

# HAVADAN TEMİZ SU ÜRETME TEKNOLOJİSİ

(CLEAN WATER PRODUCTION TECHNOLOGY FROM AIR)

## **GİRİŞ:**

*İçme suyu ve kullanma suyu temini, önümüzdeki yüzyılın en büyük sorunu olacağı herkesçe de çok iyi bilinen bir gerçek olarak, önümüzde durmaktadır.*

*Başlıca sebepleri ise; İklim Değişikliği, Nüfus Artışı ve Su Tüketim Kültürünün Artışı olarak sıralayabiliriz.*

*Gelişmiş toplumlarda “Sürdürülebilir Kentsel Su Yönetimi Araştırma Programları” ile ilgili ciddi çalışmalar yapılırken, ülkemizde maalesef yeterli çalışmalar ve planlamalar yoktur.*

***YER KÜREMİZİN %71 SU, %29 KARA'DIR.***

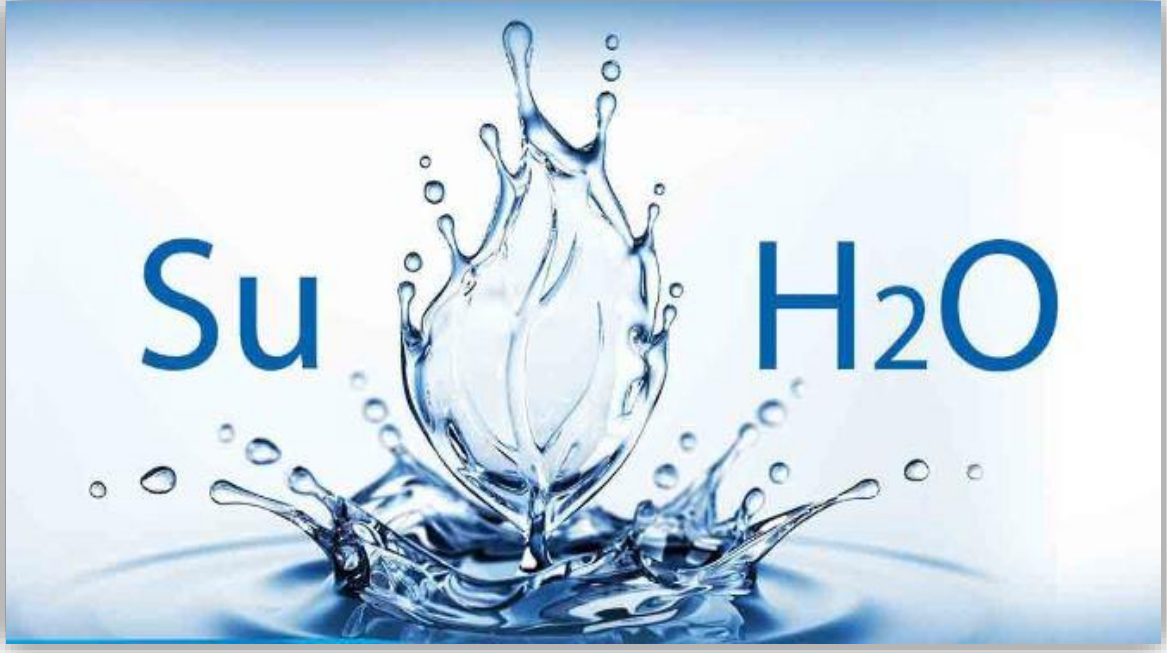
***MEVCUT SUYUN; %97,5'Ü DENİZ SUYU ve %2,5 'U TEMİZ SU'DUR.***

***TÜM DÜNYADAKİ SUYUN; %0,0075 'İ TATLI SU'DUR. (İÇME SUYU)***

***Dünyada her insan için ortalama yılda; 1,4 milyon litre su harcanıyor.***

*Dünya'nın yaklaşık 3/4 'ü su olmasına rağmen, içme suyu ve kullanıma uygun tatlı su kaynakları oldukça kısıtlıdır.*

***Dünya'nın toplam tatlı su kapasitesi yaklaşık 35 milyon km<sup>3</sup>(kilometreküp) (Dünya'nın toplam su kapasitesinin %2,5'i) olup bunun sadece 105 bin km<sup>3</sup>(kilometreküp) 'ü (%0,3'ü) doğal çevre ve insan kullanım ihtiyaçlarına elverişli tatlı su kaynaklarıdır.***

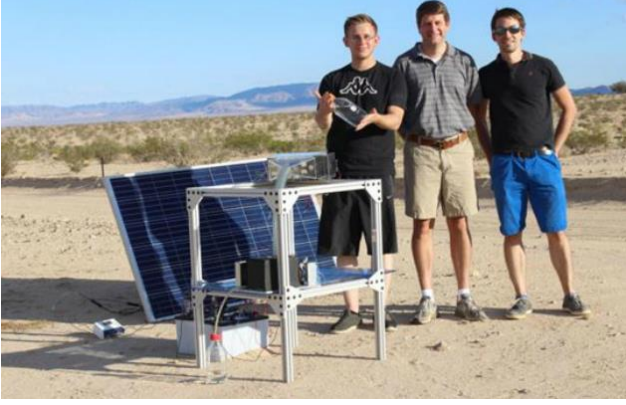


Yaghi ilk olarak 2002 yıllarında çalışmaya başlanmıştır. Berkeley'deki Kaliforniya Üniversitesinden **Prof. Dr. Omar Mwanne Yaghi** ve ekip arkadaşları, atmosferden su buharı toplayarak içme suyu üreten bir cihaz geliştirilmesi, 2019 yılını bulmuştur.

**Düşük nemli bile olsa, günde yaklaşık bir litre su verebilen taşınabilir, güneş enerjili su toplayıcılar geliştirdiler.** Berkeley California Üniversitesi'nde Kimya Öğretmeni olan Ortak kurucu Omar Yaghi; **“Bu cihazla, bir saat içinde bir kola kutusu miktarında su elde edebilirsiniz.”** İfade etmektedir. “Bu bir insanın çölde hayatta kalabilmesi için gereken su miktarı için yeterlidir.” Bu miktar kulağa çok az gibi gelebilir, ancak tasarımcılar mevcut cihazın sadece bir prototip olduğunu, cihazın daha da geliştirilebilir olduğunu belirttiler.

Düşük enerjili su toplama konusunda önceki girişimlerde, bağıl nemi %50'nin altında tutmak için mücadele edilmekteydi. Yaghi ve çalışma arkadaşları özel materyal sayesinde yeni cihazın, **suju havadan %20 bağıl nem oranıyla elde ettiğini, 13 Nisan 2019'da Science'da online olarak rapor ettiler.** Bu, öğleden sonra ortalama bağıl nemin %21 olduğu Las Vegas'ta su oluşturmak gibidir.

Dünya nüfusunun üçte ikisi su kıtlığı çekmektedir. **Atmosferde kullanılmayan 5 milyardan fazla olimpik yüzme havuzunu doldurabilecek buhar ve su damlacıkları** şeklinde bulunan nem mevcuttur.



### **Havanın suya doymun olduğu zamanlarda nemi dışarı çıkarmak daha kolaydır.**

Ancak nemli bölgeler su sıkıntısı sorununun olmadığı yerlerdir ve kurak alanlardaki suyu çekmek daha büyük bir zorluktur. **Silika jeller** gibi süngerimsi malzemeler, düşük bağıl nemde bile havadan nem alabilir. Bununla birlikte, bu malzemeler suyu çok yavaş çıkartmaktadırlar ve toplanan suyu malzemeden çıkarmak için çok fazla enerji kullanmaları gerekmektedir.

Yeni cihazda her iki problemi de önleyen bir malzeme kullanılmaktadır. Organik moleküller ile bağlanmış elektrik yüklü metal atomlarından oluşan mevcut bir materyali yeniden kullandılar. MOF-801 isimli bu metal-organik yapı (MOF) gazları su buharı olarak tutabilen mikroskobik, gözenekli süngerimsi bir ağdan oluşmaktadır.

### **Oda sıcaklığında, su buharı gözeneklerde toplanır ve sıcaklık arttıkça su cihazın içinde birikir.**

Ortam havası, MOF kristalleri üzerinden yayıldığında, su molekülleri içteki yüzeylere tutunur. Sistem üzerinde yapılan X-ışını kırınım çalışmaları, su buharı moleküllerinin sık sık sekizli gruplar halinde bir araya gelerek küpler oluşturduğunu gösterdi. Daha sonra güneş ışığı MOF'u ısıtıyor ve bağılı durumdaki suyu, dış mekandaki havayla aynı sıcaklıkta olan yoğunlaştırıcıya doğru itiyor. Bu buhar yoğunlaşarak sıvı su haline geliyor ve bir toplayıcıya doğru damlayarak temiz içme suyu elde edilmiş oluyor.

**Cihazın prototipi bakır köpüğü ile karıştırılmış bir MOF-801 tabakası içeriyor.** Gölgede bırakılan bu katman havadan su buharı toplar. Doğrudan güneş ışığına alındığında katman ısınır ve su buharı altta yatan bir odaya kaçar. **Odadaki bir kondansatör buharı soğutup içilebilir bir sıvıya dönüştürür.** Bütün bu süreç iki saat kadar sürüyor. Cihazın laboratuvar testlerinde kullanılan her MOF-801 için kilogram başına günde 2,8 litre su toplamaktadır. Yaghi, şu an olduğu gibi, cihazın su üreten altyapıya sahip olmayan kuru bölgelerde kişisel bir su kaynağı olarak kullanılabileceğini ya da sistemin bir topluluğa yetecek kadar su üretmek için ölçeklendirilebileceğini söylüyor.

Atlanta'daki Georgia Tech'te kimya mühendisi Krista Walton "Cihazın düşük bağıl nemde su üretme yeteneği bir dönüm noktasıdır, bugün hiç kimse MOF'leri böyle kullanmıyor" diyor. Walton, ölçeklendirme maliyetine gelince, cihazın metal-organik yapısında kullanılan

malzemelerin “egzotik olmadığını”, “Talep olsaydı kesinlikle malzemenin büyük ebatlarda üretilmesi mümkün olurdu” diye belirtiyor.



**Cihaz, MIT’de bir binanın çatısında** denenmiş ve inanılmaz derecede umut veren sonuçlar sunmuştur. **İlk saha denemeleri Arizona çölünde yürütüldü** ve araştırmacılar, cihazın taze ve içilebilir su toplayabildiğini göstermiş oldular.

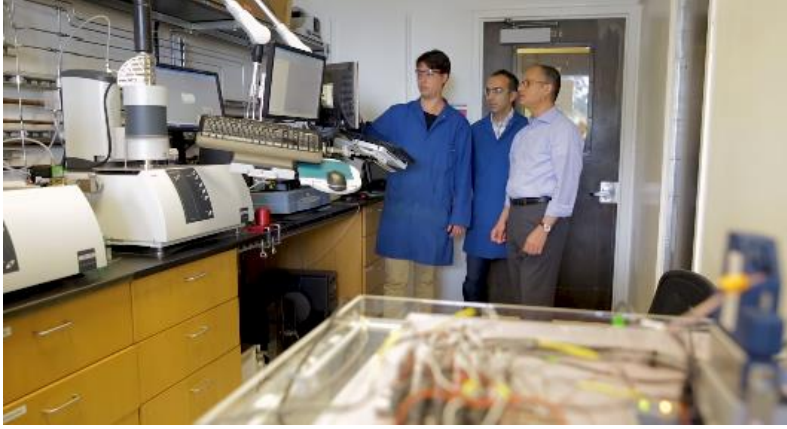
Omar Yaghi; “Cihaz ortam sıcaklığında ve ortamdaki güneş ışığıyla çalışıyor. Üstelik ilave hiçbir enerji girişi olmadan çölde su toplayabiliyorsunuz. Laboratuvardan çöle uzanan bu yolculuk; su hasadını, gerçekten ilginç bir olgudan bilime dönüştürmemize imkân sağladı.”

