



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Adsorpsiyon ile virüslerin giderilmesine ilişkin bir inceleme

A review on the removal of viruses by adsorption

Yazar(lar) (Author(s)): Muhammet Ş.A. EREN¹, Elif Sıla TANAYDIN², Hasan ARSLANOĞLU³, Harun ÇİFTÇİ⁴

ORCID¹: 0000-0002-7851-6926

ORCID²: 0000-0001-7359-0687

ORCID³: 0000-0002-3132-4468

ORCID⁴: 0000-0002-3210-5566

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Eren M. Ş. A, Tanaydın E. S., Arslanoğlu H. ve Çiftçi H., “Adsorpsiyon ile virüslerin giderilmesine ilişkin bir inceleme”, *Politeknik Dergisi*, *(*) : *, (*).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.846059

Adsorpsiyon ile Virüslerin Giderilmesine İlişkin Bir İnceleme

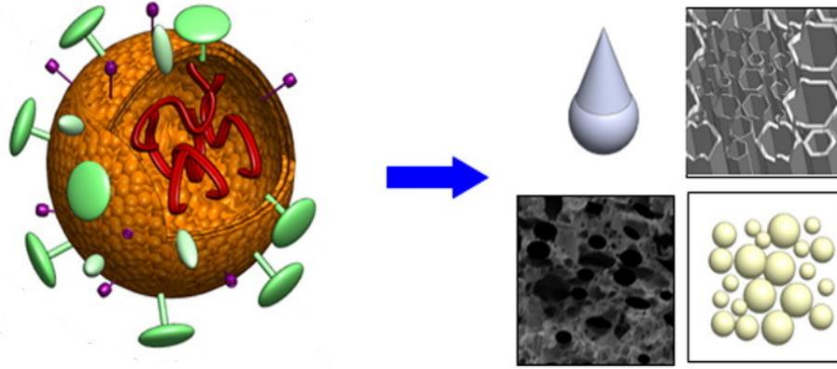
A Review on the Removal of Viruses by Adsorption

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Virüslerin özellikleri analiz edilmiştir. / The properties of the viruses have been analyzed.
- ❖ Güncel virüs giderim metodları incelenmiştir. / Current virus removal methods have been examined.
- ❖ Virüslerin insan üzerine etkileri tartışılmıştır. / The effects of viruses on humans are discussed.
- ❖ Virüs giderimi için materyaller araştırılmıştır. / Materials have been investigated for virus removal.

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Virüsler, sadece diğer organizmaların canlı hücrelerinde çoğalabilen enfeksiyon yapıcı ajandır. Ayrıca hayvanlardan ve bitkilere, bakterilerden algelere kadar her türlü yaşam formuna bulaşabilir. / Viruses are infectious agents that can only multiply in living cells of other organisms. It can also infect all kinds of life forms, from animals and plants, bacteria to algae.



Şekil. Virüslerin giderimi. /Figure. Removal of viruses.

Amaç (Aim)

Virüslerin genel özellikleri, insanlar üzerine etkileri ve virüslerin giderilmesi güncel bir şekilde derlenmesi amaçlanmıştır. / The general characteristics of viruses, their effects on humans and the elimination of viruses are aimed to be compiled in an current manner.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Çalışmanın hazırlanmasında güncel bilgiler ve raporlar taranmıştır. / Up-to-date information and reports have been compiled in the preparation of the study.

Özgünlük (Originality)

Çalışma virüs giderimini teknoloji ve insan bakımından incelemektedir. / The study examines virus removal in terms of technology and people.

Bulgular (Findings)

Adsorpsiyonla virüslerin giderim yöntemleri açıklanmıştır. / Methods of removing viruses by adsorption are explained.

Sonuç (Conclusion)

Çevrede bulunan farklı virüsleri uzaklaştırmak için çeşitli adsorbanlar kullanılabilirken, bu adsorbanların performansı; hem yapısal parametrelere hem de yüzey kimyasındaki farklılıklara bağlı olarak değişiklik gösterir. / While various adsorbents can be used to remove different viruses in the environment, the performance of these adsorbents; It varies depending on both structural parameters and differences in surface chemistry.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Adsorpsiyon ile Virüslerin Giderilmesine İlişkin Bir İnceleme

Derleme Makalesi / Review Article

Muhammet Ş.A. EREN¹, Elif Sıla TANAYDIN², Hasan ARSLANOĞLU^{1*}, Harun ÇİFTÇİ^{3,4}

¹Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Çanakkale, Türkiye

²İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, İzmir, Türkiye

³Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Tıp Fakültesi Tıbbi Biyokimya Anabilim Dalı, Kırşehir, Türkiye

⁴Çankırı Karatekin Üniversitesi Rektörlüğü, Çankırı, Türkiye

(Geliş/Received : 24.12.2020 ; Kabul/Accepted : 15.11.2021 ; Erken Görünüm/Early View : 26.11.2021)

ÖZ

2020 yılında Çin'in Hubei eyaletinin Wuhan şehrinden neredeyse tüm ülkelere yayılan Covid-19 (SARS-CoV-2 Enfeksiyonu)'un potansiyel tehlikeleri, dünya çapında bilim insanlarının ilgi odağı olmuştur. Covid-19'un pnömönden ağır akut solunum yolu enfeksiyonlarına ve böbrek yetmezliğinden ölüme kadar uzanan ciddi etki süreçleri milyonlarca insan için tehdidini sürdürmektedir. Ortaya çıkan yeni viral enfeksiyonlarda uygun tedavi protokollerinin geliştirilmesi için pandemik türlerin izolasyonu büyük önem arz etmektedir. Bunun için yeni yöntemlerin yanında mevcut yöntemlerin de geliştirilmesi gereklidir. Virüsler doğada canlı formda bulunmazlar ve genetik materyalini aktarabilmek için başka canlılara ihtiyaç duyarlar. Ayrıca izole edilmiş yüzeylerde hızla inaktif hale getirilebilirler. Bu yönüyle su kaynakları ve hava en önemli iletim vasıtaları olarak karşımıza çıkmaktadır. Virüslerin yayılmasının önüne geçmede ve onları etkisiz hale getirmede iletim vasıtalarına yönelik adsorpsiyon işlemleri uygulanabilmektedir. Bu derlemede, virüslerin karbonlu, oksitli, gözenekli materyaller ve metal organik kafes yapıları içeren çeşitli adsorbanlarla etkileşimleri incelendi. Su ve hava arıtmasında kullanılan adsorbanların hedef türleri adsorplama işlemlerinde elektrostatik etkileşimlerin daha etkili olduğu belirlendi. Virüs yüzeyinin çeşitli organik fonksiyonel grupları taşıması nedeniyle farklı adsorbanlar ile elektrostatik etkileşime geçeceği ve bu şekilde de onların uzaklaştırılarak hem izole edilmesi hem de etkisiz hale getirilmesi mümkün görülmektedir. Çalışmamızın Koronavirüsler dahil diğer patojenlerin hava ve su kaynaklarına uygulanacak adsorpsiyon işlemleri ile yayılmalarının engellenmesine ve belirtilen iletim vasıtalarının dezenfekte edilmesine yönelik etkili çözümlere katkı sağlayacağını düşünmekteyiz.

Anahtar Kelimeler: Covid-19, adsorpsiyon, karbon, metal organik kafes yapılar, virüsler.

A Review on the Removal of Viruses by Adsorption

ABSTRACT

The potential dangers of Covid-19 (SARS-CoV-2 Infection), which spread to almost all countries from Wuhan, China's Hubei province in 2020, have been the focus of attention of scientists worldwide. Serious impact processes of Covid-19, ranging from pneumonia to severe acute respiratory infections and from kidney failure to death, continue to threaten millions of people. Isolation of pandemic species is of great importance for the development of appropriate treatment protocols in emerging viral infections. For this, it is necessary to develop existing methods as well as new methods. Viruses do not exist in living form in nature and they need other creatures to transfer their genetic material. In this respect, water resources and air appear as the most important means of transmission. Adsorption processes for the transmission means can be applied to prevent the spread of viruses and to inactivate them. In this review, the interactions of viruses with various adsorbents containing carbonaceous, oxidized, porous and metal organic framework materials were examined. Electrostatic interactions were found to be more effective in target types of adsorbing processes of adsorbents used in water and air purification. Since the virus surface carries various organic functional groups, it is seen that it will interact with different adsorbents electrostatic and in this way they can be removed and both isolated and rendered ineffective. We think that our study will contribute to effective solutions to prevent the spread of other pathogens, including coronaviruses, by adsorption processes to be applied to air and water sources and to disinfect the specified transmission means.

