Mikrokabarcık Gücüyle

Suyu Kimyasallardan Arıtma

Dr. Morteza Ghorbani, Prof. Dr. Ali Koşar

Sabancı Üniversitesi (SÜ) Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, SÜ Fonksiyonel Yüzey ve Arayüzeyler Mükemmeliyet Merkezi (EFSUN), SÜ Nanoteknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi (SUNUM)

Dünya yüzeyindeki su rezervlerinin sadece %1'i içilebilir su niteliğinde. Bu kadar kısıtlı miktarlarda bulunan içilebilir suya olan talep ise her geçen gün artmakta. Peki ihtiyaç duyulan suyu sürdürülebilir kılmak mümkün mü? Bu bağlamda mevcut su kaynaklarını daha verimli kullanmak ve korumak için mikrokabarcık teknolojisinden yararlanarak kirlenen suları arıtmak mümkün olabilir. Bu teknoloji, su arıtımında çevre dostu, enerji verimli ve zararlı kimyasal maddelerin kullanımını azaltan bir tekniği içermesi nedeniyle suyun sürdürülebilirliğine katkı sağlarkengeleneksel yöntemlere kıyasla daha düşük maliyetli ve çevreye daha az zararlı.

Pongsakornjun / iStock

Küresel nüfus artışı, iklim değişikliği, su kaynaklarının eşit dağılmaması ve sanayi sektöründeki gelişmeler içilebilir su talebinde keskin bir artışa neden oluyor. 1900'lü yılların başlarında 1,6 milyar olan dünya nüfusu 2022 yılında 8 milyarı aştı. Nüfus artışıyla birlikte iklim değişikliğinin sebep olduğu olduğu kuraklık ve su kaynaklarının azalması nedeniyle içilebilir suya olan talep küresel ölçekte arttı. Su kaynaklarının coğrafi olarak dünyanın her bölgesinde dengeli bir şekilde dağılmaması, suya erişimi kısıtlı bölgelerde içilebilir su talebinin hızla artmasına neden olmakta. Ayrıca sanayi ve tarım üretiminde artan su kullanımı içilebilir suya olan talebin yükselmesine neden oldu. Bu bağlamda insanın en temel ihtiyacı olan suyun temini sorununun çözülmesi ve sürdürülebilir su kaynaklarının geliştirilmesi yakın gelecek için büyük önem taşıyor. Suyu gezegenimize dış kaynaklardan getiremeyeceğimize göre mevcut su rezervini dikkate alarak çözümler üretmemiz gerekiyor. Bu noktada atık su arıtma yani atık suyun kirleticilerden arındırılarak doğal çevrenin su döngüsüne aktarılması yıllardır uygulanan bir yöntem olarak karşımıza çıkıyor.

Geleneksel atık su arıtma işlemi ön, birincil, ikincil ve üçüncül arıtma aşamalarını içerir. Ön adımda atık suyun içindeki büyük hacimli ve kütleli inorganik katılar, diğer büyük nesneler ve aşırı miktarda bulunan yağ sudan ayrıştırılır. Birincil arıtma aşamasında çökelebilen organik ve inorganik maddelerin atık sudan ayrıştırılması veya uzaklaştırılması amaçlanır. Bu fiziksel süreçte yoğunluğu düşük olduğu için suyun yüzeyinde kalan katı maddeler akış hızının azaltılmasıyla yüzeyde toplanabilir. İkincil arıtma, birincil aşamadan daha karmaşık olan ve atık sudan fiziksel süreçlerle uzaklaştırılması mümkün olmayan biyolojik kirleticileri önemli ölçüde en aza indirmeyi amaçlayan biyolojik bir süreçtir. Üçüncül aşamada doğal su kaynaklarına deşarj edilmeden yani bırakılmadan veya yeniden kullanılmadan önce suyun çevresel etkisi en aza indirilerek yani içinde kalan kirleticiler uzaklaştırılarak su kalitesinin artırılması amaçlanır. Bu işlemler genellikle ileri oksidasyon işlemleri, aktif karbon adsorpsiyonu vb. gibi kimyasal ve fiziksel yöntemlerin bir arada kullanılmasıyla gerçekleştirilir. Özellikle organik kirleticileri yok ederek suyun yeniden kullanılabilecek şekilde ileri düzeyde arıtılmasını sağlayan

