Mikrobiyal ortaklarımız ve onların eylemleri, bizim yaptıklarımızdan nasıl etkilenmektedir?*
- *Karşılıklı yararı artırmak için ilişkilerimizi nasıl geliştirebiliriz?*

İnsanlığın hizmetinde mikroplar

Mikroplar bizleri sadece birey olarak etkilemez. Onlar ezelden beri insan türüne kahramanca hizmet etmişlerdir. Önceleri gıda ve içeceklerin mayalanmasında (bira, şarap, mayalanmış süt ürünleri), ekmek yapımında, bağlayıcı materyallerin üretiminde (ketenin havuzlanması), toprak verimliliğinin sürdürülmesinde (azot fiksasyonu yapan bakteriler içeren baklagillerin kullanımı, mikrobiyal biyokütle ile fertilizasyon) kullanılırken, daha sonra evsel ve endüstriyel atıkların degradasyonu ile kirliliğin azaltılmasında ve temiz içme suyu elde edilmesinde mikroplar kullanılmıştır. Özellikle, gıdaların bozulmadan saklanabilmesi ve besin değerinin artırılması için fermentasyon ve daha sonraları insan atıklarının mikroplarla muamelesi sonucunda patojen yükünün azaltılması ile hijyende sağlanan gelişmeler, medeniyetin yükselmesine, insan ömrünün uzamasına ve kalitesinin artmasına önemli katkıda bulunmuştur.

Çok daha yakın zamanlarda mikroplar, yeni gelişmekte olan biyoeconomide de başrolü üstlenmiş bulunuyor (örn. bkz. Timmis ve ark., 2017 a). Aynı zamanda küresel ekonomi çerçevesinde Dördüncü Endüstri Devrimi (4IR) olarak da adlandırılan önemli bir dönüşüm yaşanmıştır. Sınırsız erişim, yapay zekâ, kütleli algılama, büyük verilerin işlenmesi, robotik ve diğer özellikleriyle birlikte 4IR; sıfır atıklı, zararlı salınım oluşturulmayan, her şeyin yeniden kullanılabilirdiği (örn. Nielsen 2017'ye bakınız) bir döngüsel ekonomi bağlamında ürünlerin pekâlâ sürdürülebilir bir biçimde üretilebileceğini akıllara getirmiştir. Mikroplar tarafından yönlendirilen süreçler, aşırı koşullara, yüksek enerji girdisine ve zehirli reaktanlara gereksinim duymadıkları için, 4IR bakımından idealdir. Oluşturulan yeni materyaller ve atıklar, ayrıca sürece dâhil olan reaktanlar, kolaylıkla geri dönüştürülebilir niteliktedir. Dolayısıyla, mikrobiyal biyokataliz aracılığı ile gerçekleşen kimyasal dönüşümler, önceleri kimyasal süreçlerin sadece önemsiz bir tamamlayıcısı olup az sayıda yüksek/katma değerli biyoaktif molekül üretimine odaklanırken, artık yenilenebilir hammaddelerin ürüne dönüştürülmesinde kullanılan büyük ölçekli kimyasal yöntemlere karşı sınanmış ve çevresel bakımdan da sürdürülebilir bir alternatif olarak ortaya çıkmaktadır. Bu gelişmelerin merkezinde hücre fabrikaları (çoğu mikrobik) ve doğal veya yeniden programlama ile onlardan elde edilen enzimler yer alır.

Biyokatalize ek olarak geniş bir çeşitliliğe sahip güncel mikrobiyal işlemlere verilebilecek örnekler şunlardır:

- Çeşitli gıdaların (yoğurt, peynir, natto, tek hücreli protein, çikolata, olgunlaştırılmış sosis, turşu, probiyotikler), gıda tatlandırıcılarının (vanilya, soya sosu, kimchi, paa deak, sumbala) ve gıda takviyelerinin (vitaminler, aminoasitler, folat, probiyotikler) üretimi,
- İlaç (antibiyotikler, hormonlar, biyolojik ürünler), aşı, tanısal ve biyosensör izleme sistemleri ve kişisel bakım ürünleri üretimi,
- Ekinlerin büyüme ve korunmasının sağlanması,
- Çeşitli kimyasallar ve biyomaddelerin (biyoplastik, mikrobiyal selüloz) üretimi için mayalama,
- Elektrosentez ve sera gazı karbon dioksitin kimyasal sentez için kullanımı gibi yeşil kimya mühendisliği,
- Enerji üretimi (biyogaz, mikrobiyal yakıt hücreleri),
- Doğal kaynakların korunması (örn. metallerin kirliliği yüksek termal süreçler yerine endüstriyel biyo-özütlenmesi)
- Atık su arıtılması ve kirliliğe maruz kalmış alanların biyolojik yöntemlerle ıslahı
- Tarihi kültürel mirasların (anıtlar, heykeller, freskler, resimler, belgeler) biyolojik yöntemlerle temizlenmesi, restorasyonu ve korunması

Bütün bunlara ek olarak, henüz geliştirilme aşamasında olan pek çok başka uygulama arasında mikrobiyotaya disbiyozisine bağlı hastalıkların (psödomembranoz enterokolit, inflamatuvar bağırsak hastalıkları, obezite, şeker hastalığı ve çeşitli psikolojik bozukluklar gibi; örn. Rossen ve ark., 2015) mikrobiyal tedavisi; biyoteknoloji bakımından önem taşıyan hücre ve organizmalara yüksek üretim/aktivite kazandırmak için sentetik biyolojik yeniden programlama; ekosistem-düzeyinde biyomühendislik ve benzer başka uygulamalar bulunmaktadır. Mikropların büyüleyici metabolik becerikliliği, kütlelerin, özel kimyasal ve materyallerin sürdürülebilir üretimi için sürekli yeni fırsatlar sunmaktadır (Lee ve ark., 2019).

Mikrobiyal etkinliklerin sunduğu yeni fırsatları zamanında fark edebilme, potansiyel yarar ve zararlarını doğru olarak değerlendirebilme ve onlardan yararlanmamızı kolaylaştıracak eylemler üzerine kanıta dayalı karar verme ve eyleme geçme becerisi, bilgiye dayalı, biyomerkezli ekonomilerin hem rekabet gücü kazanması hem de sürdürülebilir uygulamalara doğru yol alması için şarttır. Bunu mümkün kılmak için ise, ana paydaş olarak genel toplum da dâhil olmak üzere karar verme zincirinin bütün kademelerinin, temel mikrobiyoloji bilgisine sahip olması gerekmektedir.

Gelecekte ilerleme, esenlik, sürdürülebilirliğe ulaşma ve medeniyetin yükselmesi, temel mikrobiyolojik süreçler hakkında bilgiye dayanan politik kararların alınmasına bağlı olacaktır. Gelecekte kaydedeceğimiz ilerlemenin hızı ve yönü ise, aşağıdaki konulara verdiğimiz önem ölçüsünde değişecektir:

- *Mikrobik süreçlerin agnostik bir şekilde araştırılması ve böylece olası yeni mikrobiyal temelli ticari yaklaşımları öngörme ve tanımlama kapasitemizin sürekli olarak geliştirilmesi¹,*
- *İnsan ve gezegen sağlığının iyileştirilmesi için yeni uygulamalardan yeterince yararlanma,*
- *Çağdaş uygulamaların yaygınlaştırılması ve daha da iyileştirilmesi,*
- *Hedefe uygun araştırma - geliştirme ve ticarileştirme çalışmalarını teşvik eden, bunların önünü açan kanıta-dayalı karar ve özkaynak aktarımı sistemlerini projelendirme, bu projelere ilişkin paydaş tercihlerinin yeterince göz önüne alınması.*

Mikroplar bizi hem bireysel hem de toplu olarak yaygın boyutlarda ve derinlemesine etkiler

Mikroplar hayatımızı çok çeşitli şekillerde etkiler ve bu nedenle de, verdiğimiz pek çok kişisel kararda etkin bir rol oynarlar. Örneğin, sezaryenle (aseptik) doğum veya normal doğum yapma (bebeğin annenin mikropları ile kolonizasyonu; Wampach ve ark., 2018), anne sütüyle beslenme [bebeğe anneden patojenlere karşı koruyucu antikörlerin aktarılması, insan sütündeki oligosakkaritlerin, bağışıklık sisteminin sağlıklı gelişmesini düzenlediği düşünülen bifidobakterilerin yerleşmesini desteklemesi (Gomez de Agüero ve ark., 2016; Moossavi ve ark., 2018), anne sütünde anneye ait mikropların varlığı, vb. (Milani ve ark., 2017)]. Ev temizliğinde güçlü deterjanların sık kullanımı (bebeklerin mikrobiyomunda çeşitlenmeyi ve bundan görecekları yararı azaltır: Finlay ve Arrieta, 2016; Gilbert ve Yee, 2016; Bach, 2018; Sharma ve Gilbert, 2018; veya hastaneler için Caselli, 2017'ye bakınız), aşılama veya bir enfeksiyon için tedavi görme (Lane ve ark., 2018), fosfor içeren ev temizliği malzemeleri kullanımı (Richards ve ark., 2015; yerel sularda ötrofikasyona –sudaki azot ve fosfatın artmasına– ve zararlı alglerin aşırı çoğalmasına yol açabilir), germisit içeren sabun kullanma (cilt mikrobiyotasında disbiyozise neden olabilir; Gilbert ve Yee, 2016), bir köpek edinmek (mikrobiyotaya alışverişini hızlandırır, Trinh ve ark., 2018; boşaltma havzalarına fosfor girdisini artırır, Hobbie ve ark., 2017) veya hangi yiyeceğin tüketildiği (örn., sığır eti azımsanmayacak bir metan izi bırakır; sığır eti ve süt ürünlerinin tüketimi kanser gelişimi ile ilişkilendirilmiştir, zur Hausen ve ark., 2017; diğer et türleri ve sebzeler: üretim yeri, raf ömrü, bilinen risk faktörleri ile ilişkisi, vb.) ve nasıl saklanıp nasıl hazırlandığı, evlerimizin ne kadar havalandırıldığı/nemlendirildiği/kurutulduğu ve daha niceleri.

Bu durum, pek çoğumuzun büyük bir zevkle yerine getirdiği ancak, kendi ev çevremizde bulunmayan veya daha az bulunan çok çeşitli enfeksiyonlar ve bazıları hayatı tehdit edebilen mikropların neden olduğu çeşitli hastalıklarla bizi aşağıda sıralanan şekillerde karşı karşıya bırakabilecek sadece tek bir aktivite örnek verilerek açıklanabilir: Tatil ve boş zaman aktiviteleri.