**Deney Arizona’nın Scottsdale şehrinde yürütüldü.** Buradaki bağıl nem, gece vakti **%40** gibi yüksek bir seviyeden, gündüz boyunca **%8** kadar düşük bir seviyeye düşüyor. Sonuçlar, daha fazla MOF eklenmesiyle su toplayıcısının kolay bir şekilde büyütülebileceğini gösterdi. MOF, suyu emme işlemi için kullanılmaktadır. Şu an kullandıkları MOF (MOF-801), zirkonyum isimli pahalı bir metalden yapılıyor ve kilogram başına yaklaşık 200 ml su toplayabiliyor. Ancak Yaghi, en az 303 kat daha ucuz olan ve laboratuvar testlerinde iki kat fazla su yakalayabilen, MOF-303 isimli, alüminyuma dayalı yeni bir MOF oluşturdu.

Bu durum, yeni malzemeyi kullanan hasatçıların, günde 3 bardaktan fazla su üretebileceği anlamına geliyor; bu miktar, bir insanın günlük ihtiyacının yaklaşık yarısı. “İnsanlar cihazı ticarileştirmeye çok büyük ilgi gösterdiler ve şu an ticari bir su toplama cihazı geliştirmekle uğraşan birkaç yeni şirket bulunuyor” diyor Yaghi.

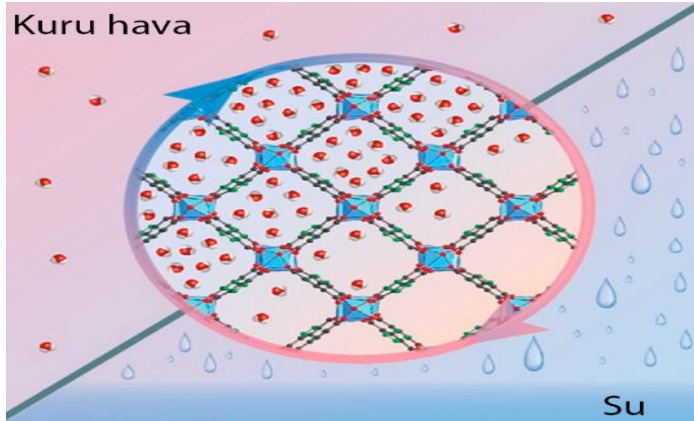
**Alüminyum MOF daha ucuz olduğu için su üretimini elverişli hale getirmektedir.** Yaghi, MOF üzerinde ilk olarak 20 yıldan uzun süre önce çalışmış. MOF’lar, sıradan metal katmanlarından farklı olarak, magnezyum veya alüminyum gibi metallerin organik moleküllerle birleştirildiği yapılar. Bu birleşim, gaz veya sıvıları depolamak için mükemmel olan ve sert, gözenekli yapılar meydana getiren bir dizilimde gerçekleştiriliyor.

Dünya çapındaki araştırmacılar, o zamandan beri 20.000'den fazla farklı türde MOF oluşturdular ve şu an bunlar karbondioksit yakalamakta, hidrojen veya metan gibi kimyasalları etkili bir şekilde depolamakta kullanılıyor.



Bu cihazın temelini oluşturan **MOF** (*a metal organic frame*) sistemi, bilim insanı Prof. Dr. Omar Yaghi tarafından 20 yıl önce geliştirildi. MOF sistemi yüksek düzeydeki organik ve inorganik metalik partiküllerin birbirine geçmesiyle oluşturuluyor.

Güneş enerjisiyle çalışan cihaz havadaki nem oranının aşırı derecede düşük olduğu çöllerde bile 24 saat boyunca kesintisiz su toplayabiliyor.



Metallerden ve organik moleküllerden oluşan **metal organik kafesler** (*MOF*) boşluklu yapılarıyla ve çok büyük yüzey alanına sahip olmalarıyla bilinir.

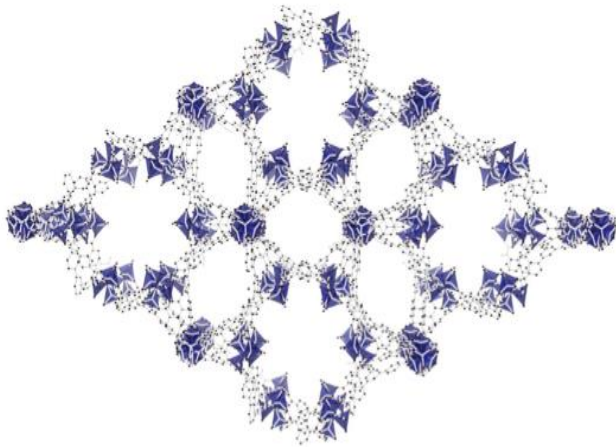
Bu atmosferdeki su toplayıcıda, zorlu çevre koşullarında bile suyu temizlemek için metal organik çerçeve (*MOF*) adı verilen bir ultra gözenekli malzeme kullanıldı.



MOF'leri icat eden ve liderliğini üstlenen Berkeley kimya profesörü Omar Yaghi; "Dünya nüfusunun neredeyse üçte biri, su sıkıntısı yaşayan bölgelerde yaşıyor. BM, 2050 yılında dünya genelinde yaklaşık 5 milyar insanın büyük bir kısmının su kıtlığına maruz kalacağını tahmin ediyor. Bu, su için yeni kaynaklar bulmanın son derece önemli olduğu anlamına geliyor." ifadelerini kullandı.

Öyle ki küp şeker büyüklüğünde bir **MOF'nin yüzey alanı yaklaşık olarak altı futbol sahasınıniki kadardır.**

**Gazlar ve sıvılar kolaylıkla MOF'lerin yüzeyine tutunur. Ayrıca malzeme hafifçe ısıtıldığında yakaladığı maddeleri hızla geri salar.**



(MOF-177 olarak adlandırılan bir tür metal organik kafes molekülü)

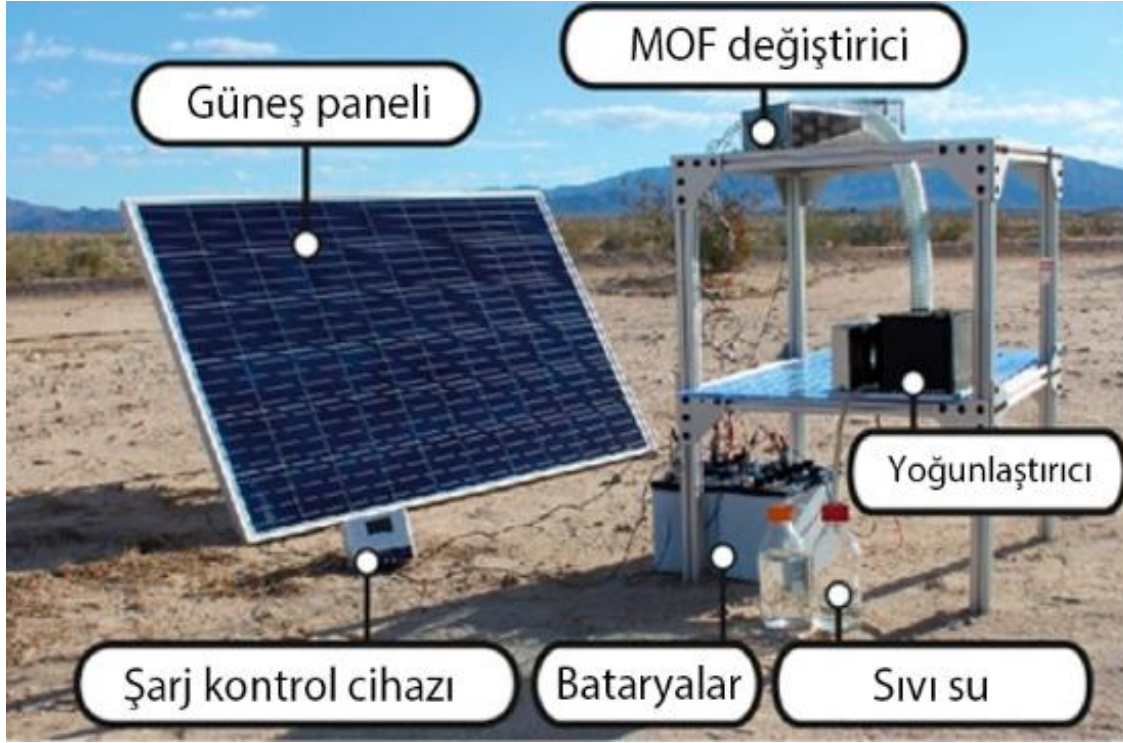
Günümüzde hidrojen yakıtlı araçlar için hidrojen depoları geliştirmek, fabrika bacalarından yayılan karbondioksiti toplamak ya da metanı depolamak gibi çeşitli alanlarda MOF'lerin ne ölçüde yararlı olacağıyla ilgili araştırmalar yapılıyor. Araştırmacılar da atmosferden suyu toplamak için MOF'lerden yararlanmışlar.

Geliştirilen cihaz aslında türünün ilk örneği değil. Aynı araştırma grubu 2017 yılında da yine MOF'lerin kullanıldığı, atmosferden su toplayan bir cihaz geliştirmişti.

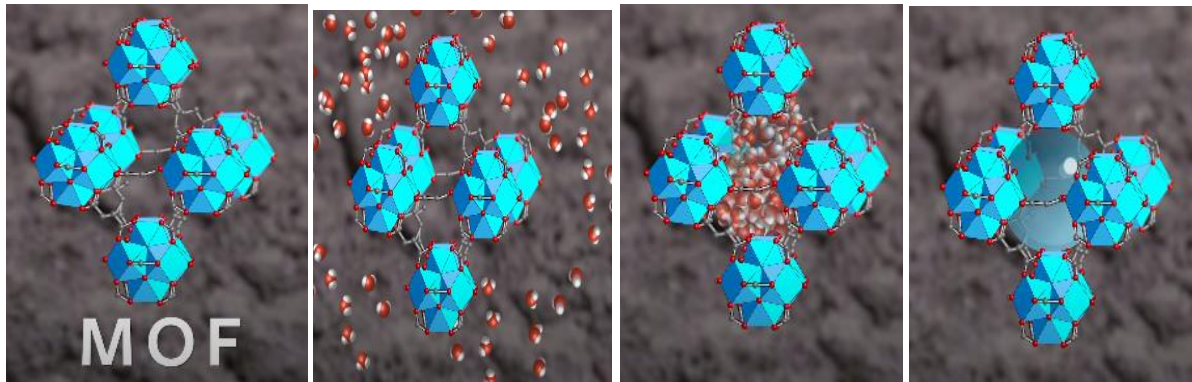
Ancak yeni versiyon, eskisine göre çok daha verimli çalışıyor. Bu durumun birkaç sebebi var. **Eski versiyonda MOF-801** olarak adlandırılan zirkonyumlu metal organik kafes molekülleri kullanılıyordu. **Yeni versiyondaysa MOF-303** kullanılıyor.