Kavitasyon Kabarcığı Döngüsü

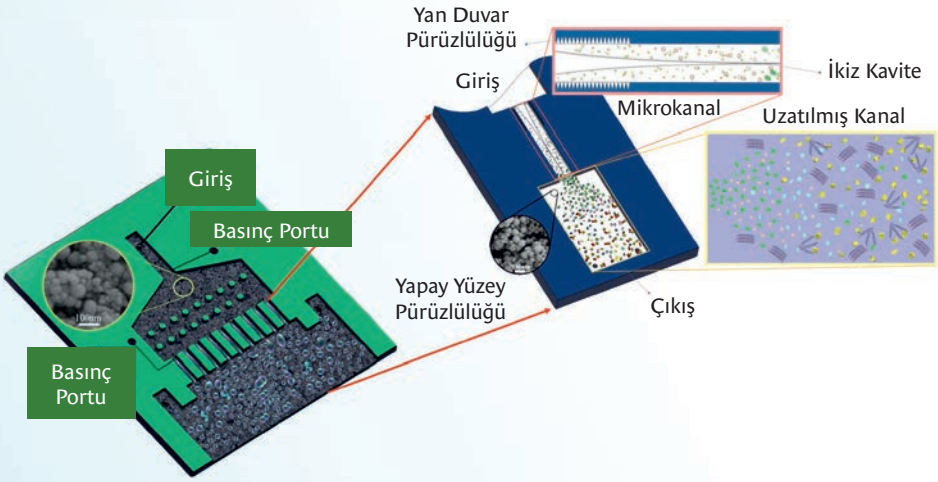
ileri oksidasyon işlemleri (AOP) arasında en önemlilerden biri kavitasyon döngüsü olup bunlar içinde en popüler olanı da akustik kavitasyondur. Akustik kavitasyon, ses dalgaları sayesinde sıvıda oluşan kabarcıkların çökmesiyle yüksek enerji açığa çıkaran bir kavitasyon türüdür.

Kavitasyon; buharlaşma, kabarcık oluşumu ve kabarcık patlamasından oluşan aşamalı bir döngüdür. Kavitasyon, bir akışkan sisteminde yerel statik basınç (akışkanın belirli bir noktasındaki basınç) kritik bir değerin altına düştüğünde meydana gelir ve en önemli faz değişimi olaylarından biri olarak kabul edilir. Kavitasyon sistemlerinde kullanılan orifis veya ventüri gibi akış kısıtlayıcı elemanlar veya turbo makineler yerel basınçta ani bir düşüş sağlayarak akışkanın içinde küçük kavitasyon kabarcıkları oluşturulabilir. Ortaya çıkan kavitasyon kabarcıklarının çökmesi, yüksek miktarda enerji salımına yol açar. Bu durumda akışkan içinde oluşan şok dalgaları ve yüksek hızlı jetler (ani ve hızlı sıvı akışı) belirli noktalarda yerel sıcaklığı önemli ölçüde artırabilir. Daha önceki araştırmalar, mikro ölçekteki (metrenin milyonda biri) kavitasyon kabarcıklarının çökmesi sonucu akışkanın içinde sıcaklığı 1.000 K (~730 °C)'nin üzerine ulaşan sıcak noktalar ve hızı saniyede 300 metreyi aşan yüksek hızlı mikrojetlerin ortaya çıktığını gösteriyor.

