

İTÜ



GAZ AYIRMA MEMBRANLARI VE KARBON GERİ KAZANIMI

BÜLTEN
Bulletin

EYLÜL/SEPTEMBER 2024,
YIL/YEAR :9 SAYI/NUMBER:13
ISSN No: 2564-6176



MEM-TEK
Prof.Dr. Dincer Topacık
ULUSAL MEMBRAN TEKNOLOJİLERİ UYG-AR MERKEZİ
NATIONAL RESEARCH CENTER ON MEMBRANE TECHNOLOGIES

İTÜ MEM-TEK tarafından yayınlanan bültendir.
It is the bulletin published by İTÜ MEM-TEK.



MEM-TEK

Prof.Dr. Dincer Topacık

ULUSAL MEMBRAN TEKNOLOJİLERİ UYG-AR MERKEZİ
NATIONAL RESEARCH CENTER ON MEMBRANE TECHNOLOGIES

SAHİBİ /

OWNER

MEM-TEK Adına

Merkez Müdürü /

CENTRAL MANAGER

Prof. Dr. İsmail KOYUNCU

YAYIN KURULU

/ EDITORIAL BOARD

- Prof. Dr. İsmail KOYUNCU
- Prof. Dr. Bihter ZEYTUNCU GÖKOĞLU
- Prof. Dr. Evren ERŞAHİN
- Prof. Dr. Hale ÖZGÜN ERŞAHİN
- Prof. Dr. Mahmut ALTINBAŞ
- Doç. Dr. Börte KÖSE MUTLU
- Dr. Öğr. Üyesi Ayşe YÜKSEKDAĞ
- Dr. Öğr. Üyesi Bahar YAVUZTÜRK GÜL
- Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Emin PAŞAOĞLU
- Dr. Öğr. Üyesi Öykü MUTLU SALMANLI
- Dr. Öğr. Üyesi Recep KAYA
- Dr. Öğr. Üyesi Türker TÜRKEN
- Öğr. Gör. Dr. Ayşegül Derya ALTINAY
- Öğr. Gör. Dr. Bahriye ERYILDIZ YESİR
- Öğr. Gör. Dr. Başak KESKİN
- Dr. Meltem AĞTAŞ
- Öğr. Gör. Sevede KORKUT
- Araş. Gör. Berk ESENLI
- Araş. Gör. Enise PEKGENÇ
- Araş. Gör. Muhammet Furkan ARAS
- Araş. Gör. Sümeyye YAŞAR
- Araş. Gör. Tuğçe AKÇA GÜLER

Bizi **Sosyal Medya**
hesaplarımızdan
takip edebilirsiniz.

*Us from our Social Media
accounts You
can follow.*



Twitter



Linkedin



Youtube



Facebook



Instagram

İLETİŞİM

- İstanbul Teknik Üniversitesi,
- Prof. Dr. Dincer Topacık Ulusal Membran
- Teknolojileri Uyg-Ar Merkezi
- (MEM-TEK) İleri Teknolojiler Merkezi, 34469
- Maslak/İstanbul
- Telefon: +90 (212) 285-3473
- Fax: +90 (212) 285-6667
- E-posta: memtek@itu.edu.tr
- www.memtek.org



BU SAYIMIZDA IN THIS ISSUE

Prof. Dr. İsmail KOYUNCU
İTÜ MEM-TEK UYG-AR Merkezi Müdürü
Director of ITU MEM-TEK
Research Center

04



AYIN KONUSU

TOPIC OF THE MONTH

GAZ AYIRMA MEMBRANLARI VE
KARBON GERİ KAZANIMI
GAS SEPARATION MEMBRANES AND
CARBON RECOVERY

06

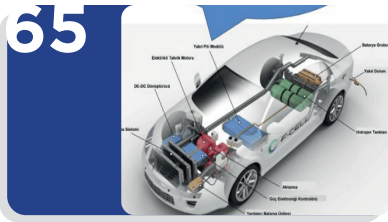


RÖPORTAJLAR

INTERVIEWS

Prof. Dr. Halil Hasar
Prof. Dr. Seda Keskin Avcı
Dr. Ing. Oana Cristina David
Dr. Miren Etxeberria

37



MEM-TEK'TE GERÇEKLEŞTİRİLEN ÇALIŞMALAR

STUDIES CONDUCTED
AT MEM-TEK

65



DÜNYADAKİ VE TÜRKİYE'DEKİ GÜNCEL UYGULAMALAR / HABERLER/

CURRENT APPLICATIONS/
NEWS IN THE WORLD AND
TÜRKİYE

69



MEM-TEK'TEN HABERLER /NEWS FROM MEM-TEK

80



ULUSLARARASI ÇEVRE VE AHLAK SEMPOZYUMU

/INTERNATIONAL SYMPOSIUM
ON ENVIRONMENT AND
MORALITY

112



MEM-TEK 2025 SEMPOZYUMU /MEM-TEK 2025 SYMPOSIUM

115

BU SAYIMIZDA

In This Issue



Prof. Dr. İsmail KOYUNCU

Değerli Okuyucularımız,

İstanbul Teknik Üniversitesi Prof. Dr. Dincer-Topacık Ulusal Membran Teknolojileri Uygulama ve Araştırma Merkezi (MEM-TEK) olarak yayınlamaya başladığımız MEM-TEK Bülteninin on üçüncü sayısı ile karşınızdayız.

2016 yılından itibaren hem ülkemiz hem de dünyamız için güncel ve önemli konulara değinilerek geniş kapsamlı hazırladığımız bilgileri ve görselleri siz değerli okuyucularımız için bir araya getirmekteyiz.

Membran prosesleri konusunda Türkiye’de ilk ve tek araştırma merkezi olan MEM-TEK bünyesinde akademisyenlerimizin ve araştırmacılarımızın yaptıkları çalışmalar doğrultusunda, hem literatüre katkı sağlamaktayız hem de yerli ve milli ürünler üreterek Türkiye’ye ve Dünya’ya yenilikçi prosesler geliştirmekteyiz. Membran araştırmaları konusunda Türkiye’de ilk ve tek araştırma merkezi olduğumuz için hem kendi yaptığımız çalışmaları hem de literatürde yapılmış olan çalışmaları sizlere sunmaktayız. Bugüne kadar yayınlanan bültenlerimizde içme suyu arıtımından, atıksu arıtımına, kaynak geri kazanımından desalinasyon prosesine kadar birçok farklı konuda öncü çalışmalar incelenmiştir. MEM-TEK’in kuruluşunun 10. Yılına özel sayımızda ise tüm çalışmalarımızı derlediğimiz bültenimiz yayınlanmıştır. 2019 yılında ülkemizin de içinde olduğu küresel bir pandemi olan, SARS-Cov-2 virüsünün sebep olduğu COVID-19 pandemisinin sağlık ve çevre üzerindeki etkileri kapsa-

Dear Readers,

We are here with the thirteenth issue of the MEM-TEK Bulletin, which we started to publish as Istanbul Technical University Prof. Dr. Dincer Topacık National Membrane Technologies Application and Research Center (MEM-TEK).

Since 2016, we have been bringing together comprehensive information and visuals for you, our valued readers, touching on current and important issues for both our country and the world.

In line with the studies carried out by our academicians and researchers within MEM-TEK, which is the first and only research center in Turkey on membrane processes, we both contribute to the literature and develop innovative processes for Turkey and the World by producing domestic and national products. In our bulletins published to date, pioneering studies on many different subjects, from drinking water treatment to wastewater treatment, from resource recovery to desalination processes, have been examined. In our special issue commemorating the 10th anniversary of MEM-TEK’s establishment, our bulletin compiling all our work has been published. Our issue, which includes the studies carried out within the scope of the effects of the COVID-19 pandemic caused by the SARS-Cov-2 virus, which is a global pandemic in which our country is included in 2019, on health and the environment, and the opinions of experts on this subject, has attract-

mında yapılan çalışmaların ve bu konuda uzmanların görüşlerinin de yer verildiği sayımız büyük ilgi görmüştür. 2022 yılında ise ülkemizde özellikle Marmara Denizi'nde yoğun şekilde görülen müsilaj konusunda MEM-TEK bünyesinde yapılan saha çalışmaları da dahil olmak üzere tüm çalışmalara yer verdiğimiz bültenimiz yayınlanmıştır. Son sayımızda ise MEM-TEK'in de en önemli odak noktalarından biri olan membranlar ve sürdürülebilirlik konusu incelenmiştir.

Bu sayımızda, son yıllarda oldukça önem kazanmış ve MEM-TEK'in de araştırma konularından biri olan "Gaz Ayırma Membranları ve Karbon Geri Kazanımı" konusu ele alınmıştır. İlk olarak hem gaz ayırma membranlarının hem de karbon geri kazanımı için üretilen membranların performansları ve hem ekonomik hem de çevresel etkileri değerlendirilmiştir. Bu membranların sürdürülebilirlik hedeflerine katkıları ve gelecekte membran teknolojilerinin potansiyeli incelenmiştir. Ayrıca, gaz ayırma membranları ile ilgili konusunda uzman yerli ve yabancı akademisyenler ve yöneticilerle yapılan röportajlar, MEM-TEK'te yapılan güncel çalışmalar ve projeler, Dünyadan, ülkemizden ve MEM-TEK'ten haberler de bu sayıda sizlere sunulmuştur.

Değerli okuyucular, sizleri MEM-TEK Bülteni'ne hem fikren hem de fiilen katkı ve destek vermeye davet ediyoruz. Sizlerden gelecek öneriler alanımızla ilgili kısa ve uzun vadede planlayacağımız çalışmalara yön verecektir.

Bu konudaki önerilerinizi, memtek@itu.edu.tr posta adresine iletebilirsiniz.

Bu sayıya, röportaj, yazı ve haberler ile katkıda bulunan herkese ve yayına hazırlanmasındaki katkılarından dolayı tüm çalışma arkadaşlarıma teşekkürü bir borç biliyor, bundan sonra da emekleri geçecek olan herkese şimdiden şükranlarımı sunuyorum.

Prof. Dr. İsmail KOYUNCU
MEM-TEK Bülteni Yayın Kurulu Adına

ed great attention. In 2022, our bulletin was published, which included all the studies, including field studies carried out within MEM-TEK, on mucilage, which is seen extensively in our country, especially in the Marmara Sea. In our last issue, membranes and sustainability, which is one of the most important focal points of MEM-TEK, were examined.

In this issue, the subject of "Gas Separation Membranes and Carbon Recovery", which has gained great importance in recent years and is one of the research topics of MEM-TEK, is discussed. Firstly, the performances and economic and environmental impacts of both gas separation membranes and membranes produced for carbon recovery were evaluated. The contributions of these membranes to sustainability goals and the potential of membrane technologies in the future were examined. In addition, interviews with local and foreign academicians and managers who are experts in their fields regarding gas separation membranes, current studies and projects at MEM-TEK, and news from the world, our country and MEM-TEK are also presented to you in this issue.

Dear readers, we invite you to contribute and support the MEM-TEK Bulletin both in thought and deed. Your suggestions will guide the work we will plan in the short and long term in our field.

You can send your suggestions on this subject to the e-mail address memtek@itu.edu.tr

I would like to thank everyone who contributed to this issue with interviews, articles and news, and all my colleagues for their contributions to its preparation for publication, and I would like to express my gratitude in advance to everyone who will contribute in the future.

Prof. İsmail KOYUNCU
On Behalf of MEM-TEK Bulletin
Editorial Board

GAZ AYIRMA MEMBRANLARI VE KARBON GERİ KAZANIMI

Gas Separation Membranes And Carbon Recovery

Gaz Ayırma Membranlarının Önemi ve Uygulama Alanları

The Importance and Applications of Gas Separation Membranes

Yazarlar / Authors: Arş. Gör. Enise Pekgenç, Arş. Gör. Tuğçe Akca-Güler, Yük. Müh. Gizem Tuncay, Yük. Müh. Oğuz Orhun Teber, Müh. Batuhan Sadıksöz

Gaz ayırma membranları, gaz parçacık boyutları arasındaki farkın minimal olduğu durumlarda gaz karışımından gazları ayırmak için kullanılan ince bariyerlerdir. Bu membranlar, doğal gaz işleme, karbon yakalama ve depolama, gaz saflaştırma gibi birçok endüstride önemli bir role sahiptir (Shindo & Nagai, 2013).

Gaz ayırma membranları, polimerler, seramikler ve karışık matris kompozitleri gibi çeşitli malzemelerden üretilir. Bu malzemeler, belirli fonksiyonel gruplara veya gözenek boyutlarına sahip olacak şekilde tasarlanarak bazı gazların tercihli olarak adsorbe edilmesini veya geçmesini sağlarken, diğerlerini reddederler (Liu vd., 2022). Membranların yapısı ve bileşimi kontrol edilerek yüksek ayırma verimliliği ve seçiciliği elde edilebilir.

Gazların membranlarla ayrılması, dinamik ve hızla büyüyen bir alandır. Membran ayırma süreçleri, düşük enerji kullanımı ve sermaye yatırımları açısından birçok avantaj sunar. Bu süreç, basit, kolay işletilebilir ve kompakt ekipman gerektirir. Sonuç olarak, gazların kimyasal

Gas separation membranes are thin barriers used to separate gases from a gas mixture when the difference in gas particle sizes is minimal. These membranes play a crucial role in many industries such as natural gas processing, carbon capture and storage, and gas purification (Shindo & Nagai, 2013).

Gas separation membranes can be made from various materials, including polymers, ceramics, and mixed matrix composites. These materials are designed to have specific functional groups or pore sizes, allowing them to preferentially adsorb or pass certain gases while rejecting others (Liu et al., 2022). By controlling the structure and composition of the membranes, high separation efficiency and selectivity can be achieved.

The separation of gases using membranes is a dynamic and rapidly growing field. Membrane separation processes offer many advantages in terms of low energy use and capital investments. This process requires simple, easy-to-operate, and compact equipment. As a result, this process has gained signifi-

hammadde endüstrisinde merkezi bir rol oynaması nedeniyle bu süreç, ekonomik açıdan önemli bir endüstriyel rol kazanmıştır.

1970'lerin sonlarında, endüstriyel ilgiye sahip gaz karışımlarının membranlarla ayrılması belirli uygulamalar için ekonomik olarak rekabetçi hale gelmiştir. 1980'lerde sentetik polimerikmembranların geliştirilmesi ve iyileştirilmesi ile membran bilimi ve teknolojisinde önemli ilerlemeler kaydedilmiştir (Smith vd., 2021).

Son zamanlarda, maddelerin membranlardan yüksek seçiciliği ve diferansiyel geçirgenliği, araştırmacıların gazları karışımlarından ayırmak için membran teknolojisine olan ilgisini artırmıştır. Çeşitli gazların gaz karışımlarından ayrılması, değerli gazların kabul edilebilir saflık seviyesinde verimli bir şekilde geri kazanılması için önemli bir işlemdir ve aynı zamanda hava kirliliğini kontrol etmede önemli bir adımdır. Çeşitli endüstrilerde bu tür ayırmalar için benimsenen geleneksel teknikler arasında absorpsiyon, adsorpsiyon ve kriyojenik damıtma yer alır. Ancak bu yöntemler yüksek arıtma maliyetleri, büyük ekipmanlar ve dolayısıyla ekipmanların yerleştirilmesi için daha geniş alanlar gerektirir. Membran bazlı gaz ayırma işlemlerinin bu geleneksel tekniklere göre daha düşük sermaye maliyeti, basit işletme süreci, yüksek seçicilik, düşük enerji tüketimi ve daha verimli gaz giderimi gibi çeşitli avantajları vardır (Sidhikku Kandath Valappil vd., 2021).