Alüminyum içeren bu MOF'nin su tutma kapasitesi MOF-801'inkinden %30 daha yüksek.

MOF-303'ün bir diğer önemli özelliği de çok hızlı bir biçimde su tutup salabilmesi. Malzeme sadece **20 dakika** içinde bir döngüyü tamamlayabiliyor.



Yeni versiyonun bir diğer önemli özelliği eskisinin aksine pasif değil, aktif bir biçimde çalışması.



Eski versiyon sadece gece vakti açık havaya maruz bırakılıyor, gündüz vakti de güneş altında tutularak MOF'nin ısınması ve tuttuğu suyu bırakması bekleniyordu. Yeni cihazdaysa MOF'nin maruz kaldığı hava miktarını artırmak için güneş enerjisiyle çalışan **fanlar** kullanılıyor. Böylece malzeme çok daha kısa süre içinde çok daha fazla su tutabiliyor. Üstelik **güneş panelleri** ufak ısıtıcılara enerji sağlayarak tutulan suyun bırakılmasına da katkıda bulunuyor. Cihazın üzerindeki güneş panelleriyle bağlantılı **piller**, cihazın hiç durmaksızın gece gündüz çalışabilmesini sağlıyor.

Araştırmacılar, **ürettikleri prototip cihazla Mojave ölü'nde** yaptıkları testler sırasında, kullanılan her bir kilogram MOF başına bir günde **0,7 litre su** elde etmeyi başarmışlar. **Hava sıcaklığının 25°C'nin** üzerinde, **havadaki nem oranının da %7 civarında** olduğu en kurak günlerde bile **cihaz her bir kilogram MOF başına 0,2 litre su üretmeyi** başarmış.

Araştırmacılar daha nemli ortamlarda her bir kilogram MOF başına günde 1 litre civarında su elde etmenin mümkün olabileceğini belirtiyorlar.

Örneğin **mikrodalga fırın büyüklüğünde bir cihazla günde 7-10 litre**, ufak bir **buzdolabı büyüklüğünde bir cihazla günde 200-250 litre su** üretmek mümkün olabilir.

Prof. Dr. Yaghi, geliştirdikleri cihazın endüstriyel ölçekte üretimini ve satışını yapmak için bir şirket kurmuş. Yakın gelecekte mikrodalga büyüklüğünde su toplayıcıları üretip satmayı planlıyorlar.

Şirketin bir diğer amacıysa birkaç yıl içinde **güneş panellerinden ve şebeke elektriğinden enerji alarak çalışan, günde 20.000 litre su üretebilecek devasa bir tesis kurmak.**



(Prof. Dr. Omar Mwanne Yaghi)

**Atmosferdeki su miktarı Dünyadaki nehir ve göllerdeki tüm tatlı suyun 6 katı olduğu dikkate alındığında bu tür bir yenilik dünyanın su kıtlığı sorununa çözüm sağlama potansiyeline sahiptir.**

**Hidrojeller, zeolitler veya tuzlar** gibi diğer malzemeler düşük nemli koşullarda yeterli enerji verimliliği ve yüksek kapasite sağlayamazlar.

MOF teknolojisi, içme suyundan tarıma kadar her türlü su kıtlığı sorunuyla etkili bir şekilde başa çıkmak için güçlü bir araç haline gelebilir. Bu yenilikçi teknoloji, suyun bol ancak temiz suyun nadir olduğu bölgelerde saf su elde etmek için de kullanılabilir. Su kaynaklarının sürdürülebilirliği için bu tür gelişmeler, gelecekte yaşam için önemli bir rol oynayabilir.

Özel olarak tasarlanmış MOF'ler toplumun iklim değişikliğiyle başa çıkmasına ve iklim değişikliğine uyum sağlamasına yardımcı olabileceğini gösteriyor. College of Computing, Data Science ve Society'nin Bakar Institute of Digital Materials for the Planet (BIDMaP) uzmanları, veri bilimi ve makine öğrenimini kullanarak bu moleküllerin, malzemelerin ve cihazların tasarımını hızlandırmaya ve ölçeklendirmeye çalışıyor.



BIDMaP'in eş direktörü Yaghi, "Yaptığımız şey, cihazın verimli ve uyumlu çalışması için molekülün ve malzemenin yapılandırılması, cihazın tasarımı, verimliliği ve performansı olmak üzere bileşenleri birbirine bağlayan dijital inovasyon döngüsü adını verdiğimiz bir yöntem yaratmaktır. Tüm bu unsurlar birbirine bağlıdır ve en yüksek performansı elde etmek için her bir parçanın optimize edilmesi gerekmektedir." dedi.

Bu çalışmalar, gelecekte iklim değişikliğiyle mücadelede ve su kaynaklarına erişim konusundaki zorlukların üstesinden gelmede önemli bir rol oynayabilir. Toplumların ihtiyaç duyduğu verimli ve sürdürülebilir çözümleri sunarak, bu tür araştırmalar insan hayatını olumlu yönde etkileyebilir.

**Sistem Nasıl Çalışıyor:** Sistem, solar bir soğurucu ve yoğunlaştırıcı plaka arasına sıkıştırılmış ve özel olarak tasarlanmış, yaklaşık **900 gram ağırlığında MOF kristaliyle** çalışıyor.

MOF su buharı gibi gazları tutabilen mikroskobik, gözenekler ağı oluşturuyor ve bu sayede oda sıcaklığında gözeneklerde su buharı toplanıp sıcaklık yükseldiğinde su kaçıyor.

Ekibin prototipinde, bir MOF-801 tabakası bulunmakta, bu tabaka; Gölgede bırakılır böylece havadaki su buharını toplar. Doğrudan güneş ışığına maruz kaldığında ısınır ve su buharı alttaki bölmeye kaçar. Bölmedeki yoğunlaştırıcı, buharı soğutarak içme suyu haline dönüştürür. Bu işlemin tamamı yaklaşık **2 saat** sürüyor.



**Ne Kadar Su Üretiyorlar:** MOF'un dikkat çeken bir özelliği, **atmosferik buharı yakalayıp suyunun %85-%90'unu içme suyu olarak elde edebilmesi** ve son derece verimli bir şekilde su toplamasıdır.

2019 yılında yayınlanan bir çalışmada; Hanikel ve arkadaşları **%32 bağıl nemde ve 27°C'de Al-MOF-303** kullanılarak günde **1 kg MOF başına 1,3 litre su** üretme kapasitesine ulaştılar.

Logan ve arkadaşları 2020 yılında aynı şartlarda **Zr-MOF-808** ile **8,66 litre su** üretebildiler. Yaghi ve ekibi tarafından 2017 'de Science dergisinde yayınlanan çalışmalarında enerjisini güneşten sağladıkları teknoloji **MOF-801'den 2,8 litre su** elde ettiler.

2023'te yayınlanan çalışmalarında ise bu cihazı **taşınabilir** boyuta getirdiler ve bu teknoloji ile **1 kg MOF-303 başına 285 grama kadar su** toplayabildikleri. Ayrıca, MOF **uzun**

**ömürlü bir yapıya sahiptir** ve yıllarca kullanılmaya devam edebilir. Kullanım ömrü sonunda ise sürdürülebilir bir şekilde sökülüp geri dönüştürülebilir.

Yaghi'nin geliştirdiği cihaz, **güneş enerjisi ile çalıştığı için** ek güç kaynaklarına ihtiyaç duymaz ve **çevre dostudur**. Bu özelliği, **CO<sub>2</sub> salınımı olmadan çalıştığı anlamına gelir**. Hem etkili hem de taşınabilir bir yapıya sahiptir. Eski MOF tabanlı cihazlara kıyasla daha küçüktür ve bir el çantasına sığabilir.



Yapılan çalışmalar, prototipin verimliliğinin artırılabilirliğini ve gelecekte daha gelişmiş bir hale getirileceğini gösteriyor. Bu teknoloji, su kaynaklarındaki sıkıntıları çözmeye önemli bir adım olabilir ve veri bilimi ve makine öğrenimi gibi ileri teknolojilerle evlerde ve toplumda yaygın olarak kullanılabilir hale gelebilir.

Bu teknoloji ile insanlara su bağımsızlığı sağlayabilir ve gelecekte daha geniş kullanım alanları yaratabilir. Sektör gözünü, çöllere dikecek gibi.

### **EN BOL BULUNAN TATLI SU KAYNAĞI, DÜNYA ATMOSFERİDİR.**

Atmosferik nem yoğunlaştığında yağmur gibi düşer. Düşük nem koşullarında bile sürekli su üretmesini sağlayan çiğlenme noktasını simüle ederek bu doğal yoğunlaşma sürecini çoğaltır.

**Sağlıklı, arıtılmış içme suyu üretmek için havadaki nemi çıkarmak ve yoğunlaştırmak için optimize edilmiş nem alma tekniklerini kullanır.**

Havadan suya teknolojisi, havadaki (*nem*) su buharını suya dönüştürme işlemidir. **Atmosferik su jeneratörleri**, düşük nem koşullarında bile sürekli su üretmesini sağlayan çiğlenme noktasını simüle ederek bu doğal yoğunlaşma sürecini çoğaltır.

### **Atmosferde yaklaşık 3.100 mil küp (mi<sup>3</sup>) veya 12.900 kilometre küp (km<sup>3</sup>) su vardır.**

**Su buharı, doğanın hidrolojik döngüsü tarafından sürekli olarak yenilenen sınırsız bir kaynaktır.** Atmosferik su jeneratörleri, gezegeni etkilemeden havadan süresiz olarak su çıkarabilir.

## SU YAPMAK İÇİN İKİ TEMEL BİLEŞEN, NEM VE SICAKLIKTIR.

En iyi sonuçlar için makinenizin iyi havalandırılan bir alanda bulunması önemlidir.

**İdeal çalışma koşulları 21° C ila 32° C arasında bir sıcaklık ve %40 ile %100 arasında bağıl nemdir.**

Genel olarak, dünyanın ideal bölgelerinde bile düşük neme sahip bazı günler vardır.

Bir otomobilin veya büyük bir cihazın ömrü ile karşılaştırılabilir olan **Atmosferik su jeneratörleri 10-15 yıl arasında dayanmalıdır.** Çok az hareketli parça var. Makinelerin ömrü öncelikle kompresörün bakımına bağlı olacaktır.

Kimi Atmosferik su jeneratörleri, havadaki safsızlıkları gidermek için antimikrobiyal bir hava filtresi ile donatılmıştır. Su, işlemin sonraki aşamalarında Ozonla daha da arıtılır.



### Su Hakkında Gerçekler ve Suyla İlgili Derlenmiş Veriler:

1. Yetişkin bir insan yılda ortalama **1.000 litre su** tüketir.
2. Dünyadaki suyun sadece **%1'i** içilebilir.
3. Temiz su eksikliği **1,2 milyar** insanın hayatını etkiliyor, **15 milyon** çocuğun ölümüne sebep oluyor.
4. Dünyada **768 milyon** insan güvenli içme suyuna ulaşamıyor.
5. Damlayan bir musluk, 1 yılda ortalama **11.000 litre su** kaybına neden olur.
6. Dünyada kirli su nedeniyle her saat başı **200 çocuk** ölüyor.
7. Anne karnındaki bir fetüsün **%95'ini su** oluşturur. Doğumdan sonraki bebeklik döneminde ise bu oran **%77 iken**, yetişkinlik döneminde ortalama 70 kilo olan bir insanın vücudundaki su miktarı 42 litredir.