Keywords: Covid-19, adsorption, carbon, metal organic framework, viruses.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Virüsler, genetik materyal taşımak ve doğal seleksiyona uğramak gibi canlılara ait özellik göstermelere rağmen belirli bir hücre formuna sahip değildir. Bir virüs, hücresel olmayan bulaşıcı bir ajan

olarak tanımlanır ve bunların canlı organizma olarak sınıflandırılıp sınıflandırılmayacağı temel sorusu hala tartışılmaktadır. Virüsler doğada her yerde bulunur ve insanlarla etkileşimleri sürekli. Toplam viral partikül sayısının, dünyadaki tüm organizmalara ait toplam hücre

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : hasan.arslanoglu@comu.edu.tr

sayısından daha fazla olduğu tahmin edilmektedir [1]. Viral popülasyonların aşırı çeşitliliği ve virüslerin ortadan kaldırılmasında karşılaşılan sorunlar halk sağlığını tehdit etmektedir. Virüsler doğal seleksiyon baskısı altında sürekli değiştiklerinden sebep olduğu hastalıkların ortadan kaldırılması çok zordur. Bu değişim sayesinde aşılarda veya özel olarak hedeflenen ilaçların sunduğu korumalara karşı koyarlar. Viral partiküller bağımsız olarak yaşayamadıklarından difüzyonlarının ilk adımı olarak viral genomik ve proteomik materyal ile hücreyi istila ederek enfeksiyona sebep olurlar. Neredeyse bilinen tüm virüslerin canlı bir organizmada kendine özgü hedefleri vardır, bu da virüsün hücreye girmek için kendisini bağladığı hücre yüzeyinde belirli bir reseptörün varlığına işaret eder [2]. Tercih edilen viral reseptörler ayrıca hücre tiplerini de belirler. Hücrenin içine girdikten sonra viral genom kopyalanır ve çevrilir, aynı zamanda hücresel mekanizmayı kullanır, bu da hücreden atılabilen yeni viral partiküllerin üretilmesi ve olgunlaşmasıyla sonuçlanır. Bu olay yeni rekombinasyon oluşumuna sebep olur ve transdüksiyon olarak adlandırılır [2,3]. Viral bulaşma çoğunlukla viral partikülün vücut sıvısı veya solunumla atılması ve ardından diğer organizmalarla temas ile sağlanır. Transdüksiyon çoğunlukla aynı veya yakından ilişkili türlerin organizmaları arasında gerçekleşir; bununla birlikte, virüs mutasyon kapasitesi zoonozla da gerçekleşebilir. Zoonoz, omurgalı hayvanlardan insanlara doğal olarak bulaşabilen herhangi bir hastalık veya enfeksiyondur. Bilinen 200'den fazla zoonoz türü vardır. Zoonozlar, insanlarda yeni ve mevcut hastalıkların büyük bir yüzdesini oluşturur. Kuduz gibi bazı zoonozlar, aşılama ve diğer yöntemlerle % 100 önlenilebilir. Yani türler arası bariyerin aşılması, bulaşıcılığı ve bulaşıcı kapasiteyi büyük ölçüde kolaylaştırır. Bu sebeple zoonoz genellikle kontrolsüz salgınların erken gelişiminde çok önemli bir adım olarak kabul edilir [1,3].

Virüsler periyodik olarak hem bireysel hem de pandemik gibi toplumsal sağlığı tehdit eden hastalıklara sebep olur. Pandemi, "dünya çapında veya çok geniş bir alanda meydana gelen, uluslararası sınırları aşan ve genellikle çok sayıda insanı etkileyen bir salgın" olarak tanımlanır. Bu tanımla, mevsimsel salgınların uluslararası sınırları aştığı ve çok sayıda insanı etkilediği göz önüne alındığında, pandemilerin ılıman güney ve kuzey yarım kürelerin her birinde yıllık olarak meydana geldiği söylenebilir. Bununla birlikte, mevsimsel salgınlar salgın olarak kabul edilmez [2]. Toplumsal sağlığı tehdit eden salgınlara, 2015 baharında Güney Kore'de ortaya çıkan Ortadoğu solunum koronavirüs sendromu (MERS koronavirüs) örnek verilebilir. %35'in üzerinde ölüm oranı gösteren MERS koronavirüs, Güney Koreli yetkilileri acil epidemiyolojik önlemler almaya zorladı [2]; ancak WHO (Dünya Sağlık Örgütü)'nün belirttiği gibi, "şu anda bu hastalık için spesifik bir tedavi veya aşı yoktur" değerlendirmesi dikkatleri viral enfeksiyonlar üzerine daha da yoğunlaştırdı [3].

2019 yılının son aylarında yeni tip koronavirüsün ortaya çıkmasıyla, dünya 2020 yılında, küresel sosyal ve ekonomik zorlukla karşı karşıya kalmıştır. Bilinmeyen bir koronavirüsün ilk vakaları, neredeyse 12 milyon nüfusa sahip Çin'in Wuhan kentinde 31 Aralık'ta kaydedildi. Bu hastalığa bağlı etkiler, Tayland, Japonya, Güney Kore ve Tayvan gibi Çin'in komşu ülkelerinde de görüldü [4, 5]. O zamandan beri, merkez üssünün Asya, Avrupa ve daha sonra Amerika'ya taşınmasıyla virüsün yayılması artarak devam etti. Yeni tip koronavirüsü, orijinal SARS-CoV'den ayırmak için şiddetli akut solunum sendromu koronavirüs-2 (SARS-CoV-2) olarak adlandırıldı. İlişkili sendrom COVID-19 olarak tanınırken ilk kez 2003 yılında ortaya çıktı. 11 Mart 2020'de WHO, COVID-19'u pandemi ilan etti [5] ve bu incelemeyi yazarken dünya çapında 30 milyondan fazla insan enfekte oldu, 2 milyondan fazla insan öldü.

Asya ve Avrupa kıtaları göreceli kontrol altında görünmesine rağmen, yeni vakalar hala küresel düzeyde artmaya devam ediyor. COVID-19 solunum sistemini, gastrointestinal sistemi ve sinir sistemini etkileyerek bronşit, pnömoni ve ağır vakalarda ölüme neden olduğu bildirilmektedir [1,3,4]. SARS-CoV-2, başlangıçta hayvanlarda, yani ilk ana taşıyıcılar olarak hareket eden pangolinler üzerinde geliştirilmiştir. Bununla birlikte, zoonoz yoluyla ve insandan insana temas yoluyla kontaminasyon mümkün hale geldi [6]. Ayrıca son çalışmalar da bu virüsün aerosoller yoluyla olası hava yoluyla bulaşmasına işaret ediyor [7]. SARS-CoV-2'nin mortalite oranı, özellikle SARS-CoV veya MERS ile karşılaştırıldığında nispeten daha düşüktür ve yaklaşık % 2-5 olarak tahmin edilmektedir. Ciddi komplikasyonlar ve ölüm genellikle yaşlı hastalarda veya önemli komorbidite gösteren deneklerde, diyabet veya hipertansiyon olarak ortaya çıkmaktadır [5-7]. Öte yandan, virüsün bulaşabilirliği ve yayılabilirliği son derece yüksektir ve aynı zamanda, yayılmasına katkıda bulunan asemptomatik veya çok az semptomatik taşıyıcıların varlığıyla da kolaylaştırılır. Yüksek bulaşma ve ciddi komplikasyon olasılığı, özellikle yoğun bakım ünitelerinin kapasite aşımından dolayı, birçok ülkenin sağlık sistemi için önemli sorunlara neden oldu.

Günümüzde virüslerin, son derece tehlikeli hastalıkların sebebi olarak patojenik etkilerinin halk sağlığı için ciddi bir tehdit oluşturabileceği iyi bilinmektedir [1,6,8]. Nitekim, eski çağlardan beri insanlık, birçok tarihi döneme damgasını vuran pandeminin yayılmasıyla mücadele etmek zorunda kaldı. Viral hastalıklar farklı organları ciddi şekilde etkileyebilir ve bunların yayılması, insandan insana bulaşma olasılığı doğal viral enfeksiyon oranı olarak adlandırılır. Virüslerin yayılmasının, enfekte olmuş hayvanlar ve insanlarla doğrudan temas veya viral partiküllerin suda ve havada yayılması yoluyla gerçekleşebileceği bilinmektedir [11]. Sonuç olarak, virüs yayılımının azalmasına, bulaşıcılık oranının düşürülmesine ve dolayısıyla salgınlarının önlenmesine katkıda bulunmak için yüksek kalitede su ve hava arıtımı yapmak gereklidir [19].

Bu nedenle, halk sağlığı standartlarına uygun olarak su ve havanın arıtılması, büyük partiküllerin mekanik olarak ortadan kaldırılmasıyla sınırlı olmamalı, aynı zamanda virüsler ve bakteriler gibi biyolojik kirleticilerin uzaklaştırılması da içermelidir [11,19]. Daha spesifik olarak enfeksiyonlar, viral partiküllerin hava damlacıklarıyla, nemli toprak, yüzeyler ve sudaki difüzyonuyla bulaşabilir [20]. Bazı durumlarda enfeksiyon, sebze veya meyve gibi kontamine yiyeceklerin tüketilmesi veya sterilize edilmemiş su içerek de yayılabilir. Kontamine olmuş su ve gıda yoluyla bulaşma şu anda gelişmiş ülkelerde iyi yönetilmektedir; ancak gelişmekte olan veya az gelişmiş ülkelerdeki temiz besin ve su kaynaklarına erişimin zorluğu insan sağlığını tehlikeye düşüren sorunu temsil etmektedir.