- Tatlı suya veya denize *girmek* (örn., *Cryptosporidium*, *Vibrio vulnificus*, *Leptospira*, vb.), iyi klorlanmamış havuzlar ve özellikle de sıcak su küvetleri (*Mycobacterium*, *Pseudomonas*, *Legionella*, *Candida*, *Trichophyton*, *Giardia*, vb.)
- Az pişmiş veya kontamine gıdalar, özellikle de deniz ürünleri *yemek* (örn., *Salmonella*, *Vibrio*, EHEC, *Campylobacter*, *Listeria*, *Norovirus*, hepatit virüsleri ve çeşitli parazitler) ve hatta iyi pişmiş ancak ısıya dayanıklı toksinler içeren gıdaların tüketimi (öldürücü

¹Yeni keşifler, araştırma ürünüdür. Bununla birlikte, çeşitli disiplinler veya disiplin grupları tarafından organize edilen araştırmalar, disiplinler-ötesi keşiflerin yapılmasının önünde bir engel oluşturabilir. Oysa önemle belirtmek gerekir ki, çevrenin korunması, insan sağlığı ve gıda güvenliği için gereken değişikliklerin çoğu için, disiplinler-ötesi araştırmalar planlamak ve uygulamak zorunludur. Mikrobiyoloji, doğası ve uygulama alanları açısından o kadar geniş ve yaşam üzerine etkileri açısından da o kadar vazgeçilmez bir disiplindir ki *mikrobiyoloji okuryazarlığı*, araştırmacıların ister istemez daha disiplinler-arası davranmasını beraberinde getirecektir. Şüphesiz ki bu da, bugün karşı karşıya kaldığımız pek çok çevre/sağlık sorunu için yenilikçi çözümler bulunması ve yönetim seçenekleri geliştirilmesi anlamına gelir.

kızıl gel-git nörotoksini ve birçok mikotoksin de dahil olmak üzere)

- Kontamine içecekler *içmek* (örn., su, meyve suları, vb.)
- Yeni eşlerle *cinsel aktivite* (klasik cinsel yolla bulaşan enfeksiyonlar fakat ayrıca, HIV, vb.)
- *Tatil yerinin seçimi*; sarıhumma, sıtma, Zika virüs, hepatit virüsü, Dengue virüsü, Lyme hastalığı ve tüberkülozun endemik olabileceği yöreler
- *Konaklama ve sağlık aktivitelerinin seçimi*; gemi turları gibi (örn. *Cyclospora*, *Norovirus*, *Legionella* ve mikobakteriler)

Tabii ki iş seyahatleri de bizi benzer tehlikelerle karşı karşıya bırakabilir, hatta sağlık turizminin kendisi – cerrahi ve hastane ile ilişkili enfeksiyonlar gibi – bazı ek riskler taşıyabilir.

Mikropların etkinlikleri, toplu girişimleri de aynı şekilde etkiler. Bu nedenle, yeni bir hammadde kullanılmaya başlanması/bir endüstriyel üretim tesisinde yeni bir atığın ortaya çıkması, bir gıda ürününe yeni bir katkı maddesi eklenmesi, yeni bir gıda tedarik zincirinin oluşturulması, yeni bir halk sağlığı önlemi alınması, yeni tarım uygulamalarına geçilmesi veya denizlerimizin degradasyondan korunması için yeni önlemler alınması gibi pek çok stratejik/politik kararda mikrobik faaliyetlerin dikkate alınması şarttır.

İster kişisel ister politik düzeyde olsun, öngörülebilir ve arzulanan sonuçlar doğurma ihtimali yüksek ve etkili kararlar almamız gerekiyorsa, söz konusu durumda hangi mikrobiyal eylemlerin önem taşıdığını, bu eylemlerin söz konusu uygulama üzerinde ne gibi etkiler yaratabileceğini ve uygulamadan nasıl etkileneceğini bilmemiz gerekir. Günlük hayatta alacağımız rutin kararların temelinde hep şu kavramlar yer almalıdır:

- *Eylemlerimiz hangi istenmeyen sonuçlara yol açabilir? ve*
- *Bu tip sonuçların bize ve çevremize vereceği zararı azaltmak veya ortadan kaldırmak için davranışlarımızı nasıl değiştirebiliriz?*

Mikroplar tüm biyosferi yaygın biçimde ve derinden etkiler

Mikroplar, yaklaşık dört milyar yıl önce ortaya çıkan ilk canlı biçimlerindendir ve gelecekte de insanlarla diğer canlıların yok olmasından sonra daha uzun süre Dünya gezegeni üzerindeki yaşamlarını sürdürecektir. Mikropların görünmez dünyası, bize daha tanıdık olan görülebilir organizmalara kıyasla çok daha büyük bir evrimsel ve metabolik çeşitlilik sergiler. Biyokütle açısından ifade etmek gerekirse, okyanusların %90'ı mikroplardan oluşur. Fotosentez yapan algler ve siyanobakteriler deniz planktonlarının ana unsurlarını oluştururlar ve okyanuslardaki beslenme zincirinin

temelidirler. *Prochlorococcus* ve *Synechococcus*, yılda yaklaşık 10 milyar ton karbonu havadan temizler, bu miktar okyanuslardaki toplam karbon fiksasyonunun yaklaşık üçte ikisi kadardır. Mikroplar, atmosfere sera gazı salınımını önemli ölçüde etkileyen küresel ve yerel biyo-jeo-kimyasal işlemleri regüle eder, iklim değişimini etkiler, dahası, insanların, hayvanların, bitkilerin, toprağın ve su kaynaklarının sağlığını düzenler. Soluduğumuz oksijenin %50'sini mikroplar üretir. İlk mikroplar, oksijen kullanan tüm organizmaların evrimleşmesi için gerekli oksijeni üretmiş ve yaşamın okyanusların dibinden yeryüzüne çıkmasını mümkün kılan ozon tabakasını oluşturmuştu. Mikroplar, en önde gelen atık geri-dönüştürücüler olarak gezegenimizi yenilerler. Mikroplar her yerde mevcuttur ve mikrobiyal faaliyet, gezegenimizdeki her türlü yaşamın kalitesini etkiler ve yaşamın sürdürülmesini sağlar. *Mikroplar biyosferin yaşam destek sistemleridir*. Her ne kadar biz insanlar kendimizi gezegenimizin sağlığının yöneticisi olarak görsek de, mikroplar, gezegenimizdeki faaliyetlerin regülasyonu ve değiştirilmesinde bizden çok daha güçlü bir etkiye sahiptirler. *Uç senaryo (in extremis)*: Besin zincirinde kritik bir işlev yerine getiren bir mikrop topluluğu sayet biyosferden yok olur ve yerine getirdikleri işlev de fonksiyonel olarak eşdeğer bir başka topluluk tarafından üstlenilmez ise, bildiğimiz anlamda Dünya üstündeki yaşam yok olur². Sanayi, yoğun tarım ve insan nüfusunun artmasından kaynaklanan kirletici atıkların etkisini tersine çevirmede güvenilebileceğimiz tek müttefiğimiz ise (de Lorenzo ve ark., 2016), hem aktivite hem de boyutları itibarıyla, global çevre mikrobiyomundan başkası değildir.

²Her ne kadar ilk bakışta bu düşünce (özellikle aşağıda yer alan tüm mikroplar her yeredir açıklaması ile birlikte) biraz zorlama gibi görünse de şunları düşünmeye değer: çevre-doğal yaşam ortamı şartlarındaki değişiklikler, örneğin küresel ısınma, ortamı sakinleri için yaşanmaz hale getirebilir. Bunun sonucunda bu alanda yaşayanların (1) daha uygun yaşam ortamlarına göç etmesi, (2) yeni koşullarla baş edebilmelerini, bu koşullara daha iyi uyum sağlayabilmelerini sağlayacak yeni özellikler edinmesi-geliştirmesi veya (3) ölmesi ve eğer coğrafi olarak kısıtlanmışlarsa muhtemelen nesillerinin tükenmesi gerekir. Değişimden en kolay, hızlı çoğalan organizmalar etkilenir. Ancak biyosferin birçok yaşam alanındaki mikroplar son derece yavaş çoğalır. Değişiklikler hızla ortaya çıkarsa, bunların ölebileceği akla yatkındır. Herhangi biri, kritik bir biyosfer işlevini yerine getiren bir grubun üyesiye, bunun ciddi sonuçları olacaktır. Curtis (2006) bu durumu açıkça vurgulamıştır: “... Eğer son mavi balina veya son panda boğularak ölecek olursa, bu durum çok yıkıcı olsa da dünyanın sonu gelmez. Ama yanlışlıkla amonyak oksitleyici son iki türü zehirleyecek olursak sonuç tamamen farklı olur. Bu, şu anda bile gerçekleşiyor olabilir ve ruhumuz bile duymayabilir...”

Hepimiz mikropların gezegendeki süreçler ve sağlığımız üzerinde oynadığı merkezi rolün bilincinde olmalı; mikropların ne yaptığını ve ne yapabileceğini öğrenmeliyiz. Ancak o zaman gezegenimizin sağlığı için etkili işbirlikleri ve stratejiler oluşturabiliriz. Dolayısıyla mutlak surette:

- *Mikrobiyolojik olarak yönlendirilen besin döngüleri ile gezegenin işleyişi ve biyosfer sağlığı arasındaki hassas dengeyi anlamalı ve takdir etmeliyiz*
- *Biyosferin işleyişinde hayati bir rol oynayan mikrop toplulukları üzerinde (istemeden bile olsa) olumsuz bir etki yapmadığımızdan emin olmalıyız.*

İnsanlığın karşı karşıya olduğu büyük zorlukların üstesinden gelebilmek ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşabilmek için yapmamız gereken tek şey, mikropların faaliyetinden yararlanmaktır

Günümüzde insanlık pek çok büyük zorlukla karşı karşıyadır. Bu “Büyük Zorluklar”ın bazıları, gıda, temiz su, sağlık, eğitim, enerji ve hammaddeye erişimde dengesizlik, süregiden yoksulluk, küresel ısınmaya bağlı olarak deniz seviyesinin yükselmesi sonucu meskûn toprakların kaybı ve çölleşmedir. İnsanoğlunun ve gezegenimiz Dünya’nın bu ihtiyaçları sürdürülebilir bir şekilde karşılayacak bir eylem planına ihtiyacı vardır. Bunlara Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri’nde (SKH) ayrıntılı bir şekilde yer verilmiştir (SDGs; United Nations (2015) Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development. <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld>).

“Microbial Biotechnology” dergisinin (2017) son sayılarından birinde sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmaya katkı sağlayan ya da katkı sağlama potansiyeline sahip olan çeşitli mikrobiyal teknolojiler araştırılmıştır. Bunlar arasında, sürekli artan insan nüfusuna yetecek gıda kaynakları geliştirilmesi (Garcia ve ark., 2017; Trivedi ve ark., 2017), sera gazları salınımı, küresel ısınma ve bunun yol açtığı bazı olumsuz sonuçlar, küresel kirlenme sorunlarını çözebilecek ve yenilenebilir enerji kullanımını maksimize edecek, tüm dünyada doğal kaynakların sürdürülebilir tüketimini sağlayacak teknolojiler ve benzerleri bulunmaktadır (örn. de Lorenzo, 2017; Verstraete ve de Vrieze, 2017). Söz konusu sayıda ayrıca mikrobiyal biyoteknolojinin bir başka sürdürülebilir kalkınma hedefi olan “sürdürülebilir ekonomik büyüme ve istihdam yaratılması” bakımından da barındırdığı müstesna potansiyele atıf yapılmış, kısmen Biyoekonomi bağlamında, kısmen de başka bağlamlarda yeni girişimler, istihdam ve zenginlik ile ilişkilendirilmiştir (Timmis ve ark., 2017b). Gene aynı dergide, 2017 ve 2018’de, “Yeni Girişimler ve İstihdam Yaratma Kaynağı Olarak Mikrobiyom” üst başlığı altında yer alan bir dizi

başmakalede mikrobiyom teknolojisinin yeni girişim ve istihdam fırsatları yaratma kapasitesi irdelenmiştir.