miss_J / iStock

Son on yılda mikroakışkan sistemler alanında yaşanan gelişmelerle birlikte hidrodinamik kavitasyon olarak isimlendirilen ve su akışında oluşan bu kavitasyon yönteminin, ses dalgalarıyla oluşturulan ultrasonik kavitasyon yöntemine önemli bir alternatif olabileceği düşünülmeye başlandı. Ancak akışkanların içinde gerçekleşen kavitasyon süreci makro ve mikro ölçekte farklı özellikler gösterebilir. Mikro ölçekteki kanallarda gerçekleşen hidrodinamik kavitasyon üzerine yapılan öncü çalışmalar, mikro ölçekteki kavitasyonun benzersiz özelliklere sahip olduğunu ortaya koyuyor. Örneğin mikro ölçekte kavitasyonun başlatılması makro ölçektekiyle karşılaştırıldığında daha fazla enerji gerektirdiğinden çok daha güçtür. Üstelik mikro ölçekte kavitasyon bir kez geliştikten sonra yok edilmesi son derece zordur. Ayrıca mikro ölçekteki hacimlerde gerçekleşen kaynama ile ilgili pek çok çalışma mevcut olmasına rağmen faz değişimine dayalı başka bir süreç olan hidrodinamik

kavitasyon, mikroakışkan sistemler konusunda çalışan araştırmacılar ve mühendisler tarafından aynı düzeyde ilgi görmemiştir. Bu nedenle mikro ve nano ölçekte gerçekleşen kavitasyonlu akışlar hakkında yeterince bilgi yoktur. Mikro ölçekli hidrodinamik kavitasyon, daha yüksek bir yüzey/hacim oranı sağlayarak makro ölçekli kavitasyona kıyasla hedef kirleticilere daha etkili etkileşim imkânı sunar.

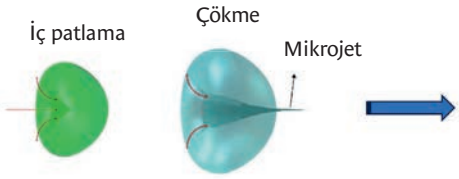


Mikrokirleticilerin sudan uzaklaştırılmasında kullanılan hidrodinamik kavitasyon reaktörlerin çalışma prensibi

Farklı uygulama alanlarında kullanılan mikro ölçekteki hidrodinamik kavitasyon kolayca ölçeklendirilebilmesi, düşük maliyetli olması, enerji verimliliği ve daha yüksek yüzey/hacim oranı sağlayarak daha fazla etkinlik sağlama açısından su arıtmada önemli avantajları olan yöntemlerden biridir. Bu amaçla kullanılan sistemler hidrodinamik kavitasyon reaktörü olarak isimlendirilir. Kavitasyon kabarcıklarının çökmesi, çevrelerindeki akışkana mekanik, termal ve kimyasal formlarda büyük miktarda enerji salar. Bu nedenle mikro ölçekteki hidrodinamik kavitasyonun biyolojik ya da üçüncül aşama atık su arıtımında hâlihazırda uygulanan yöntemlere alternatif olabileceği düşünülüyor. Yapılan çalışmalar, hidrodinamik kavitasyon reaktörlerindeki mikro kavitasyon kabarcıklarının çökmesi sonucu açığa çıkan enerjinin büyük kısmının, atık sularda bulunan ilaç etkin maddelerine ait kalıntılar, bakteriler, mikro algler ve tehlikeli kimyasal maddeler gibi birçok kirleticiyi sudan uzaklaştırmakta kullanılabileceğini gösteriyor. Ayrıca su arıtmada kullanılan hidrodinamik kavitasyon reaktörleri elektrik enerjisine ihtiyaç duymadan çalışabilir. Bu nedenle bu tür hidrodinamik sistemler uzak bölgelerde veya enerji kaynaklarına erişimin sınırlı olduğu ortamlarda kurulmaya son derece uygundur. Sürdürülebilirliği yüksek olan bu yöntem, yetersiz kaynaklara ve altyapıya sahip bölgelerde su arıtımı için uygulanabilir bir çözüm sunar. Kavitasyon

tolgart / iStock

kabarcıkları oluşturmak için yalnızca suya gereksinim olan bu yöntemde geleneksel atık su arıtma tesislerinde kullanılan klor veya persülfat gibi zararlı kimyasal maddelere ihtiyaç duyulmaz.