Bu çalışmada, virüs biyolojisi hakkında güncel bilgiler verilmiş, temel adsorbanlarla virüslerin hava ve sulardan giderimi üzerine değerlendirmeler yapılmış ve karbonlu, oksitli, silika ve metal organik kafes yapı formundaki materyaller ile zeolitlerin virüs giderme amaçlı rasyonel tasarımları ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

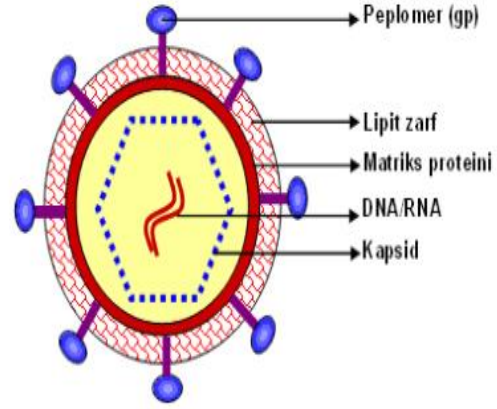
2.VİRÜS BİYOLOJİSİ (VIRUS BIOLOGY)

Genel bir tanımla, virüsler, hüresel bir yapıya sahip olmayan küçük mikroorganizmalardır. Literatürde virüslerin sınıflandırılması aşağıda verilen özelliklere göre yapılmıştır. Bunlar;

- 1) Genetik bilgiyi kodlayan nükleik asit türüne,
- 2) Tek veya çift zincirli, doğrusal, dairesel, parçalanmış, düzenlenmemiş gibi yapısal yönlerine,
- 3) Boyut, simetri tipi ve kapsomer sayısına,
- 4) Dış kabuğun varlığı veya yokluğuna (süper kapsid),
- 5) Antijenik yapıya,
- 6) Gerçekleşen genetik etkileşimlere,
- 7) Cođrafi dağılıma,
- 8) Enfekte edici yollara ve
- 9) Hayvan, bitki ve bakteri gibi konakçı türlerine göre belirlenmiştir [8,9].

Literatüre göre, en yaygın bilinen virüs türleri şunlardır: rotavirüsler, adenovirüsler, hepatit tip A, B, C, çocuk felci (poliovirüs) ve koronavirüsler. Virüs yapısal birimlerinin (viryonlar) boyutları 20 ila 300 nm arasında değişir [10]. Viryonların bileşimi, kapsidi oluşturan bir membran ve bir protein kabuğu ile çevrelenmiş, ribonükleik (RNA) veya deoksiribonükleik (DNA) asitler gibi nükleik asitleri içerir (Şekil 1). Protein kapsid, nükleik asitler tarafından kodlanan viral genomu korur ve sarar. Bu nedenle, protein kapsid ve nükleik asitler küresel olarak nükleokapsid olarak bilinir. Mikroskopik düzeyde kapsid ve dolayısıyla virüsler kübik, küresel, çubuk gibi farklı şekillerde olabilir [9]. Kapsid, bir virüsün genetik materyalini çevreleyen protein kabuğudur. Protomer adı verilen proteinden yapılmış

birkaç oligomerik (tekrar eden) yapısal alt birimden oluşur. Kapsidi oluşturan proteinlere kapsid proteinleri veya viral kılıf proteinleri denir. Kapsid ve iç genom, nükleokapsid olarak adlandırılır. Küçük boyutlu virüsler, ağır ve büyük yapılara kıyasla sıvı emisyonu ile hava yoluyla daha fazla yayılabilir.

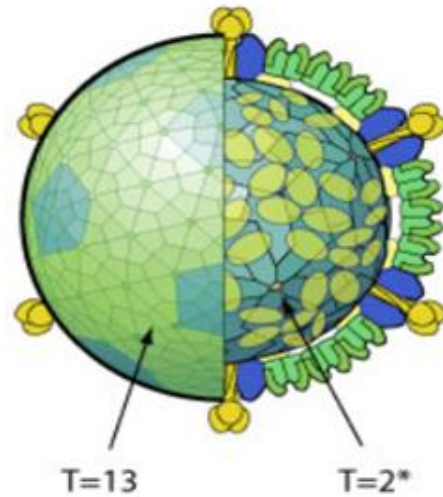
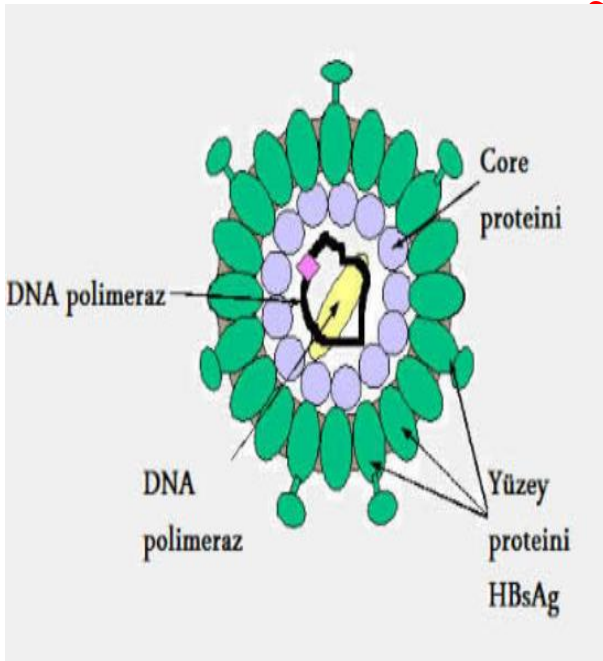
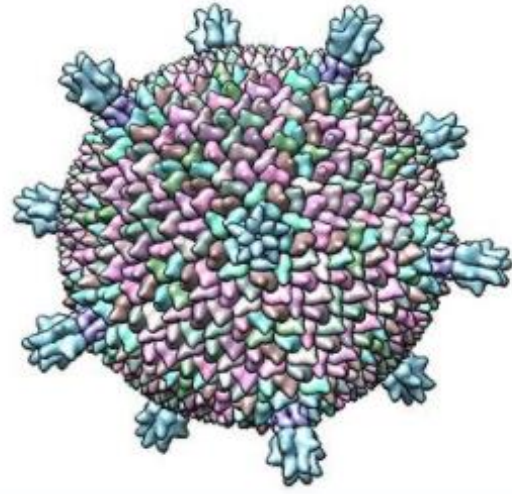
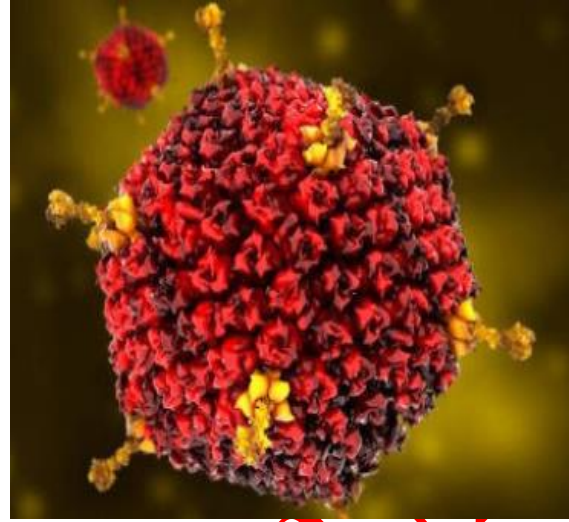
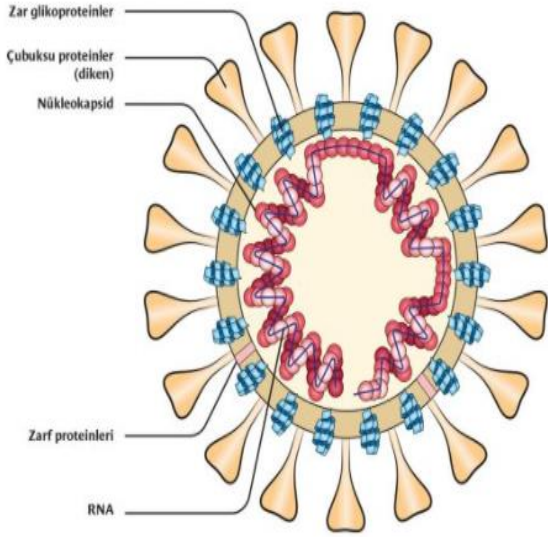


Şekil 1. Virüsün yapısı (Structure of the virus) [12]

Bununla birlikte, virüslerin en yaygın sınıflandırması, neden olabilecekleri hastalıklardan çok genomlarının doğasına ve yapısına bağlıdır [11]. Sonuç olarak, tek veya çift genetik materyal zincirine sahip olabilen DNA ve RNA virüsleri arasında temel bir fark vardır (Şekil 2) (DNA virüsleri genomda DNA içerirken RNA virüsleri RNA içerir. DNA virüslerinin replikasyonu, konakçının çekirdeğinde meydana gelirken, RNA virüslerinde konakçının sitoplazmasında meydana gelir. DNA ve RNA virüsleri arasındaki temel fark, genetik materyalin türü ve çekirdeğin içindeki replikasyondur). Ayrıca, tek zincirli RNA virüsleri pozitif ve negatif polariteye sahip RNA'lara bölünür. Tipik olarak, DNA virüsleri, konakçı hücrenin çekirdeğinde çoğalırken, RNA virüslerinin replikasyon işlemi sitoplazmada gerçekleşir. Aynı zamanda, retrovirüsler olarak adlandırılan bazı pozitif polariteli tek zincirli RNA virüsleri, sitoplazmada replikasyon geçirmesine rağmen, RNA'nın viral retrotranskriptaz tarafından gerçekleştirilen DNA'ya ön retro-transkripsiyonunu içeren tamamen farklı bir strateji kullanır [12,13].