Yakıt, elektrik, plastik, sentetik lifler, gübreler, boyalar, yapıştırıcılar ve sentetik boyalar ve kaplamalara olan küresel talebin artması nedeniyle doğalgaz üretimi artmaktadır. Gaz ayrıştırma tesislerinde, gaz giriş alımı, kurutma ve cıva giderme, doğalgaz sıvıları geri kazanımı ve fraksiyonlama gibi işlemler kullanılarak metan, etan, propan, butan ve C5+ bileşenlerinin doğal gazdan ayrıştırılması yapılmaktadır. Önümüzdeki yıllarda da küresel gaz talebinin artması beklenmektedir. Bu artan talep, gaz ayırma

cant industrial importance economically, as gases play a central role in the chemical raw materials industry.

By the late 1970s, the separation of industrially significant gas mixtures with membranes had become economically competitive for certain applications. Significant advances in membrane science and technology were made in the 1980s with the development and improvement of synthetic polymeric membranes (Smith et al., 2021).

Recently, the high selectivity and differential permeability of substances through membranes have increased researchers interest in membrane technology for separating gases from mixtures. The separation of various gases from gas mixtures is an important process for the efficient recovery of valuable gases at acceptable purity levels and is also a significant step in controlling air pollution. Traditional techniques adopted for such separations in various industries include absorption, adsorption, and cryogenic distillation. However, these methods involve high purification costs, large equipment, and therefore, require more extensive spaces for placing the equipment. Membrane-based gas separation processes have various advantages over these conventional techniques, such as lower capital costs, simple operation processes, high selectivity, low energy consumption, and more efficient gas removal (Sidhikku Kandath Valappil et al., 2021).

Due to the global demand for fuel, electricity, plastics, synthetic fibers, fertilizers, dyes, adhesives, and synthetic paints and coatings, natural gas production is increasing. In gas separation plants, processes such as gas intake, drying, mercury removal, natural gas liquids recovery, and fractionation are used to separate methane, ethane, propane, butane, and C5+ components from natural gas. Global gas demand is also expected to increase in the coming years. This increasing demand also raises interest in gas separation mem-

membranlarına olan ilgiyi de artırmakta, çünkü bu membranlar, gazların verimli ve ekonomik bir şekilde ayrılmasını sağlayarak endüstriyel süreçleri optimize etmektedir.

Bu noktada, optimum enerji verimliliği ile yüksek verimlilik ve saflık elde etmek için uygun bir ayırma işleminin seçilmesi ve tasarlanması önemlidir. Çeşitli ayırma teknolojileri arasında membran bazlı ayırma, enerji, su, kimya, sağlık ve gıda endüstrilerindeki çeşitli uygulamaları nedeniyle disiplinler arası ilgi kazanmıştır. Çevreye duyarlı, yüksek enerji verimliliği ve küçük ayak izi avantajlarına sahip membran ayırma, arıtma ve ayırma için rekabetçi ve gelişen teknolojilerden biridir (Yong & Zhang, 2021).

Bugüne kadar, gaz karışımlarının ayrılmasında membran teknolojisinin uygulamalarının %60'ından fazlası, havadan azot ayrılması ve amonyak veya sentez ünitelerinin gaz akışlarından hidrojen geri kazanımı ile ilgilidir. Bu üniteler, polimerin doğasını etkileyen veya tıkalı gazlardan arındırılmış temiz gazlar içerir. Ancak, membran teknolojisinin doğalgaz arıtımı, rafineriler ve petrokimya üniteleri alanında kullanımında dramatik bir artış gözlemlenmektedir (Ghanbari & Nabipour, 2021).

Doğalgaz beslemelerinde bulunan başlıca kirleticilerden biri olan karbondioksit (CO₂), önemli bir sera gazı olarak kabul edilmekte olup, hem endüstriyel süreçlerin verimliliğini düşürmekte hem de küresel ısınmaya yol açmaktadır. (TaghvaieNakhjiri vd., 2020). Bunun yanında CO₂ gazın enerji içeriğini azaltıp satış fiyatını da etkilediği için optimal olarak çıkarılmalıdır. Ayrıca, su varlığında asidik ve korozyon hale gelerek boru hatlarına ve ekipman sistemine zarar verme potansiyeline sahiptir. Doğalgazın çok uzak mesafelere taşınması konusu olduğunda, boru hatlarının kullanımı çok pahalı olacağından, sıvılaştırılmış doğalgaz, gazdan sıvıya dönüşüm ve kimyasallar alternatif seçenekler olarak değerlendirilir. Sıvılaştırılmış doğalgaz işleme tesislerinde, doğalgazı çok

branes because these membranes optimize industrial processes by allowing the efficient and economical separation of gases.

At this point, selecting and designing an appropriate separation process to achieve high efficiency and purity with optimum energy efficiency is essential. Among the various separation technologies, membrane-based separation has gained interdisciplinary interest due to its applications in energy, water, chemicals, healthcare, and food industries. Membrane separation, with its environmentally friendly, high energy efficiency, and small footprint advantages, is one of the competitive and emerging technologies for purification and separation (Yong & Zhang, 2021).

To date, more than 60% of membrane technology applications in gas mixture separation involve nitrogen separation from air and hydrogen recovery from gas streams of ammonia or synthesis units. These units contain clean gases free from polymer-impairing or blocking gases. However, there has been a dramatic increase in the use of membrane technology in natural gas treatment, refineries, and petrochemical units (Ghanbari & Nabipour, 2021).

One of the main contaminants in natural gas feedstocks, carbon dioxide (CO₂), is considered a significant greenhouse gas, reducing the efficiency of industrial processes and contributing to global warming (Taghvaie Nakhjiri et al., 2020). Additionally, CO₂ must be optimally removed because it reduces the energy content of the gas and affects the sales price. Moreover, in the presence of water, it can become acidic and corrosive, potentially damaging pipeline and equipment systems. When transporting natural gas over long distances, liquefied natural gas (LNG), gas-to-liquid conversion, and chemicals are considered alternative options because pipeline usage would be very expensive. In LNG processing plants, CO₂ can freeze and clog pipelines during cool-

düşük bir sıcaklığa soğuturken, CO₂ donarak boru hatlarını tıkayabilir ve taşıma sorunlarına neden olabilir. Bu nedenle, doğalgazdaki CO₂ varlığı, proses mühendisliğinde çözülmesi gereken zorlu gaz ayrıştırma sorunlarından biridir. Bu yüzden, doğalgazın saflaştırma süreçleri ile CO₂'den arındırılması, ürün kalitesinde iyileşme sağlamak için hayati öneme sahiptir (Shimekit & Mukhtar, 2012).

Karbon Geri Kazanımının Çevresel Ve Ekonomik Avantajları

Dünya'nın ortalama sıcaklığı, sanayi devriminden önceki döneme göre 1°C'den fazla artmıştır ve kaydedilen en sıcak yıl 1998'den bu yana gerçekleşmiştir. Küresel sıcaklık artışı başlıca antropojenik sera gazı emisyonlarına bağlanmaktadır. İklim Değişikliği Hükümetlerarası Paneli'ne (Intergovernmental Panel on Climate Change) göre CO₂, küresel insan kaynaklı (antropojenik) emisyonların %70'ten fazlasını oluşturan başlıca etken olup, geri kalan emisyonlar ise metan, azot oksitleri ve çeşitli florlu gazlardan meydana gelmektedir.

İnsan faaliyetleri, karbon döngüsünün ormanlar gibi doğal depolar aracılığıyla antropojenik emisyonları absorbe etme yeteneğini etkileyemediği için atmosferde CO₂ birikimine neden olmaktadır. Küresel ısınmanın hızını azaltmak için CO₂ emisyon kaynaklarını azaltma veya sera gazı emicilerini artırma yoluyla acil müdahalenin gerektiği konusunda küresel bir uzlaşma bulunmaktadır. İklim değişikliğini hafifletmeye yönelik politikaların uygulanmasına rağmen, CO₂ emisyonları mevcut seviyelerinde kalırsa küresel yüzey sıcaklığının 2052'den önce 1.5 °C'ye ulaşması öngörülmektedir (Godin vd., 2021). Buna karşın Avrupa Birliği 2050 yılında karbon nötrlüğü hedeflemektedir (Avrupa Parlamentosu ve Avrupa Birliği Konseyi) (Malabi Eberhardt vd., 2023).

Atmosferdeki karbon miktarını azaltma hedefinin sağladığı faydalar çeşitlendirilebilir. Başlıca çevresel ve ekonomik faydalar aşağıdaki gibi sıralanabilir;

ing to very low temperatures, causing transportation problems. Therefore, the presence of CO₂ in natural gas is one of the challenging gas separation problems that need to be addressed in process engineering. Thus, purifying natural gas to remove CO₂ through purification processes is vital for improving product quality (Shimekit & Mukhtar, 2012).

Environmental and Economic Benefits of Carbon Recovery

The Earth's average temperature has increased by more than 1°C compared to the pre-industrial era, with the ten hottest years recorded since 1998. The rise in global temperature is primarily attributed to anthropogenic greenhouse gas emissions. According to the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), CO₂ is the most significant contributor, accounting for more than 70% of global anthropogenic emissions, with the remainder consisting of methane, nitrous oxides, and various fluorinated gases.

Human activities lead to the accumulation of CO₂ in the atmosphere because the carbon cycle's natural sinks, such as forests, cannot absorb anthropogenic emissions. There is a global consensus that urgent intervention is required to reduce CO₂ emission sources or increase greenhouse gas sinks to slow down global warming. Despite implementing policies to mitigate climate change, it is projected that global surface temperature will reach 1.5°C before 2052 if CO₂ emissions remain at current levels (Godin et al., 2021). However, the European Union aims for carbon neutrality by 2050 (European Parliament and Council of the European Union) (Malabi Eberhardt et al., 2023).

The benefits of achieving the goal of reducing the amount of carbon in the atmosphere can be diversified. The main environmental and economic benefits can be listed as follows:

Çevresel Faydalar

- Sera Gazı Emisyonlarının Azaltılması

Karbon geri kazanımı, CO₂'nin yakalanıp yeniden kullanılmasıyla sera gazı emisyonlarını azaltır. Bu durum, iklim değişikliğini ve çevre üzerindeki olumsuz etkilerini hafifletmek için çok önemlidir.

- Hava Kalitesinin İyileştirilmesi
CO₂ ve diğer kirleticilerin emisyonlarını azaltarak, karbon geri kazanım teknolojileri hava kalitesini önemli ölçüde iyileştirebilir. Bu durum, özellikle kent sel ve endüstriyel bölgelerde yaşayan insanların solunum ve kardiyovasküler hastalıklarını azaltarak doğrudan sağlık yararları sağlar.

- Yenilenebilir Enerji Entegrasyonuna Destek

Karbon geri kazanım teknolojileri, fazla CO₂'yi depolama ve kullanma yolları sağlayarak yenilenebilir enerji sistemlerini tamamlayabilir. Bu durum, değişken doğası olan güneş ve rüzgar enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının istikrarını ve güvenilirliğini destekler (Hauke Engel vd., 2020).

Ekonomik Faydalar

- İstihdam Yaratma ve Ekonomik Büyüme

Karbon geri kazanım teknolojilerinin uygulanması, bu sistemlerin geliştirilmesi, kurulumu ve bakımı alanlarında iş imkanları yaratarak ekonomik büyümeyi teşvik eder. Örneğin yapılan bir çalışmada, karbon yakalamayı içeren projelerin fosil yakıt projelerine kıyasla dolar başına daha fazla iş yarattığı be-

Environmental Benefits

- Reduction of Greenhouse Gas Emissions

Carbon recovery reduces greenhouse gas emissions by capturing and reusing CO₂. This is crucial for mitigating climate change and its adverse environmental impacts.

- Improvement of Air Quality

By reducing emissions of CO₂ and other pollutants, carbon recovery technologies can significantly improve air quality. This provides direct health benefits, particularly for people living in urban and industrial areas, by reducing respiratory and cardiovascular diseases.

- Support for Renewable Energy Integration

Carbon recovery technologies can complement renewable energy systems by providing ways to store and use excess CO₂. This supports the stability and reliability of renewable energy sources like solar and wind, which have variable natures (Hauke Engel et al., 2020).

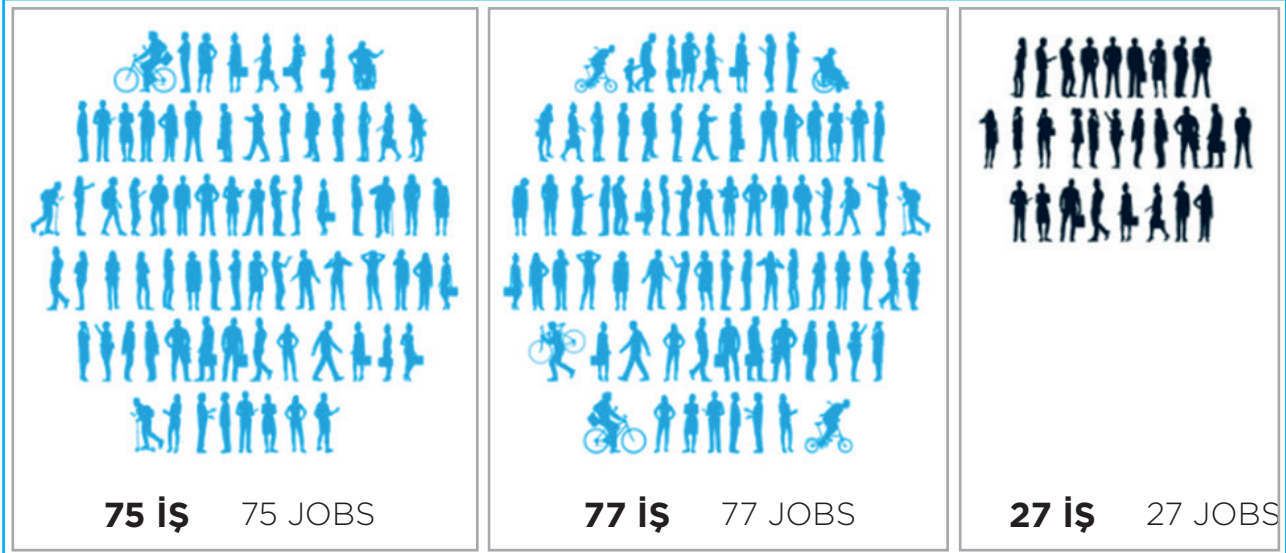
Economic Benefits

- Job Creation and Economic Growth

Implementing carbon recovery technologies promotes economic growth by creating job opportunities in the development, installation, and maintenance of these systems. For example, a study indicates that projects involving carbon capture generate more jobs per dollar compared to fossil fuel projects (Hauke Engel et al., 2020).

Government spending on renewable

Yenilenebilir Teknolojiler <i>Renewable Technologies</i>	Enerji Verimliliği <i>Energy Efficiency</i>	Fosil Yakıt <i>Fossil Fuel</i>
(Rüzgar, Güneş, Biyoenerji, Jeotermal, Hidrotermal) <i>Wind, Solar, Bioenergy, Geothermal, Hydro</i>	(Endüstriyel Enerji Verimliliği, Akıllı Şebeke, Toplu Taşıma) <i>Industrial Energy Efficiency, Smart Grid, Mass Transit</i>	Petrol, Gaz ve Kömür <i>Oil And Gas, Coal</i>



Şekil 1. 10 milyon dolarlık harcama başına doğrudan ve dolaylı olarak yaratılan istihdamın sektörel dağılımı (Hauke Engel vd., 2020).

Figure 1. Sectoral distribution of direct and indirect employment created per 10 million dollars of spending (Hauke Engel et al., 2020).

lirilmektedir (Hauke Engel vd., 2020). Yenilenebilir enerji ve enerji verimliliğine yönelik hükümet harcamalarının, fosil yakıtlara yapılan harcamalardan daha fazla istihdam yarattığı ortaya çıktı.