Büyük Zorlukları yenme ve SKH’ye ulaşmaya götüren uzun yolda gerçekleştirilmesi zorunlu eylemlerin çoğu, mikrobiyal süreçleri kapsayacaktır. Bu eylemleri başlatmak/idame ettirmek/katkılarını artırmak için alınması gereken belli başlı politik kararlar ise, mutlaka söz konusu mikrop faaliyetleri hakkında bilgiye ve maksimum yarar elde etmek için bunların nasıl yönlendirilmesi gerektiğine dair fikir sahibi olmaya dayanmalıdır.

Temel mikrobiyal süreçler hakkında bilgiye dayanan kararlar, büyük, hatta bazı durumlarda küresel felaketler yaşanmasını engelleyebilir

Gezegenin evriminde olsun, biyolojik evrimde olsun mikroplar hem başrol oyuncusu hem de ana paydaşlardır. Haliyle, mikropların sürece katkısı hakkında farkındalık yoksa, bilgi eksikse, bu katkı takdir edilmiyorsa veya mikropların oynadığı rol herhangi bir değişiklik planlanırken hesaba katılmamışsa, bu durum, her düzeyde (uluslararası, ulusal, bölgesel ve bireysel) politika geliştirme ve uygulamalarını riske açık, optimal olmaktan uzak ya da etkisiz kılacak, en kötü hallerde de zarar verecektir. Nitekim aslında önlenmeleri pekâlâ mümkün olduğu halde izlenen yanlış karar verme politikası yüzünden -ya da aslında ortada hiç bir karar verme politikası bulunmadığı için- olumsuz yönde gelişmiş bazı felaketlere örnekler şunlardır:

Antibiyotik direnci krizi. Daha 1960’larda ve 1970’lerin başında, Falkow (Falkow ve ark., 1961; Falkow, 1970, 1975), Watanabe (Watanabe, 1963; Watanabe, 1966) ve Levy (Levy ve ark., 1976, Levy, 1982) gibi bazı önde gelen mikrobiyologlar, antibiyotiklerin aşırı reçetelenmesi ve klinik-dışı kullanımı yüzünden gelişen antibiyotik direnci ve bunun yaygınlaşması konusunda uyarılarda bulundular (aslında, penisilinin kaşifi Alexander Fleming de 1945’de yaptığı Nobel konuşmasında bu tehlikeye dikkat çekmiş ve uyarıda bulunmuştu: <https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/fleming-lecture.pdf>). Benzer uyarılar o günden beri defalarca tekrarlandı, bazıları su ürünleri yetiştiriciliğinde antibiyotik kullanımı konusunda ısrarlı uyarılarda bulundu (örn., Cabello, 2006), ama bütün bunların pek yararı olmadı. Bugün ise, antibiyotik direncini tıbbın karşılaştığı en önemli zorluklardan biri olarak görüyoruz; zira hayatı tehdit eden pek çok enfeksiyon vaktiyle tedavi edilebilir iken, antibiyotik direnci yüzünden artık tedavi edilemez hale gelmiştir. (http://wpro.who.int/entity/drug_resistance/resources/global_action_plan_eng.pdf). 2050 yılında antibiyotik direncinin yol açacağı risk, “İlaça Dirençli Enfeksiyonlarla Küresel Mücadele: Son Rapor ve Öneriler” ([https://amr-review.org/sites/default/files/160518_Final%20paper_with%](https://amr-review.org/sites/default/files/160518_Final%20paper_with%20)

20cover.pdf) başlıklı uluslararası raporda şöyle öngörülüyor: Toplam 100 trilyon \$ maliyet ve yılda 10 milyon önlenebilir ölüm (ilginç olan, söz konusu raporda sayılan dört önerinden ilkinin, özellikle çocuklara ve gençlere yönelik bir *Küresel Toplumsal Farkındalık Kampanyası* düzenlemek olmasıdır. Söz konusu kampanya için yıllık olarak 40-100 milyon \$ öngörüldüğü halde, garip biçimde içinde temel eğitim yoktur). Bunun yanı sıra, hayvancılıkta ve su ürünleri yetiştiriciliğinde antibiyotiklerin klinik dışı kullanımının 2010-2030 yılları arasında %67 oranında artacağı öngörülmektedir (https://amr-review.org/sites/default/files/160518_Final%20paper_with%20cover.pdf). Sağlık otoriteleri, politikacılar, işadamları (ve en önemlisi de tüm toplum), mikropların bulundukları ortamda meydana gelen değişikliklere cevap olarak –ki bu örnekte ortama yoğun biçimde güçlü antimikrobiyal bileşikler veriliyor– hızla evrimleşme ve yeni yeni işlevler edinme yeteneğinde olduğunu bilseler ve Falkow ile aek.nın uyarılarını dikkate alabilselerdi, bugün çok daha farklı bir durumda bulunabilirdik.

Neredeyse eradike edilmiş çocuk hastalıklarının geri dönüşü. Kızamık, boğmaca ve difterinin bu hastalıkları neredeyse eradike etmiş ülkelerde yeniden ortaya çıkması aslında tamamen engellenebilirdi, şayet aşılama karşı akımlar nedeniyle aşılama kapsamında gerileme olmasa idi. Aşı karşıtı akımlar, aşıya bağlı riskleri ve altta yatan mikrobiyolojiyi kavramaktan uzak olduğu kadar, kanıta dayalı olmayan kişisel seçimlerin de – aşılama karşı mesafeli duruş gibi– bir yansımasıdır (Lane ve ark.,2018).

Alerjilerde artış. Ciddi çocukluk enfeksiyonları ile ciddi biçimde mücadele etmek gerekiyor olsa da, hafif enfeksiyonlara ve çevredeki mikroplara makul düzeyde maruz kalmanın küçük çocuklarda sağlıklı bir bağışıklık sistemi gelişimini kolaylaştırdığı düşünülmektedir (Bach, 2018). *Mikrobiyofobi* (jermofobi) gelişmesi ve tüm mikropların kötü olduğu ve sağlıklı bir ev ortamı yaratmak için hepsinin yok edilmesi gerektiğine dair reklam kampanyalarının yarattığı algılar, toplumumuzda gözlemlenen immün fonksiyon bozuklukları patlamasına (örn. alerjiler, astım, ekzama ve hatta nörolojik bozukluklar) önemli katkıda bulunmuş olabilir. Güçlü mikrop öldürücü kimyasallar içeren sabunların kullanımıyla birlikte cilt yüzeyindeki mikropların azaldığı, haliyle bu mikropların cilt kanserine karşı sağladığı koruyucu etkinin de gerilediği, son araştırmalar ile ortaya konmuş bulunuyor (Nakatsuji ve ark., 2018).Aslında bu tür olumsuz sonuçların önüne geçmek mümkündür. Bunun için yapılacak tek şey, patojen yükünü azaltmaya yönelik hijyen uygulamaları ile bize temel ekofizyolojik hizmet sunan sağlıklı mikrobiyotayı koruma arasında bir denge kurma ihtiyacını kavratacak eğitim önlemlerini almak, bunun yanı sıra bağışıklık sistemimizi de toprak, hayvan ve bitki mikroplarına maruz bırakmak suretiyle eğitmektir (Finlay ve Arrieta, 2016; Gilbert ve ark., 2017).

Sera Gazı Krizi. Mikroplar sera gazlarını hem üretir hem de tüketirler (Cavvichioli ve ark., henüz yayınlanmadı); bu nedenle

bir yandan mikrobiyal salınının azaltılması, öte yandan tüketimin artırılması son derece önemlidir. İşin içine mikroplar girdiğinde, sayısal boyutun ve süreçlerin doğrusal seyretmeyebileceği gerçeğini de mutlaka hesaba katmak gerekir. Sera gazı CO₂'nin mikroplar ve bitkiler tarafından bağlanması, insanların fosil yakıt yakması sonucu oluşan salınımına kıyasla daha yavaştır olduğundan normal döngü dengesi bozulur ve CO₂ düzeyleri hızla yükselir: zira bitki ve mikrop dostlarımız insan aktivitesi ile başa çıkamazlar. Sera gazı salınımları küresel ısınmaya, küresel ısınma da kutuplardaki donmuş toprakların erimesine yol açar, bu ise yeni mikrobiyal metan ve CO₂ üretimine neden olur ve böylece fosil yakıt tüketiminin doğurduğu sonuçların daha da büyüerek ağırlaşmasına yol açar.

Hayvan eti üretimi, özellikle de gevişgetirenlerin üretiminin, azımsanmayacak miktarda sera gazı metan açığa çıkardığı uzun zamandır bilinen bir gerçektir. Et üretiminin kendisi besleyici yem üretimine dayanır ki, bu da azotlu gübre kullanımı ile ilişkilidir. Toprak mikropları tarafından amonyak ve sera gazı CO₂'ye çevrilen üre, uzun zamandır tarımda azotlu gübre olarak kullanılmaktadır (her ne kadar artık modası geçmekteyse de). Diğer azotlu gübreler, son derece potent bir sera gazı olan N₂O'nun mikrobiyal üretimine neden olur (ve tabii ki ötrifikasyona yol açar: besleyici maddeler yüzünden uyarılmış zararlı alg topluluklarının suyollarına karışmasıyla balıklar ölebilir, hipoksiye neden olabilir ve etkilenen su canlılarının kullanımı kısıtlanabilir). Açıkça görülmektedir ki, **temel** beslenme ihtiyaçlarının ötesine geçen et üretim ve tüketim miktarları konusunda önemli kişisel ve politik kararlar vermenin zamanı gelmiştir.

Besleyici maddelerin akarsu yataklarına akması, oksijenin, yerleşik mikrobiyotaya tarafından hızla tüketilmesine yol açarak oksijenin minimum düzeye düştüğü alanların genişlemesine neden olur. Gezegenimizin sürdürülebilir geleceği için dokuz limit saptanmış olup, bunların arasında meselâ iklim değişikliği, biyo-çeşitliliğin kaybı ve ozonun tükenmesi de vardır; fakat en ciddi tehdit altında olan limit olarak azot döngüsü kabul edilmiştir; bunun sebebi ise, günümüzde suni gübre kullanımının bu hayati besleyici maddeyi biyosfere taşıyan tüm doğal süreçlerin çok üzerinde olmasıdır (Rockström ve ark., 2009). Bugün, birçok ülkede bu tip gübrelerin kullanımına sınır getirilmesi tartışılıyor; ne var ki, hızla çoğalan dünya nüfusunu besleme ve toplumun fakir kesimlerinin de alabileceği fiyatta gıda üretme ihtiyacı – tarım işletmelerini ve bunların tedarik zincirlerini bir yana bırakarak bile– birbirleriyle çelişen faktörlerdir. Topraktaki azot değişiminin mahsul verimliliği üzerindeki etkisini başkalarına göre çok daha iyi anlayan çiftçilerin karar verme sürecine katılması ve sağlıklı politikalar geliştirilmesinde yol gösterici olmaları, mantıklı görünmektedir. Ne yazık ki, azotlu gübre kullanımına bağlı olarak sera gazı oluşumunda mikropların oynadığı rol, kişisel karar verme sürecinde de, politik tartışmalarda da nadiren ön plana çıkar, oysa alınacak kararların anlamlı ve etkili olmasını sağlayacak esas nokta tam da budur. Daha genel anlamda, son zamanlarda sera gazı

emisyonsunu kısıtlayan politik kararlar daha çok antropojenik emisyonlarla ilgilidir ve mikropların, CO₂'ye ek olarak N₂O ve CH₄ gibi sera gazlarının da hem ciddi miktarlarda üretimi hem de tüketiminde kilit rol oynadığı tamamen göz ardı edilmektedir. Her halükârda hepimiz, küresel ısınmadan çeşitli şekillerde payımızı almakta olduğumuzdan, birer paydaş konumundayız. Örnek vermek gerekirse, küresel ısınma ile patojenlerin ve vektörlerinin küresel dağılımı değişir, bunun bir sonucu olarak da henüz bağışıklık sistemi gelişmemiş yeni insan ve hayvan popülasyonlarında, korunmasız bitkilerde hastalıklar ortaya çıkar ve salgınlar gelişebilir.