Viral türlerdeki diğer bir farklılık, basit ve karmaşık [13] parçacıkların tanımlanmasına yol açan viryonların yapısal özellikleriyle ilgilidir. Basit virüsler, kapsomerler adı verilen özel harici proteinler tarafından oluşturulan ve şekli virüs simetrisini belirleyen kapsid adı verilen bir dış kabuktan oluşur. Karmaşık virüsler, kapsidin üstünde bulunan ek bir dış kabuğa, süperkapside sahiptir. Süperkapsid, M-proteini tarafından oluşturulan iç protein tabakasını ve konakçı hücre zarlarından ekstrakte edilen moleküler bileşenler tarafından oluşturulan daha hacimli bir lipid ve karbonhidrat tabakasını içerir [6]. Ek olarak,

viral glikoproteinler süperkapside nüfuz ederek kıvrıkcık çıkıntılara (sivri uçlar, lifler) neden olur ve enfeksiyon ile etkileşime izin veren hücre zarı proteinleri reseptör görevi görür [12]. Farklı virüs sınıflarının örnekleri Şekil 3'te gösterilmektedir.



Şekil 2. (A) Grip A virüsü (yani RNA virüsü) ve (B) hepatit B virüsü (yani DNA virüsü) şematik gösterimi ((A) Influenza A virus (ie RNA virus) and (B) hepatitis B virus (ie DNA virus) schematic representation)[14, 15].

Şekil 3. Virüs örnekleri: A) Adenovirüs, B) Sulfolobus taretli ikosahedral virüs I C) Memeli ortorö virüsü (Virus examples: A) Adenovirüs, B) Sulfolobus turret icosahedral virus I C) Mammalian orthorhoid virus) [16, 17, 18].

3. VİRÜSLERİN ADSORPSİYONU (ADSORPTION OF VIRUSES)

Bugüne kadar, suyun ve havanın virüslerden, bakterilerden ve diğer zararlı mikroorganizmalardan arındırılması için farklı yöntemler kullanılmıştır [10,11,19,20]; ancak pratik uygulamada virüslerin adsorpsiyonu ve giderilmesi gibi geleneksel ayırma yöntemleri düşük verimlilik göstermiştir. Virüs yüzeyinin yapısal özellikleri, adsorban yüzeyi ile etkileşim mekanizmasını, biyo-afinitesini (hidrofobik ve koordinasyon bağları) ve nihayetinde spesifik (veya biyo-afinite) iyonik oluşumun eşlik ettiği adsorpsiyon oranını belirler [21-23]. Bu nedenle, virüslerin boyutu, morfolojisi, yüzey yükü, kapsid yapısı, hidrofilik ve hidrofobik amino asitlerin dağılımı gibi fizikokimyasal özelliklerini güçlü bir şekilde adsorpsiyonu etkiler.

Genel olarak, sudan ve havadan virüslerin uzaklaştırılması için ultrafiltrasyon [24], nanofiltrasyon [25] ve ters osmoz membranları [26] gibi farklı membranlar önerilmiştir. Günümüzde, bu amaçla, viral kapsid ile belirli etkileşimlerden faydalanan çok çeşitli materyaller geliştirilmiştir. Yapılan çalışmalar aktif karbon [27], polisakkarit bazlı materyaller [28], kaolinit ve fiberglas [29], Cu ve Ag bileşikler [30], kuvars [31], işlevselleştirilmiş kitosan nanofiberleri [32], nano-TiO₂ [33], reçineler [34], poli (etilenimin) [35], Fe/Ni nanopartiküller [36] ve zeolitler [37] içerir. Bu çalışmaların çoğunun virüslerin sudan uzaklaştırılmasına odaklanmıştır; ancak sonuçların genişletilerek hava arıtma yöntemleri geliştirmek için bir temel olarak kullanılabilirliği anlaşılmalıdır. Aşağıda, saflaştırma için farklı stratejiler ve materyallerin rasyonel tasarımı ayrıntılı olarak açıklanacaktır. Bu çalışmada temel adsorbanlar, karbonlu materyaller, oksitli materyaller, zeolitler, silika, metal organik kafes yapıları ile virüslerin adsorpsiyonla giderimi üzerine derleme yapılmıştır.

3.1. Karbonlu Materyaller (Carbonaceous Materials)

Karbon içerikli materyaller, virüs uzaklaştırmada da büyük ölçüde uygulanan ve hem su hem de hava arıtımı için en çok kullanılan adsorbanlardır. Geleneksel granüler aktif karbon ve fiber kompozit aktif karbonlar sudaki virüslerin uzaklaştırılmasında kullanılmıştır [38]. Hammaddede olarak, ortalama 5 ile 100 µm arasında oluşan birbirine kenetlenmiş bir lif kütlesi seçilmiştir. Bakteriyofaj MS2 (yaklaşık 250 Å yarıçapına sahip) büyümesi ve test edilmesi daha kolay ve daha ucuz olduğu bu çalışmaya model olarak seçildi. Sonuçta, aktif karbonun büyük bakteriyofaj MS2 partiküllerini uzaklaştırmayı sağlayabileceği gösterilmiştir. Matsushita vd. [39], ticari olarak temin edilebilen toz aktif karbon ve süper toz haline getirilmiş aktif karbon üzerine adsorpsiyon yoluyla iki bakteriyofaj (çap 23.5 ± 0.8 nm) ve MS2'nin (çap 22.5 ± 1.0 nm) uzaklaştırılmasını araştırmıştır. Bu çalışma, virüs giderimi için bazı önemli faktörlerin tam olarak

belirlenmesini sağlamıştır: (i) virüs ve toz aktif karbon parçacıkları arasındaki elektroforetik itme kuvvetinin arttırılması, virüsün giderme etkinliğinin azalmasıyla sonuçlanmış, (ii) virüsün uzaklaştırılması için 20-50 nm'lik bir gözenek çapının gerekli olduğu gösterilmiş, (iii) virüs yüzeyinin hidrofobikliğindeki artış, virüsün giderimini arttırmış ve (iv) aktif karbon yüzeyinin negatif yükü virüsün giderme verimini önemli oranda etkilediği bulunmuştur. Mazurkow vd. [38], nanopartiküllerin yüksek yoğunluklu adsorpsiyon alanları oluşturma kapasitesi sayesinde, virüslere karşı etkili adsorbanlar olarak bakır (Cu) ve bakır oksit (Cu₂O) nanopartiküller ile modifiye edilmiş alümina granüllerini kullanmıştır. Deneyler bir tür reaktörde gerçekleştirilmiş ve MS2 bakteriyofajlarının %99.9'unun Cu₂O ve Cu tarafından uzaklaştırıldığını göstermiştir; ancak CuO'nun virüs giderme üzerinde etkisi gözlenmemiştir.

3.2. Oksitli Materyaller (Oxidized Materials)

Viral kapsid yüzeyleri negatif yüklüdür, bu nedenle belirli bir pH değerinde kapsid yüzeyleri elektrostatik etkileşimle pozitif yüklü nanopartiküllerle etkileştirilerek virüs uzaklaştırılır. Elektrostatik adsorpsiyon, virüsleri etkisiz hale getirerek su ve hava arıtımı için uygulanabilir. Gutierrez vd. [40], A grubu domuz rotavirüsünün (çapı 747 ± 132 nm) ve bakteriyofaj MS2'nin (çapı 2542 ± 93 nm) uzaklaştırılmasını incelemek için, hematit (Fe₂O₃) nano partiküller ile kaplanmış cam elyafı kullanarak kesikli deneyler yaptılar. Transmisyon elektron mikroskobu (TEM) görüntüleri, MS2'nin elektrostatik adsorpsiyonunu teyit ederken, aynı zamanda virüs inaktivasyonuna hematit ile etkileşimin neden olduğu gösterdiler. Bununla birlikte, hematit nanopartiküllerin, virüsün sudan uzaklaştırılmasını ve havanın temizlenmesi içinde uygulanabileceği açıktır.