Kavitasyon kabarcıklarının çökmesi sonucu ortaya çıkan kimyasal etkiler

Diğer taraftan mikroakışkan çipler kullanılarak küçük ölçekteki akışlar içinde kavitasyon oluşturmak mümkün. Mikroakışkan çiplerdeki akış kısıtlayıcıların yüzeylerinin özellikleri değiştirilerek kavitasyon kabarcıklarının oluşumu çok daha kolay hâle getirilebilir. Çip üstü kavitasyon olarak isimlendirilen bu yöntem, küçük ölçekte kolay su arıtma uygulamalarının önünü açabilir. Çip üstü kavitasyon yaklaşımı ölçeklenebilme yani küçük ölçekte geliştirilen sistemlerin kolayca büyütülebilmesi, kabarcıkların yönlendirilebilmesi ve kontrol edilebilmesi gibi avantajlara sahiptir. Çip üstü kavitasyon platformları kullanılarak sudaki zararlı kimyasal maddelerin uzaklaştırılması için en uygun koşullar oluşturulabilir. Çip üstü kavitasyon yöntemi ile suda serbest radikaller üretilebilir ve bu sayede sudaki istenmeyen kirletici maddelerin bozulma hızı artırılabilir.

Sonuç olarak çip üstü kavitasyon yönteminde oluşturulan kabarcıkların özelliklerinin ve davranışlarının kontrol edilmesi, kontrollü kabarcık çöküşü ve ulaşılan yüksek yerel sıcaklıklar sonucu ortaya çıkan kimyasal ve fiziksel etkiler, sudaki zararlı maddelerin ve organik kirleticilerin parçalanmasını sağlayarak verimli bir su arıtma çözümü sunar. Çip üstü kavitasyon reaktörlerinde gerçekleşen kavitasyon akışların yeni nesil deneysel ve sayısal yöntemlerle detaylı şekilde incelenmesi ve karmaşık akış fiziğinin tamamıyla aydınlatılması, bu yöntemin su arıtmada etkinliğini daha da artıracak ve küresel su arıtma sorununu çözebilecek kapasiteye ulaşmamızı sağlayabilecek. Yine de kullandığımız suyu kirletmemeyi ve plastik madde kullanımını en az seviyeye indirgeme konusunda hassasiyet göstermeyi aklımızdan çıkarmamalıyız. ■

Kaynaklar

Ramalho, R.S., *Introduction to wastewater treatment processes*. Academic press, 2013.

Sonune, A. and Ghate, R., Developments in wastewater treatment methods. *Desalination*, 167, pp.55-63, 2004.

Kebede, T.B., Waste water treatment in brewery industry, Review. *International Journal of Engineering Development and Research*, 6(1), pp.716-722, 2018.

Dekker, G. and Sibai, B., Primary, secondary, and tertiary prevention of pre-eclampsia. *The Lancet*, 357(9251), pp.209-215, 2001.

Gevari, M.T., Abbasiasl, T., Niazi, S., Ghorbani, M. and Koşar, A., Direct and indirect thermal applications of hydrodynamic and acoustic cavitation: A review. *Applied Thermal Engineering*, 171, p.115065, 2020.

Flint, E.B. and Suslick, K.S., The temperature of cavitation. *Science*, 253(5026), pp.1397-1399, 1991.

Talabazar, F.R., Baresel, C., Ghorbani, R., Tzanakis, I., Koşar, A., Grishenkov, D. and Ghorbani, M., Removal of per-and polyfluoroalkyl substances (PFAS) from wastewater using the hydrodynamic cavitation on a chip concept. *Chemical Engineering Journal*, 495, p.153573, 2024.