8. Afrika ve Asya da insanlar su toplamak için kafalarında **20 kg ağırlıkla 3,7 mil** yürümek zorundalar.
9. Kemiklerinizin de **%31**'i sudan oluşmaktadır.
10. Pamuklu bir tişörtün üretilebilmesi için gerekli olan pamuğu yetiştirmek için kullanılan su miktarı ortalama **10.000 litredir**.
11. Dünya üzerindeki donuk halde olmayan suyun **%20**'si tek bir yerde toplanmıştır: Rusya'da bulunan **Baykal Gölü'dür ve 25 milyon yaşındadır**.  
Rusya, gölün araştırılması için göle özel denizaltı yapmıştır. **Derinliği 1,5 km'dir**. Gölde sadece buraya özel endemik balık türleri yaşamaktadır. Göl, kendine özgü bir ekosistem oluşturmuştur.
12. Her yıl sudan kaynaklı sebeplerden dolayı **3,5 milyon insan** hayatını kaybediyor.
13. Dünya nüfusunun **%85'i**, yerkürenin en kurak bölgelerinde yaşamını sürdürmeye çalışmaktadır.

Su hakkındaki bu rakamsal gerçekler dünyadaki su sorunlarının fazlalığını, denizsuyunun arıtılmasının ve havadan su üretimi gibi yöntemlerin önemini kanıtlar niteliktedir.

### **İyi Bir İçme Suyunun 11 Özelliği:**

1. pH oranı **0 ile 7** aralığında besin değerleri asidik, **7 ile 14** aralığındaki besin değerleri de bazik olarak adlandırılır. Saf suyun pH değeri ise **7**, yani nötr şeklindedir.  
Gün içerisinde tüketilmesi gereken ve **insan vücudu için daha sağlıklı olduğu kanıtlanan su pH değeri, 7,2 ile 8,5 arasında olmalıdır**.
2. Hastalık yapıcı mikroorganizmalar içermemelidir.
3. Kokusuz, renksiz, berrak ve içimi hoş olmalıdır.
4. Sularda **fenoller, yağlar** gibi suya kötü koku ve tat veren maddeler bulunmamalıdır.
5. Yeterli derecede **yumuşak** olmalıdır.
6. **Hidrojen sülfür, demir ve mangan** gibi elementleri ihtiva etmemelidir.
7. Suda sağlığa zararlı kimyasal maddeler bulunmamalıdır. Bazı kimyasal maddeler zehirli etki yapabilir; **arsenik, kadmiyum, krom, selenyum, kurşun, civa** gibi.  
Bunun yanında **baryum, nitrat, florür, radyoaktif maddeler, amonyum, klorür** gibi maddeler sınır değerlerinin üzerinde sağlığa olumsuz etkileri olan maddelerdir.
8. **Nitrit, amonyak bulunmamalıdır**. Bunlar, suyun organik maddelerle kirlendiğini gösterir. Nitrat ise kirlenmenin aşırı düzeylere yükseldiğini gösterir. Bu maddelerin içme suyunda bulunmaları tehlikelidir. Hele çocuklar için daha tehlikelidir.
9. Suda **200 miligramdan fazla klorür** bulunması kirlenme işareti sayılabilir.
10. **Flour 1 litrede, 1 miligramdan az, 2 miligramdan fazla olmamalıdır**.
11. **Demir 1 litrede, 1-2 miligram** bulunmalıdır.
12. Suya sertlik veren en önemli maddeler **kalsiyum, magnezyum ve klorür** bileşikleridir.

## **AKADEMİK OLARAK HAVADAN SU ÜRETMEDE, İKİNCİ BİR ÇALIŞMAYSA:**

Araştırmacılar, kuru bölgelerde bile havadan içilebilir su elde etmek için güneş enerjisini kullanan çığır açıcı bir sistem geliştirdi.

**Massachusetts Teknoloji Enstitüsü'nden (MIT)** bir ekip, cihazın, nemi bir toplama tabakasında yoğunlaştırmadan önce, onu havadan ayırmak için güneş enerjisini nasıl kullandığını gösterdi.

Ekip sistemin, suya ve elektriğe erişimin sınırlı olduğu ücra bölgelerde pratik bir su kaynağı olabileceğini söyledi.

Aynı ekip birkaç yıl önce de benzer bir cihaz tasarlamıştı fakat bazı önemli kusurları vardı.

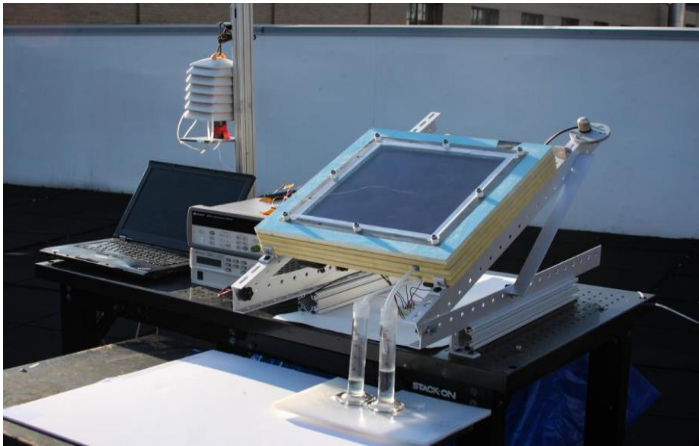
Araştırmayı yöneten, **MIT Makine Mühendisliği Bölümü Başkanı Profesör Evelyn Wang**, önceki sistemin gerçek dünyada geniş çapta kullanım için pratik olmadığını çünkü özel malzemelere gerek duyduğunu ve yeterince yüksek miktarda su üretmediğini söyledi.

Profesör Wang "Küçük bir prototipinizin olması harika ama bunu daha ölçeklenebilir bir biçime nasıl sokarız?" diye sordu.

Sistem, havayla cihaz arasındaki sıcaklık farkından yararlanarak emici bir maddenin yüzeyindeki sıvıyı biriktirmesini sağlayarak çalışıyor.

Araştırmacılar, kolayca bulunabilen materyalleri kullanarak ve verimliliği büyük ölçüde artırarak "yaygınlaşma ihtimali olan bir ürün" üretebildi.

Cihaz ayrıca, genellikle sadece bağıl nemin %100 olduğu birkaç kıyı çölünde çalışan diğer sis ve çiy toplama sistemlerinin sınırlarını aşıyor.



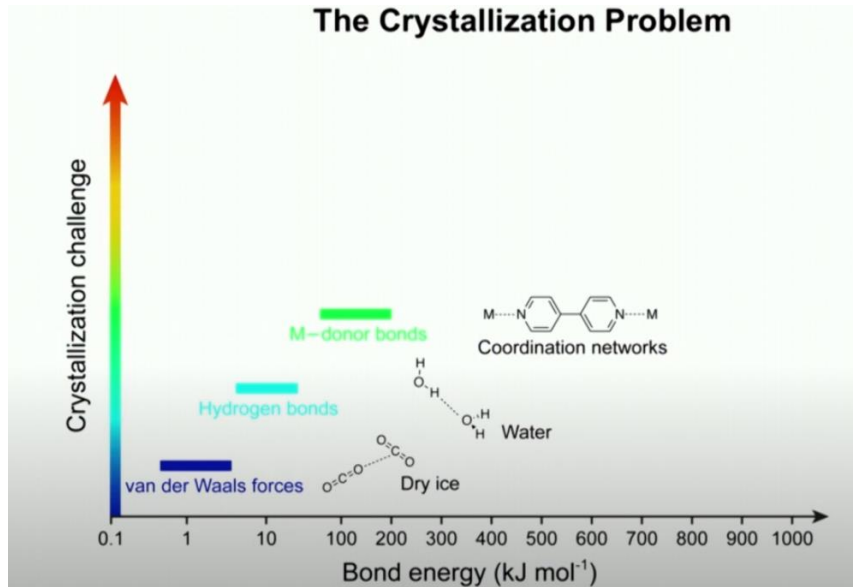
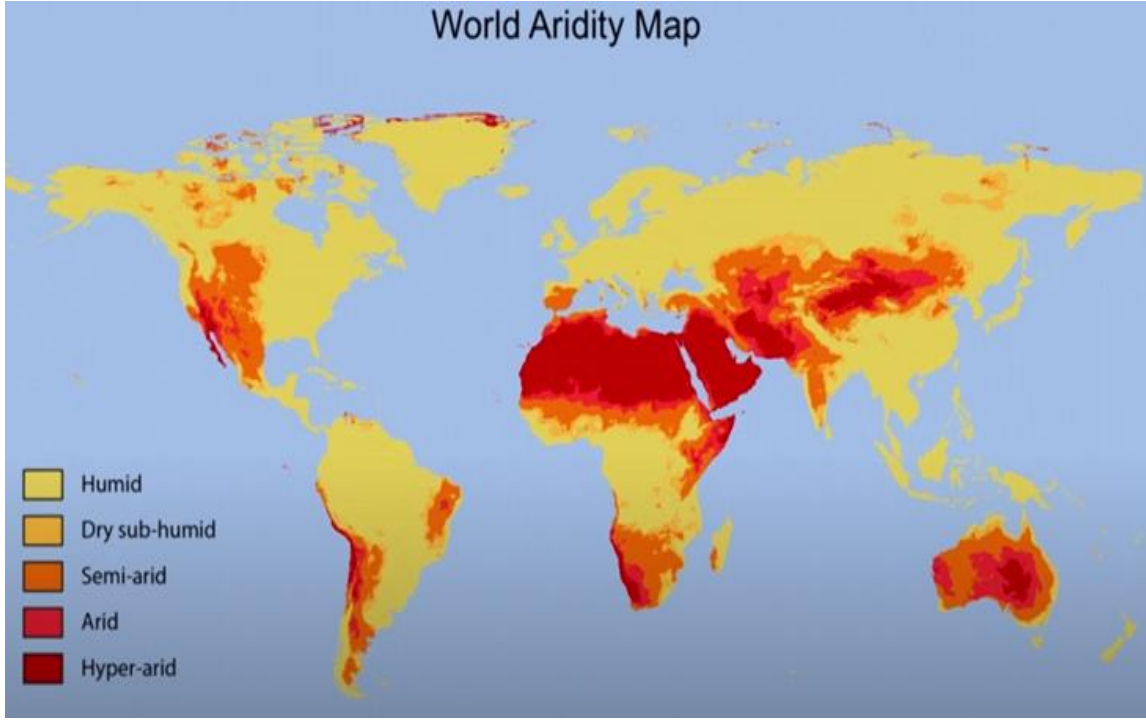
Diğer çöl bölgelerinde çalışan sistemler, nemin yoğunlaşacağı soğuk bir yüzey sağlamak için fazla miktarda enerji tüketen soğutma sistemine ve nem oranının en az %50 olmasına gerek duyuyor.

En yeni cihazsa, %20 gibi düşük bağıl nem seviyelerinde çalışabiliyor ve aldığı güneş enerjisi dışında hiçbir harici enerji girişine gerektirmiyor.