Benzer şekilde Bradley vd. [41], bakteriyofaj MS2 virüsünü ortadan kaldırmak için demir oksit nanopartiküllerle doldurulmuş bir biyo-kum filtresinin potansiyel uygulamasını incelediler. Demir oksitler, sıfır değerlikli demir parçacıklarının korozyonunun bir sonucu olarak elde edilirken, giderme deneyleri sürekli akış işleminde gerçekleştirildi ve sadece kuma kıyasla demire afinitesi arttırılmış bir kum sütunu ile bakteriyofaj MS2'nin önemli ölçüde daha yüksek giderilebildiğini gösterdiler. Adsorpsiyon mekanizması yine negatif yüklü MS2 parçacıklarının pozitif yüklü demir oksitlerle elektrostatik etkileşimi ile açıkladılar. Domagala vd. [42] MS2'yi gidermek için Cu₂O / MWCNTs (çok duvarlı karbon nano tüp) filtreleri kullandılar. Filtrelerin verimli olduğunu; ancak elektrostatik etkileşimlerin adsorpsiyonla ilgili tek mekanizma olmadığını buldular [42].

Michen vd. [43], sudan virüslerin uzaklaştırılmasını iyileştirmek için bir seramik filtreye (% 10, 15 ve % 20 MgO) gömülü magnezyum oksihidroksit (Mg₅O(OH)₈) kullanımını önermişlerdir. Bu filtreler, bakteriyofajlar

MS2 ve PhiX174 (tek sarmallı bir DNA (ssDNA) virüsü)'ün iyi bir şekilde uzaklaştırıldığını (yaklaşık 4-log'luk) gösterdi. Bir kez daha, virüsün uzaklaştırılması, negatif yüklü viryon ile pozitif yüklü magnezyum oksihidroksit arasında uygun elektrostatik etkileşimlerin kurulmasına atfedildi. Virüslerin pozitif yüklü yüzey tarafından çekilebileceği bulgusu, Wegmann vd. [59] tarafından doğrulanmıştır. Elektropozitif zirkonyum Nanopartikülleri ile sudan virüsleri uzaklaştırmak için seramik filtrelerin performansı üzerindeki etkisini araştırdılar. Virüs giderme oranı önemli ölçüde arttı ve en önemlisi MS2 bakteriyofajlarının % 99.99'unun giderilmesi ile sağlandı. Bu nedenle, zirkonyum oksit kaplama, hem su hem de hava işlemlerinde potansiyel uygulamalarla virüsün adsorpsiyonu için umut verici olarak önerildi.

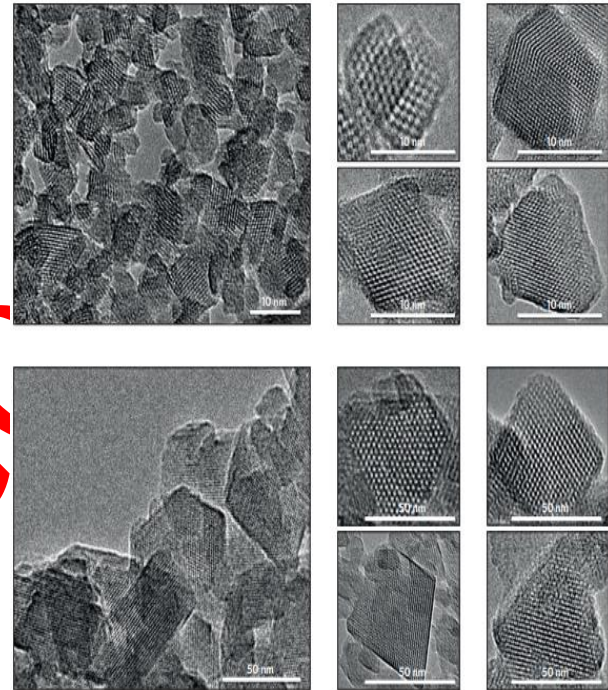
Xiang vd. [44], sudan bakteriyofaj f2'nin uzaklaştırılması için nano-TiO₂-membranlarının uygulanmasını bildirdi. Virüs uzaklaştırma mekanizması, asit koşulları altında zıt yüklü nano- TiO₂ ve bakteriyofaj f2 arasındaki elektrostatik çekimle açıklanmıştır. Birleştirilmiş TiO₂/membran sistemi stabildi ve atık sudan virüsün uzaklaştırılması için kullanılabilirliği belirtildi. SiO₂'nin % 5'ini içeren katkılı TiO₂'nin, TiO₂'ye kıyasla 37 kat artırılmış viral uzaklaştırma performansına sahip olduğu gösterilmiştir. Yazarlar, bu giderme yaklaşımının düşük maliyetli ve çevre dostu materyaller kullanma avantajına sahip olduğunu ve bu nedenle özellikle su arıtımı için avantajlı olduğunu öne sürdüler.

3.3. Zeolitler (Zeolites)

Zeolitler, çeşitli boyut ve şekillerde kafeslerden ve gözeneklerden oluşan düzenli kafes yapılarına sahip kristal ve gözenekli materyallerdir [45]. Zeolitler, yüksek kimyasal seçiciliğe, yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahiptir ve biyoyumlu ve güvenlidir. Dolayısıyla biyomedikal uygulamalar için büyük ilgi görmüştür. Artık zeolitleri nano boyutta sentezlemek ve koloidal süspansiyonlarda stabilize etmek mümkündür. Düzenli mikro gözenekli nanozeolitlerin yüksek stabilitesi, onları boyutlarına göre farklı molekülleri seçici olarak adsorbe etmek ve desorbe etmek için uygun hale getirerek moleküler elek gibi davranmalarına olanak tanır [45,46] (Şekil 4).

Ayrıca, bu kristalin materyallerin ayarlanabilir kimyasal bileşimi, farklı kimyasal ortamlara uyum sağlamalarına ve asidik/alkali ortamlarda yüksek stabilite sergilemelerine izin verir. Önceki çalışmalar nano boyutlu zeolitlere farklı metal katyonlarının (Fe, Gd, Ce, Na) katılanmasıyla adsorpsiyon özelliklerini değiştirebileceğini göstermiştir [47]. Zeolitler ayrıca, belirli bir doku veya hücre tipi için afiniteye sahip yüzey elde edilebilir ve parçacıklar arası gözenekliliğini ayarlayarak özel olarak aktifleştirilebilirler. Örnek olarak, antikor-nanozeolit biyo-konjugatları oluşturulmuş ve kanser hücrelerini gidermek için başarıyla kullanılmıştır [47]. Yüksek gözenekli yapısı ve yüzey alanı gibi

fizikokimyasal özellikleri nedeniyle zeolitler, virüsleri yok etmek için verimli bir şekilde kullanılabilir. Kelly vd. [37] koronavirüs 229E'yi sudan gidermek için adsorban olarak zeolit kullandı. Gümüş ve bakır katkılı zeolitlerin, 1 saatlik işlemde sonra su içinde koronavirüsün önemli oranda azalmaya neden olabileceğini rPCR yöntemiyle gösterdiler. Zeolitin, antibakteriyel özellikler gösteren gümüş ve bakır yoluyla aktifleştirilmesinin, SARS koronavirüsünün yanı sıra diğer koronavirüsler ve insan norovirüsünü (calicivirüs) yaşamsal faaliyetlerini inhibe etmenin de etkili bir yolu olduğu gösterilmiştir [37]. Metal ile aktifleştirilmiş zeolitlerin hem su hem de havadan virüslerin neden olduğu kontaminasyonu azaltmak için mükemmel bir ajan olabileceğini göstermektedir.



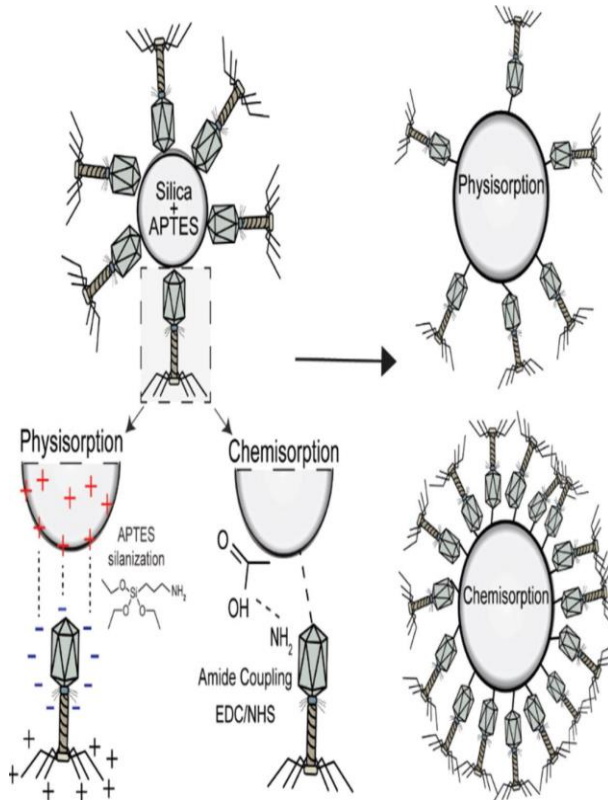
Şekil 4. Nano kristalin yapıdaki zeolitler (Zeolites in nanocrystalline structure) [45].