Toprak Krizi. Toprak, Dünya'nın ana deri tabakasını oluşturur. Bitkilerin büyümesini destekler ve inanılmaz çeşitlilikte hayvan ve mikroba ev sahipliği yapar. Bu hayvan ve mikroplar ise, toprak fonksiyonlarını karakterize eden, toprağın sağlıklı olup olmadığını belirleyen sayısız biyo-jeo-kimyasal süreç aracılık ederler. Toprak, yüzey sularını süzerek yeraltı su katmanlarına sızdırır ve milyarlarca insana içme suyu temin eder. Toprak, son derece değerli besleyici maddeler içerir ve Dünya'nın atmosferinde bulunandan üç kat fazla karbon barındırır. Ne var ki, Dünya'nın toprağı hızla erozyona uğramakta, genellikle akarsulara, nehirlerle, okyanuslara karışmakta, içerdiği besleyici maddeleri de yolda bırakmaktadır. Pek çok ülke, toprağın üretilme sürecinden (kayaların aşınması) çok daha hızlı bir şekilde yüzey toprağını kaybediyor. Meteoroloji normallerinin dışına taşan hava olaylarındaki artış, erozyon hızını da artırıyor. Toprakta yaşayan mikroorganizmaların ürettiği polisakkaritler, tutkal görevi yerine getirerek toprağı strüktür verir, dayanıklı kılarlar; böylece de erozyona karşı direncini artırır. Dünyadaki tarım topraklarının daha yirmi birinci yüzyıl sona ermeden felâket boyutlarında kaybedileceği öngörülmektedir, bu da dünya nüfusunu beslemeye yetecek gıdanın üretilmemesine, sularımızı kirliletecek daha da çok miktarda besleyici maddenin açığa çıkmasına ve küresel ısınmayı artıracak karbon salınımına neden olacaktır. Bu kriz önlenmek isteniyorsa, politika oluşturucuların, toprak stabilitesini geliştirecek nitelikte mikrobiyal aktiviteleri daha iyi yönlendirecek, bilgiye dayalı stratejiler geliştirmesi şarttır. Bunun gerçekleşmesini güvence altına almak için ise, esas paydaş olan dünya vatandaşları, problemin ciddiyetini kavramalı ve mevcut mikrobiyal seçeneklerin değerini anlamalıdır. Ama tabii bunun yapılabilmesi için, *mikrobiyoloji okuryazarlığının* kazanılması gereklidir.

Çevrede ve Besin Ağlarında Kirlletici Birikimi. Mikropların çevresel süreçlere katıldığını bilmek yetmez, neyi iyi yaptıklarını neyi pek de iyi yapamadıklarını da bilmek gerekir. Bir vakitler, mikropların o iyi bilinen metabolik becerikliliği sayesinde endüstri, ev, hastane ya da diğer kaynaklardan ortama bırakılan tüm kirlleticilerin icabına bakacağı varsayılıyordu, bazı kısıtlamaları olabileceği ihtimali akla dahi gelmiyordu. Ancak, her ne kadar mikroplar şaşırtıcı çeşitlilikte organik materyali parçalayabilseler de, bazılarının metabolizması yavaş,

hatta bazen çok yavaştır. Bu nedenle çevreyi kirlileten maddelerin üretimi ve çevreye salınımı, mikropların onları parçalama becerisinden çok daha hızlı olursa, bu maddeler birikerek kirliliğe neden olur. Bunun kanıtları, PCBler ve dioksinler gibi uzun ömürlü toksik kimyasalların, üretimlerinin yasaklanmasının üstünden onlarca yıl geçmiş olduğu halde hâlâ günümüz besin ağlarında tespiti ile ortaya konmuştur, ayrıca petrokimya türevi plastik kirliliğinin yarattığı felaket de bunun kanıtıdır.

Bugün enfeksiyon tedavisinde son çare olan ilaçlara karşı gelişen direncin patojenler arasında sinsice yayılması, toprak erozyonu, plastik okyanuslar sorunu ve bunun yaban hayat sağlığına etkileri, besin ağlarında mikroplastiklerin oluşumu ve birikimi gibi pek çok ciddi sorunla karşı karşıyayız. Eğer şunlar yapılsaydı, bu sorunların öngörülmesi ve önemli ölçüde önlenmesi mümkün olabilirdi:

- *Politikacılar, verdikleri kararların mikrobiyolojik süreçler üzerinde yaratacağı etkiyi ve uzun vadeli sonuçlarını anlayabilseydi*
- *Toplumda çok daha geniş bir paydaş kitlesi, günümüzde izlenen politikalar ile sergilenen davranış risklerini değerlendirmek için çok daha önceden güç kazanmış olsaydı*

Ekspozom ve Biyolojik Aktif Maddelere Düşük Düzeylerde Uzun Süreli Kronik Maruziyet Sorunu

Mikrobiyoloji okuryazarlığı açısından özellikle önem taşıyan bir diğer *Büyük Zorluk* ise, biyosferin biyolojik ve kimyasal kirlenmesidir. Zira insanların verdiği kararlar hem problemin sebebidir –çünkü kirlenmeye yol açabilecek politikalar geliştirebilirler– hem de çözümün anahtarıdır –çünkü kirlenmeyi hafifletecek politikaları da geliştirebilirler (*azalt, iyileştir, geri dönüştür*). Biyolojik kirlenme, özellikle de fekal kirlenme, çarpık kentleşmenin bir sonucudur. Gelişmiş ülkelerde bu durum, ancak teknik arızalar ya da aşırı meteorolojik olaylar sonucu ara sıra ortaya çıkan ve büyük ölçüde kontrol altında bir sorun olduğu halde, gelişmekte olan ülkelerde hala güncel bir sorundur. Ne var ki, et üretimi için hayvancılığın endüstrileşmesi sonucu, patojenler de dahil olmak üzere, antibiyotikle zenginleşmiş ve antibiyotiğe dirençli hale gelmiş mikrop içeren aşırı miktarda dışkı ve sair hayvan atığı oluşumu, bu duruma bir başka boyut kazandırmaktadır. Her ne kadar bu atıkların bir kısmı anaerobik sindiricilerde zararsız hale getirilse bile, bir kısmı çevrede kalır ve zarar vermeye devam eder.

Yeni kimyasal ve farmasötiklerin toksisite ve yaşam döngüsü değerlendirmesi, genellikle bunlar dolaşıma sokulmadan önce yapılır. Ne var ki bu değerlendirme, sadece

kısa zaman aralıklarında tespit edilebilen akut toksisite hakkında bilgi sağlar. Ve çoğunlukla da standart modeller üzerinden yapıldığı için, söz konusu kimyasalların barındırdığı kendine özgü tehlikeli özellikler gözden kaçır. Oysa doğrudan etkilenen organizmalar için akut toksisite kadar etkilerini uzun vadede gösteren düşük düzeyli kronik toksisitenin de değerlendirilmesi gerekir ki bu son derece zordur. Pek çok biyolojik aktif kimyasal, özellikle de hastane ve evlerin atık sistemlerinde bulunan farmasötikler, çok düşük konsantrasyonlarda bile aktiftir ve bunlardan bazıları arıtma tesislerinde hiçbir değişikliğe uğramadan çevreye yayılır. Buna ek olarak, bazı kimyasallar çevre mikropları tarafından kısmen parçalanarak çevresel etki değerlendirmelerinde yakalanamayan, orijinal kimyasaldan farklı şekillerde toksisite gösterebilen ve hatta ilk olarak çevreye ulaşan kimyasaldan çok daha zehirli olabilen yeni metabolitler oluşturulabilir. Bu tür kimyasal ve metabolitlere düşük düzeylerde kronik olarak maruz kalmak, bütün nüfus çapında sinsice gelişen sonuçlar doğurabilir. Çevrede yaygın olarak bulunan bileşikler arasında ksenoöstrojenler – endokrin bozucular (Monneret, 2017) de vardır. Ksenoöstrojenler, insanlarda ve diğer hayvanlarda doğurganlığın azalmasından, kısmen de olsa, sorumlu tutulmaktadır. Ayrıca arılar gibi tozlaştırıcıların sayısının azalmasına neden olan insektisitler de, bu bileşikler arasındadır (Godfray ve ark., 2015, Christen ve ark., 2018).

Çok daha zorlayıcı bir başka konu ise, farklı kirleticilerin çevrede birbirine karışması ve bu karışımlara düşük düzeyde kronik olarak maruz kalmanın insan ve çevre sağlığı üzerindeki etkilerinin bilinmemesidir. Ne ki, bu etkinin istatistiksel olarak anlamlı boyutlarda olacağı açıktır. Aslında mikroplar bu tip pek çok bileşiği parçalama yeteneğine sahiptirler ya da böyle bir yetenek geliştirebilirler, dolayısıyla bu bileşiklerin çevreden temizlenmesinde mikroplar daima başrolü oynayacaktır. Bununla birlikte mikroplar, özellikle çok düşük konsantrasyonda bulunduklarında ya da karmaşık karışımlar içinde yer aldıklarında, her kimyasalı parçalayamayabilir veya anlamlı hızda parçalayamayabilirler.

Özetleyecek olursak, biyolojik ve kimyasal kirlenmenin bütün karmaşıklığına ve kirleticileri zararsız hale getiren mikrobiyal kapasitenin de aynı ölçüde karmaşık olmasına rağmen, mevcut kirliliği azaltmanın tek yolu, amaca uygun mikrobiyal süreçler konusunda bilgimizi geliştirmek ve bunları kendi çıkarımız için kullanmaktır. Sentetik mikrobiyoloji yöntemleri kullanılarak üretilenler de dâhil olmak üzere, yeni kimyasalların üretimi tasarlanırken, bunların yaşam döngüleri için tanımlanmış sonlanma noktaları mutlak surette tasarıma dâhil edilmelidir. Sağduyu bunu emrediyor. Ancak yine de şu gerçeği tekrarlamakta yarar var: her ne kadar mikrobiyal dünyanın kendine has kısıtlılıkları olsa da, gezegenimizi zorlayan aşırı kirlenme yükünü azaltmada güvenebileceğimiz tek yardımcı, gene de mikroplar olacaktır (de Lorenzo ve ark., 2016).