## PROF. DR. OMAR YAGHI'NİN SEMİNERİDEN VERİLER:

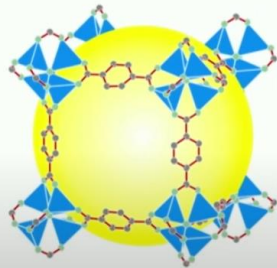
(Omar Yaghi: Çöl havasından su elde etme, 2019 yılındaki sunumu)

İsveç Kraliyet Bilimler Akademisi tarafından 2019 Gregori Aminoff Ödülü'nü kazanan Prof. Dr. Omar Yaghi'nin, 9-10 Mayıs 2019 tarihlerinde Stockholm Üniversitesi'nde düzenlenen Moleküler Sınırlar Sempozyumu "Dünya Gezegeni: Bilimsel Bir Yolculuk"ta yaptığı konuşma. (<https://www.youtube.com/watch?v=KOOVBKWRLxk>)



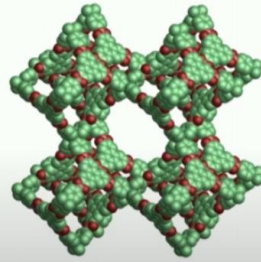
## Reticular Chemistry

- **Reticular Chemistry:** The chemistry of linking molecular building blocks by strong bonds to make crystalline extended structures.



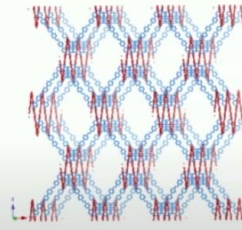
**Metal-Organic Frameworks (MOFs)**

*Nature* 1995, *JACS* 1998, *Nature* 1999



**Covalent Organic Frameworks (COFs)**

*Science* 2005, 2007

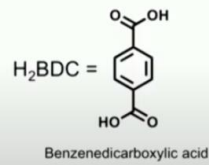
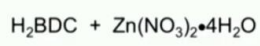


**Molecular Weaving**

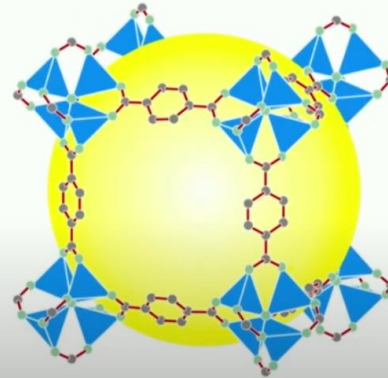
*Science* 2016

## Synthesis and Structure of MOF-5

*SBU Approach: Linking of Octahedron*

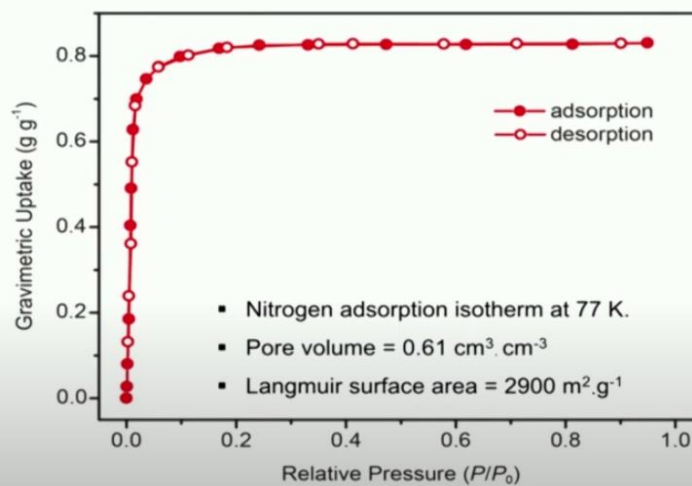


Cubic *Fm-3m*  
 $a = 25.6990(3)\text{\AA}$   
 $V = 16972.61\text{\AA}^3$



H. Li, M. Eddaoudi, M. O'Keeffe, O. M. Yaghi, *Nature*, 1999, 402, 276-279.

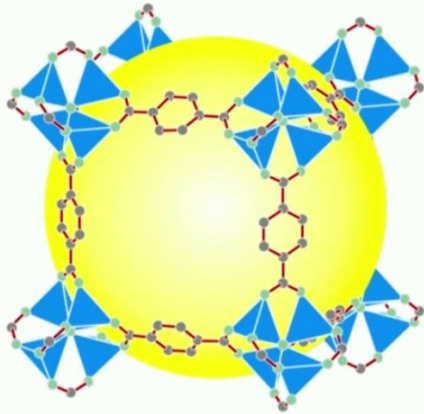
## Porosity of Metal-Organic Framework-5 (MOF-5)



H. Li, M. Eddaoudi, M. O'Keeffe, O. M. Yaghi, *Nature*, 1999, 402, 276-279.

## Isorecticular Principle

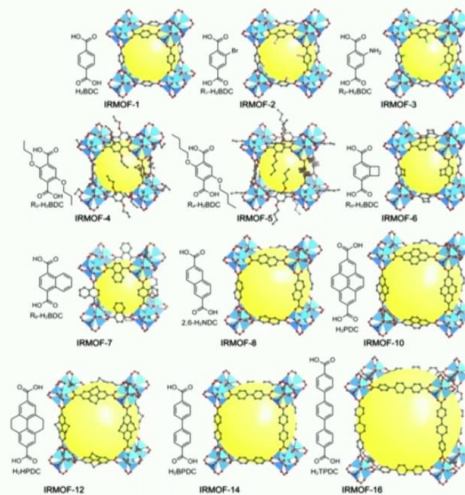
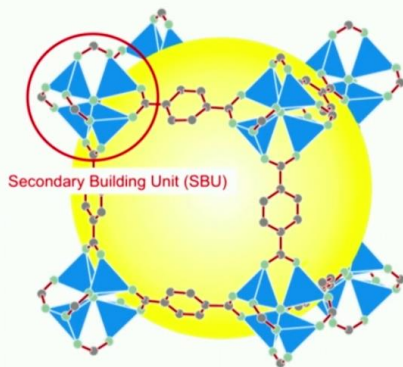
Control of Structure Metrics and Functionality



M. Eddaoudi, J. Kim, N. Rosi, D. Vodak, J. Wachter, M. O'Keeffe and O. M. Yaghi, *Science*, **2002**, 295, 469-472.

## Isorecticular Principle

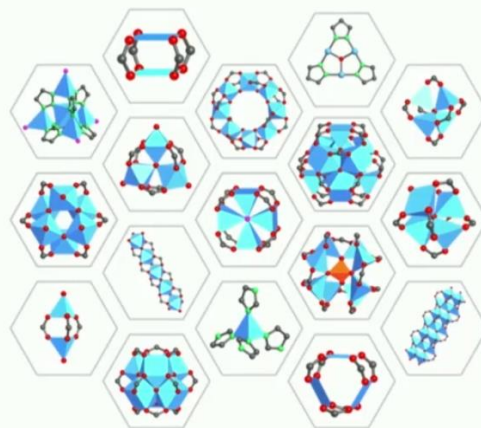
Control of Structure Metrics and Functionality



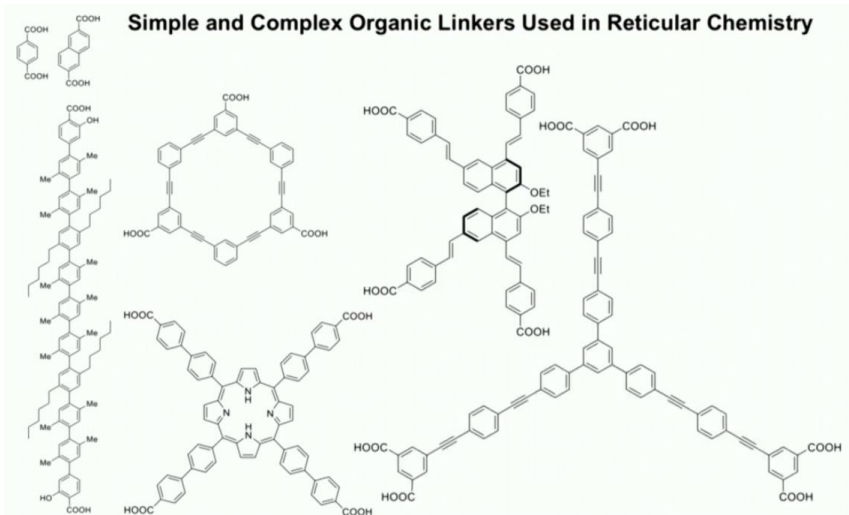
M. Eddaoudi, J. Kim, N. Rosi, D. Vodak, J. Wachter, M. O'Keeffe and O. M. Yaghi, *Science*, **2002**, 295, 469-472.

## Secondary Building Units Used in Reticular Chemistry

H																	He	
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne	
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar	
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
Cs	Ba	*	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
Fr	Ra	**	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og	
		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu		
		Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Ho		

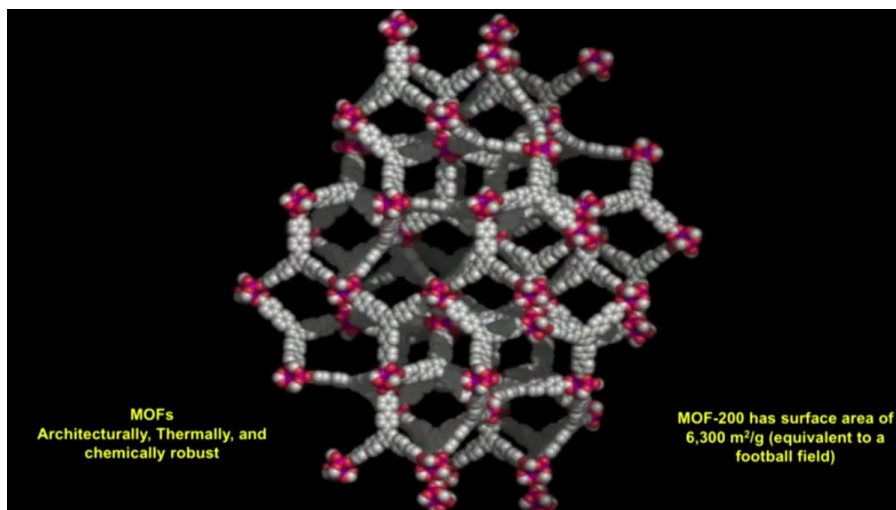


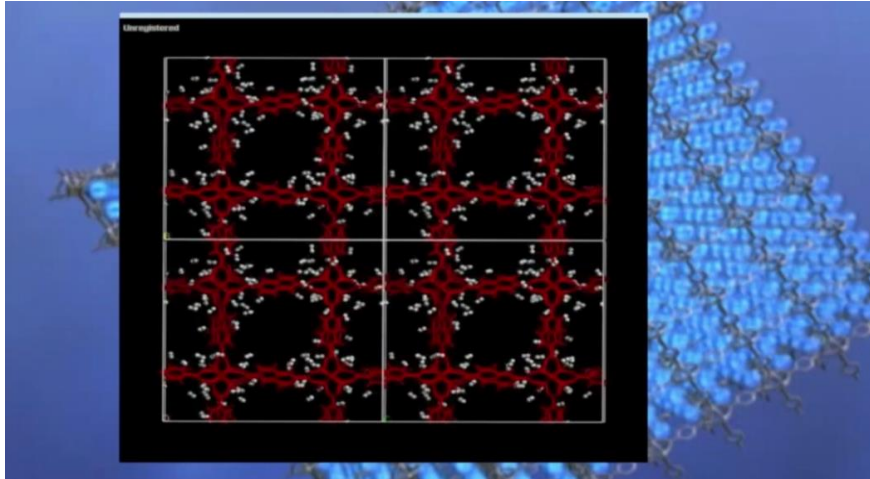




### The 'Periodic' Table of Reticular Chemistry

building unit 1 \ building unit 2	2-c linear	3-c triangle	4-c square	4-c tet	6-c hexagon	6-c oct
3-c triangle	<b>srs</b>	<b>bwt, pyo, srs-b, ths-b</b>	<b>fjh, fmj, gee, iab, yac, yao</b>	<b>asn, ept, ofp</b>	<b>cys, dnf*</b>	<b>anh, ant, apo, brk, cep*, cml, czz, eea, qom, rtl, tsx, zzz</b>
4-c square	<b>nbo, lvt, rhr</b>	<b>pto, tbo</b>	<b>cev, cdl, cdm, cdn, cds, cdz, mot, muo, qdl, qzd, ssd, sse, ssf, sst</b>	<b>pts</b>	<b>nts</b>	<b>myd, ybh</b>
4-c tet	<b>dia, lcs, qtz, sod</b>	<b>bor, ctn</b>	<b>fgl, mog, pds, pth, pli, ptr, ptt</b>	<b>bnt, byl, cag, cbt, coe, crb, fel, icm, kea, lon, pcl, qtz-b, sca, tpd, ucn</b>	-	<b>alw, bix, cor, ing, spl, toc</b>