10 milyon dolarlık harcama başına doğrudan ve dolaylı olarak yaratılan istihdam, Şekil 1’de gösterilmiştir.

- **Maliyet Tasarrufu ve Verimlilik**
Yakalanan karbonun kullanılması, endüstriyel süreçlerde önemli maliyet tasarruflarına yol açabilir. Örneğin, geri kazanılmış CO₂, petrol çıkarımının verimliliğini artıran ve yeni sondaj operasyonlarına olan ihtiyacı azaltan gelişmiş petrol geri kazanımında kullanılabilir (Biniek vd., 2020).

- **İnovasyon ve Rekabet Gücü**
Karbon geri kazanım teknolojilerine yapılan yatırımlar, yeni malzemelerin, süreçlerin ve ürünlerin geliştirilmesini teşvik ederek inovasyonu artırır. Bu durum, endüstrilerin uzun vadede daha sürdürülebilir ve verimli hale gelmesini sağlar. Ayrıca, bu teknolojileri benimseyen şirketler, düzenleyici teşviklerden yararlanabilir ve gelecekteki karbon fiyatlandırma ve emisyon cezalarından kaçınabilirler (Sridhar & Bhargava, 2014).

energy and energy efficiency has been shown to create more jobs than spending on fossil fuels.

The direct and indirect employment generated per \$10 million of expenditure is shown in Figure 1.

- **Cost Savings and Efficiency**
Using captured carbon can lead to significant cost savings in industrial processes. For instance, recovered CO₂ can be used in enhanced oil recovery, increasing the efficiency of oil extraction and reducing the need for new drilling operations (Biniek et al., 2020).

- **Innovation and Competitiveness**
Investments in carbon recovery technologies stimulate innovation by promoting the development of new materials, processes, and products. This makes industries more sustainable and efficient in the long term. Additionally, companies adopting these technologies can benefit from regulatory incentives and avoid future carbon pricing and emission penalties (Sridhar & Bhargava, 2014).

Gaz Ayırma Membranları: Çalışma Prensibi ve Malzeme Seçimi

Gas Separation Membranes: Working Principle and Material Selection

Geleneksel ayırma işlemlerinden farklı olarak, membranlı gaz ayırma bir faz değişikliği gerektirmez. Ayrıca, hareketli parçaların bulunmaması, gaz ayırma sistemlerini özellikle güvenilirliğin önemli olduğu uzak konumlarda kullanıma uygun hale getirir; ek olarak, kapladığı alanın küçük olması, bu sistemleri açık deniz gaz işleme platformları gibi uzak uygulamalar için oldukça cazip kılar (Bernardo vd., 2009).

Membranların endüstriyel süreçlerde kullanılmasının, geleneksel süreçlere kıyasla birçok dikkate değer avantajı vardır, bunlar aşağıda listelenmiştir:

- Çok yüksek seçicilikle tutarlı üretim sağlama yeteneği,
- Faz değiştirme veya kimyasal katkı maddelerine gerek duyulmaması,
- Basit kavram ve operasyon,
- Modüler tasarım ve ölçek büyütmeyi kolaylaştırma; küçük ayak izi gereksinimi ve geniş alan gerektirmemesi,
- Nispeten düşük enerji tüketimi,
- Hammadde kullanımında yüksek verimlilik ve yan ürünlerin geri dönüşümü potansiyeli,
- Ekipman boyutunun esasen azaltılması,
- Basit otomasyon ve uzaktan kontrol sistemlerine kolay entegrasyonu (Rezakazemi vd., 2014).

Çeşitli gaz ayırma membranları, hava

Unlike traditional separation processes (e.g., cryogenic distillation and adsorption processes), membrane gas separation does not require a phase change. Additionally, the absence of moving parts makes gas separation systems particularly suitable for use in remote locations where reliability is crucial. Furthermore, the small footprint of these systems makes them highly attractive for remote applications such as offshore gas processing platforms (Bernardo et al., 2009).

Using membranes in industrial processes offers several notable advantages compared to traditional processes, which are listed below:

- The ability to consistently provide production with very high selectivity,
- No need for phase changes or chemical additives,
- Simple concept and operation,
- Modular design and ease of scaling up; small footprint requirement and lack of need for large areas,
- Relatively low energy consumption,
- High efficiency in raw material usage and the potential for recycling by-products,
- Significant reduction in equipment size,
- Easy integration into simple automation and remote control systems

ayırıştırma, doğal gazdaki asidik gazların uzaklaştırılması, hidrojen üretimi ve saflaştırma, biyogaz yükseltme, olefin/parafin ayırıştırma, petrokimya endüstrisi uygulamaları, uçucu organik buhar geri kazanımı ve nem alma gibi çok çeşitli uygulamalar için tasarlanmıştır. Ayrıca, fosil yakıt yakma tesislerinden CO₂ yakalama da bu uygulamalar arasındadır. Membran bazlı süreçler, gaz ayırma ve saflaştırmada enerji açısından verimlidir. Bunun sonucunda, saflaştırılmış veya yükseltilmiş gazlar (örneğin, sentez gazı, doğal gaz ve biyogaz) enerji üretimi için kullanılan güç tesislerinin verimliliğini artırabilir. Membranların enerji üretimiyle olan ilişkisi oldukça güçlüdür. Ayrıca, bu membranlar oksijenle zenginleştirilmiş hava üretiminde de kullanılabilir, bu da bir fırın veya motorun yakıt ısı verimliliğini artırmak için faydalıdır. Böylece, daha fazla enerji veya elektrik, güç tesisleri ve/veya yanma motorları ile üretilebilir (Liang vd., 2019).

Membran gaz ayırma pazarlarını genişletmek için pek çok fırsat bulunmaktadır. Ancak bazı durumlarda, mevcut membran malzemeleri, konfigürasyonları ve hazırlama yöntemleri bu yeni alanlardan tam anlamıyla yararlanmak için yeterli değildir. Zamanla, bu alanda çeşitli malzemeler üzerinde araştırmalar yapılmış ve farklı gelişmeler kaydedilmiştir. Araştırmaların büyük bir kısmı, yeni malzemelerin incelenmesine ve hem daha yüksek seçicilik hem de belirli gazlara karşı geçirgenlik sunan yeni membran yapıların geliştirilmesine odaklanmaktadır (Bernardo vd., 2009).

Gaz ayırma, üç temel taşıma mekanizmasından birine dayanan membranlar kullanılarak gerçekleştirilebilir: Knudsen difüzyonu, moleküler eleme ve çözelti-difüzyonu. Knudsen difüzyonu, boyutu 0,1 μm 'den küçük olan ve gözenek çapı gaz moleküllerinin ortalama serbest yolu ile aynı boyutta veya daha küçük olan gözeneklerde meydana gelir. Bu durumda, gaz molekülleri gözenek duvarlarıyla birbirlerinden çok daha sık

(Rezakazemi et al., 2014).

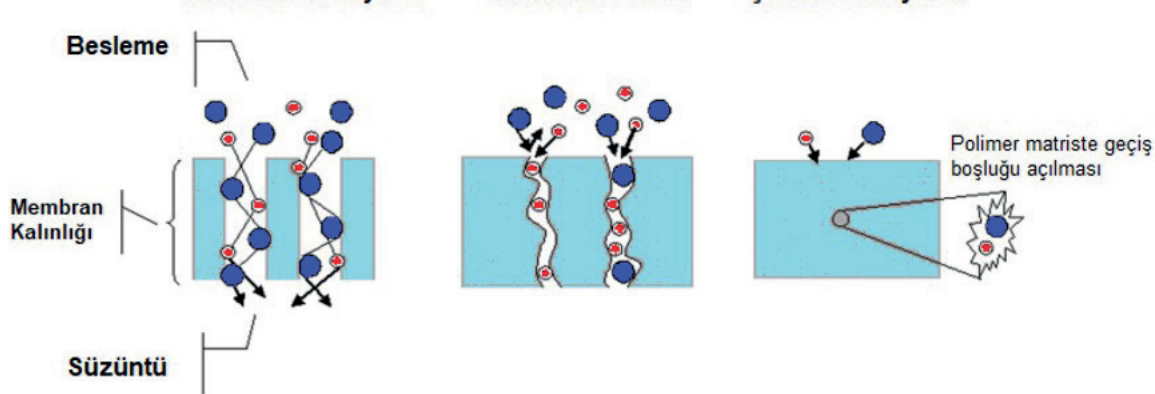
Various gas separation membranes are designed for a wide range of applications, such as air separation, removal of acidic gases from natural gas, hydrogen production and purification, biogas upgrading, olefin/paraffin separation, petrochemical industry applications, volatile organic vapor recovery, and dehumidification. Additionally, CO₂ capture from fossil fuel combustion plants is among these applications. Membrane-based processes are energy-efficient in gas separation and purification. As a result, purified or upgraded gases (e.g., synthesis gas, natural gas, and biogas) can enhance the efficiency of power plants used for energy production. The relationship between membranes and energy production is quite strong. Additionally, these membranes can be used for the production of oxygen-enriched air, which is beneficial for increasing the fuel heat efficiency of a furnace or engine. Thus, more energy or electricity can be produced by power plants and/or combustion engines (Liang et al., 2019).

There are many opportunities to expand the markets for membrane gas separation. However, in some cases, current membrane materials, configurations, and preparation methods are not sufficient to fully exploit these new areas. Over time, research has been conducted on various materials in this field, and different developments have been made. A large portion of the research focuses on examining new materials and developing new membrane structures that offer both higher selectivity and permeability to specific gases (Bernardo et al., 2009).

Gas separation can be achieved using membranes based on one of three fundamental transport mechanisms: Knudsen diffusion, molecular sieving, and solution-diffusion. Knudsen diffusion occurs in pores smaller than 0.1 μm and where the pore diameter is the

etkileşime girer. Düşük molekül ağırlıklı gazlar, daha ağır olanlara göre daha hızlı yayılır ve ayrılma bu şekilde gerçekleşir. Bir bileşenin tercihli adsorpsiyonunun olduğu durumlarda yüksek seçicilik elde edilebilir. Moleküler eleme, farklı boyutlardaki moleküllerin ayrılmasında potansiyel olarak yararlıdır; gözenekler yeterince küçük olduğunda, büyük moleküller geçemez ve membranın dışında kalır. Çözelti-difüzyonu, seçici polimer katmanları aracılığıyla gerçekleşir ve sadece mevcut ticari cihazlarda kullanılmaktadır. Çözelti-difüzyon mekanizmasının üç aşamadan oluştuğu düşünülmektedir: (a) yukarı akış sınırındaki absorpsiyon, (b) membran boyunca aktif difüzyon (çözünürlük) ve (c) diğer tarafta desorpsiyon veya buharlaşma. Bu mekanizma, membranın yukarı ve aşağı fazlarında mevcut olan termodinamik aktivitelerdeki farklılıklar ve ayrıca membran malzemesini oluşturan moleküller ile nüfuz eden moleküller arasındaki etkileşim kuvvetleri tarafından yönlendirilir. Çözünürlükteki farklılıklar, membran malzemesinin nüfuz eden türlerle olan moleküler düzeydeki etkileşimlerindeki değişikliklerden kaynaklanır. Bu farklılıklar, membranlardan yayılan malzeme miktarını etkiler ve bu sayede farklı süzüntüler arasında bir ayırma sağlanır (Murali vd., 2013).

same size or smaller than the mean free path of the gas molecules. In this case, gas molecules interact with the pore walls much more frequently than with each other. Lighter gas molecules diffuse faster than heavier ones, resulting in separation. High selectivity can be achieved in cases where there is preferential adsorption of one component. Molecular sieving is potentially useful for separating molecules of different sizes; when the pores are small enough, larger molecules cannot pass through and remain outside the membrane. Solution-diffusion occurs through selective polymer layers and is only used in existing commercial devices. The solution-diffusion mechanism is thought to consist of three stages: (a) absorption at the upstream boundary, (b) active diffusion (solubility) through the membrane, and (c) desorption or evaporation on the other side. This mechanism is driven by differences in thermodynamic activities present in the upstream and downstream phases of the membrane, as well as the interaction forces between the molecules that make up the membrane material and the penetrating molecules. Differences in solubility arise from changes in the molecular-level interactions between the membrane material and the penetrating species. These differences affect the amount of material diffused through the membranes, thus enabling separation between different permeates (Murali et al., 2013).



Şekil 2. Gaz ayırmaya yönelik mekanizmalar (Murali vd., 2013).

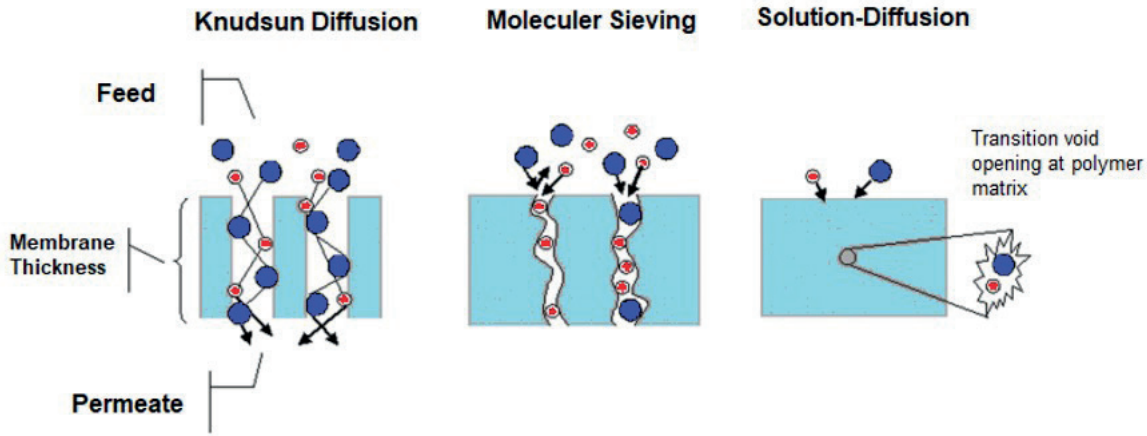


Figure 2. Mechanisms for Gas Separation (Murali et al., 2013).

Membran üretimi için çok çeşitli malzemeler kullanılır. Metaller, moleküler elekler, polimerler ve camlar en yaygın kullanılan malzemelerdir. Malzemelerin çeşitliliği, membranların hava ayırma, hidrojen geri kazanımı, doğal gaz işleme ve hafif gaz ayırma dahil olmak üzere çok çeşitli endüstriyel ayırma proseslerinde uygulanabilir olmasını sağlar. İnorganik membranların (örneğin, silika, zeolitler vb.) ve karbon bazlı moleküler eleklerin geliştirilmesi özellikle ilginçtir çünkü bu malzemeler agresif kimyasallara ve yüksek sıcaklıklara dayanabilirler. Ancak, bu malzemelerin bazı dezavantajları da vardır. Yüksek maliyet, orta derecede tekrarlanabilirlik, kırılabilirlik, düşük membran alanı/modül hacmi oranı ve düşük geçirgenlik başlıca dezavantajlarıdır (Bernardo vd., 2009). İnorganik membranların büyük ölçekli uygulamaları için kusursuz/hatasız (defect-free) membran hazırlama diğer dezavantajıdır. Malzeme bilimciler, metallerden plastiğe kadar birçok malzeme üzerinde çalışmaya devam ederek, yeni malzemelerin yaratılmasına ve mevcut malzemelerin mukavemet, hafiflik, işlenebilirlik ve dayanıklılık gibi özelliklerinin iyileştirilmesine büyük önem vermektedir. 20. yüzyılda yüksek performanslı polimerlerin ortaya çıkışı, malzeme bilimi açısından bir dönüm noktası olmuş ve o zamandan beri bu polimerlerin üretimi, geniş bir ürün yelpazesini büyük ölçüde etkilemiştir (Xu vd., 2021).