Mikropların parçalama becerileri kadar kısıtlılıklarını da tanımak ve anlamak zorundayız. Evrensel kirleticilere maruziyet düzeyimizi belirleyecek olan kirletici miktarını kontrol etme ve azaltma politikalarının merkezinde mikropların yer alması son derece önemlidir. Birbiriyle uyum içinde çalışan, tutarlı ve sürdürülebilir (küresel) politikaların geliştirilmesine şu nedenlerle gereksinim vardır:

- *Yerel, bölgesel ve küresel düzeyde çevremizde bulunan biyoaktif maddelerin ve karışımların tiplerinin ve düzeylerinin düzenli bir şekilde tanımlanması, değerlendirilmesi ve izlenmesinin sağlanması,*
- *Bu maddelerin gezegenimize, toplumumuza ve bireysel sağlığımıza olan etkilerine dair bilinç geliştirilmesi,*
- *Bunları çevreden uzaklaştırmak, toksik etkilerini azaltmak ve besin ağına girmesini ve dolaşmasını azaltmak için harcanan çabaların koordinasyonu,*
- *Bu tip kirleticilere maruz kalma düzeyimizi azaltacak önlemler alınması.*

Küresel bağlantısallık ve mikropların değişime tepkisi

Daha az önemli olmamakla birlikte, son olarak, gezegenimizin iki önemli özelliğini vurgulamamız gerekiyor. Gezegenimizin birinci önemli özelliği bağlantısallıktır. Gezegenin tüm yüzeyi ve atmosfer; su ile, rüzgâr ile ve insan yapımı mekanik tedarik zincirleri ile birbirine bağlanmıştır. Yüzeyde ve atmosferde olan birçok madde, kara, deniz ve hava taşımacılığı sayesinde, bazen binlerce kilometre öteye taşınabilir. Bu *fiziksel bağlantısallığın* herkesin kabul ettiği önemli bir sonucu, plastik atıkların, atıldıkları yerden çok daha uzaklara, okyanusların her tarafına taşınması ve toksik poliklorinlenmiş bifenillerin –PCB–, üretim ve kullanım alanlarından çok uzakta, kutup hayvanlarında tespit edilmesidir. İşte bu nedenle, kimyasalların potansiyel zararlarının her ne kadar üretim merkezinde güvenle kontrol altına alınabileceğini düşünsek de, bağlantısallık ve dağıtım mekanizmaları yüzünden kimyasallar, çok uzaklarda bile sorun yaratabilir. Biyolojik ajanlar da, aktif ve pasif hareketleri sonucunda, biyosferdeki bağlantısallığa ve hareketliliğe katkıda bulunurlar. Havada ve sularda asılı tohumları, polenleri ve planktonları taşıma işini, uçan böcekler, kuşlar ve uçakla seyahat eden insanlar hava yoluyla yaparken, deniz canlıları yüzerek ya da suda süzülerek yapar. 2003 yılında ciddi akut solunum sendromunun (SARS) patlayıcı bir şekilde küresel yayılımı, Asya'dan kaynaklanan influenza epidemisi, Almanya'da, Mısır'dan ithal edilmiş organik çemenotu filizlerinden kaynaklanan enterohemorajik *E. coli* salgını, artan göçlere bağlı olarak hastalıkların yayılması (örneğin Fas gibi Afrika ülkelerinde tüberkülozun artması), İspanya'da kene aracılı Afrika virüslerinin görülmesi, biyolojik bağlantısallık örnekleridir. Uluslararası ticaret de patojenlerin yayılmasında önemli rol oynar ve tüm dünyada en tehlikeli

bitki patojenleri içerisinde yer alan ve tarım, parklar ve çevre üzerine büyük ekonomik etkileri olan *Xylella fastidiosa* gibi patojenlerle ortaya çıkan çeşitli bitki hastalıklarının yayılımından sorumlu olabilir. Vektörleri konağa özgü olduğundan kısıtlı bir konak yelpazesine sahip olan birçok vektör aracılı patojenin aksine *X. fastidiosa*, bitki özü ile beslenen çok çeşitli vektörlerle aktarılabildiğinden çok çeşitli bitki konakları enfekte edebilir. Gezegenin çok farklı noktalarında çekilerek başka bir noktada boşaltılan gemi safra suları, biyogüvenlik problemleri oluşturan zehirli alg türleri gibi yöreye özgü olmayan, bazen de tehlikeli olabilen yeni toplulukların ortaya çıkmasına neden olabilir. Fosfor, demir ve mikroplardan yana zengin çöl kumları, havayla çok uzaklara taşınabilir: Sahra kumları muntazam olarak Avrupa'ya iner, Meksika Körfezi ve Sargasso Denizi'nde alg topluluklarının oluşmasına yol açar.

Su ve hava bağlantısallığı, radyoaktif maddeler dâhil, uzun ömürlü kimyasalların biyosfer ve atmosfere dağılmasını sağlarken, çok küçük, neredeyse ağırlığı olmayan mikropların yayılmasına da yol açar. Kimyasalların aksine mikroplar çoğalabilir, fırsatçı olarak koloniler oluşturabilir ve yaşamaları için elverişli olan herhangi bir yerde etkilerini gösterebilir. Mikropların küresel yayılımı şu mantra ile anlatılabilir: *Tüm mikroplar her yerdedir*. Belki de daha anlamlı bir ifadeyle şöyle denebilir: *eğer mikroplar herhangi bir yerdeki herhangi bir süreci etkilemekten yarar sağlayabilecekse, mutlaka orada olur ve bu yeteneklerini ortaya koyarlar*.

Gezegenimizin ikinci önemli özelliği, gerek doğal olaylarla gerekse insanların kasıtlı eylemleri sonucu ortaya çıkan değişikliklere bir cevap vermesidir. Bu cevap **bazen** öngörülenden çok farklı sonuçlar doğuran, beklenmedik bir tepki olur. Bu durum, fiziko-kimyasal veya **ekseriya** biyolojik, özellikle de mikrobiyolojik, cevaplara bağlı olarak ortaya çıkabilir. Bu nedenle herhangi bir eyleme geçmeye karar vermeden önce, fizibilite, maliyet, lojistik ve diğer olağan değerlendirmelerin yanı sıra mikropların – kasıtlı olsun veya olmasın– anlamlı antropojenik değişikliklere karşı tepkisiz kalmayacağını da mutlaka göz önüne almalıyız: mikroplar eylemlerimizin sonuçlarına aktif olarak cevap vererek onları olumlu veya olumsuz yönde değiştirebilirler. Her zaman şu soruyu sormamız gerekir: söz konusu süreçte doğrudan veya dolaylı olarak mikrobiyal eylemler yer alıyor mu veya bu süreçten etkileniyor mu? Eğer etkileniyorsa tasarlanan eyleme karşı verecekleri olası cevaplar nelerdir? Ne yazık ki hala mikroplarla nasıl konuşacağımızı bilemiyoruz, bu nedenle de, bir değişiklik yaptığımızda onların ne tepki vereceğini kendilerine sorma şansımız bulunmuyor. Bu nedenle, mikropların çevresel değişikliklere nasıl cevap verdiğini izlemeye ve modellemeye dayanan, kanıta dayalı öngörülerin dikkatle yapılması çok önemlidir. Ayrıca temkinli de olmalıyız. Şu dillere pelesenk olmuş –küresel düşün, yerel davran– mottosunu belki biraz değiştirerek

insanların *yerel* olarak eyleme geçmesini öğütleyebiliriz, *ama sadece istenmeyen sonuçlara (değerlendirilen konudan tamamen farklı mecralarda gelişen, beklenmedik sonuçlar da dahil olmak üzere) yol açabilecek yerel, bölgesel ve küresel reaksiyon potansiyelini, enine boyuna değerlendirdikten sonra!*

Gezegenimizin doğasında her şey birbiriyle bağlantılı olduğu için, eyleme geçmeden önce şunları yapmış olmamız gerekir:

- *Yerel eylemin hem farklı uzaklıkta yer alan bölgelerdeki hem de küresel düzeydeki mikrobiyolojik aktivite üzerinde yapacağı olası dağınık etkileri, bu etkinin derecesini ve etkileme yollarını akılcıca hesaplamak*
- *Uygun yöntemler kullanarak, etkinin süresi ve alınacak önlemler de dâhil olmak üzere, etki senaryoları oluşturmak ve doğru bir şekilde haritalamak*
- *Tutucu varsayımlara dayanarak yeterince güvenli öngörülerde bulunamıyor isek, alternatif eylem planlarını dikkatlice değerlendirmek*
- *Kasıtsız olarak -ya da başka şekillerde- istenmeyen etkilere yol açabilecek başıbozuk ya da düzensiz eylemleri önlemek için politika geliştirmek, izlemek, yenilemek ve yerel kuruluşları yetkilendirmek*

Sorun

Sorun, mikroplar ve mikrobiyal aktiviteye dair bilgiye sadece çok küçük bir uzman grubunun, mikrobiyologların, sahip olmasıdır. Tabii ki toplumda karar verme konumunda olanlara önerilerde bulunmaları için her zaman uzmanlardan yararlanılmıştır; örneğin yeni politikaları uygulamaya geçirmenin maliyeti konusunda ekonomistler hükümete öneriler getirirler. Burada ise esas konu, mikrobiyal aktivitelerin çok yaygın olması ve toplumdaki herkesin kendi günlük yaşamında aldığı kararları doğrudan ve derinlemesine etkileyebilmesinde yatıyor. Bu nedenle, her ne kadar gerekli bilgiye internetten erişmek teorik olarak mümkünse de, mikrobiyologlara zamanında danışmak veya mikrobiyoloji bilgisini sorgulamak, çoğu durumda pratik olmadığı gibi mümkün de olmayabilir. Dolayısıyla da elimizde, bir yanda politika oluşturma sürecinin herhangi bir aşamasında çok az söz sahibi olan mikrobiyologlar, diğer yanda da doğru karar almak için gerekli bilgiye sahip olmayan politikacılar ve karar vericiler var. *Peki, politikacılar ve paydaşlar krizin altında yatan nedenleri ve potansiyel çözümleri anlamaktan âcizse, bir değerlendirme yapacak durumda değilse (örn., Brüssow, 2017), karşı karşıya kaldığımız bu krizi etkili bir biçimde çözmemiz nasıl mümkün olacaktır?*

Eğer yukarıda açıkladığımız şekilde yıkıcı sonuçlar doğurmuş olan geçmiş hatalarımızı tekrarlamak istemiyorsak, konuları doğru değerlendirmek, uygun çözümler bulmak ve en uygun, kanıta-dayalı politik kararlar alabilmek için gerekli temel bilgiler, hem bireysel hem toplumsal bilgi dağarcığımızın ayrılmaz parçası olmak zorundadır. Gelecekte, aslında önlenabilir felaketleri tetiklememek için,

- *Mikrobiyal aktiviteler ve süreçler ile mikropların çok yönlü karşılıklı ilişkileri ve karşılıklı bağımlılıkları hakkındaki temel bilgiler, sadece toplumda farkındalık oluşturmak için kullanılmamalıdır*
- *Bu süreçlere dair orta düzeyde bilgi, ilgili politikacıların mesleki becerilerinin bir parçası olmak zorundadır*
- *Karar sistemleri, daha büyük oranda kanıta dayalı kriterlere ve uzman görüşüne dayandırılmalıdır*

Çözüm yolu: toplumu mikrobiyoloji okuryazarı kılmak

Mikrobiyolojinin ana unsurları, temel eğitimin bir parçası olmak zorundadır

Eğiticiler, politikacılar, endüstri liderleri ulusal ve uluslararası kuruluşların başkanları ve diğerleri gibi toplumun bazı üyelerinin verdikleri kararlar, toplumun diğer üyelerine kıyasla daha büyük toplumsal etkilere yol açacağı için, bu kişilerin diğerlerinden daha fazla mikrobiyoloji bilgisi edinmeye ihtiyacı vardır. Aslında herkes her gün mikrobiyolojik bakımdan etkili kararlar almakta, davranışlar sergilemektedirler. Bunun dışında hem kendimizin hem gezegenimizin sağlığını ve esenliğini etkileyecek önemli politik kararlar karşısında hepimiz birer paydaşız. Dolayısıyla vatandaşlık haklarımızı kullanmak, sorumluluklarımızı yerine getirmemizi sağlayacak eylemlerde bulunmak, oy vererek veya toplumsal baskı gruplarına katılarak karar vericileri doğru şekilde yönlendirmek için, mikrobiyoloji okuryazarı olmak mecburiyetindeyiz. Toplumun her kesiminde *mikrobiyoloji okuryazarlığının* geliştirilmesine ciddi bir ihtiyaç vardır: *mikrobiyoloji okuryazarlığı, yetişkinlerin iş tanımlarının ayrılmaz bir parçası olmak zorundadır.*