3.4. Silika Adsorbanlar (Silica Adsorbents)

Silika, geniş yüzey alanı, yüksek kimyasal saflık, hidrofiliklik ve önemli adsorpsiyon kapasitesi gibi fizikokimyasal özelliklere sahip bir adsorbandır. Bu adsorpsiyon kapasitesi, silikaya biyoaktif molekülleri, proteinleri, mikroorganizmaları ve virüsleri aktif olarak adsorbe etme yeteneği verir [48]. Tıbbi amaçlar için kullanılan silikanın özgül yüzey alanı 300 m²/g'dir ve genellikle 9-10 nm çapında küresel parçacıklardan oluşan beyaz bir toz olarak karakterize edilir. Silika partiküllerinin yüzeyi hidroksil grupları = Si-OH (silanol grupları) ve hidrojen bağları yoluyla etkileşen hidroksil grupları içerir. Ek olarak, silika yüzeyinde hem kimyasal olarak bağlı su hem de fiziksel olarak adsorbe edilmiş su molekülleri bulunur. Ana adsorpsiyon bölgeleri olan

silanol gruplarının konsantrasyonu yaklaşık 0.6-0.7 mmol/g veya 2-2.5 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ 'dir. Silika, önemli bir protein adsorpsiyon kapasitesine sahiptir, örneğin 1 g silika, pH 5-6'da sulu çözeltiden 200-300 mg/g jelatin veya 800 mg/g albümini adsorbe edebilir. Silika, çeşitli mikroorganizmaların aktif bir adsorbandır ve 1 g silika başına 10^8 ila 10^{10} mikrobeyleri adsorbe edebilir. Biyolojik nesnelere spesifik etkileşimi belirleyen SiO_2 yüzeyinin aktif merkezlerinin özellikleri ve yapısı [48]'de açıklanmıştır.

Mikroorganizmalara karşı adsorpsiyon seçiciliğini artırmak için çeşitli SiO_2 yüzey modifikasyonu (Şekil 5) yöntemleri tanımlanmıştır [49]. Kimyasal olarak modifiye edilmiş silikalar, özellikle nano-gözenekli mineral oksitler arasında ilgi çekicidir [50]. Silikayı modifiye etmek için çeşitli NH_2 içeren, lupamin, 3-3-(etilendiamino) propil, aminopropil, 3-(diethylentriamino) propil gibi kimyasallar kullanılabilir [51]. Bu tür modifiye edilmiş aktifleştirilmiş silika partikülleri, bakteriyofaj MS-2 uzaklaştırılmasına karşı yüksek giderme verimliliği (>% 98) gösterir. Virüs inaktivasyon mekanizması, pozitif yüklü NH_2 gruplarının yüksek yoğunluğu, elektrostatik etkileşim ve hidrojen bağlarının oluşumu ile açıklanmaktadır [51].



Şekil 5. SiO_2 yüzey modifikasyonu ile virüslerin adsorpsiyonu (Adsorption of viruses by SiO_2 surface modification) [58].

Bir başka çalışmada, Japon ensefalit virüsünün saptanması için manyetik silikon mikro küreler kullanılmıştır. Amin ile aktifleştirilmiş manyetik $\text{Fe}_3\text{O}_4 - \text{SiO}_2 - \text{NH}_2$ nanopartiküller, Zhan vd. [52] Tarafından bakteriyofaj f2 ve Poliovirüs-1 giderimi için adsorban

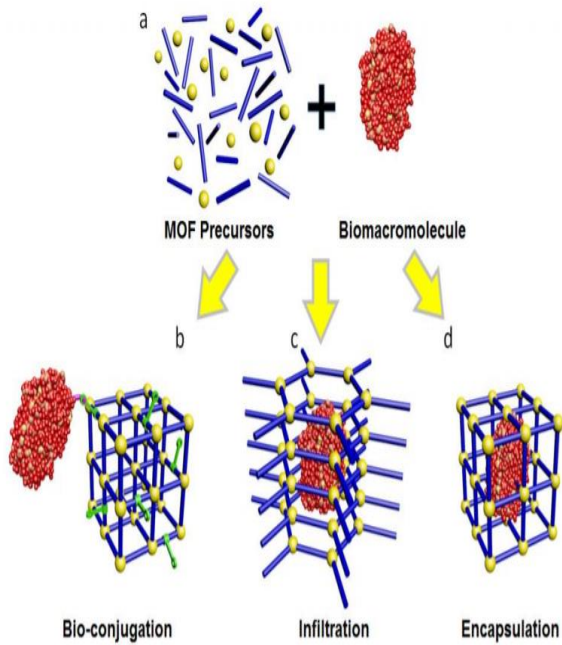
olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Nanopartiküller Fe, tetraetil ortosilikat (TEOS) ve γ -amino propiltrioksil-silan (APTES) kullanılarak elde edilmiştir. Adsorpsiyon mekanizması, patojenlerin ve nanopartikül matrisinin yüzey yükü, hidrofobikliği ve yüzey özellikleri ile açıklanmıştır. Negatif yüklü Poliovirüs-1 duvarları ile pozitif yüklü adsorban yüzey arasındaki elektrostatik çekim net bir şekilde belirlenmiş ve $\text{Fe}_3\text{O}_4 - \text{SiO}_2 - \text{NH}_2$ nanopartiküllerin bakteriyofaj f2 ve Poliovirüs-1'e göre uzaklaştırma veriminin % 97'den fazla olduğu gösterilmiştir. Cademartiri vd. [53], dört modifiye edilmemiş materyal fizyorpasyon yoluyla anyonik silikanın substrat olduğu alternatif bir strateji ile araştırdı. Sonuçta, önerilen adsorbanlar patojenleri, özellikle ilaca dirençli bakterileri saptamak ve kontrol etmek için kullanılabilirliği anlaşılmıştır.

3.5. Metal Organik Kafes Yapılar (MOF) (Metal Organic Lattice Frameworks (MOF))

Metal organik kafes yapılar, metalik türlerin / kümelerin inorganik ve organik ligandlarından oluşur. Bu materyaller, farklı çalışma koşullarında (örneğin, sıcaklık ve çözücüler) çok karardır. Çalışmalar, biyokompozitler de dahil olmak üzere yeni materyaller hazırlamak için bir dizi olasılık sunmuşlardır [53]. Metal organik kafes yapılar temelli biyokompozitlerin uygulanması, biyokataliz, DNA tespiti, algılama, ilaç dağıtım ve immobilizasyonu kapsar. Metal organik kafes yapıların dokusal özelliklerinin (gözenek boyutu ve hacmi), kristal morfolojisinin ve kimyasal işlevselliğinin, çeşitli uygulamalar için özel performanslar elde etmek üzere düzenlenebileceğini gösterilmiştir. Metal organik kafes yapılar, işlevselliklerini koruyarak proteinleri ve diğer biyolojik molekülleri kapsüllemek için kullanılabilir. Bu materyaller aynı zamanda bakteri ve virüsleri de kapsülleyebilir, bu durumda adsorpsiyon temel bir rol oynar. Bu bulgular, virüslerin neden olduğu çevre ve halk sağlığı sorunlarıyla yüzleşmek ve Metal organik kafes yapılarını kullanmak için geniş bir olasılık yelpazesi sunar [54].

Metal organik kafes yapılar, bu yeni tür biyomalzemelerin çevresel ve tıbbi uygulamalarını iyileştirmek ve geliştirmek için ilgili konulardır. Metal organik kafes yapıların organik işlevsellikleri, biyokompozit sentezi için önemli bir rol oynar. Örneğin, Doonan vd. [54], biyolojik bileşiklerin, kapsülleme, infiltrasyon veya biyo-konjugasyon yoluyla gerçekleştirilebilen metal organik kafes yapılarına dahil edilme mekanizmalarını tartıştı ve analiz etti [55](Şekil 6). Metal organik kafes yapılarının, biyolojik makromoleküller dahil olmak üzere çok çeşitli inorganik ve organik bileşikler barındırabilir. Biyokompozitlerin sentezi sırasında ve canlı sistemlerin kaplamasını (yani, biyomimetik mineralizasyon) gerçekleştirmek için metal organik kafes yapıların bileşimi, topolojisi, gözenekliliği ve yüzey işlevleri gibi parametreler önemlidir.