Önemli iyileştirmeler için en iyi umutlar

Metals, molecular sieves, polymers, and glasses are the most commonly used materials. The diversity of these materials allows membranes to be applicable in a wide range of industrial separation processes, including air separation, hydrogen recovery, natural gas processing, and light gas separation. The development of inorganic membranes (e.g., silica, zeolites, etc.) and carbon-based molecular sieves is particularly interesting because these materials can withstand aggressive chemicals and high temperatures. However, these materials also have some disadvantages. High cost, moderate reproducibility, brittleness, low membrane area/module volume ratio, and low permeability are the main disadvantages (Bernardo et al., 2009). Another disadvantage for the large-scale applications of inorganic membranes is the preparation of defect-free membranes. Material scientists continue to work on various materials, from metals to plastics, placing great importance on the creation of new materials and the improvement of properties such as strength, lightness, processability, and durability of existing materials. The emergence of high-performance polymers in the 20th century was a turning point in material science, and since then, the production of these polymers has significantly influenced a wide range of products (Xu et al., 2021).

The best hope for significant improvements lies in new categories of materials. Metal-organic framework (MOF)

yeni malzemeler kategorisindedir. Olefin/parafin ayırmaları için metal organik çerçeve (MOF) karışık matris membranları ve yüksek serbest hacimli termal olarak yeniden düzenlenmiş (TR) membranlardır. İçsel mikro gözeneklere (PIM) sahip polimer gibi yüksek performanslı polimerler kullanılarak önemli bir atılım yapıldı. PIM'in sert, bükülmüş, merdiven benzeri omurgası paketleme kabiliyetini kısıtlar ve polimer zincirlerinin dönme özgürlüğünü azaltır. PIM, geleneksel camı ve kauçuk polimerlerden çok daha yüksek geçirgenliğe izin veren geniş bir birbirine bağlı serbest hacme sahiptir. PIM membranlarının bu özellikleri, gaz ayırma endüstrisini canlandırarak Robeson üst sınırını yeniden tanımladı. Bununla birlikte, PIM membranları hala neredeyse tüm polimerlerin iki temel sorunu olan plastikleşme ve yaşlanma sorunlarıyla karşı karşıyadır. Gaz membranı geliştirme de yeni membran malzemelerin, 100 µm kalınlığındaki filmlerden, büyük membran alan modülleri olarak yapılan mikron altı kalın seçici katmanlara sahip membranlara geliştirilmesi günümüzde ele alınması gereken en önemli sorunlardan biri olarak geliştirilmeye ihtiyacı vardır (Baker ve Low, 2014; Bernardo vd., 2009; Xu vd., 2021).

mixed matrix membranes and high free volume thermally rearranged (TR) membranes are promising for olefin/paraffin separations. A significant breakthrough was achieved using high-performance polymers, such as polymers of intrinsic microporosity (PIM). The rigid, twisted, ladder-like backbone of PIM restricts packing ability and reduces the freedom of rotation of polymer chains. PIM possesses a large interconnected free volume, allowing for much higher permeability compared to traditional glassy and rubbery polymers. These properties of PIM membranes have revitalized the gas separation industry by redefining the Robeson upper bound. However, PIM membranes still face the issues of plasticization and aging, which are fundamental problems for almost all polymers. In gas membrane development, one of the most important current challenges is the development of new membrane materials from films with a thickness of 100 µm to membranes with submicron-thick selective layers produced as large membrane area modules (Baker and Low, 2014; Bernardo et al., 2009; Xu et al., 2021).

Karbon Geri Kazanımı İçin Gaz Ayırma Membranları

Gas Separation Membranes for Carbon Recovery

Gaz ayırma membranları, özellikle enerji santralleri ve endüstriyel tesislerde CO₂ yakalama, seçici ayırma ve geri kazanımında kullanılmaktadır. Bu proseslerde kullanılacak membranların performansını artırmak ve uzun süreli dayanmasını sağlamak için ise termal olarak yeniden düzenlenebilen polimerlerin kullanıldığı, MMM üretim sürecinde uygulandığı membran malzeme ve konfigürasyonları geliştirilmiştir (Chawla et al., 2020). Örneğin, PIMs ve TR polimerler, CO₂'nin nitrojen (N₂) gibi diğer gazlardan etkin bir şekilde ayrılmasını sağlar (Tong & Sekizkardes, 2021). Bu teknolojiler, daha düşük enerji maliyetleri ve daha az çevresel etki ile karbon yakalama ve geri kazanımını mümkün kılmaktadır.

Karbon yakalama ve depolamadaki gelişmeler, membran tabanlı süreçlerin en çok tercih edilen yöntem olarak kullanılmasına yol açmıştır. Uzun zamandır kullanılan ve aminin konsantre çözeltilerini kullanan fırçalama süreci ile karşılaştırıldığında, membran tabanlı süreçler çeşitli operasyonel avantajlar sunmaktadır. En önemli avantaj, membran tabanlı süreçlerde korozyif ve zararlı çözücülerin işlenmesine gerek olmamasıdır. Bu durum, çözücüler ve bunların yan ürünleri tarafından salınan emisyonları önlemek için ek ekipman ve mühendislik gereksinimlerinden kaynaklanan ekstra maliyetleri azaltır (Shah vd., 2020).

Membran bazlı teknoloji, büyük ölçekli enerji santrali tesislerinde önemli bir yatırım gerektirmediğinden karbon yakalama ve depolamada büyük potansiyel

Gas separation membranes are particularly used for CO₂ capture, selective separation, and recovery in power plants and industrial facilities. To enhance the performance of the membranes used in these processes and ensure long-term durability, membrane materials and configurations that utilize thermally reconfigurable polymers in the mixed matrix membrane (MMM) production process have been developed (Chawla et al., 2020). For example, PIMs and TR polymers effectively separate CO₂ from other gases such as nitrogen (N₂) (Tong & Sekizkardes, 2021). These technologies enable carbon capture and recovery with lower energy costs and reduced environmental impact.

Developments in carbon capture and storage have led to membrane-based processes becoming the most preferred method. Compared to the traditional scrubbing process using concentrated amine solutions, membrane-based processes offer various operational advantages. The most significant advantage is that membrane-based processes do not require the handling of corrosive and harmful solvents. This reduces extra costs associated with additional equipment and engineering requirements needed to prevent emissions from solvents and their by-products (Shah et al., 2020).

Membrane-based technology has shown great potential in carbon capture and storage as it does not require significant investment in large-scale



göstermiştir. Ayrıca bu teknoloji, solventi yeniden üretmek için büyük miktarlarda ısı gerektiren geleneksel solvent bazlı teknolojiler gibi enerji yoğun değildir. Üstelik membranların yalnızca kullanım ömrü dolduğunda değiştirilmesi gerekir. Özel konfigürasyonlarına bağlı olarak membranlar, ayırma işlemlerinin farklı ihtiyaçlarına uyacak şekilde tasarlanabilir (Yuan vd., 2019).

CO₂ Yakalama Yöntemleri ve Teknikleri

Absorpsiyon

- Kimyasal absorpsiyon
- Aminler (MEA, DEA, MDEA), amonyak, PZ, diğerleri
- Fiziksel absorpsiyon
- Rectisol, Selexol, Purisol, iyonik sıvılar, diğerleri

Kriyojenik

- Gaz ayırma
- Gaz absorpsiyonu

Membran Ayırma

- Seramik membran

power plant facilities. Additionally, this technology is not as energy-intensive as traditional solvent-based technologies, which require large amounts of heat to regenerate the solvent. Furthermore, membranes only need to be replaced at the end of their lifecycle. Depending on their specific configurations, membranes can also be designed to suit different separation process needs (Yuan et al., 2019).

CO₂ Capture Methods and Techniques

Absorption

- Chemical absorption
- Amines (MEA, DEA, MDEA), ammonia, PZ, others
- Physical absorption
- Rectisol, Selexol, Purisol, ionic liquids, others

Cryogenic

- Gas separation
- Gas absorption

Membrane Separation

- Polimerik membran
- Hibrit membran

Adsorpsiyon

- Kimyasal adsorpsiyon
- Amin bazlı adsorbanlar, metal oksitler, diğerleri
- Fiziksel adsorpsiyon
- Aktif karbon, zeolitler, MOF'lar, diğerleri
- PSA (Basınç Salınlımlı Adsorpsiyon)
- TSA (Sıcaklık Salınlımlı Adsorpsiyon)
- VSA (Vakum Salınlımlı Adsorpsiyon)
- PTSA (Basınç ve Sıcaklık Salınlımlı Adsorpsiyon)

Kimyasal Döngü

- Kalsiyum döngü yanması
- Metal oksitler (demir, mangan, bakır) (Madejski vd., 2022)

Doğal gaz işleme teknolojilerini seçerken temel faktörler, ham doğal gazdaki CO₂ parçacık basıncı ve tesis konumu (karada veya denizde) dikkate alınır. Kimyasal absorpsiyon, düşük CO₂ içeriklerine (<20%) en uygun olanıdır, çünkü daha yüksek CO₂ içeriği, çözücü dolaşım hızını ve ısı yükünü artırır. Orta ila yüksek CO₂ parçacık basıncında, membran geçirgenliği kimyasal absorpsiyonu geride bırakır. Çok yüksek CO₂ içeriği için - Brezilya'nın Pre-Salt sahasındaki Libra (%48) ve Jupiter (%78) ve Wyoming'deki La Barge gaz sahası (%65) gibi - devreye giren kriyojenik distilasyon sıvı CO₂ üretme avantajına sahiptir ve boru hattı taşımacılığı için uygundur (Araújo & de Medeiros, 2017).

- Ceramic membrane
- Polymeric membrane
- Hybrid membrane

Adsorption

- Chemical adsorption
- Amine-based adsorbents, metal oxides, others
- Physical adsorption
- Activated carbon, zeolites, MOFs, others
- PSA (Pressure Swing Adsorption)
- TSA (Temperature Swing Adsorption)
- VSA (Vacuum Swing Adsorption)
- PTSA (Pressure and Temperature Swing Adsorption)

Chemical Looping

- Calcium looping combustion
- Metal oxides (iron, manganese, copper) (Madejski et al., 2022)

When selecting natural gas processing technologies, key factors include the CO₂ partial pressure in the raw natural gas and the facility's location (onshore or offshore). Chemical absorption is most suitable for low CO₂ contents (<20%) because higher CO₂ content increases the solvent circulation rate and heat load. At medium to high CO₂ partial pressures, membrane permeability surpasses chemical absorption. For very high CO₂ content - such as Libra (%48) and Jupiter (%78) in Brazil's Pre-Salt field and the La Barge gas field (%65) in Wyoming - cryogenic distillation, which has the advantage of producing liquid CO₂, becomes applicable and is suitable for pipeline transportation (Araújo & de Medeiros, 2017).

Gaz Ayırma Membranlarının Performansı ve Optimizasyonu

Performance and Optimization of Gas Separation Membranes

Gaz ayırma membranlarının performansı membran malzemesi, membran yapısı, kalınlığı, membran konfigürasyonu, modül ve sistem tasarımı gibi parametrelere bağlıdır. Bu parametreler içerisinde, kullanılan membran malzemesi membranın geçirgenlik ve seçiciliğini etkileyerek, gaz ayırma performansını karakterize eder ve prosesin verimliliğini belirler (Pandey ve Chauhan, 2001). Bu sebeple hem geçirgenliği hem de seçiciliği yüksek olan malzemeler gaz ayırma prosesinde tercih edilmektedir. Ancak, genel olarak, yüksek seçiciliğe sahip membranlar daha düşük geçirgenliğe sahiptir.

Geçirgenlik, herhangi bir bileşiğin membrandan geçme hızını ifade ederken seçicilik ise membranın ayırma işlemini gerçekleştirme yeteneğidir. Seçicilik, gaz ayırma prosesinde yüksek ürün saflığına ulaşmak için önemli bir parametredir. Dolayısıyla daha seçici membranların kullanıma sunulması halinde membran teknolojisi ile gaz ayırma prosesi büyük bir büyüme potansiyeline sahiptir (Bernardo vd., 2009). Doğal gazdan karbondioksiti, petrokimya işleme uygulamalarında nitrojen ve oksijeni veya hidrokarbon karışımlarından hidrojeni ayırmak için kullanılan gaz ayırma membranlarında ticari olarak genelde üretiminin kolay olması ve malzeme maliyetinin düşük olması nedeniyle polimerik membranlar tercih edilmektedir (Freeman, 1999). Bulunduğu sıcaklığa göre camsı veya kauçuk yapıya sahip olabilen polimerlerin fiziksel özellikleri ve kimyasal yapıları üretilen membran karakterini etkilemektedir. Polimerlerin camsı halden kauçuk hale geçtiği ve polimer malzemenin zincir

The performance of gas separation membranes depends on parameters such as membrane material, membrane structure, thickness, membrane configuration, module, and system design. Within these parameters, the membrane material used affects the permeability and selectivity of the membrane, characterizing the gas separation performance and determining the efficiency of the process (Pandey and Chauhan, 2001). For this reason, materials with high permeability and selectivity are preferred in the gas separation process. However, in general, membranes with higher selectivity have lower permeability.

While permeability refers to the speed at which any compound passes through the membrane, selectivity is the ability of the membrane to perform the separation process. Selectivity is an important parameter to achieve high purity in the gas separation process. Therefore, the gas separation process with membrane technology has great growth potential if more selective membranes become available (Bernardo et al., 2009). In gas separation membranes used to separate carbon dioxide from natural gas, nitrogen and oxygen in petrochemical processing applications, or hydrogen from hydrocarbon mixtures, polymeric membranes are generally preferred commercially because they are easy to produce and have low material costs (Freeman, 1999). The physical properties and chemical structures of polymers, which can have a glassy or rubbery structure depending on the temperature, affect the character of the membrane produced. There is a glass transition tem-

özelliklerinin değiştiği bir camı geçiş sıcaklığı (Tg) bulunmaktadır. Tg değerinin altında polimer zincirleri düşük hareket kabiliyetinde ve sınırlı hareketler gerçekleştirmektedir. Tg değerinin üstünde ise polimer zincirleri daha hareketlidir. Tg'nin altındaki polimerler camı polimerler olarak adlandırılır, katı ve rijit yapıdadırlar. Tg'nin üstündeki polimerler, kauçuksu polimerler olarak adlandırılır, yumuşak ve esnek yapıdadırlar (Mush-taq vd., 2013).

Genellikle camı polimerler yüksek mekanik özelliklere ve seçiciliğe, daha iyi ince film oluşumuna ve düşük molekül ağırlıklı türlere karşı daha yüksek geçirgenliğe sahiptir. Ancak uzun vadede çalıştıklarında membranların geçirgenlikleri azalmaktadır. Kauçuksu polimerler ise düşük seçicilik ve plastikleşmeyi önleme özellikleriyle birlikte yüksek geçirgenliğe sahiptir (Abbaskan ve Takht Ravanchi, 2023). Selüloz asetat, poliimid, polikarbonat, poli(fenilen oksit) ve polisülfon gibi camı polimerlerden üretilen membranlar, endüstride yüksek gaz seçiciliği nedeniyle tercih edilmektedir (Hou vd., 2022). Ancak, geçirgenliğin ve seçiciliğin ayırma sürecinde belirleyici bir rol oynadığı çözelti difüzyon mekanizmasıyla çalışan polimerik gaz ayırma membranları, düşük kimyasal ve termal stabiliteleri ve fiziksel yaşlanmayla zamanla düşen geçirgenlikleri nedeniyle sınırlamalarla karşı karşıyadır. Ticari olarak uygun bir membran, fizikokimyasal stabiliteyi daha uzun bir ömürle korurken, üstün geçirgenliğe ve seçiciliğe sahip olmalıdır (Singh vd., 2024).