Genellikle, çocukluk çağında edinilen ortak bilgi dağarcığı ve kritik değerlendirme yeteneğinin erişkinliğe geçiş için esas olduğu düşünülür. Bugüne kadar, anadil bilgisi, bir yabancı dil bilme, tarih, coğrafya, hayat bilgisi, matematik, fizik, kimya, biyoloji ve diğerlerinin eğitimin ana konuları olduğu kabul edilmekteydi. Yani: Bu konulara dair bilgilerin olgunlaşma için gerekli olduğu, ailevi ve mesleki sorumlulukları yerine getirmek için bunları bilmek gerektiği, kişisel ve profesyonel yaşamda edinilecek yeni bilgilerin işlenebilmesi için de bunların zorunlu olduğu ve hayatın inişli çıkışlı yollarında doğru kararlar alabilmemiz için, bizi yönlendirmek için bu bilgilerin gerektiği düşünülürdü. Biz ise, Bergey'in 1961'de söylediği gibi, mikroplar ve mikrobiyal aktivite hakkında bilgi edinilmesi

ve bunların anlaşılmasının da, en az yukarıdaki konular kadar önemli olduğunu ve mutlak surette temel eğitime alınması gerektiğini düşünüyoruz.

Mikrobiyoloji okul müfredatının ana unsuru olmalıdır; ancak o zaman karar vericiler yeterli bilgiye sahip olurlar, bütün öteki paydaşlar da toplumun ve toplum faaliyetlerinin mikroplar âleminde nasıl iç içe geçmiş ve karşılıklı ilişki içinde olduğu konusunda temel bir fikir sahibi olurlar. Sonuç olarak toplumdaki paydaşlar şunları yetkinlikle yapabileceklerdir:

- *Hem kendileri ve hem başkaları (örneğin çocukları) adına bilgiye dayalı kararlar vermek*
- *Karar seçenekleri lehinde ve aleyhinde ileri sürülen argümanları eleştirel gözle değerlendirebilmek ve böylece karar verme mevkiindekilere bilgiye dayalı tercihlerini sunmak*
- *Bilimsel kanıta dayalı karar vermeyenlerden hesap sormak*

Büyük zorluklar ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine odaklı, tüm yaş gruplarına yönelik bir kişisel-deneyim-temelli eğitim kavramı ve formatı

Mikroplar hayatımızı doğduğumuz günden (aslında tabii çok daha öncesinden) itibaren etkilediği için, eğitimin ilköğretimin başında başlaması ve tüm öğretim kademeleri boyunca da devam etmesi, karar vericilerin her düzeyde en doğru uygulama hakkında bilgiye dayalı kararlar alması için ve bu kararların temelinde yatan bilgiyi genç-yaşlı herkesin anlayabilmesi için zorunludur. İnsanların neyin hemen hemen kesin, neyin olası ve neyin de belirsiz olduğunu anlaması gerekiyor. Bireylerin kanıta-dayalı risk/yarar değerlendirmeleri yaparak bir miktar risk taşıyan, ancak özünde yararlı olan eylemler hakkında karar verebilmesi ya da kendileri adına bu tip kararları veren kurumlarla yapıcı bir etkileşimde bulunabilmesi gerekir. Gelecekte, en iyi kanıta-dayalı politikaların oluşturulması için hangi bilginin edinilmesi gerektiğini de bilmeleri gerekecektir.

Öğretmenlerin eğitilmesi için mikrobiyoloji öğretim müfredatı oluşturulması kadar ana sınıfı, ilkököl, ortaokul ve liseler için mikrobiyoloji müfredatı geliştirilmesi gerektiğini düşünüyoruz (ayrıca bakınız, Bergey, 1916; Savage ve Bude, 2014; Scalas ve ark., 2017; <https://enviroliteracy.org/environment-society/environmental-health/microorganisms/>; <http://actionbioscience.org/biodiversity/wassenaar.html>; <https://schaechterasmblog.org/schaechter/2013/04/whose-planet-is-it-anyway-1.html>). Bütün bunlara ek olarak mikrobiyoloji halk eğitimi hizmeti olarak da erişilebilir olmalıdır; böylece mikrobiyoloji okuryazarı olan bireylerin bilgilerini güncellemesi, okulda bu konuda ders görmemiş bireylerin de temel kavramları öğrenmeleri ve yeni

gelişmeleri takip edebilmeleri sağlanmış olacaktır. Bu müfredatların geliştirilmesi, her ne kadar ilgili eğitim birimlerinin sorumluluğunda olsa da, mikrobiyoloji okuryazarlığı eğitim programının bir an önce uygulamaya geçmesini hızlandırmak için birkaç konu başlığı önermek istiyoruz: *mikrobiyoloji okuryazarlığı çerçeve çalışması* (*Microbiology education in school and pre-school; a child experience-centric framework*, Timmis, K.N. ve ark., hazırlık aşamasında)–günlük deneyimlere dayanan basit bir soruyla başlayan ve basit bir dille temelde yatan mikrobiyoloji bilgisinin, *büyük zorluklar* ve sürdürülebilir kalkınma hedefleri açısından öneminin, biyo-jeosfer süreçlerine ve gezegen sağlığına, daha da önemlisi verdiğimiz kararlara etkisinin vb aktarıldığı bir eğitim formatı öneriyoruz.

- Baba: Bu akşam bowling salonunda bir hamburger yemeyi gerçekten çok istiyorum ama Jenny bana ineklerin küresel ısınmaya önemli katkı yaptığını söyledi: bu doğru mu? (*Sera gazları, kaynakları ve yerleşimleri, işkembede sindirim, metan emisyonları, küresel ısınma, deniz seviyesinin yükselmesi, bizi nasıl etkileyeceği, SKH-13: iklim değişikliğiyle mücadele*);
- Anne: Sınıfta Joanne'nin kızamık çıkardığını söylediler: neden o da benim gibi aşılanmamıştı? (*Aşıların etkililiği, riskleri, korelasyonları ve nedensellikleri, risk/yarar değerlendirmeleri, toplum bağışıklığı, bağışıklamanın paralel yararları, SKH-3: Sağlıklı yaşam sağlama*);
- Anne: Bana tuvaletten çıkarken sürekli ellerimi yıkamamı çünkü kakanın pis bir şey olduğunu söylüyorsun. Peki biz sifonu çektikten sonra ne oluyor? (*Atık islahı, fekal patojenler, fekal patojen yükü ile su kalitesini temsil eden fekal indikatörler, SKH-6: Herkes için sanitasyon*);
- Öğretmen: Bitkiler neden karanlıkta büyümmezler? (*Bitkiler ve fotosentetik mikroplar güneş enerjisini tutarak biyokütle oluşturur: besin ağının temeli, fotosentez, kloroplastlar, ilk mikroplardan köken alan mitokondriler; bitkiler ve fotosentetik mikroplar, dünyaya besin, enerji, yenilenebilir kimyasal hammadde, kirletmeyen, sürdürülebilir kalkınma sağlar; SKH 2: Açlığa son verilmesi, SKH 7: Sürdürülebilir enerjiye erişimin sağlanması, SKH 12: Sürdürülebilir üretim biçimlerinin sağlanması*)

Bu yaklaşım sayesinde öğrenciler, altta yatan mikrobiyolojinin toplum için ne kadar anlamlı/önemli olduğunu daha dersin başındayken kavrayabilecektir.

Seçilen konu başlıklarının hedefleri şunlardır:

- *Çeşitli sosyal ve kültürel ortamlarda, farklı yaş gruplarına hitap eden uygun müfredat geliştirilmesine destek olmak,*
- *Mikropların ekofizyolojik aktivitesinden etkilenen ya da destek bulan belli başlı gezegen-biyosfer-insan süreçlerine ve problemlerine dikkat çekmek,*
- *Mikrobiyal aktivitenin bizim eylemimiz sonucunda nasıl etkilendiğini ve bundan doğan sonuçları göstermek,*
- *Mikrobiyal aktiviteleri hem kendi kişisel yararımız ve hem de insanlığın ve gezegenin yararı için nasıl yönlendirebileceğimizi ve mikrop aktivitesinden nasıl yararlanabileceğimizi, dolayısıyla sürdürülebilir kalkınma hedeflerine (SKH) nasıl ulaşabileceğimizi göstermek,*
- *Mikropların hem içinde yaşadığımız küresel köy, hem de biyosferin tamamında her şeyi birbirine bağladığı bakış açısını sunmak*

Mikrobiyoloji okuryazarlığı çerçeve çalışması, başlangıç olarak İnsanların Esenliği, Gezegenimiz Dünya, Su, Bitkiler, Hayvanlar, Beslenme-Besin-İçecekler ve Biyoteknoloji başlıkları altında gruplanacak 100 veya bu civarda deneyim-temelli başlıktan oluşacaktır. Bu başlıklara kısa süre sonra bedelsiz olarak çevrimiçi de erişilebilecektir. İçerikler zaman içinde tabii ki geliştirilecek ve güncellenecektir.

Tartıştığımız öznelere –mikroplar– görülebilir olmamasına rağmen, mikrobiyolojinin uygulamalı bir deneysel alan olması, çeşitli okul seviyelerinde öğrencilere şaşırtıcı deneyler yaptırılabilmesi nedeniyle, mikrobiyoloji konularının öğretilmesinin, özellikle çocuklar için büyüleyici olabileceğini vurgulamak isteriz. İşlenen her konuya ışık tutacak basit deneylerle ilgili öneriler de, çevrimiçi erişime açık hale getirilecektir. Dahası, pek çok ticari işletme (biracılık, peynir yapımı, ekmek yapımı, mayalama işlemleri ve daha nice) ile kamu kuruluşları (atık arıtma tesisleri, tanı laboratuvarları ve daha nice) bünyesinde gerçekleştirilen pek çok ilgi çekici mikrobiyal süreç de -elbette yerel olarak hangisine erişilebileceğine göre- okul gezileri düzenlemek suretiyle izlenebilir. Gerçekleştirilmesi mümkün geziler için aydınlatıcı bir liste, öğretmenler için organizasyon önerileri, öğrencilerin en fazla bilgi edinmesi ve konuyu ilgi çekici bulması için, ayrıca keyif almalarını da sağlayacak düzenlemelerin nasıl yapılacağı ise, aynı şekilde çevrimiçi erişime açılacaktır.

Bilgi çerçevesi içinde verilen konu başlıkları, her şeyi kapsayacak çeşitlilikte olmadığı gibi, içeriğin herhangi bir yaştaki hedef kitleye bütünüyle aktarılmasını gerektirecek şekilde de yapılandırılmamıştır. Giriş mahiyetindeki bazı başlıklar dışında konuların çoğu tek

başlarına da anlaşılabilir; böylece, öğretmenin tercihi ve öğrencilerin öğrenme şekilleri ve amaca göre seçilerek eşleştirilebilir, yani modüler bir sistem oluşturmak mümkündür. Elbette asıl hedef, çocukların okul hayatları boyunca başlıkların hepsi hakkında bilgi sahibi olmasını sağlamaktır.