Bununla birlikte, metal organik kafes yapıların gözenek yapılarına biyomakromoleküllerin dahil edilmesinin birkaç teknolojik zorluğu beraberinde getirdiği kabul edilmiştir. Önceki çalışmalar, metal organik kafes yapılar üzerinde kapsüllenen biyomakromoleküllerin, örneğin pH gibi ortam koşullarındaki değişikliklerle salınabileceğini göstermiştir [54]. Öte yandan, metal organik kafes yapılar, bu materyallerin canlı hücreleri agresif ortamlardan korumak için dış iskelet olarak kaplayıp çalışabileceği gerçeğine dayanarak aşı geliştirmelerinde kullanılabilir. Ricco vd. [56], ilaçların ve aşının bozulmasını önlemek amacıyla metal organik kafes yapının, soğuk zinciri iyileştirmek için kullanılabileceği sonucuna varmışlardır. Viral nanopartiküllerin farmako kinetiğini iyileştirmek ve böylece immün yanıtı etkilemek için Metal organik kafes yapılardan hibrid biyosentetik materyallerin hazırlanabileceği de öne sürülmüştür [56]. Metal organik kafes yapılara dayanan aşı tasarımı, ticari uygulamalara ulaşmak için çok daha geniş bir şekilde araştırılması ve üzerinde çalışılması gereken umut verici bir alandır.



Şekil 6. Biyolojik bileşiklerin MOF ile giderilmesi için önemli bazı mekanizmalar (Some important mechanisms for the removal of biological compounds by MOF) [55].

3.6. Kil Adsorbanlar (Clay Adsorbents)

Killerden ve bunların kompozitlerinden elde edilen çeşitli ümit verici adsorbanların rotavirüsleri ve koronavirüsleri ortadan kaldırması önerilmiştir. Gerçekten de rotavirüs ve koronavirüs partiküllerinin çapları sırasıyla 60-80 ve 60-220 nm'dir, bu da farklı adsorban partiküllerin gözeneklerinden açıkça daha

büyüktür. Bu nedenle, her iki virüs de adsorbanların dış yüzeyine adsorbe edilebilir. Deneysel sonuçlar, kil bazlı adsorbanların sığır rotavirüsü ve sığır koronavirüsünü ortadan kaldırmak için (% 70-90) ila (>% 90) etkinlik gösterdiğini göstermiştir [57]. Bu araştırmaya dayanarak, adsorban yüzeyleri ile virüsler arasındaki etkileşimlerin muhtemelen spesifik olmayan bir protein bağlanması olduğu öne sürüldü.

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu inceleme, virüsler tarafından kirletilen su ve havanın arıtılması ve potansiyel antiviral arıtmanın geliştirilmesi için bir dizi adsorbanın potansiyel uygulamasını kapsamaktadır. Genel olarak, virüslerin özellikleri ve sınıflandırması, bunların giderilmesi veya inaktivasyonu için kullanılabilen mevcut adsorbanlar dahil olmak üzere tartışılmıştır. Çevrede bulunan farklı virüsleri uzaklaştırmak için çeşitli adsorbanlar kullanılabilirken, bu adsorbanların performansı; hem yapısal parametrelere hem de yüzey kimyasındaki farklılıklara bağlı olarak değişiklik gösterir. Küresel olarak, nanopartiküllerin hava ve su arıtımı için etkili ve düşük maliyetli sanitasyon sistemleri geliştirme konusunda muazzam bir potansiyele sahip olduğu görülmektedir. Küresel tehditlere neden olan tehlikeli viral ajanların kontrolsüz difüzyonundan veya mutasyonundan kaçınmak için gelişmekte olan veya az gelişmiş ülkelerde verimli ve düşük maliyetli giderme süreçlerinin geliştirilmesine de özel bir vurgu yapılmalıdır. COVID-19 pandemisinin de gösterdiği gibi, adsorban geliştirmenin, çevrede bilinen ve bilinmeyen virüslerin bertaraf edilebilmesi için kalıcı olacaktır.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Muhammet Ş.A. EREN: Literatür araştırması ve derlemesini yapmış, makalenin yazım işlemlerini gerçekleştirmiştir.

Elif Sıla TANAYDIN: Literatür araştırması ve derlemesini yapmış, makalenin yazım işlemlerini gerçekleştirmiştir.

Hasan ARSLANOĞLU: Literatür araştırması, derlemesini yapmış, makalenin yazım işlemlerini ve derlemenin yazım ve kontrol işlemini gerçekleştirmiştir.

Harun ÇİFTÇİ : Derlemenin yazım ve kontrol işlemini gerçekleştirmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Zhu, N., Zhang, D., Wang, W., Li, X., Yang, B., Song, J., Niu, P., "A novel coronavirus from patients with pneumonia in China", *New England Journal of Medicine*, (2020).
- [2] Sohrabi, C., Alsafi, Z., O'Neill, N., Khan, M., Kerwan, A., Al-Jabir, A., Agha, R. "World Health Organization declares global emergency: A review of the 2019 novel coronavirus (COVID-19)", *International Journal of Surgery*, (2020).
- [3] Elkholy, A. A., Grant, R., Assiri, A., Elhakim, M., Malik, M. R., Van Kerkhove, M.D., "MERS-CoV infection among healthcare workers and risk factors for death: retrospective analysis of all laboratory-confirmed cases reported to WHO from 2012 to 2 June 2018", *Journal of infection and public health*, 13(3): 418-422 (2020).
- [4] Domingo, J. L., Marquès, M., & Rovira, J., "Influence of airborne transmission of SARS-CoV-2 on COVID-19 pandemic. A review", *Environmental research*, 109861. (2020).
- [5] Guarner, J., "Three emerging coronaviruses in two decades: the story of SARS, MERS, and now COVID-19", (2020).
- [6] Zhang, N., Wang, L., Deng, X., Liang, R., Su, M., He, C., Du, L., "Recent advances in the detection of respiratory virus infection in humans", *Journal of medical virology*, 92(4): 408-417 (2020).
- [7] Chisholm, P. J., Busch, J. W., Crowder, D. W., "Effects of life history and ecology on virus evolutionary potential", *Virus research*, 265: 1-9 (2019).
- [8] Zandi, R., Dragnea, B., Travasset, A., Podgornik, R., "On virus growth and form", *Physics Reports*, 847:1-102 (2020).
- [9] Artika, I.M., Wiyatno, A., Ma'roef, C.N., "Pathogenic viruses: Molecular detection and characterization", *Infection, Genetics and Evolution*, 81:104215 (2020).
- [10] Annalaura, C., Ileana, F., Dasheng, L., Marco, V., "Making waves: Coronavirus detection, presence and persistence in the water environment: State of the art and knowledge needs for public health", *Water Research*, 115907 (2020).
- [11] Shirasaki, N., Matsushita, T., Matsui, Y., Murai, K., & Aochi, A., "Elimination of representative contaminant candidate list viruses, coxsackievirus, echovirus, hepatitis A virus, and norovirus, from water by coagulation processes", *Journal of hazardous materials*, 326:110-119 (2017).
- [12] <https://www.lokmanhekim.edu.tr/en/haber/bu-pandemison-olmayacak-sars-cov-2-ve-marifeti-covid-19/> (erişim tarihi: 28.11.2020)
- [13] Randazzo, W., Truchado, P., Cuevas-Ferrando, E., Simón, P., Allende, A., & Sánchez, G., "SARS-CoV-2 RNA in wastewater anticipated COVID-19 occurrence in a low prevalence area", *Water Research*, 115942 (2020).
- [14] <https://www.detam.com.tr/corona-virus-ve-covid-19-kuresel-tehlike/> (erişim tarihi: 28.11.2020)
- [15] <http://drahmetdobrucali.com/hepatit-b/> (erişim tarihi: 28.11.2020)
- [16] <https://www.doktoroge.com/adenovirus-enfeksiyonlari/> (erişim tarihi: 28.11.2020)
- [17] https://en.wikipedia.org/wiki/Sulfolobus_turreted_icosahedral_virus_1 (erişim tarihi: 28.11.2020)
- [18] <https://viralzone.expasy.org/104> (erişim tarihi: 28.11.2020)
- [19] La Rosa, G., Bonadonna, L., Lucentini, L., Kenmoe, S., & Suffredini, E., "Coronavirus in water environments: Occurrence, persistence and concentration methods-A scoping review", *Water Research*, 115899 (2020).
- [20] Sellaoui, L., Badawi, M., Monari, A., Tatarchuk, T., Jemli, S., Dotto, G. L., Chen, Z., "Make it clean, make it safe: A review on virus elimination via adsorption", *Chemical Engineering Journal*, 128682 (2021).
- [21] Sidhu, J. P. S., Sena, K., Hodgers, L., Palmer, A., "Toze, S. Comparative enteric viruses and coliphage removal during wastewater treatment processes in a sub-tropical environment", *Science of the Total Environment*, 616:669-677 (2018).
- [22] Casanova, L., Rutala, W. A., Weber, D. J., Sobsey, M. D., "Survival of surrogate coronaviruses in water", *Water research*, 43(7):1893-1898 (2009).
- [23] Armanious, A., Aeppli, M., Jacak, R., Refardt, D., Sigstam, T., Kohn, T., & Sander, M., "Viruses at solid-water interfaces: a systematic assessment of interactions driving adsorption", *Environmental science & technology*, 50(2):732-743 (2016).
- [24] Carvajal, G., Branch, A., Sisson, S. A., Roser, D. J., van den Akker, B., Monis, P., Khan, S. J., "Virus removal by ultrafiltration: Understanding long-term performance change by application of bayesian analysis", *Water research*, 122:269-279 (2017).
- [25] Junter, G. A., & Lebrun, L., "Cellulose-based virus-retentive filters: a review", *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 16(3):455-489 (2017).
- [26] Rambags, F., Tanner, C. C., Stott, R., Schipper, L. A., "Bacteria and virus removal in denitrifying bioreactors: Effects of media type and age", *Ecological Engineering*, 138:46-53 (2019).
- [27] Powell, T., Brion, G. M., Jagtoyen, M., Derbyshire, F., "Investigating the effect of carbon shape on virus adsorption", *Environmental science & technology*, 34(13): 2779-2783 (2000).
- [28] Junter, G. A., Lebrun, L., "Polysaccharide-based chromatographic adsorbents for virus purification and viral clearance", *Journal of Pharmaceutical Analysis*, (2020).
- [29] Xing, Y., Ellis, A., Magnuson, M., Harper Jr, W. F., "Adsorption of bacteriophage MS2 to colloids: Kinetics and particle interactions", *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 585:124099 (2020).
- [30] Minoshima, M., Lu, Y., Kimura, T., Nakano, R., Ishiguro, H., Kubota, Y., Sunada, K., "Comparison of the antiviral effect of solid-state copper and silver compounds", *Journal of Hazardous Materials*, 312:1-7 (2016).
- [31] Chrysikopoulos, C. V., & Aravantinou, A. F., "Virus inactivation in the presence of quartz sand under static and dynamic batch conditions at different temperatures", *Journal of hazardous materials*, 233:148-157 (2012).