Literatürde polimerik membranların ayırma performansını geliştirmek için çeşitli polimer modifikasyon teknikleri araştırılmıştır.

Bunlar:

- Çapraz bağlanma,
- Karışık matris membran,
- Polimer karıştırma,
- İyonik sıvıların kullanımı olarak sınıflandırılabilir (Adewole vd., 2013; Shei Ming vd., 2022).

perature (Tg) at which polymers transition from a glassy state to a rubbery state, and the chain properties of the polymer material change. Below the Tg value, polymer chains have low mobility and limited movements. Above the Tg value, polymer chains are more mobile. Polymers below Tg are called glassy polymers and have a solid and rigid structure. Polymers above Tg are called rubbery polymers and have a soft and flexible structure (Mushtaq et al., 2013).

Generally, glassy polymers have high mechanical properties and selectivity, better thin film formation, and higher permeability towards low-molecular-weight species. However, when they work over the long term, the permeability of the membranes decreases. Rubbery polymers, on the other hand, have high permeability with low selectivity and anti-plasticization properties (Abbaskan and Takht Ravanchi, 2023). Membranes produced from glassy polymers such as cellulose acetate, polyimide, polycarbonate, poly (phenylene oxide), and polysulfone are preferred in the industry due to their high gas selectivity (Hou et al., 2022). However, polymeric gas separation membranes operating by solution diffusion mechanisms, where permeability and selectivity play a decisive role in the separation process, face limitations due to their low chemical and thermal stability and permeability that decreases over time with physical aging. A commercially viable membrane should have superior permeability and selectivity while maintaining physicochemical stability with a longer lifetime (Singh et al., 2024).

Various polymer modification techniques have been investigated in the literature to improve the separation performance of polymeric membranes.

These:

- Cross-linking,
- Mixed matrix membrane,
- Polymer mixing,
- It can be classified as the use of ionic

Çapraz bağlanma, polimer zincirleri arasında ağ yapısı oluşturan bir işlemdir. Çapraz bağlanma metodunun avantajı, üretilen membranın termal, kimyasal ve mekanik stabilitesinin artmasıdır. Çapraz bağlanma işleminde polimer zincirinin hareketliliği azaldığında geçirgenlik de azalır ancak seçicilik artar. Çapraz bağlanma kimyasal reaksiyon, radyasyon, ısı işlem ve fiziksel ağ oluşturma yoluyla sağlanabilir (Liu, 2001).

Nano-kompozit membranlar olarak da bilinen karışık matris membranlar, membranın performansını arttırmak için polimer matrise zeolitler gibi dolgu maddeleri ekleyen üretim yöntemleridir. Dolgu malzemelerinin eklenmesiyle membranlar daha yoğun hale gelir ve daha sert yapılar oluşturur. Bu kombinasyon aynı zamanda seçicilik ve geçirgenlik dahil olmak üzere membran özelliklerini de geliştirebilir (Al-Rowaili vd., 2023).

Polimer karıştırma yöntemi, membran imalatında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem, iki farklı polimerin özelliklerini gösteren yeni sentezlenmiş polimerik membranlar oluşturmaları nedeniyle bir avantaja sahiptir. Polimerlerin ayırt edici fiziksel ve kimyasal özellikleri gaz ayırmada kullanılmak üzere yüksek performansla sahip bir polimerik membranın sentezlenmesi için birleştirilebilir. Camsı bir polimer kauçuksu bir polimerle karıştırıldığında, saf bir polimer göre daha yüksek mukavemete ve termal stabiliteye sahip yeni bir polimer elde edilebilir. Polimer karıştırma yöntemi, imalat maliyetini azaltmasının yanında polimerik membranların seçiciliğini, geçirgenliğini ve performansını optimize etmek için tercih edilmektedir (Mannan vd., 2013).

Organik katyonlar ve inorganik anyonlardan oluşan iyonik sıvılar kullanılarak membranlar yüksek seçicilik ve geçirgenlikle üretilmektedir. İyonik sıvılar, benzersiz fiziksel ve kimyasal özelliklerinden dolayı gaz ayırma uygulamalarında ilgi görmüştür (Friess vd., 2021).

liquids (Adewole et al., 2013; Shei Ming et al., 2022).

Cross-linking is a process that creates a network structure between polymer chains. The advantage of the cross-linking method is that the thermal, chemical, and mechanical stability of the produced membrane increases. When the mobility of the polymer chain decreases in the cross-linking process, the permeability also decreases, but the selectivity increases. Cross-linking can be achieved through chemical reactions, radiation, heat treatment, and physical networking (Liu, 2001).

Mixed matrix membranes, also known as nanocomposite membranes, are manufacturing methods that add fillers such as zeolites to the polymer matrix to improve the performance of the membrane. With the addition of filler materials, membranes become denser and form more rigid structures. This combination can also improve membrane properties, including selectivity and permeability (Al-Rowaili et al., 2023).

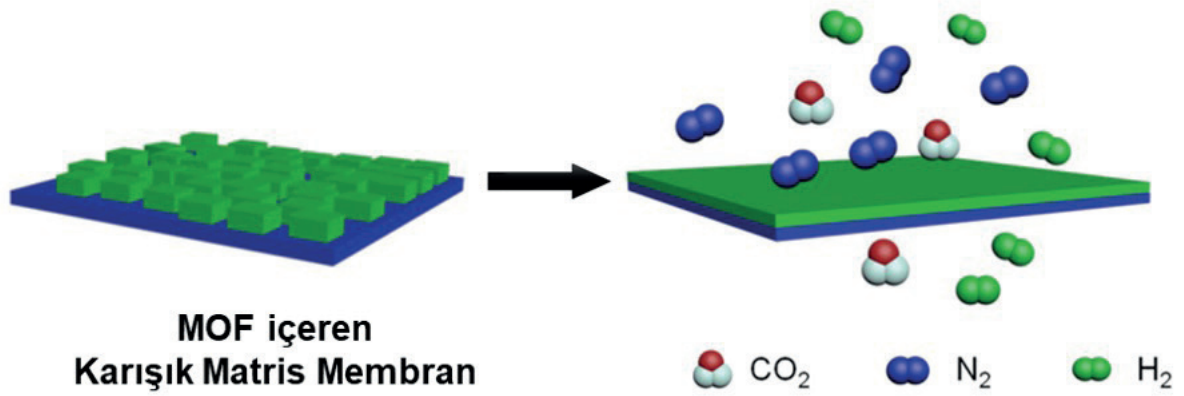
The polymer mixing method is widely used in membrane manufacturing. This method has an advantage in that it creates newly synthesized polymeric membranes that exhibit the properties of two different polymers. The distinctive physical and chemical properties of polymers can be combined to synthesize a high-performance polymeric membrane for use in gas separation. When a glassy polymer is mixed with a rubbery polymer, a new polymer with higher strength and thermal stability than a pure polymer can be obtained. The polymer mixing method is preferred to optimize the selectivity, permeability, and performance of polymeric membranes, as well as reduce the manufacturing cost (Mannan et al., 2013).

Membranes can be produced with high selectivity and permeability by using

MOF'lar, geniş yüzey alanları, kimyasal işlevsellikleri, ayarlanabilir gözenek boyutları ve yüksek gözenekliğe sahip olmalarından dolayı membran malzemeleri olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, MOF içeren membranlarının büyük ölçekli imalatı MOF kristallerinin kontrolü sebebiyle zorludur. Ancak, son yıllarda MOF ve karışık matris membran teknolojisi kullanılarak oluşturulan membranlar, gaz ayırma performansı için yüksek geçirgenlik ve seçicilik elde etme konusunda umut vaat etmektedir (Şekil 3.) (S. Yu vd., 2024; Duan vd., 2023). Daglar vd. (2022) yaptıkları bir çalışmada, MOF/polimer karışık matris membranın üst performans sınırlarını belirlemişlerdir. Farklı MOF/polimer karışık matris membranın gaz geçirgenliği ve seçiciliği, 11 farklı ayırma için (He/H₂, He/N₂, He/CH₄, He/CO₂, H₂/N₂, H₂/CH₄, O₂/N₂, CO₂/N₂, CO₂/CH₄, N₂/CH₄, H₂/CO₂) 41 farklı polimerde dolgu maddesi olarak MOF kullanılarak incelenmiştir. Bu çalışma sonucunda, MOF dolgu maddelerinin eklenmesi ile bu çalışmada ele alınan tüm polimerlerin (41) gaz geçirgenliğini arttırdığı dolayısıyla yüksek membran yüzey alanı ihtiyacını ve sermaye maliyetini önemli ölçüde azaltılabileceğini belirtilmektedir (Daglar vd., 2022).

ionic liquids consisting of organic cations and inorganic anions. Ionic liquids have attracted interest in gas separation applications due to their unique physical and chemical properties (Friess et al., 2021).

Metal-organic frameworks (MOFs) are used as membrane materials due to their large surface area, chemical functionality, adjustable pore sizes, and high porosity. However, large-scale fabrication of MOF-containing membranes is challenging due to the control of MOF crystals. However, in recent years, membranes formed using MOF and mixed matrix membrane technology have shown promise in achieving high permeability and selectivity for gas separation performance (Figure 3) (S. Yu et al., 2024; Duan et al., 2023). Daglar et al. (2022) determined the upper performance limits of the MOF/polymer mixed matrix membrane in their study. Gas permeability and selectivity of different MOF/polymer mixed matrix membranes for 11 different separations (He/H₂, He/N₂, He/CH₄, He/CO₂, H₂/N₂, H₂/CH₄, O₂/N₂, CO₂/N₂, CO₂/CH₄, N₂/CH₄, H₂/CO₂) were examined using MOF as filler in 41 different polymers. As a result of this study, it is stated that the addition of MOF fillers increases the gas permeability of all polymers (41) discussed in this study, thus the need for high membrane surface area and capital cost can be significantly reduced (Daglar et al., 2022).



Şekil 3. MOF içeren karışık matris membranları (Duan vd., 2023).

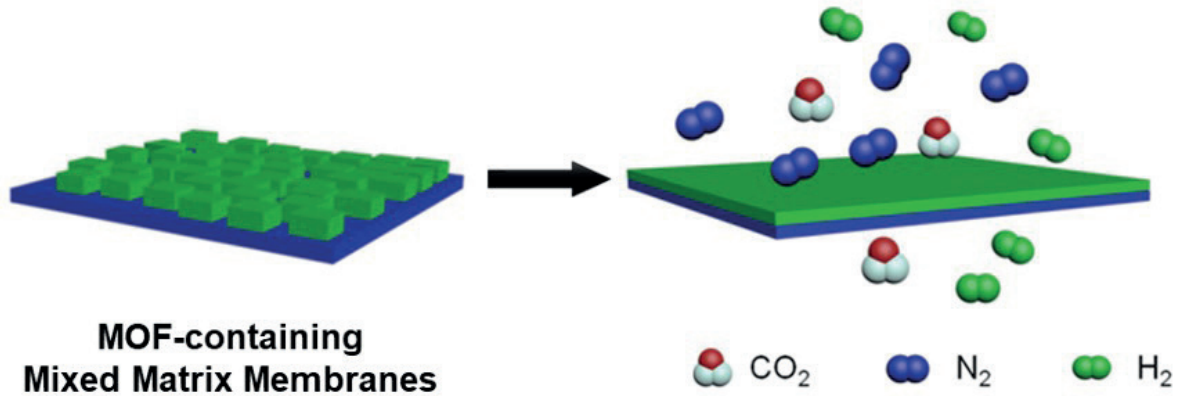


Figure 3. MOF- containing mixed matrix membranes (Duan vd., 2023).

MOF'lar dışında, karışık matris membranların geçirgenlik ve seçiciliğinin artırılması için kovalent organik çerçeveler (COF'ler) (Zhang vd., 2022), gözenekli organik çerçeveler (POF'ler) (G. Yu vd., 2017), metal-organik kafesler (MOC'ler) (Jia vd., 2023) ve grafen nanotabakalar (GN'ler) (Chen vd., 2020) son yıllarda kullanılan dolgu malzemeleridir.

Apart from MOFs, covalent organic frameworks (COFs) (Zhang et al., 2022), porous organic frameworks (POFs) (G. Yu et al., 2017), metal-organic cages (MOCs) (Jia et al., 2023) and graphene nanosheets (GNs) (Chen et al., 2020) are filling materials used in recent years to increase the permeability and selectivity of mixed matrix membranes.

Karbon Geri Kazanımında Ekonomik ve Çevresel Etkiler

Economic and Environmental Impacts of Carbon Recovery

Karbon geri kazanımı karbondioksitin endüstriyel süreçlerden yakalanmasını, sıkıştırılmasını ve aşırı emisyonların atmosfere girmesini önlemek için yeraltında depolanmasını içermektedir. Bu teknolojiler iklim değişikliğini azaltmak ve düşük karbonlu ve sürdürülebilir bir geleceği mümkün kılmak için çok önemlidir (Kim ve diğ., 2020).

Karbon geri kazanım (karbon yakalama ve depolama (CCS)) teknolojileri, karbon emisyonlarının azaltılmasında hem ekonomik avantajlar hem de dezavantajlar sunmaktadır. Karbon geri kazanımından gelir elde etme potansiyeli, ekonomik çekiciliğini artıran unsurların başında gelmektedir. Temiz enerji sektöründe yeni endüstrilerin geliştirilmesi ve istihdam oluşturulmasıyla büyümeyi teşvik edebilmesi, şirketlerin karbon

Carbon recovery is the process of capturing carbon dioxide from industrial processes, compressing it, and storing it underground to prevent excess emissions from entering the atmosphere. These technologies are crucial to mitigating climate change and enabling a low-carbon and sustainable future (Kim et al., 2020).

Carbon recovery (carbon capture and storage (CCS)) technologies offer both economic advantages and disadvantages in reducing carbon emissions. The potential to generate income from carbon recovery is one of the factors that increases its economic attractiveness. It has other advantages, such as being able to stimulate growth in the clean energy sector by developing new industries and creating jobs, helping



fiyatlandırma düzenlemelerine uymasına ve uzun vadede potansiyel olarak maliyet tasarrufu sağlamasına yardımcı olabilmesi gibi diğer avantajları da mevcuttur (Bento ve diğ., 2021; Sohail ve diğ., 2021). Ayrıca, enerji kaynaklarını çeşitlendirerek enerji güvenliğine katkıda bulunması da CSS teknolojilerinin avantajları arasında yer almaktadır. Bununla birlikte, yüksek yatırım maliyetleri, belirsiz finansal sürdürülebilirlik ve CO₂ kaçacağı riski gibi zorluklar, yaygınlaşmanın önünde önemli engeller oluşturmaktadır. CCS'nin ekonomik faydalarından tam olarak yararlanmak için politika yapıcıların ve sektör paydaşlarının bu zorlukları yenilikçi çözümler ve destekleyici politika çerçeveleri aracılığıyla ele alması gerekmektedir (Zhang ve diğ., 2015; Philbien ve Wang, 2019).