Hemen belirtelim ki, *mikrobiyoloji okuryazarlığını* geliştirmekte amaç, mikrobiyoloji disiplini öğretmek ve mikrobiyoloji profesyonelleri yetiştirmek değildir. Aksine amaç, toplumu temel mikrobiyal aktiviteler konusunda yeterli bilgiyle donatarak kişilerin günlük yaşamlarını iyileştirmek, kanıta dayalı politikalar geliştirilmesinde ve gezegenin yönetilişinde paydaşların yetkinleşmesini sağlamaktır.

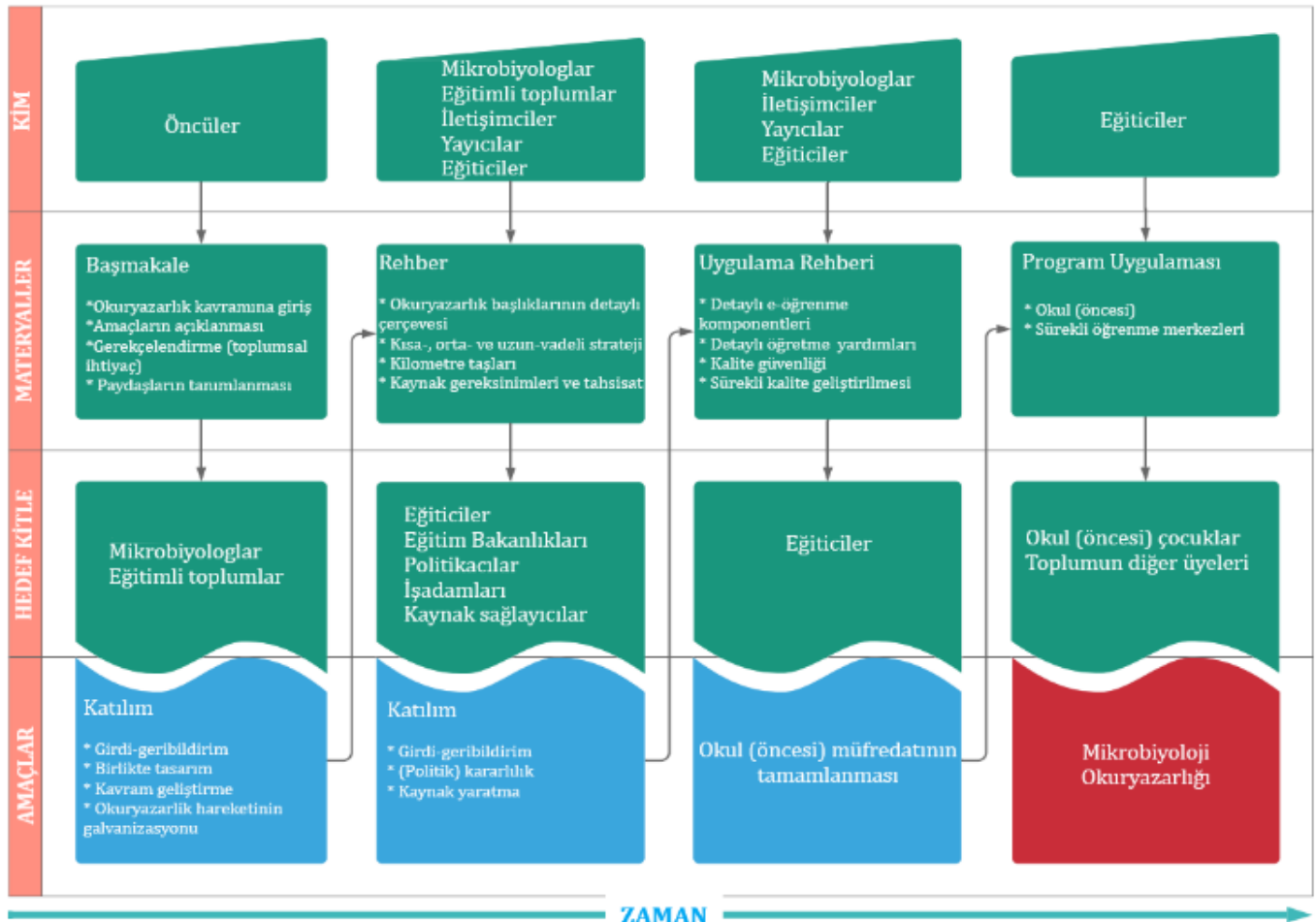
Ve elbette toplumda mikropların bizim düşmanımız olduğuna dair yaygın olan önyargıların da ne kadar yanlış olduğunun hızla anlaşılması, bu anlayışın yol açtığı tehlikeli davranışlardan toplumun uzaklaştırılması da gereklidir. Mikroplar da tıpkı insanlar gibidir: birçoğunun yaşamımız üzerine doğrudan etkisi yoktur veya çok az etkisi vardır, birçoğu son derece yararlıdır ve çok azı da bizim için tehlikelidir. Yine insanlar gibi mikropların da en fazla ilgi çekenleri ve bilinenleri, 'kötü adam' olarak tanınanlardır – hastalık yapan ya da maddenin bozulmasına sebep olanlar gibi.

Medyada en çok bunlar yer alır, en ünlüler onlardır. Her halükârda mikropları, bütün olarak, bizim dostlarımız olarak tanımlamak hayati önem taşır. Mikroplar sadece yaşamımız boyunca sessizce bize eşlik etmekle kalmazlar, başımız sıkıştığında, örneğin gıda verimini artırmak gibi can alıcı sorunların çözümü için de onlara başvurabiliriz. Ayrıca, vücut hücrelerimizin yaklaşık %50'sini oluşturan mikroplar, en yakın aile bireylerimizdir.

Toplumda mikroplarla ilgili bilgi düzeyi yükseltilmeli ve bu konudaki zararlı inançları, mikrobiyo-fobi uygulamalarını ortadan kaldıracak düzeye erişmelidir. Mikrobiyoloji okuryazarlığı girişiminin en temel mesajı budur ve okul müfredatında da en başta yer alacaktır.

Haydi İş Başına!

Makroorganizmalar –hayvanlar ve bitkiler– sadece biyosferin çok önemli mensupları değil, aynı zamanda insan toplumunun, evriminin, medeniyetinin ve insan ruhunun da ayrılmaz parçalarıdır. Evcilleşmiş türleri bize besin, lif, konfor, zevk ve esenlik sunar, vahşi türleri ise merak,



hobi ve çeşitlilik kaynağıdır. *Makroorganizmaları* korumak bizim ezelden beri taşıdığımız en önemli sorumluluğumuzdur. Bunun sonucunda, biyoloji –temel olarak hayvan ve bitki biyolojisi– gerek kendi içinde gerekse insan biyolojisini öğretme ve üreme eğitiminde bir kaynak olarak eğitimin merkezinde yer almıştır. David Attenborough'nun sunduğu başarılı televizyon belgeselleri sayesinde *makroorganizmalara* karşı halkın ilgisi ve takdiri, son yıllarda son derece artmıştır (<https://www.theatlantic.com/science/archive/2016/05/every-episode-of-david-attenboroughs-life-series-ranked/480678/>). Makroorganizmaların aksine mikroplar, küçük boyutları nedeniyle, toplum için genellikle görünmezdir –*gözden ırak olan gönülden de ırak olur*– bu nedenle de AIDS, Ebola ve kızıl gel-git gibi sansasyonel kargaşalar yaratmadıkları sürece, radarlara yakalanmazlar. Biyosferin bu gözle görülemeyen parçası, eğitim ve öğrenimde büyük ölçüde göz ardı edilir. Yine de son yıllarda, mikrobiyomlar ve **bunların** insan biyolojisi ve davranışı üzerindeki çeşitli etkilerine dair yapılan şaşırtıcı keşifler, toplumda mikroplara karşı genel bir merak uyandırmayı başardı. Buna rağmen mikroplar halâ internetten bile daha az anlaşılır soyut nesneler olarak kabul ediliyor, yani neredeyse belleğin işleyişi kadar anlaşılmasa da konuya eşit anlaşılmasızlıkta hafızalardan uzak kalmaya devam ediyor. Oysa mikropların önemi, internete kıyasla çok daha büyüktür – internet hayatımıza girmeden önce de yaşamayı başardık, ama hayatımızda mikropların sağladığı destek sistemleri olmasaydı yaşayamaz, hatta var olamazdık. Dolayısıyla mikropların dünyasının, özünde var olan bütün o büyüleyici, ama gel gör ki mikroskobik boyuttaki güzelliğinin, soyut olmaktan çıkıp görünür bir resme dönüşmesi ve insanların ruhunda hak ettiği yere kavuşması, son derece önemlidir. Bu nedenledir ki, mikrobiyoloji okuryazarlığı sınıflarında görsel araçlara yer verilecek, gittikçe daha fazla ilgi uyandıran 'mikroplarla sanat' (örn., <https://www.bbc.com/news/uk-england-oxfordshire-45099420>) sayesinde de hayal gücü harekete geçirilecektir. Mikroplarla ilgili bir konu açıldığında, çocuklarımızın onları derhal gözünde canlandırabilmesi ve mikropların neler yaptığını hayal edebilmesi, rutin bir davranış olmalıdır. Mikroplar soyut olmaktan çıkıp bir cisme büründükçe, gerçek şeylere dönüşürler, çocukların da içlerinden seçecekleri favori mikropları olur! Sevimli ayıcıklarla yumuşacık koyunların yanında meselâ 'buğulu Methano', 'oyuncu Wolbo' ya da 'huysuz Diatoma', kendilerine özgü (antroposantrik) karakterleriyle açık göz oyuncakçılarda yerlerini alacaktır. Hatta çok da uzak olmayan bir gelecekte mikroplar, sevilen çizgi film karakterleri bile olabilirler.

Bu başmakalenin, okul müfredatına *mikrobiyoloji okuryazarlığı* başlıklarının alınması için bir yol haritası olan üç temel amacı vardır. Şekil 1, *mikrobiyoloji okuryazarlığı* konularının ders içeriği olarak okul müfredatına nasıl yerleştirilebileceğini gösteren bir yol haritası mahiyetindedir.

Birinci amaç, insanların hem kişisel hem toplumsal konularda kanıta-dayalı isabetli karar vermesini engelleyen bilgi ve beceri eksikliğini açığa çıkarmak; böylece *mikrobiyoloji okuryazarı* bir toplum olmanın taşıdığı hayati önemi kavratmak ve bunu başarmak için de temel eğitime mikrobiyoloji konularının ana hatlarıyla dâhil edilmesi zorunluluğuna dikkat çekmek.

İkinci amaç, birey olarak mikrobiyologları, mikrobiyoloji derneklerini ve mikrobiyoloji okuryazarlığı olan sair profesyonelleri bu girişimde yer almaları bakımından; sunduğumuz temel çerçeveyi daha da geliştirmek amacıyla derste işlenecek konular, izlenecek videolar, sınıfta yapılacak deneyler için yeni fikirler ve malzemeler önerme bakımından ve elbette eğitimde gereken araç-gereç ve malzemeyi temin için fon bulmaları bakımından teşvik etmek.