## These Molecules are Changing Planet Earth



→ **Hydrogen:** The cleanest fuel



→ **Methane:** Cleaner than petroleum

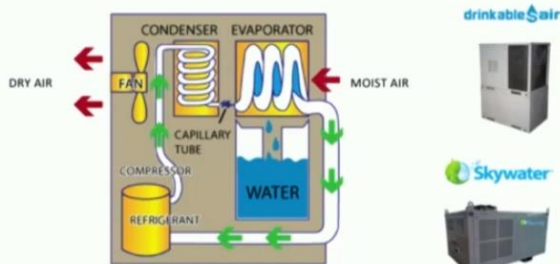


→ **Carbon dioxide:** Detrimental to our planet



→ **Water:** Fresh, clean water is needed

## Water from Air: Condensation



### 2 Limitations

Limited to >60% R.H.

Energy cost: need to cool air in addition to condensing water

Water Technologies International



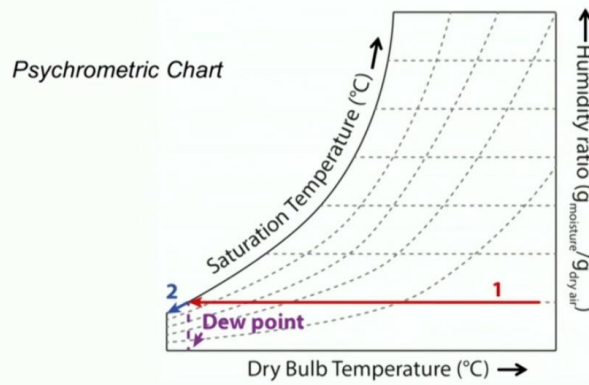
Watergen



- A compressor circulates a cooling fluid through a condenser to lower the temperature of the air.
- When the temperature of the air gets lower than the **dew point**, water condenses.
- The dew point of water in the air streams depends on its **relative humidity** and **temperature**.

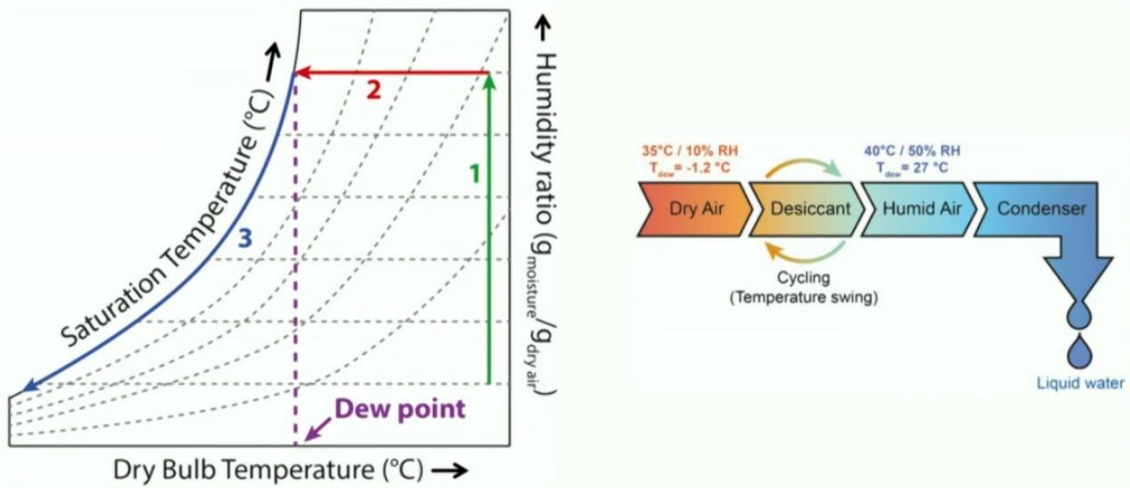
20

### Atmospheric Water Harvesting in Arid Conditions



**Direct condensation is highly inefficient in arid conditions**

### Atmospheric Water Harvesting in Arid Conditions



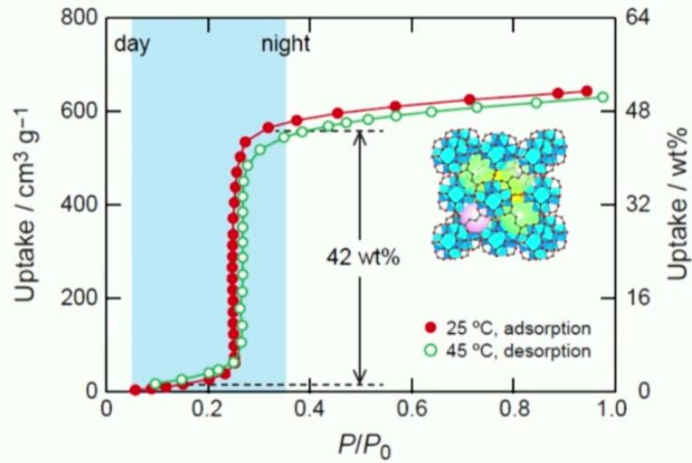
**Use of MOF to concentrate water vapor from air achieves efficient condensation**



## MOF-801 Shows High Uptake and Cycling Performance



Dr. Hiroyasu Furukawa

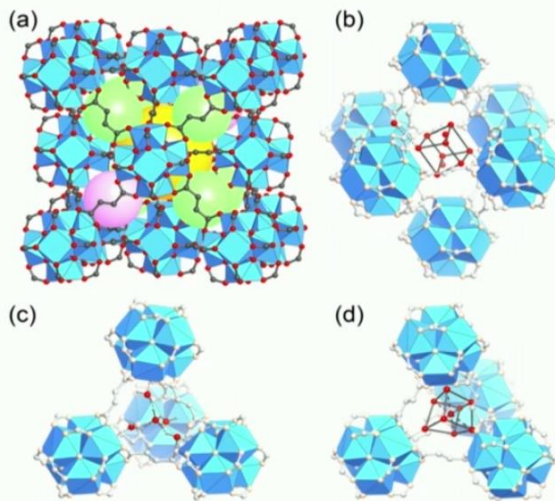


H. Furukawa, F. Gándara, Y.-B. Zhang, J. Jiang, W. L. Queen, M. R. Hudson, O. M. Yaghi, *J. Am. Chem. Soc.* **2014**, *136*, 4369-4381.

## Water Located in the Pores by Single Crystal X-Ray Crystallography Techniques



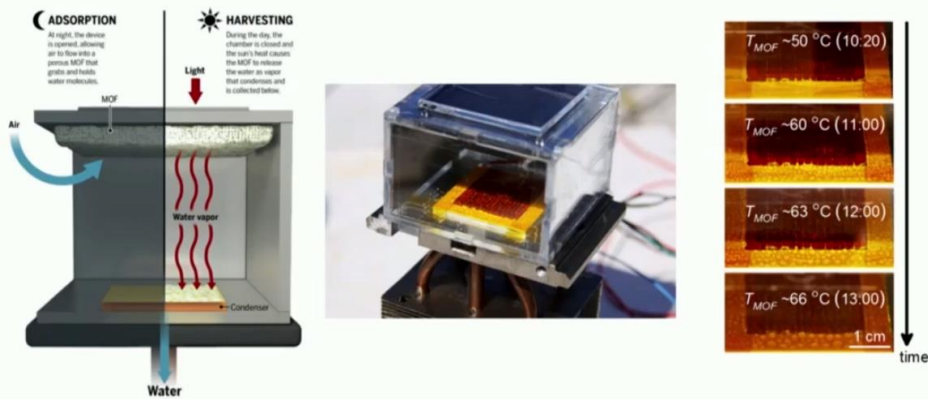
Dr. Felipe Gandara



H. Furukawa, F. Gándara, Y.-B. Zhang, J. Jiang, W. L. Queen, M. R. Hudson, O. M. Yaghi, *J. Am. Chem. Soc.*, **2014**, *136*, 4369-4381.

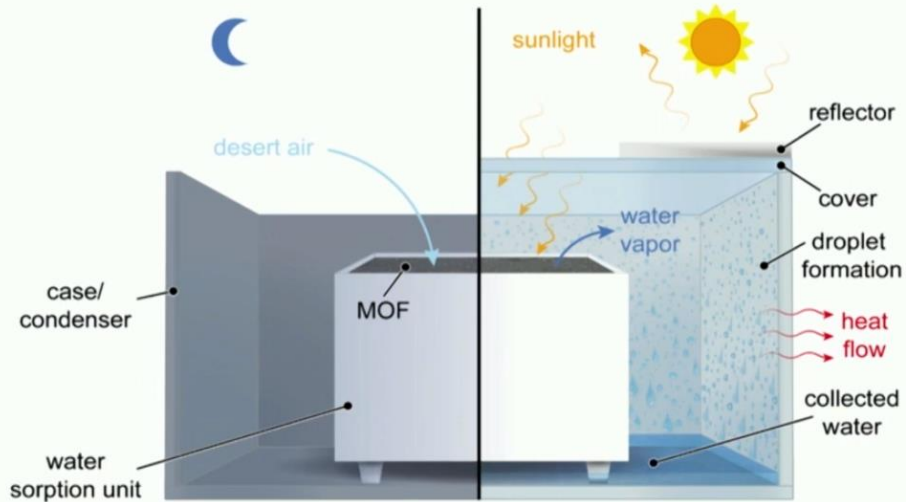
## Water Harvester (Passive)

Capture of Water from Dry Air Under One Sun

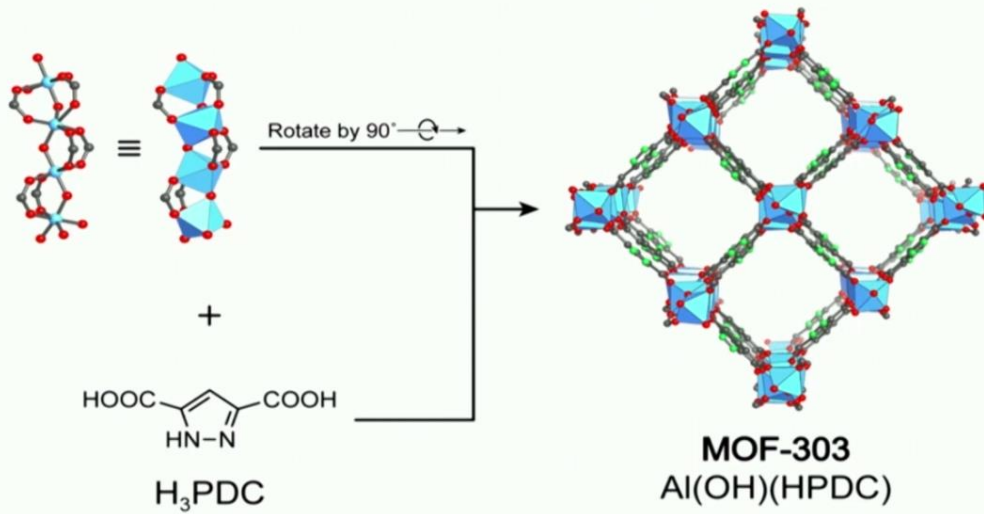


H. Kim, S. Yang, S. R. Rao, S. Narayanan, E. A. Kapustin, H. Furukawa, A. S. Umans, O. M. Yaghi, E. N. Wang, *Science*, **2017**, *356*, 430-434.