- [32] Mi, X., Heldt, C. L., "Adsorption of a non-enveloped mammalian virus to functionalized nanofibers", *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 121:319-324 (2014).
- [33] Zheng, X., Chen, D., Lei, Y., Cheng, R., "Nano-TiO₂ membrane adsorption reactor (MAR) for virus removal in drinking water", *Chemical engineering journal*, 230:180-187 (2013).
- [34] Pisharody, L., Suresh, S., & Mukherji, S., "Evaluation of adsorbents and eluents for application in virus concentration and adsorption-desorption isotherms for coliphages", *Chemical Engineering Journal*, 403, 126267 (2020).
- [35] Tiliket, G., Le Sage, D., Moules, V., Rosa-Calatrava, M., Lina, B., Valleton, J. M., Lebrun, L., "A new material for airborne virus filtration", *Chemical engineering journal*, 173(2):341-351 (2011).
- [36] Cheng, R., Kang, M., Zhuang, S., Wang, S., Zheng, X., Pan, X., Wang, J., "Removal of bacteriophage f2 in water by Fe/Ni nanoparticles: Optimization of Fe/Ni ratio and influencing factors", *Science of the Total Environment*, 649: 995-1003 (2019).
- [37] Bright, K. R., Sicairos-Ruelas, E. E., Gundy, P. M., & Gerba, C. P., "Assessment of the antiviral properties of zeolites containing metal ions", *Food and Environmental Virology*, 1(1):37 (2009).
- [38] Mazurkow, J. M., Yüzbaşı, N. S., Domagala, K. W., Pfeiffer, S., Kata, D., Graule, T., "Nano-sized copper (oxide) on alumina granules for water filtration: effect of copper oxidation state on virus removal performance", *Environmental Science & Technology*, 54(2):1214-1222 (2019).
- [39] Matsushita, T., Suzuki, H., Shirasaki, N., Matsui, Y., Ohno, K., "Adsorptive virus removal with super-powdered activated carbon", *Separation and Purification Technology*, 107:79-84 (2013).
- [40] Gutierrez, L., Li, X., Wang, J., Nangmenyi, G., Economy, J., Kuhlenschmidt, T. B., Nguyen, T. H., "Adsorption of rotavirus and bacteriophage MS2 using glass fiber coated with hematite nanoparticles", *Water research*, 43(20):5198-5208 (2009).
- [41] Bradley, I., Straub, A., Maraccini, P., Markazi, S., Nguyen, T. H., "Iron oxide amended biosand filters for virus removal", *Water research*, 45(15):4501-4510 (2011).
- [42] Domagała, K., Jacquín, C., Borlaf, M., Sinnet, B., Julian, T., Kata, D., Graule, T., "Efficiency and stability evaluation of Cu₂O/MWCNTs filters for virus removal from water", *Water research*, 115879 (2020).
- [43] Michen, B., Fritsch, J., Aneziris, C., Graule, T., "Improved virus removal in ceramic depth filters modified with MgO", *Environmental science & technology*, 47(3):1526-1533 (2013).
- [44] Zheng, X., Chen, D., Lei, Y., & Cheng, R., "Nano-TiO₂ membrane adsorption reactor (MAR) for virus removal in drinking water", *Chemical engineering journal*, 230:180-187 (2013).
- [45] Awala, H., Gilson, J. P., Retoux, R., Boullay, P., Goupil, J. M., Valtchev, V., & Mintova, S., "Template-free nanosized faujasite-type zeolites", *Nature materials*, 14(4):447-451 (2015).
- [46] Ng, E. P., Chateigner, D., Bein, T., Valtchev, V., & Mintova, S., "Capturing ultrasmall EMT zeolite from template-free systems", *Science*, 335(6064): 70-73 (2012).
- [47] Valable, S., LAZAROVA, S. M., Anfray, C., Valtchev, V., Touzani, O., Bernaudin, M., *U.S.* (2020).
- [48] Qin, Y., Wen, Z., Zhang, W., Chai, J., Liu, D., & Wu, S., "Different roles of silica nanoparticles played in virus transport in saturated and unsaturated porous media", *Environmental Pollution*, 259, 113861. (2020).
- [49] Sun, M., Wang, H., & Li, X., "Modification of cellulose microfibers by polyglutamic acid and mesoporous silica nanoparticles for Enterovirus 71 adsorption", *Materials letters*, 277:128320 (2020).
- [50] Kurtz-Chalot, A., Villiers, C., Pourchez, J., Boudard, D., Martini, M., Marche, P. N., Forest, V., "Impact of silica nanoparticle surface chemistry on protein corona formation and consequential interactions with biological cells", *Materials Science and Engineering: C*, 75:16-24 (2017).
- [51] Chen, Z., Hsu, F. C., Battigelli, D., & Chang, H. C., "Capture and release of viruses using amino-functionalized silica particles", *Analytica chimica acta*, 569(1-2):76-82 (2006).
- [52] Zhan, S., Yang, Y., Shen, Z., Shan, J., Li, Y., Yang, S., Zhu, D., "Efficient removal of pathogenic bacteria and viruses by multifunctional amine-modified magnetic nanoparticles", *Journal of Hazardous Materials*, 274:115-123 (2014).
- [53] Cademartiri, R., Anany, H., Gross, I., Bhayani, R., Griffiths, M., Brook, M. A., "Immobilization of bacteriophages on modified silica particles", *Biomaterials*, 31(7):1904-1910 (2010).
- [54] Doonan, C., Riccò, R., Liang, K., Bradshaw, D., & Falcaro, P., "Metal-organic frameworks at the biointerface: synthetic strategies and applications", *Accounts of chemical research*, 50(6):1423-1432 (2017).
- [55] https://eprints.soton.ac.uk/410244/1/ACR_Doonan_2017_revised_OK.pdf (erişim tarihi: 28.11.2020)
- [56] Riccò, R., Liang, W., Li, S., Gassensmith, J. J., Caruso, F., Doonan, C., & Falcaro, P., "Metal-organic frameworks for cell and virus biology: a perspective", *ACS nano*, 12(1):13-23 (2018).
- [57] Clark, K. J., Sarr, A. B., Grant, P. G., Phillips, T. D., & Woode, G. N., "In vitro studies on the use of clay, clay minerals and charcoal to adsorb bovine rotavirus and bovine coronavirus", *Veterinary microbiology*, 63(2-4):137-146 (1998).
- [58] Bone, S., Alum, A., Markovski, J., Hristovski, K., Bar-Zeev, E., Kaufman, Y., Perreault, F., "Physisorption and chemisorption of T4 bacteriophages on amino functionalized silica particles", *Journal of colloid and interface science*, 532: 68-76 (2018).
- [59] Wegmann, M., Michen, B., Luxbacher, T., Fritsch, J., & Graule, T., "Modification of ceramic microfilters with colloidal zirconia to promote the adsorption of viruses from water", *Water Research*, 42(6-7):1726-1734 (2008).