Bu makalenin üçüncü ve en önemli amacı da eğitimci, politikacı, iş insanı, konuyla ilgili kamu kuruluşu ya da sivil toplum örgütü temsilcisi ve benzerleriyle şu ya da bu şekilde bir ilişkisi olan ya da onları etkileme imkânına sahip bütün mikrobiyologlara, mikrobiyoloji derneklerine ve mikrobiyoloji okuryazarı olan sair profesyonellere şu çağrıda bulunmak: lütfen toplumda mikrobiyoloji okuryazarlığını gerçekleştirmenin niçin hayati bir ihtiyaç olduğunu bu kişi ve kurumlara kavratınız, bu yönde sürdürülen uluslararası çabalara siz de katılınız (*zira neticede hepimiz gezegen sağlığı ve insan sağlığını ilgilendiren konularda paydaş olduğumuza göre, nasıl olur da günümüz krizlerini çözmenin en temel bir kaynağını görmezden gelebiliriz?*) ve bu kişi ve kurumları ikna ederek toplumda mikrobiyoloji okuryazarlığı kampanyasını bir sonraki aşama olan uygulama aşamasına taşıma konusunda başı çekmelerini sağlayınız. Tam da bu sayılan amaçlara ulaşmayı kolaylaştırmak ve metnin çok sayıda okura hizmet etmesini sağlamak için Başmakalemizde uzmanlık terimleri kullanmaktan mümkün olduğunca kaçınmış bulunuyoruz.

Teşekkür

Bu girişim, toplumda mikrobiyoloji okuryazarlığını geliştirmenin nasıl temel bir ihtiyaç olduğunu çok öncesinden gören mikrobiyologların ilham verici çabaları üzerine kurulmuştur. Onlar, konuyla ilgili farkındalığı artırmak, çocuklara hitap eden çok başarılı metinler kaleme almak, çeşitli eğitim materyali oluşturmak suretiyle *mikrobiyoloji okuryazarlığını* öğretim müfredatına entegre etme ve müfredatı geliştirmek bakımından çok sağlam temeller atmışlardır.

Kaynaklar

- Bach, J.-F. (2018) The hygiene hypothesis in autoimmunity: the role of pathogens and commensals. *Nat Rev Immunol* **18**: 105–120.
- Bartlett, J.G. (1979) Antibiotic-associated pseudomembranous colitis. *Rev Infect Dis* **1**: 530–539.
- Bergey, D.H. (1916) The pedagogics of bacteriology. *J Bacteriol* **1**: 5–14.
- Brown, J.M., and Hazen, S.L. (2015) The gut microbial endocrine organ: bacterially derived signals driving cardiometabolic diseases. *Annu Rev Med* **66**: 343–359.
- Brüssow, H. (2017) Infection therapy: the problem of drug resistance – and possible solutions. *Micro Biotech* **10**: 1041–1046.
- Cabello, F.C. (2006) Heavy use of prophylactic antibiotics in aquaculture: a growing problem for human and animal health and for the environment. *Environ Microbiol* **8**: 1137–1144.
- Caselli, E. (2017) Hygiene: microbial strategies to reduce pathogens and drug resistance in clinical settings. *Micro Biotech* **10**: 1979–1983.
- Christen, V., Kunz, P.Y., and Fent, K. (2018) Endocrine disruption and chronic effects of plant protection products in bees: can we better protect our pollinators? *Environ Pollut* **243**: 1588–1601.
- Curtis, T. (2006) Microbial ecologists: it's time to 'go large'. *Nat Rev Microbiol* **4**: 488.
- de Lorenzo, V. (2017) Seven microbial bio-processes to help the planet. *Micro Biotech* **10**: 995–998.
- de Lorenzo, V., Marliere, P., and Sole, R. (2016) Bioremediation at a global scale: from the test tube to planet Earth. *Micro Biotech* **9**: 618–625.
- Du Toit, A. (2019) The gut microbiome and mental health. *Nat Rev Microbiol* **17**: 196. <https://doi.org/10.1038/s41579-019-0163-z>.
- Falkow, S. (1970) Antibiotics in animal feeds. *N Engl J Med* **282**: 693–694.
- Falkow, S. (1975) *Infectious Multiple Drug Resistance*. London: Pion Ltd.
- Falkow, S., Marmur, J., Carey, W.F., et al. (1961) Episomic transfer between *Salmonella typhosa* and *Serratia marcescens*. *Genetics* **46**: 703–706.
- Finlay, B.B., and Arrieta, M.-C. (2016) *Let them Eat Dirt*. Vancouver, B.C., Canada: Greystone Books.
- Garcia, J.L., de Vicente, M., and Galan, B. (2017) Microalgae, old sustainable food and fashion nutraceuticals. *Micro Biotech* **10**: 1017–1024.
- Gilbert, J.A., Knight, R., and Blakeslee, S. (2017) *Dirt is Good*. New York, USA: St Martin's Press.
- Gilbert, J.A., and Yee, A.L. (2016) Is triclosan harming your microbiome? *Science* **353**: 348–334.
- Godfray, H.C., Blacqui re, T., Field, L.M., et al. (2015) A restatement of recent advances in the natural science evidence base concerning neonicotinoid insecticides and insect pollinators. *Proc Biol Sci* **282**: 20151821.
- Gomez de Agüero, M., Ganai-Vonarburg, S.C., Fuhrer, T., et al. (2016) The maternal microbiota drives early postnatal innate immune development. *Science* **351**: 1296–1302.
- Hobbie, S.E., Finlay, J.C., Janke, B.D., Nidzgorski, D.A., Millet, D.B., and Baker, L.A. (2017) Contrasting nitrogen and phosphorus budgets in urban watersheds and implication for managing urban water pollution. *Proc Natl Acad Sci USA* **114**: 4177–4182.
- Lane, S., Noni, E., MacDonald, N.E., Marti, M., and Dumolard, L. (2018) Vaccine hesitancy around the globe: analysis of three years of WHO/UNICEF joint reporting form data-2015–2017. *Vaccine* **36**: 3861–3867.
- Lee, S.Y., Kim, H.U., Chae, T.U., Cho, J.S., Kim, J.W., Shin, J.H., et al. (2019) A comprehensive metabolic map for production of bio-based chemicals. *Nat Catal* **2**: 18–33.
- Levy, S.B. (1982) Microbial resistance to antibiotics. An evolving and persistent problem. *Lancet* **2**: 83–88.
- Levy, S.B., FitzGerald, G.B., and Macone, A.B. (1976) Spread of antibiotic-resistant plasmids from chicken to chicken and from chicken to man. *Nature* **260**: 40–42.
- Microbial Biotechnology. (2017) The contribution of microbial biotechnology to sustainable development goals. *Micro Biotech* **10**: 979–1274.
- Milani, C., Duranti, S., Bottacini, S., et al. (2017) The first microbial colonizers of the human gut: composition, activities, and health implications of the infant gut microbiota. *Microbiol Mol Biol Rev* **81**: e00036–e00017.
- Monneret, C. (2017) What is an endocrine disruptor? *Comptes Rend Biol* **340**: 403–405.
- Moossavi, S., Miliku, K., Sepehri, S., Khafipour, E., and Azad, M.B. (2018) The prebiotic and probiotic properties of human milk: implications for infant immune development and pediatric asthma. *Front Pediatr* **6**: 197. <https://doi.org/10.3389/fped.2018.00197>.
- Motta, E.V.S., Raymann, K., and Moran, N.A. (2018) Glyphosate perturbs the gut microbiota of honey bees. *Proc Natl Acad Sci USA* **115**: 10305–10310.
- Nakatsuji, T., Chen, T.H., Butcher, A.M., Trzoss, L.L., Nam, S.J., Shirakawa, K.T., et al. (2018) A commensal strain of *Staphylococcus epidermidis* protects against skin neoplasia. *Sci Adv* **4**: eaao4502.
- Nielsen, P.H. (2017) Microbial biotechnology and circular economy in wastewater treatment. *Micro Biotech* **10**: 1102–1105.
- Richards, S., Paterson, E., Withers, P.J.A., and Stutter, M. (2015) The contribution of household chemicals to environmental discharges via effluents: combining chemical and behavioural data. *J Environ Manage* **150**: 427–434.

- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F.S., Lambin, E.F., et al. (2009) A safe operating space for humanity. *Nature* **461**: 472–475.
- Rossen, N.G., MacDonald, J.K., de Vries, E.M., D'Haens, G. R., de Vos, W.M., Zoetendal, E.G., and Ponsioen, C.Y. (2015) Fecal microbiota transplantation as novel therapy in gastroenterology: a systematic review. *World J Gastroenterol* **21**: 5359–5371.
- Savage, A.F., and Jude, B.A. (2014) Starting small: using microbiology to foster scientific literacy. *Trends Microbiol* **22**: 365–367.
- Scalas, D., Roana, J., Mandras, N., et al. (2017) The Microbiological@mind project: a public engagement initiative of Turin University bringing microbiology and health education into primary schools. *Int J Antimicrob Agents* **50**: 588–592.
- Sender, R., Fuchs, S., and Milo, R. (2016) Are we really vastly outnumbered? Revisiting the ratio of bacterial to host cells in humans. *Cell* **164**: 337–340.
- Sharma, A., and Gilbert, J.A. (2018) Microbial exposure and human health. *Curr Opin Microbiol* **44**: 79–87.
- Timmis, K.N., de Lorenzo, V., Verstraete, W., et al. (2017a) The contribution of microbial biotechnology to economic growth and employment creation. *Micro Biotech* **10**: 1137–1144.
- Timmis, K.N., de Vos, W.M., Ramos, J.L., et al. (2017b) The contribution of microbial biotechnology to sustainable development goals. *Micro Biotech* **10**: 984–987.
- Trinh, P., Zaneveld, J.R., Safranek, S., and Rabinowitz, P.M. (2018) One health relationships between human, animal, and environmental microbiomes: a mini-review. *Front Public Health* **30**: 235. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2018.00235>.
- Trivedi, P., Schenk, P.M., Wallenstein, M.D., and Singh, B.K. (2017) Tiny microbes, big yields: enhancing food crop production with biological solutions. *Micro Biotech* **10**: 999–1003.
- Verstraete, W., and de Vrieze, J. (2017) Microbial biotechnology with major potentials for the urgent environmental needs of the next decades. *Micro Biotech* **10**: 988–994.
- Wampach, A., Heintz-Buschart, J., Fritz, V., RamiroGarcia, J., Habier, J., et al. (2018) Birth mode is associated with earliest strain-conferred gut microbiome functions and immunostimulatory potential. *Nat Commun* **9**: 5091.
- Wang, B., Yao, M., Lv, L., Ling, Z., and Li, L. (2017) The human microbiota in health and disease. *Engineering* **3**: 71–82.
- Watanabe, T. (1963) Infective heredity of multiple drug resistance in bacteria. *Bacteriol Rev* **27**: 87–115.
- Watanabe, T. (1966) Infectious drug resistance in enteric bacteria. *N Engl J Med* **275**: 888–894.
- Whipps, J.M., Lewis, K., and Cooke, R.C. (1988) Mycoparasitism and plant disease control 161–187 . In *Fungi in Biological Control Systems*, Burge, N.M. (ed). Manchester, UK: Manchester University Press, p. 176.
- zur Hausen, H., Bund, T., and de Villiers, E.M. (2017) Infectious agents in bovine red meat and milk and their potential role in cancer and other chronic diseases. *Curr Top Microbiol Immunol* **407**: 83–116.