## Second Generation Water Harvester (Berkeley)



## Inexpensive and More Productive MOF Made in Water

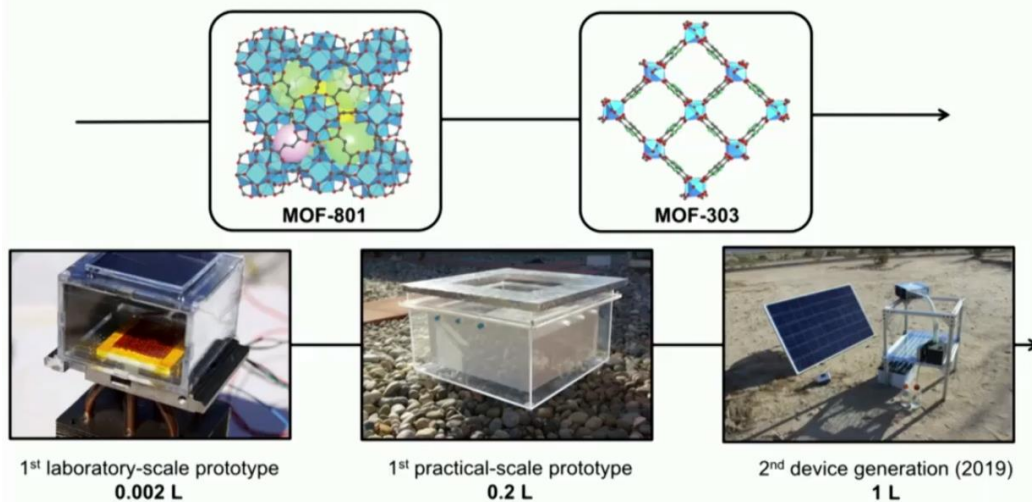


Water capacity at 25 °C at RH of 25% = 0.33 L H<sub>2</sub>O/kg of MOF-303

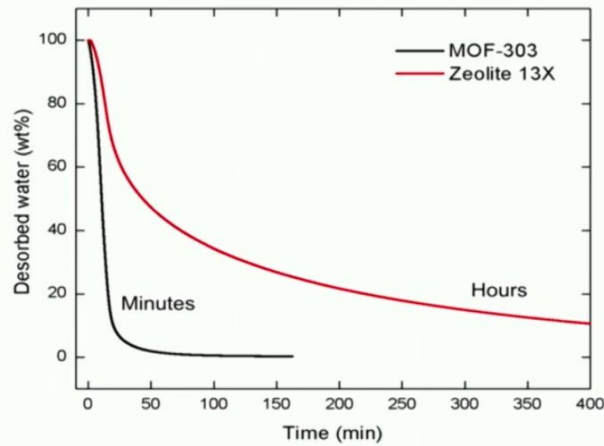
## MOF-303 (Al-MOF) Tested in Mohave Desert [1L H<sub>2</sub>O/Kg MOF/Day at 5-35 R.H.]



## Timeline of Practical Water Harvesting from Air with MOFs



## Fast Kinetics of Water Uptake and Release of MOF-303 Allow Multiple Cycles Per Day



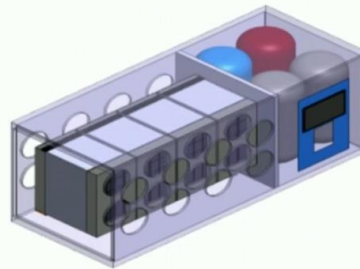
## Water Harvesting Inc. Product Family Commercialization

**WaHa 8, 8 L/day**



- Market**
- Consumer Scale
  - Replaces Bottled Water

**WaHa 22K, 22,500 L/day**



- Market**
- Military
  - Mining
  - FEMA
  - Villages

**WaHa 200, 260 L/day**

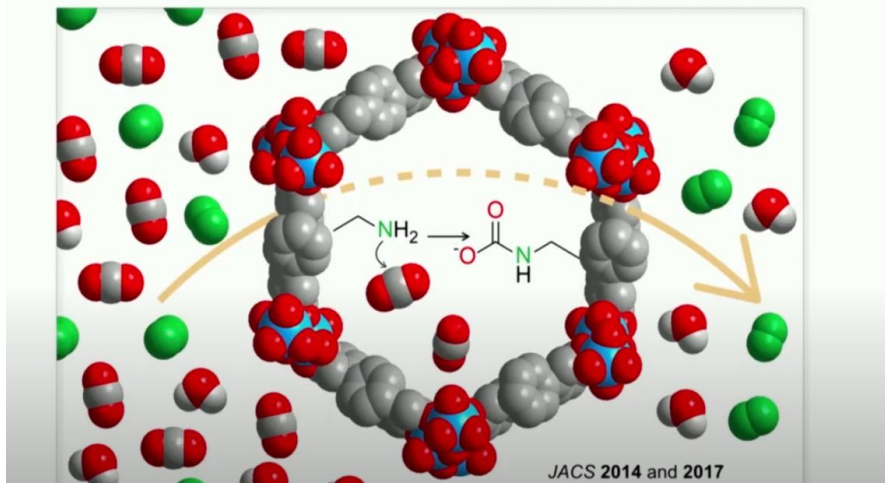


- Market**
- Restaurants & Institutions
  - Residential

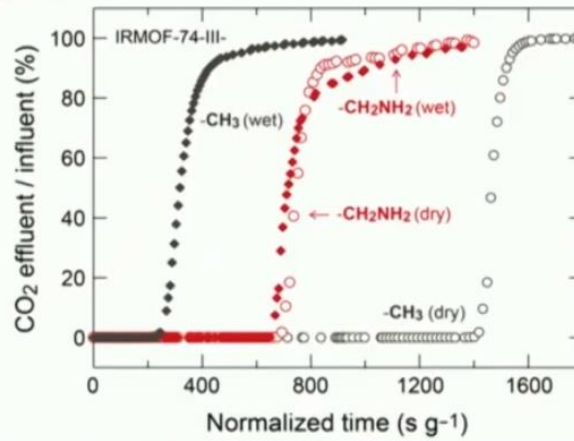
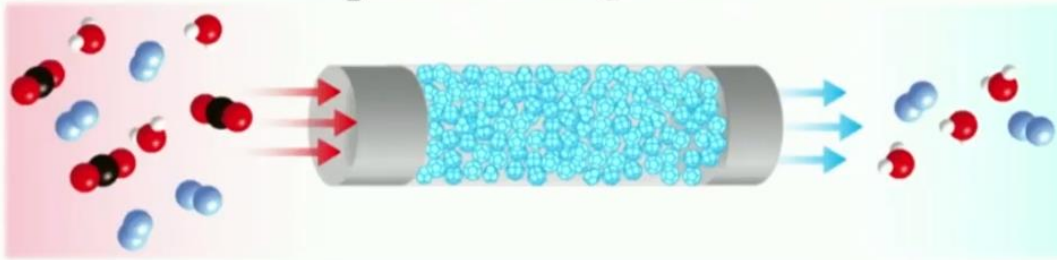
Expected release October 2019

Expected release June 2020

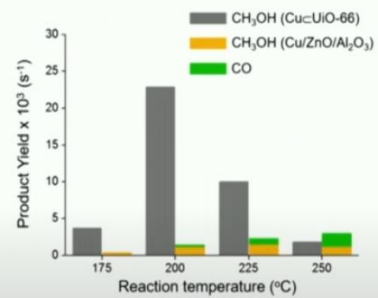
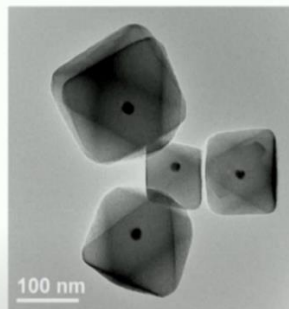
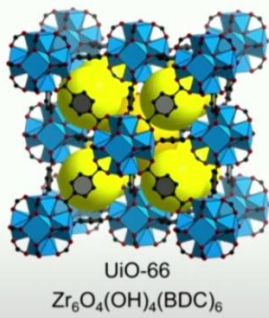
## Carbon Capture and Conversion to Fuels and Chemicals