Son otuz yılda CO₂ için membran gaz ayırma (MGS) uygulamaları, doğal gazdan CO₂/CH₄ ayrıştırması, yanma sonrası yakalama (baca gazlarından CO₂/N₂ veya CO₂/N₂/O₂ ayırma) ve yanma öncesi yakalama (CO₂/H₂ ayırma) üzerine yayınlanmış olan çok sayıda çalışma ile rapor edilmektedir (Scholes ve diğerleri, 2010b). Doğal gazdan CO₂'nin uzaklaştırılması için MGS'nin kullanımı 1980'li yıllardan itibaren ticari olarak uygulamaya başlamıştır ve sürekli olarak büyümektedir. Bu alandaki pazarın 2030 yılında 1,6 milyar dolara ulaşacağı tahmin edilmektedir (URL-1). Bu alandaki ticari MGS'ler şu anda Medal (Air Liquide), W.R. Grace, Separex (şu anda UOP'un bir parçası), Cynara (şu anda Schlumberger'in bir parçası) ve ABB/MTR dahil olmak üzere birçok şirket tarafından tedarik edilmektedir. Ticari uygulamalarda halihazırda kullanılan tüm membranlar, üretim kolaylıklarından dolayı polimerik membranlardır. Günümüzde ticari membranlarda (UOP Separex™ ve Schlumberger Cynara gibi) selüloz asetat kullanımı hâlâ hakimken, poliimid (Air Liquide) ve polisülfon (Air Products) gibi alternatif malzemelerin kullanımı da sürekli artmaktadır. CO₂ yakalama membranı için organikler, inorganikler ve organik-inorganik kompozitler dahil

companies comply with carbon pricing regulations, and potentially providing cost savings in the long term (Bento et al., 2021; Sohail et al., 2021). Additionally, CSS technologies contribute to energy security by diversifying energy sources, which is one of their advantages. However, challenges such as high investment costs, uncertain financial sustainability, and the risk of CO₂ leakage pose significant obstacles to widespread adoption. To fully realize the economic benefits of CCS, policymakers and industry stakeholders need to address these challenges through innovative solutions and supportive policy frameworks (Zhang et al., 2015; Philbien and Wang, 2019).

Many studies have published on membrane gas separation (MGS) applications for CO₂, CO₂/CH₄ separation from natural gas, post-combustion capture (CO₂/N₂ or CO₂/N₂/O₂ separation from flue gases), and pre-combustion capture (CO₂/H₂ separation) over the last three decades. Numerous studies (Scholes et al., 2010b) have reported on it. Commercial implementation of MGS to remove CO₂ from natural gas has been ongoing since the 1980s and continues to grow. Researchers estimate that the market in this field will reach 1.6 billion dollars in 2030 (URL-1). Currently, several companies, including Separex (now part of UOP), Cynara (now part of Schlumberger), and ABB/MTR, supply commercial MGSs in this area. All membranes currently used in commercial applications are polymeric membranes due to their ease of production. Commercial membranes like UOP Separex™ and Schlumberger Cynara still mostly use cellulose acetate, but other materials like polyimide (Air Liquide) and polysulfone (Air Products) are being used more and more. The performance and properties of gas separation membranes depend on several factors, such as membrane material, structure, thickness, and configuration (e.g., hollow fiber, flat sheet), as well as module/system design (Siagian et al., 2019). For

olmak üzere kendi tipik avantajları ve sınırlamaları olan çeşitli malzemeler geliştirilmiştir. Gaz ayırmaya yönelik ticari membranların çoğu, organik veya polimerik membranların hakimiyetindedir; inorganik malzemeyle karşılaştırıldığında daha düşük üretim maliyeti vardır ve hem düz hem de içi boş fiber modül halinde imal edilmesi kolaydır.

Gaz ayırma membranlarının çevresel etkilerine odaklanıldığında ise membranların yaşam döngülerinin sonunda uygun bertaraf edilmesi yönetilmediği takdirde polimerler ve katkı maddeleri gibi malzemeler çevre kirliliğine sebep olabilmektedir. Bu hususta çevresel etkileri en aza indirmek için daha sürdürülebilir membran malzemeleri ve üretim teknikleri geliştirmeye odaklanılmaktadır (Zhang ve diğ., 2021). Gaz ayırma membranları, üretim ve imha ile ilgili etkilerin yanı sıra, işletme sırasında da çeşitli çevresel sorunlara neden olabilir. Membran tıkanması, ayırma verimliliğinin azalmasına ve operasyonel enerji gereksinimlerin ve çevresel ayak izinin artmasına sebep olmaktadır (Zhang ve diğ., 2018; M. Chen ve diğ., 2020). Bu nedenle, bu operasyonel ve malzemeyle ilgili sorunların ele alınması, gaz ayırma membranlarının karbon geri kazanım sürecine olumlu katkıda bulunurken genel çevresel etkilerinin en aza indirmesini sağlamak açısından çok önemlidir (Brown ve diğ., 2023).

Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri ile Uyum: Karbon Yakalama ve Depolama (CCS), çeşitli Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri (SDG'ler) ile uyumlu olup, yalnızca emisyon azaltmanın ötesinde çok yönlü faydalarını ortaya koymaktadır:

SDG 13 (İklim Eylemi): SDG 13 iklim değişikliği ve etkileri ile mücadele konusunda acilen eyleme geçilmesi planlayan bir kalkınma hedefidir. CCS'nin temel amacı CO₂ emisyonlarının azaltılması olduğundan, iklim değişikliğiyle mücadele amacıyla bu emisyon azaltım potansiyeli SDG 13'e doğrudan katkıda bulunmaktadır. Hükümetlerarası İklim

CO₂ capture membranes, researchers have developed a variety of materials, including organics, inorganics, and organic-inorganic composites, each with unique advantages and limitations. Organic or polymeric membranes dominate most commercial gas separation membranes due to their lower production cost compared to inorganic materials and ease of fabrication into both flat and hollow fiber modules.

When it comes to the environmental impacts of gas separation membranes, improper disposal of materials like polymers and additives at the end of their life cycles can lead to environmental pollution. In this regard, the focus is on developing more sustainable membrane materials and production techniques to minimize environmental impacts (Zhang et al., 2021). Gas separation membranes can cause a variety of environmental problems during operation, as well as impacts on production and disposal. Membrane clogging reduces separation efficiency while increasing operational energy requirements and environmental footprint (Zhang et al., 2018; M. Chen et al., 2020). Therefore, addressing these operational and material issues is crucial to ensuring that gas separation membranes contribute positively to the carbon recovery process while minimizing their overall environmental impact (Brown et al., 2023).

Alignment with Sustainable Development Goals: Carbon Capture and Storage (CCS) demonstrates multi-faceted benefits beyond just emissions reduction, aligning with several Sustainable Development Goals (SDGs).

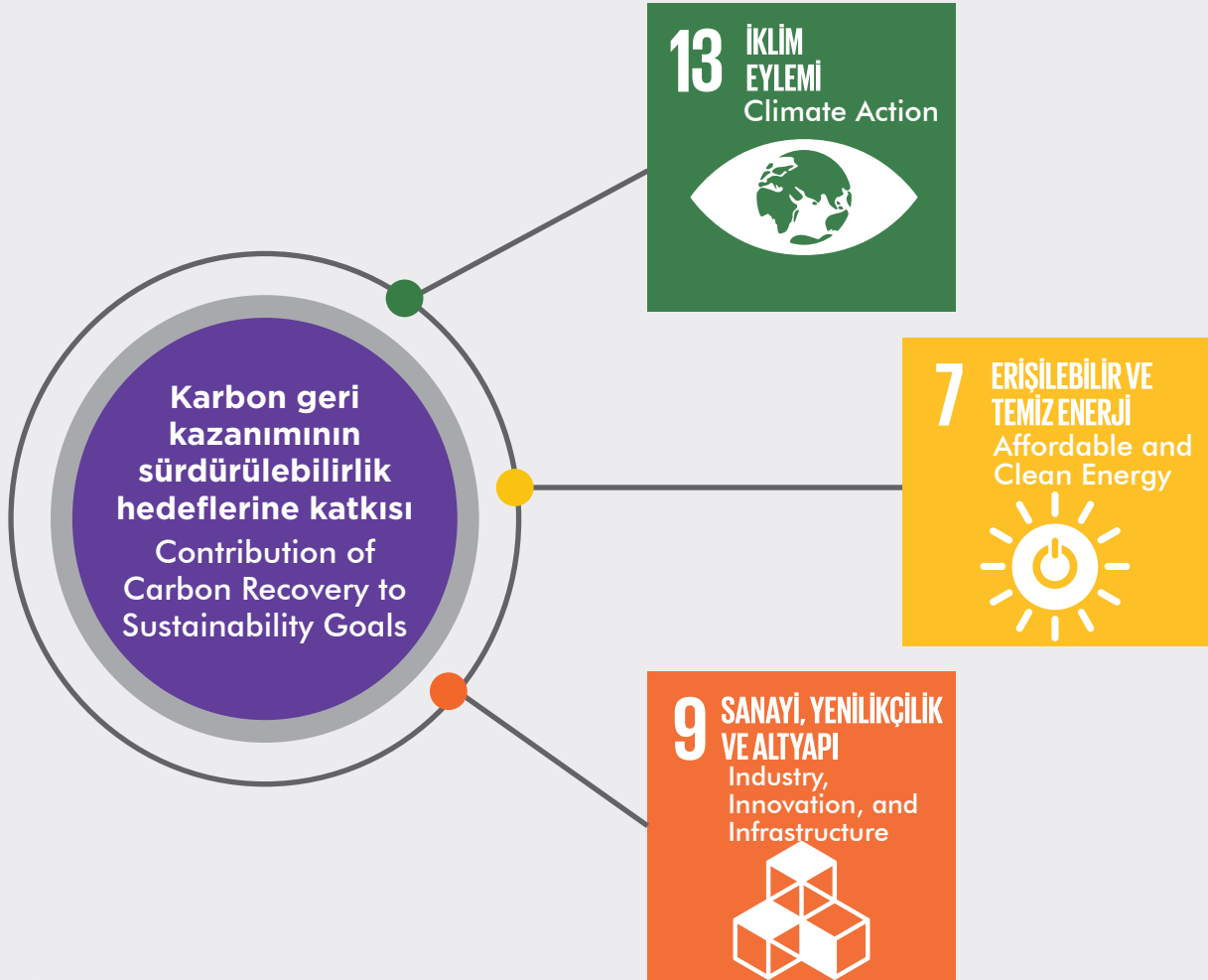
SDG 13 (Climate Action): SDG 13 is a development goal that calls for urgent action to combat climate change and its effects. Since the main goal of CCS is to reduce CO₂ emissions, this emission reduction potential directly contributes to SDG 13 to combat climate change. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) report demonstrates

Değişikliği Paneli (IPCC) raporu, CCS olmadan Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC) Paris Anlaşması'nın hedeflerine ulaşılmayacağını gösteriyor (Mikunda ve diğ., 2021).

SDG 7 (Erişilebilir ve Temiz Enerji): Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi 7, uygun fiyatlı ve temiz enerji tedarikinin artırılmasına odaklanmaktadır. Mevcut enerji kaynakları, toplam sera gazı emisyonlarının %60'ını oluşturarak iklim değişikliğine yol açmaktadır. Bunun sonucunda yenilenebilir enerji kaynakları gibi çevreye olumsuz etkisi olmayan alternatif enerji kaynakları araştırılmaktadır. Karbon yakalama teknolojileri yenilenebilir enerji kaynaklarıyla entegre edilerek

that the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) Paris Agreement cannot achieve its goals without CCS (Mikunda et al., 2021).

SDG 7 (Affordable and Clean Energy): Sustainable Development Goal 7 focuses on increasing the supply of affordable and clean energy. Current energy sources account for 60% of total greenhouse gas emissions, leading to climate change. Researchers are investigating alternative energy sources, such as renewable energy sources, that do not negatively impact the environment. Carbon capture technologies increase performance and production by integrating with renewable energy sources.



performans ve üretim arttırmaktadır. Bu nedenle, karbon yakalama teknolojilerinin entegre edilmesinin Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi 7 ile güçlü ilişkisi vardır. Ayrıca karbon yakalama teknolojilerinin temel amacı sıfır emisyonlu hidrojen ve yakıt üretimini arttırmaktır. Sıfır emisyonlu üretimdeki bu iyileştirme, Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi 7'ye olumlu katkı sağlamaktadır.

SDG 9 (Sanayi, Yenilikçilik ve Altyapı): CCS, karbon yakalama teknolojilerindeki yeniliği ve CO₂ taşıma ve depolama için yeni altyapının geliştirilmesini teşvik eder. Endüstrilerin üretimden ödün vermeden emisyonlarını azaltmalarına olanak tanıyarak sürdürülebilir sanayileşmeyi teşvik eder. Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri'nin 9.4 numaralı hedefi kaynak verimliliğinin artırılmasına, temiz teknolojilerin benimsenmesinin teşvik edilmesine ve sürdürülebilir sanayilerin desteklenmesine odaklanıyor. CCS, fosil yakıtların çevresel etkilerini önemli ölçüde azaltarak fosil yakıtların sürekli kullanımına olanak sağlar. Enerji güvenliğini sağlar ve düşük karbonlu bir geleceğe geçişi destekler, enerjiyi daha sürdürülebilir hale getirir ve enerji üretimindeki karbon yoğunluğunu azaltır. Özellikle de membran kullananlar, altyapı ve endüstriyel sektörlerde çok önemli bir rol oynamaktadır. Gelişmiş membran malzemeleri, karbon yakalamayla ilişkili maliyetleri düşürme potansiyeline sahiptir; membran teknolojisinin verimliliği, CO₂ yakalama oranına yakından bağlıdır. Membran teknolojisi yoluyla yanma sonrası CO₂ yakalama, giderlerde %55'lik potansiyel bir azalmayla birlikte maliyet avantajları sunar (Olabi ve diğ., 2023).

Therefore, integrating carbon capture technologies has a strong relationship with Sustainable Development Goal 7. In addition, the main purpose of carbon capture technologies is to increase zero-emission hydrogen and fuel production. This improvement in zero-emission production makes a positive contribution to Sustainable Development Goal 7.

SDG 9 (Industry, Innovation, and Infrastructure): The CCS promotes innovation in carbon capture technologies as well as the development of new infrastructure for CO₂ transport and storage. It promotes sustainable industrialization by allowing businesses to reduce their emissions without compromising production. Goal 9.4 of the Sustainable Development Goals focuses on increasing resource efficiency, encouraging the adoption of clean technologies, and supporting sustainable industries. By significantly reducing their environmental impact, CCS enables the continued use of fossil fuels. It ensures energy security and supports the transition to a low-carbon future, making energy more sustainable and reducing the carbon intensity of energy production. In particular, membrane users play a significant role in the infrastructure and industrial sectors. The efficiency of membrane technology closely links to the CO₂ capture rate, and advanced membrane materials have the potential to reduce carbon capture costs. Post-combustion CO₂ capture via membrane technology offers cost advantages, with a potential 55% reduction in expenses (Olabi et al., 2023).

Uygulama Alanları ve Gelecek Uygulamalar

Application Areas and Future Applications

Membran teknolojileri kapsamında son yıllarda önemli bir gelişme olarak tanıttığımız bu gaz ayırma membranları, gazların moleküler boyutları, çözünürlükleri ve difüzyon hızlarındaki farklılıklardan yararlanarak yüksek verimlilikte ayırma sağlayarak birçok endüstrinin ihtiyaçlarını karşılamaktadır. Kimya, petrokimya ve enerji sektörleri gaz ayırma membranlarının yaygın olarak kullanıldığı endüstrilerdir. Örneğin, kimya sektöründe gaz ayırma membranları, çeşitli gaz karışımlarının yüksek safılıkta bileşenlere ayrılmasında kritik bir rol oynar bu kapsamda hidrojen üretimi, karbondioksit giderimi, azot üretimi ve uçucu organik bileşiklerin geri kazanımı sağlanır. Hidrojen üretiminde, polimer ve perovskit bazlı gaz ayırma membranları özellikle reforming reaksiyonları sonucu elde edilen karbon monoksit ve karbondioksit gibi safsızlıkların hidrojeninden ayrılmasını sağlayarak hidrojenin saflaştırılmasında kullanılır (Vilanova et al., 2024). Bunun yanında metal-organik-çerçeve (MOF) bazlı gaz ayırma membranları kullanılan sistemler, en iyi bilinen sera gazlarından biri olan karbondioksit (CO₂) emisyonlarının azaltılmasını sağlayarak küresel ısınmayı önlemeye yardımcı olur (Duan et al., 2023). Öte yandan membran teknolojisi hava ayırımı yoluyla azot üretiminde de önemli bir rol oynar. Gaz ayırma membranları, oksijeni azottan ayırarak yüksek safılıkta azot gazı elde edilmesine olanak tanır. Ayrıca uçucu organik bileşiklerin

Gas separation membranes, which we have introduced as a significant development in membrane technologies in recent years, provide highly efficient separation by utilizing the differences in molecular sizes, solubilities, and diffusion rates of gases. In this regard, they meet the needs of many industries. The chemical, petrochemical, and energy sectors are among the industries where gas separation membranes are widely used. For example, in the chemical industry, gas separation membranes play a critical role in separating various gas mixtures into high-purity components, facilitating hydrogen production, carbon dioxide removal, nitrogen generation, and the recovery of volatile organic compounds (VOCs). In hydrogen production, polymer and peroxide-based gas separation membranes are used for purifying hydrogen by separating impurities such as carbon monoxide and carbon dioxide, which are produced during reforming reactions (Vilanova et al., 2024). Additionally, systems using MOF-based gas separation membranes help mitigate global warming by reducing CO₂ emissions, one of the best-known greenhouse gases (Duan et al., 2023). Moreover, membrane technology plays a crucial role in nitrogen production through air separation. Gas separation membranes enable the extraction of high-purity nitrogen gas by separating oxygen from nitrogen. They also contribute both economically and

(VOC'ler) ayrıştırılması ve geri kazanılmasını da sağlayarak özellikle kimya endüstrisinde sıklıkla kullanılan solventlerin geri kazanımını ve tekrar kullanımını sağlamış, bu sayede hem ekonomik hem de çevresel açıdan katkıda bulunmuştur (Da Conceicao et al., 2023). Rafineri/biyofineri endüstrisinde gaz ayırma membran teknolojilerine bakıldığında ise yine hidrojen ayırımı/geri kazanımı, katalitik reforming ile hidrojen üretimi, uçucu organik bileşik giderimi ve VOC geri kazanımı alanlarında kullanıldığı görülür. Petrokimya endüstrisinde ise olefin/parafin ayrıştırılması, ön yanmadan(pre-combustion) CO₂/H₂ ayırımı, son yakmadan (post-combustion) CO₂/N₂ ayırımı, doğal gaz arıtımı alanlarında bu membranlar kullanılır(Iulianelli&Drioli, 2020). Enerji sektöründe ise doğal gazın ve nitrojen, CH₄ ve CO₂ karışımından oluşan biyogazın kurutulması konusunda gaz ayırma membranları teknolojisine başvurmaktadır. Özellikle biyogazdan CO₂'in ayrıştırılması yüksek saflıkta metan elde edilmesi sağlayarak, biyogazın enerji içeriğini artırır ve daha verimli bir yakıt kaynağı haline getirilmesi sağlanır.

Gelecekte gaz ayırma membranları ve karbon geri kazanımı teknolojilerinde önemli gelişmeler beklenmektedir. Yeni nesil membranlar, özellikle polimeriknanokompozit malzemeler, MOF'lar ve zeolit bazlı yapılar gibi yenilikçi malzemelerin kullanımı ile daha yüksek seçicilik ve geçirgenlik sağlayacaktır (Kundu&Haldar, 2023). Bu membranlar, hidrojen ve karbondioksit gibi gazların daha verimli ayrıştırılmasını mümkün kılacak, böylece enerji verimliliği artacak ve işletme maliyetleri düşecektir(Zhao et al., 2022). Ayrıca, karbon geri kazanımı teknolojilerinde yapay zeka ve makine öğrenimi tekniklerinin entegrasyonu ile proses optimizasyonu sağlanacak ve karbon yakalama verimliliği artırılabilecektir(Tayyebi et al., 2022). Elektrokimyasal ve biyoteknolojik yöntemlerin de kar-

environmentally by enabling the separation and recovery of VOCs, which allows for the reclamation and reuse of solvents frequently used in the chemical industry (Da Conceicao et al., 2023). In the refinery/biorefinery industry, gas separation membrane technologies are used in hydrogen separation/recovery, hydrogen production via catalytic reforming, VOC removal, and VOC recovery. In the petrochemical industry, these membranes are employed in olefin/paraffin separation, pre-combustion CO₂/H₂ separation, post-combustion CO₂/N₂ separation, and natural gas purification (Iulianelli & Drioli, 2020). In the energy sector, gas separation membranes are utilized for the dehydration of natural gas and biogas, which consists of N₂, CH₄, and CO₂ mixtures. Specifically, the separation of CO₂ from biogas enables the production of high-purity methane, increasing the energy content of biogas and making it a more efficient fuel source.

Significant advancements are expected in gas separation membranes and carbon recovery technologies in the future. Next-generation membranes, particularly those incorporating innovative materials such as polymeric nanocomposites, MOFs, and zeolite-based structures, will offer higher selectivity and permeability (Kundu & Haldar, 2023). These membranes will enable more efficient separation of gases like hydrogen and carbon dioxide, thereby increasing energy efficiency and reducing operational costs (Zhao et al., 2022). Furthermore, integrating artificial intelligence and machine learning techniques into carbon recovery technologies will optimize processes and enhance carbon capture efficiency (Tayyebi et al., 2022). The inclusion of electrochemical and biotechnological methods in carbon recovery processes will also contribute to accelerating innovations in this field. From a sustainability perspective, the integration of membrane technologies

bon geri kazanımı süreçlerine dahil edilmesi, bu alandaki inovasyonların hızlanmasına katkı sağlayacaktır.

Gelecekte karbon geri kazanımı adına membran teknolojilerinin sürdürülebilirlik açısından değerlendirildiğinde, bu teknolojilerin kimyasal ayırma süreçlerine entegre edilmesi endüstrinin çevresel sürdürülebilirliğini artırırken gaz ayırma uygulamaları için yeni yollar açacaktır. Enerji santralleri ve endüstriyel tesislerde CO₂ emisyonlarını büyük ölçüde azaltarak karbon ayak izinin küçültülmesine katkı sağlayacaktır. Bununla birlikte, bu membranların geniş çapta benimsenmesi, membran malzemelerinin geliştirilmesi, membran verimliliğinin artırılması, üretim maliyetlerinin azaltılması ve ölçeklenebilirliğin sağlanması ile mümkün olacaktır. Bu hedeflere ulaşmak için sürekli araştırma, yenilik ve akademi, endüstri ve politika yapımcılar arasında işbirliği gereklidir. Sürdürülebilir gaz ayırma membranları, yalnızca teknolojik bir ilerleme değil, aynı zamanda daha sürdürülebilir ve sorumlu bir geleceğe yönelik stratejik bir değişimdir. Bu teknolojilerin uygulanması, enerji verimliliği, maliyet azaltımı ve çevresel sürdürülebilirlik açısından endüstrilere önemli avantajlar sunmaktadır. Enerji ekonomisi ve düşük karbon ayak izi dikkate alınarak, endüstriyel gaz ayırma ve saflaştırma işlemlerinin sürdürülebilir membran bazlı teknolojiler kullanılarak yapılması gerekmektedir.

into chemical separation processes will enhance the environmental sustainability of industries while opening new avenues for gas separation applications. By significantly reducing CO₂ emissions in power plants and industrial facilities, these technologies will help minimize the carbon footprint. However, the widespread adoption of these membranes will depend on the development of membrane materials, improvement of membrane efficiency, reduction of production costs, and ensuring scalability. Achieving these goals will require continuous research, innovation, and collaboration among academia, industry, and policymakers. Sustainable gas separation membranes represent not only a technological advancement but also a strategic shift towards a more sustainable and responsible future. Considering the energy economy and the need for a reduced carbon footprint, industrial gas separation and purification processes must be carried out using sustainable membrane-based technologies.

KAYNAKLAR

References

- Biniek, K., Henderson, K., Rogers, M., & Santoni, G. (2020, June). Driving CO₂ emissions to zero (and beyond) with carbon capture, use, and storage. *McKinsey Quarterly*.
- Engel, H., Hamilton, A., Hieronimus, S., Naclér, T., Fine, D., Pinner, D., Rogers, M., Bertreau, S., Cooper, P., & Leger, S. (2020). How a post-pandemic stimulus can both create jobs and help the climate. *McKinsey & Company*.
- Ghanbari, P., & Nabipour, M. (2021). Investigating Membranes Used in Gas Separation in Industry. *Progress in Chemical and Biochemical Research Journal homepage: Gas Progress in Chemical and Biochemical Research*, 2021(3), 254-267. <https://doi.org/10.22034/pcbr.2021.277405.1180>
- Godin, J., Liu, W., Ren, S., & Xu, C. C. (2021). Advances in recovery and utilization of carbon dioxide: A brief review. *Journal of Environmental Chemical Engineering* (C. 9, Sayı 4). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105644>
- Liu, Y., Li, N., Cui, X., Yan, W., Su, J., & Jin, L. (2022). A Review on the Morphology and Material Properties of the Gas Separation Membrane: Molecular Simulation. *Membranes* (C. 12, Sayı 12). MDPI. <https://doi.org/10.3390/membranes12121274>
- Malabi Eberhardt, L. C., Kuittinen, M., Häkkinen, T., Moinel, C., Nibel, S., & Birgisdottir, H. (2023). Carbon handprint-a review of potential climate benefits of buildings. *Building Research and Information*. <https://doi.org/10.1080/09613218.2023.2266020>
- Shimekit, B., & Mukhtar, H. (2012). Natural Gas Purification Technologies - Major Advances for CO₂ Separation and Future Directions. *InTech*. doi: 10.5772/38656
- Shindo, R., & Nagai, K. (2013). Gas Separation Membranes. *İçinde Encyclopedia of Polymeric Nanomaterials* (ss. 1-8). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-36199-9_134-1
- Sidhikku Kandath Valappil, R., Ghasem, N., & Al-Marzouqi, M. (2021). Current and future trends in polymer membrane-based gas separation technology: A comprehensive review. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 98, 103-129. <https://doi.org/10.1016/J.JIEC.2021.03.030>
- Sridhar, S., & Bhargava, S. (2014). Membrane-based Gas Separation: Principle, Applications and Future Potential. <https://www.researchgate.net/publication/265295121>
- Taghvaie Nakhjiri, A., Heydarinasab, A., Bakhtiari, O., & Mohammadi, T. (2020). Numerical simulation of CO₂/H₂S simultaneous removal from natural gas using potassium carbonate aqueous solution in hollow fiber membrane contactor. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(5). <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104130>
- Yong, W. F., & Zhang, H. (2021). Recent advances in polymer blend membranes for gas separation and pervaporation. *Progress in Materials Science* (C. 116). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2020.100713>
- Baker, R. W., & Low, B. T. (2014). Gas Separation Membrane Materials: A Perspective. *Macromolecules*, 47(20), 6999-7013. <https://doi.org/10.1021/ma501488s>
- Bernardo, P., Drioli, E., & Golemme, G. (2009). Membrane Gas Separation: A Review/State of the Art. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 48(10), 4638-4663. <https://doi.org/10.1021/ie8019032>
- Liang, C. Z., Chung, T. S., & Lai, J. Y. (2019). A review of polymeric composite membranes for gas separation and energy production. *Progress in Polymer Science*, 97, 101141. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2019.06.001>
- Murali, R. S., Sankarshana, T., & Sridhar, S. (2013). Air Separation by Polymer-based Membrane

Technology. Separation & Purification Reviews, 42(2), 130-186. <https://doi.org/10.1080/15422119.2012.686000>

Rezakazemi, M., Ebadi Amooghin, A., Montazer-Rahmati, M. M., Ismail, A. F., & Matsuura, T. (2014). State-of-the-art membrane based CO₂ separation using mixed matrix membranes (MMMs): An overview on current status and future directions. Progress in Polymer Science, 39(5), 817-861. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2014.01.003>

Xu, Z., Croft, Z. L., Guo, D., Cao, K., & Liu, G. (2021). Recent development of polyimides: Synthesis, processing, and application in gas separation. Journal of Polymer Science, 59(11), 943-962. <https://doi.org/10.1002/pol.20210001>

Araújo, O. de Q. F., & de Medeiros, J. L. (2017). Carbon capture and storage technologies: present scenario and drivers of innovation. Current Opinion in Chemical Engineering (C. 17, ss. 22-34). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.coche.2017.05.004>

Madejski, P., Chmiel, K., Subramanian, N., & Kuś, T. (2022). Methods and Techniques for CO₂ Capture: Review of Potential Solutions and Applications in Modern Energy Technologies. Energies (C. 15, Sayı 3). MDPI. <https://doi.org/10.3390/en15030887>

Shah, S., Shah, M., Shah, A., & Shah, M. (2020). Evolution in the membrane-based materials and comprehensive review on carbon capture and storage in industries. Emergent Materials, 3(1), 33-44.

Yuan, Y., You, H., & Ricardez-Sandoval, L. (2019). Recent advances on first-principles modeling for the design of materials in CO₂ capture technologies. Chinese Journal of Chemical Engineering (C. 27, Sayı 7, ss. 1554-1565). Chemical Industry Press. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2018.10.017>

Chawla, M., Saulat, H., Masood Khan, M., Mahmood Khan, M., Rafiq, S., Cheng, L., Iqbal, T., Rasheed, M. I., Farooq, M. Z., Saeed, M., Ahmad, N. M., Khan Niazi, M. B., Saqib, S., Jamil, F., Mukhtar, A., & Muhammad, N. (2020). Membranes for

CO₂/CH₄ and CO₂/N₂ Gas Separation. Chemical Engineering and Technology, 43(2), 184-199. <https://doi.org/10.1002/ceat.201900375>

Singh, S., Varghese, A. M., Reinalda, D., & Karanikolos, G. N. (2021). Graphene - Based membranes for carbon dioxide separation. Journal of CO₂ Utilization, 49(December 2020), 101544. <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2021.101544>

Tong, Z., & Sekizkardes, A. K. (2021). Recent developments in high-performance membranes for CO₂ separation. Membranes, 11(2), 1-9. <https://doi.org/10.3390/membranes11020156>

Abbasian, A., Takht Ravanchi, M. 2023. "Polymeric membranes and surfaces for CO₂ capture". İçinde CO₂-philic Polymers, Nanocomposites and Chemical Solvents (ss. 17-55). Elsevier.

Adewole, J. K., Ahmad, A. L., Ismail, S., Leo, C. P. 2013. "Current challenges in membrane separation of CO₂ from natural gas: A review". International Journal of Greenhouse Gas Control, 17, 46-65.

Al-Rowaili, F. N., Khaled, M., Jamal, A., Zahid, U. 2023. "Mixed matrix membranes for H₂/CO₂ gas separation- a critical review". Fuel, 333, 126285. Bernardo, P., Drioli, E., Golemme, G. 2009. "Membrane Gas Separation: A Review/State of the Art". Industrial & Engineering Chemistry Research, 48(10), 4638-4663.