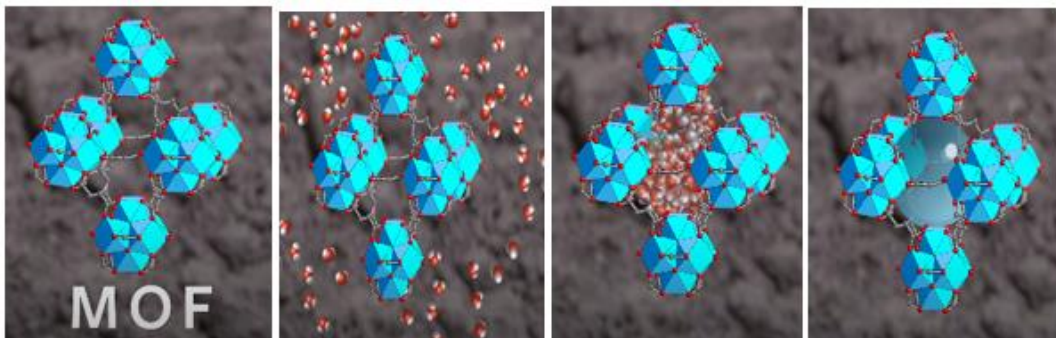
## CO<sub>2</sub> Breakthrough Tests



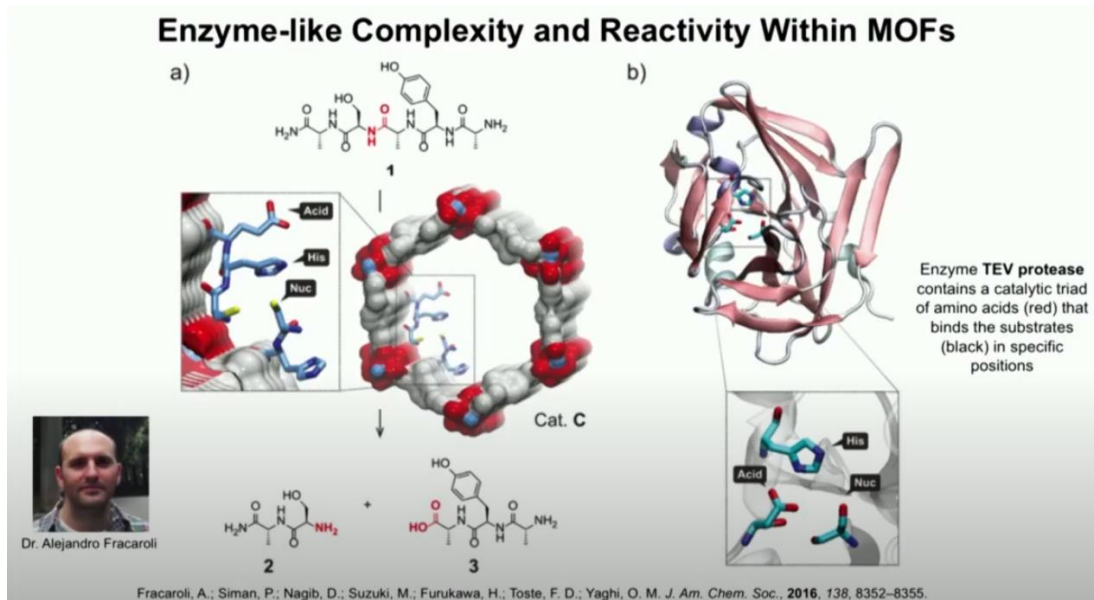
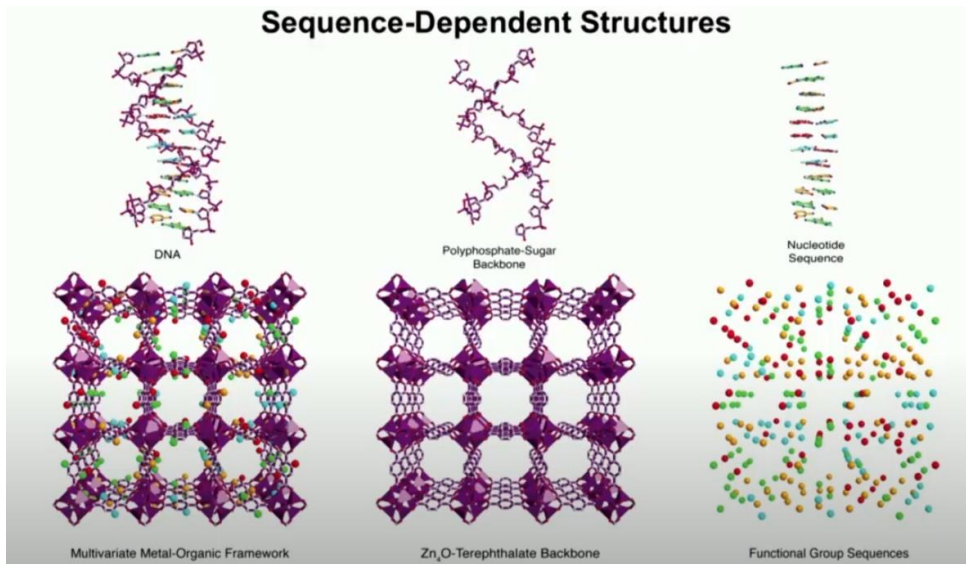
## Cu Nanocrystals in UiO-66 for Conversion of CO<sub>2</sub> to CH<sub>3</sub>OH



B. Rungtaweeworanit, J. Baek, J. R. Araujo, B. S. Archanjo, K. M. Choi, O. M. Yaghi, G. A. Somorjai, *Nano Lett.*, **2016**, *16*, 7645-7649.







## **SONUC:**

Önümüzdeki yüzyıllar insanlık adına üç ana konu çok daha önemli olacağı aşikâr;

### **1-İÇME SUYU ve KULLANMASUYU, 2- GIDA, 3- ENERJİ**

Hızla artan nüfus, su kirliliği ve çölleşme tarafından yüksek kaliteli su kaynaklarının tüketimi, artan ihtiyacın başlıca nedenleri olmaktadır.

Su tüketim kontrolü, korunması, dağıtımı ve depolanmasının iyileştirilmesi, arazi iyileştirme, arıtma ve yeniden kullanma, daha az su kullanan ürün vermek, yeni kaynakları kullanmaya başlamak gibi konuları kapsayan su probleminin pek çok çözümü vardır.

Havadan su üretme teknolojisinin daha da geliştirerek, daha az enerji harcanarak insanlarımıza kullanabileceği suyu sunmak konuyla ilgili yerli firmalarımızın ana hedefi olmalıdır.

Araştırmalar yaparken; **bu yazımın yazma fikriyatının oluşmasını sağlayan sebeplerinin başında gelen nedenlerden ilki RePG firmasıdır.**

RePG firması, tamamen yerli ve milli olmasından dolayı önemsiyorum.

(<https://www.repg.com.tr/>)

Perakende olarak “RePG Atmosferik Su Jeneratörü (AWG) ” satışa çıkarmış.

**RePG Aqua Sebil modelleriyle 10 litrelik ve 20 litrelik olarak toplumumuzun hizmetine sunmuş.**

RePG firmasının ürünleri, **havadaki nemi suya dönüştürebildiği, gibi havadaki nem ve sıcaklığın enerjisini de elektriğe çevirmektedir.**

Ürünü geliştirip, Ar-Ge’sini yapan ve gerekli tüm patentlerini alan **Sn. Hasan AYARTÜRK** ve ürünün global’de tanınmasında üsttün gayretlerinden dolayı **Sn. Hüseyin KARAYAĞIZ’a** ülkem adına çok teşekkür ederim. Temennim ürünlerini daha da geliştirmeleridir.

**Ayrıca su sorununu çözenin bir başka yoluysa:** üç tarafı denizlerle çevrili ülkemizde; Deniz suyundan kullanma suyu elde etmek için kullanılan **tuzsuzlaştırma teknolojileri** geliştirerek kullanılması, ülkemizin önümüzdeki yıllar için olmazsa olmazdır. Daha evvel ki zamanlarda **denizsuyunun arıtma teknolojisi** (desalinasyon tesisleri) ilgili teknik makalemdede, bu konuyu iyice irdelemiştim.

Ülkemizde kullanmasuyu teminiyle ilgili olarak; **havadan su üretme ve denizsuyunun arıtmasının** şimdiden üzerine düşerek, gerekli bilimsel çalışmaları da yürütmek gereken önemli konuların başında gelmektedir.

Hatta bu iki konuyu ülke politikası olarak görmemiz gerekmez mi?

**Not:** Yazıdaki resimler bilgi amaçlı konulmuştur. Yayınlanmasında telif ihlali anlamında sıkıntı yaşanması adına, gerekli prosedürleri yapılması yayıncı kuruluşa aittir. Teknik yazı ve/veya makale de, alıntı yapılan kaynaklar “kaynakça” kısmında belirtilmektedir. Lütfen bu konuda gerekli hassasiyeti gösteriniz.

*(Magic Mechanic Meetings® yazı dizisi devam edecek...)*

**KAYNAKÇA:**

1-) Dünyada ve Ülkemizde Su Hakkında Bilinmesi Gereken Önemli Veriler

<https://www.mechanic.com.tr/dunyada-ve-ulkemizde-su-hakkinda-bilinmesi-gereken-onemli-veriler/>

2-) Yeni Umut: Havadan Su Üretmek

<https://www.bilimvetekno.com/yeni-umut-havadan-su-uretmek/>

3-) Bilim İnsanları Yanlılıkla Havadan Su Elde Eden Nanoçubuklar Geliştirdi

<https://www.gercekbilim.com/bilim-insanlari-yanlislikla-havadan-su-elde-eden-nanocubuklar-gelistirdi/>

4-) Havadan su yapma bilimi

<https://akvosphere.com/air-to-water-technology/>

5-) Havadan temiz su üretme: MOF molekülleri

<https://yenerenerji.com/havadan-temiz-su-uretme-mof-molekulleri/>

6-) RePG Aqua Havadaki Nemi Kullanarak Su Üretir!

<https://www.repg.com.tr/su-urunleri/>

7-) Atmosferden İçme Suyu Elde Etmek

<https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/atmosferden-icme-suyu-elde-etmek>

8-) Çığır açıcı keşif: Çölde bile güneş enerjisinden içme suyu elde edilebilecek

<https://www.indyturk.com/node/258311/bi%CC%87li%CC%87m/%C3%A7%C4%B1%C4%9F%C4%B1r-a%C3%A7%C4%B1c%C4%B1-ke%C5%9Fif-%C3%A7%C3%B6lde-bile-g%C3%BCne%C5%9F-enerjisinden-i%C3%A7me-suyu-elde-edilebilecek>

9-) Güneş Işığı ile Havadan İçme Suyu Elde Edildi

<https://www.elektrikport.com/makale-detay/gunes-isisi-ile-havadan-icme-suyu-elde-edildi/22360#ad-image-0>

**Semih ÇALAPKULU**

**Makina Mühendisi**

[semihcalapkulu@hotmail.com](mailto:semihcalapkulu@hotmail.com)



**Semih ÇALAPKULU hakkında:**

2002 yılında, Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği bölümü mezun olup, **Makina Mühendisi** lisans programını tamamlamıştır.

Evli, Dilara ve Furkan isimli iki çocuğu var.

Meslek hayatına sırasıyla; **Aydın Grup, Ciner Grup** ve **2006 yılından itibaren Kuzu Grup**'ta Mekanik Grup Şefi olarak, çalışma hayatına devam etmektedir.

Kuzu Grup, 1943'ten bu yana 500'ün üzerinde projeye imza atarak, 100.000'den fazla konut, hastane, okul, avm, arıtma tesisleri vs. teslim etmiştir.

18 yıllık Kuzu Grubundaki çalışma hayatında; İnşaat sektöründe, toplamda 12.000 adet konutta, okul, otel, avm ve hastane işlerinin bulunduğu 15 adet ayrı projenin farklı zaman dilimlerinde yer alma şansı almıştır.

Güncel olarak, **SeaPearl Ataköy Hastane Projesinde** görev almaktadır.

**2019** yılından itibaren; teknik yazıları, teknik makaleleri ve serbest yazıları 60'ı aşkın yerden yayınlanmıştır.

Bunların bir kısmı: MMO, TTMD, TESHYÖN, MTMD, MÜKAD, İnşaat Yatırım Dergisi, Sanayi Gazetesi, Sektörüm Dergisi, Mechanic Dergisi, Termoklima Dergisi, İnşaat Tedariği Dergisi, Enerji ve Tesisat, Medya Siirt, Baret Dergisi, Akıllı Binam, DTK, Ankaranın Sesi, ST Endüstri Dergileri, Mühendistan, Termodinamik Dergisi, Birleşim Dergisi, İlkses Gazetesi, Siirt Gazetesi, ESSİAD, TMMOB Dergileri, Mühendis Beyinler, ZeroBuild Journal, Sektörel Yayıncılık, İnşaat Dünyası, İnşaport, Doğa Yayın, Hvac360, Emlak Kulisi, ST Endüstri Dergileri, B2B Dergileri'dir.

**2020** yılından itibaren, **ZeroBuild**'te yönetim sekreteryası içinde olup, **ZeroBuild Summit**'te Makina Mühendisleri Ağı Lideri olarak faaliyetlerini yürütmektedir.

**2021** yılından itibaren, **Fırat Üniversitesi Makina Mühendisliği Danışman Kurulu** üyesidir.

**2022** yılında kurulan, **Uluslararası Tesis Yöneticileri Derneği**'nde kurucu üyesidir.

**2022** yılından itibaren, **TESYÖN** Yönetim Kurulu üyesidir.

Yirmi seneyi aşkın sürede; inşaat sektörü başta olmak üzere, maden sektörü, prosesler, petrokimya tesisleri, üretim başta olmak üzere birçok alanda çalışarak, ilgili sektörlerde tecrübe sahibi olmuştur.