Chen, X. Y., Nguyen, T. B., Romero, A., Paton, A., Sanchez, M., Valverde, J., Kaliaguine, S., & Rodrigue, D. (2020). Gas Separation Properties of Mixed Matrix Membranes based on Polyimide and Graphite Oxide. Journal of Membrane Science and Research, 6(1), 58-69. doi: 10.22079/jmsr.2019.100069.1244

Daglar, H., Aydin, S., Keskin, S. 2022. "MOF-based MMMs breaking the upper bounds of polymers for a large variety of gas separations". Separation and Purification Technology, 281, 119811.

Duan, Y., Li, L., Shen, Z., Cheng, J., & He, K. (2023). Engineering Metal-Organic-Framework (MOF)-Based Membranes for Gas and Liquid

Separation. Membranes, 13(5), 480. <https://doi.org/10.3390/membranes13050480>

Freeman, B. D. 1999. "Basis of Permeability/Selectivity Tradeoff Relations in Polymeric Gas Separation Membranes". *Macromolecules*, 32(2), 375-380.

Friess, K., Izák, P., Kárászová, M., Pasichnyk, M., Lanč, M., Nikolaeva, D., ... Jansen, J. C. 2021. "A Review on Ionic Liquid Gas Separation Membranes". *Membranes*, 11(2), 97.

Hou, R., Eden, N. T., Fong, C., Acharya, D., Doherty, C. M., Gengenbach, T., ... Hill, M. R. 2022. "Enhanced Membrane Performance for Gas Separation by Coupling Effect of the Porous Aromatic Framework (PAF) Incorporation and Photo-Oxidation". *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 61(18), 6190-6199.

Jia, L., Tang, X., Cui, Y., Liu, Y. 2023. "Porous metal-organic cage-based membranes". *Science China Chemistry*, 66(8), 2169-2180.

Liu, Y. 2001. "Chemical cross-linking modification of polyimide membranes for gas separation". *Journal of Membrane Science*, 189(2), 231-239.

Mannan, H. A., Mukhtar, H., Murugesan, T., Nasir, R., Mohshim, D. F., Mushtaq, A. 2013. "Recent Applications of Polymer Blends in Gas Separation Membranes". *Chemical Engineering & Technology*, 36(11), 1838-1846.

Mushtaq, A., Mukhtar, H., Shariff, A.M., Hafiz, A., & Mannan (2013). A Review : Development of Polymeric Blend Membrane for Removal of CO₂ from Natural Gas.

Pandey, P., Chauhan, R. S. 2001. "Membranes for gas separation". *Progress in Polymer Science*, 26(6), 853-893.

Shei Ming, W., Jawad, Z. A., Qasim, M. 2022. "Grand Challenges in Membrane Process for Gas Separation". *Journal of Applied Membrane Science & Technology*, 26(2), 43-48.

Singh, R., Prasad, B., Ahn, Y.-H. 2024. "Recent developments in gas separation membranes enhancing the performance of oxygen and nitro-

rogen separation: A comprehensive review". *Gas Science and Engineering*, 123, 205256.

Yu, G., Rong, H., Zou, X., Zhu, G. 2017. "Engineering microporous organic framework membranes for CO₂ separations". *Molecular Systems Design & Engineering*, 2(3), 182-190.

Yu, S., Li, C., Zhao, S., Chai, M., Hou, J., Lin, R. 2024. "Recent advances in the interfacial engineering of MOF-based mixed matrix membranes for gas separation". *Nanoscale*, 16(16), 7716-7733.

Zhang, Y., Ma, L., Lv, Y., Tan, T. 2022. "Facile manufacture of COF-based mixed matrix membranes for efficient CO₂ separation". *Chemical Engineering Journal*, 430, 133001.

Bento, N., Gianfrate, G., & Aldy, J. E. (2021). National climate policies and corporate internal carbon pricing. *The Energy Journal*, 42(5), 89-100.

Kim, E., Siegelman, R., Jiang, H., Forse, A., Lee, J., Martell, J., ... & Long, J. (2020). Cooperative carbon capture and steam regeneration with tetraamine-appended metal-organic frameworks. *Science*, 369(6502), 392-396. <https://doi.org/10.1126/science.abb3976>

Mikunda, T., Brunner, L., Skylogianni, E., Monteiro, J., Rycroft, L., & Kemper, J. (2021). Carbon capture and storage and the sustainable development goals. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 108, 103318.

Olabi, A. G., Alami, A. H., Ayoub, M., Aljaghoub, H., Alasad, S., Inayat, A., ... & Sayed, E. T. (2023). Membrane-based carbon capture: Recent progress, challenges, and their role in achieving the sustainable development goals. *Chemosphere*, 320, 137996.

Philbin, S. and Wang, S. (2019). Perspectives on the techno-economic analysis of carbon capture and storage. *Journal of Technology Management & Innovation*, 14(3), 3-17. <https://doi.org/10.4067/s0718-27242019000300003>

Siagian, U. W., Raksajati, A., Himma, N. F., Khoiruddin, K., & Wenten, I. G. (2019). Membrane-based

sed carbon capture technologies: Membrane gas separation vs. membrane contactor. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 67, 172-195.

Sohail, M. T., Majeed, M. T., Shaikh, P. A., & Andlib, Z. (2021). Environmental costs of political instability in pakistan: policy options for clean energy consumption and environment. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(17), 25184-25193. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17646-5>

Zhang, T., Surampalli, R., Kao, C., & Huang, W. (2015). Carbon capture and storage: major issues, challenges, and the path forward., 499-518 <https://doi.org/10.1061/9780784413678.ch18>

URL-1 <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/gas-separation-membrane-market-50564392.html>

Da Conceicao, M., Nemetz, L., Rivero, J., Hornbostel, K., & Lipscomb, G. (2023). Gas Separation Membrane Module Modeling: A Comprehensive Review. *Membranes*, 13(7). <https://doi.org/10.3390/membranes13070639>

Duan, Y., Li, L., Shen, Z., Cheng, J., & He, K. (2023). Engineering Metal-Organic-Framework (MOF)-Based Membranes for Gas and Liquid Separation. *Membranes*, 13(5). <https://doi.org/10.3390/membranes13050480>

Iulianelli, A., & Drioli, E. (2020). Membrane engineering: Latest advancements in gas separation and pre-treatment processes, petrochemical industry and refinery, and future perspectives in emerging applications. *Fuel Processing Technology*, 206(March), 106464. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2020.106464>

Kundu, S., & Haldar, R. (2023). A roadmap to enhance gas permselectivity in metal-organic framework-based mixed-matrix membranes. *Dalton Transactions*, 52(42), 15253-15276. <https://doi.org/10.1039/d3dt01878d>

Osman, A. I., Nasr, M., Farghali, M., Bakr, S. S., El-taweil, A. S., Rashwan, A. K., & Abd El-Monaem,

E. M. (2024). Machine learning for membrane design in energy production, gas separation, and water treatment: a review. In *Environmental Chemistry Letters* (Vol. 22, Issue 2). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/s10311-023-01695-y>

Tayyebi, A., Alshami, A. S., Yu, X., & Kolodka, E. (2022). Can machine learning methods guide gas separation membranes fabrication? *Journal of Membrane Science Letters*, 2(2), 100033. <https://doi.org/10.1016/j.memlet.2022.100033>

Vilanova, A., Dias, P., Lopes, T., & Mendes, A. (2024). The route for commercial photoelectrochemical water splitting: a review of large-area devices and key upscaling challenges. *Chemical Society Reviews*, 53(5), 2388-2434. <https://doi.org/10.1039/d1cs01069g>

Zhao, C., Hussain, W., Chlib Alkaaby, H. H., Al-Khafaji, R. M., Alghazali, T., Izzat, S. E., Shams, M. A., Abood, E. S., Yu, A. E., & Ehab, M. (2022). Polymeric nanocomposite membranes for gas separation: Performance, applications, restrictions and future perspectives. *Case Studies in Thermal Engineering*, 38(May), 102323.

Röportaj

Interview

Prof. Dr. Halil HASAR

TC. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği
Bakanlığı, İklim Değişikliği Başkanı

Prof. Dr. Halil HASAR

Republic of Türkiye Ministry of
Environment, Urbanisation and Climate
Change, Climate Change President



- Sayın hocam biraz kendinizden bahseder misiniz? Membran prosesler ve döngüsellik, sürdürülebilirlik ile tanışma hikâyeniz nedir?

Teşekkür ederim. Lisans ve lisansüstü derecelerimi çevre mühendisliği alanında aldım. Doktora çalışmalarına 2001 yılında membran prosesler üzeri-

- Professor, can you tell us a little about yourself? What is your story of becoming acquainted with membrane processes, circularity, and sustainability?

Thank you. I earned my undergraduate and graduate degrees in environmental engineering. I completed my doctoral studies in 2001, focusing on membrane processes.

netamamladım. Akademik kariyerimde 2002 yılında Yardımcı Doçent, 2004 yılında Doçent, 2009 yılında ise Profesör unvanlarını aldım.

Meslek hayatım boyunca enerji verimli arıtma sistemleri, membran teknolojileri ve çevresel altyapılar gibi konularda birçok ulusal ve uluslararası projede yer aldım. Örneğin, 2006-2007 yılları arasında Arizona State University Biodesign Institute'te, 2011 yılında ise İrlanda University College Dublin'de "enerji verimli arıtma teknolojileri" üzerine doktora sonrası araştırmalar yürüttüm. Ayrıca, Türkiye, Güney Kore ve Almanya ortak iş birliği projelerinde "biyoteknolojik çözümler" geliştirdim.

Sürdürülebilirlik ve döngüsellik ile tanışmam, membran teknolojilerinin sadece su ve atık su arıtımında değil, aynı zamanda döngüsel ekonomiye geçişte kritik bir rol oynadığını fark ettiğim süreçle başladı. Bu doğrultuda, İTÜ bünyesinde Ulusal Membran Teknolojileri Araştırma Merkezi'nin (MEM-TEK) kurulmasında görev aldım ve halen bu merkezde yönetim kurulu üyesiyim.

Akademik alanda 70'in üzerinde SCI yayını ve 200'ün üzerinde bilimsel çalışmam bulunmakta. Ayrıca, çevresel sürdürülebilirlik alanında TÜBİTAK dahil birçok projede yürütücü, araştırmacı ve danışman olarak görev aldım. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yayınlanan, su ve atık su arıtımında membran teknolojilerine dair üç ciltlik bir eserin yazarlarından biriyim.

Sürdürülebilir teknolojilerin geliştirilmesi ve çevre mühendisliği alanındaki bilgi birikiminin ülkemize ve dünyaya katkı sunacak şekilde uygulanması her zaman önceliğim oldu. Bugün İklim Değişikliği Başkanlığı'ndaki görevimle, çevresel sorunlarla mücadelede stratejik katkılar sunmayı sürdürüyorum.

Benim için çevre mühendisliği sadece bir akademik titr ya da meslek değildir.

In my academic career, I was appointed as Assistant Professor in 2002, Associate Professor in 2004, and achieved the title of Professor in 2009.

Throughout my professional career, I have participated in numerous national and international projects related to energy-efficient treatment systems, membrane technologies, and environmental infrastructures. For example, between 2006 and 2007, I conducted postdoctoral research on "energy-efficient treatment technologies" at the Biodesign Institute of Arizona State University. In 2011, I pursued further postdoctoral research on the same topic at University College Dublin in Ireland. Additionally, I contributed to joint projects involving Turkey, South Korea, and Germany, developing "biotechnological solutions."

My journey into sustainability and circularity began with the realization that membrane technologies play a critical role not only in water and wastewater treatment but also in transitioning to a circular economy. Consequently, I contributed to the establishment of the National Membrane Technologies Research Center (MEMTEK) within Istanbul Technical University and continue to serve as a board member at the center.

In the academic field, I have authored over 70 SCI-indexed publications and more than 200 scientific studies. Furthermore, I have served as a principal investigator, researcher, and consultant on numerous projects, including those funded by TÜBİTAK, focusing on environmental sustainability. I am also one of the authors of a three-volume work on membrane technologies in water and wastewater treatment, published by the Ministry of Environment and Urbanization.

Developing sustainable technologies and applying my knowledge in environmental engineering to benefit both my country and the world have always been my priorities. Currently, as the Head of Climate Change, I

Benim için iklim değişikliğiyle mücadele etmek sadece mesleki bir zorunluluktan ibaret değildir. Evlatlarımızın istikbalini tehdit eden büyük bir soruna karşı mücadele eden ve bu anlamda çalışmalar yapan bir birey, yeşil sevdalısı, çevre gönüllüsü ve Sıfır Atık gönüllüsü hareket etmek önceliklerim arasındadır. Çünkü aşmamız gereken büyük bir sorun, çözmemiz gereken pek çok düğüm var. Bu anlamda atılabilecek en büyük adım dünyanın yani yaşamın sürekliliğini temin için sürdürülebilir ve çevreci yöntemleri merkeze almak şarttır.

İklim değişikliği küresel bir sorun ve bu sorun özellikle Akdeniz Havzası'nda kendini gösteriyor. Yağış, sıcaklık ve buharlaşma başta olmak üzere çeşitli iklim etkenleri göllerin seviyelerinde belirli dönemlerde artış ve azalmalara neden oluyor. Bazı göllerde ise kuraklık geri dönülemez seviyelere ulaşmış bulunmakta... Bu kapsamda ülkemizin Uzun Dönemli İklim Stratejisi'ni, İklim Değişikliğine Uyum Stratejisi ve Eylem Planı'nı ve İklim Değişikliğine Azaltım Stratejisi ve Eylem Planı'nı geliştirdik.

Ayrıca uzunca bir süredir üzerinde çalışmış olduğumuz İklim Kanunu'nun taslağını hazırladık. İklim Kanunu'nun Meclisi'mizde onaylanması ile Türkiye'nin Ulusal Yeşil Taksonomisi ve Emisyon Ticaret Sistemi'mizin de uygulama çalışmaları başlayacak.

İklim değişikliği etkilerinin son yıllarda artması, insanların iklim değişikliği ile mücadele önemini anlaması ve iklim değişikliği ile mücadelenin sürdürülebilirlik yaklaşımı ile mümkün olacağının kavranması ile çevresel sürdürülebilirliğin önemi artmıştır.

Geleceğin iklim koşulları hakkında öngöründe bulunmak ve Türkiye olarak iklim stratejilerimizi geliştirmek için ülkemizin 2100 yılına kadar "İklim Projeksiyonları"nı oluşturuyoruz. Türkiye'de bir ilk olan 6 küresel iklim modelini 3 km ölçeğin-

continue to make strategic contributions to addressing environmental challenges. For me, environmental engineering is not just an academic title or a profession. Fighting climate change is not merely a professional obligation; it is a personal commitment to addressing a significant problem that threatens the future of our children. Acting as an advocate for environmentalism, sustainability, and the Zero Waste movement is one of my top priorities. Because we face a monumental issue and many challenges to solve, it is essential to adopt sustainable and environmentally friendly methods to ensure the continuity of life on Earth.

Climate change is a global issue, and its effects are particularly visible in the Mediterranean Basin. Various climatic factors, such as precipitation, temperature, and evaporation, cause periodic increases or decreases in the levels of lakes, while some lakes have reached irreversible levels of drought. In this context, we have developed our country's Long-Term Climate Strategy, Climate Change Adaptation Strategy and Action Plan, and Climate Change Mitigation Strategy and Action Plan.

Additionally, we have prepared the draft of the Climate Law, which we have been working on for quite some time. Once the Climate Law is approved by our Parliament, we will also begin implementing Turkey's National Green Taxonomy and Emissions Trading System.

The increasing impacts of climate change in recent years, the growing awareness of its significance, and the realization that combating climate change is only possible through a sustainability-oriented approach have heightened the importance of environmental sustainability.

To predict future climate conditions and develop strategies as Turkey, we are creating the country's Climate Projections up to the Year 2100. For the first time in Turkey, we are applying six global climate models



de ülkemize uyguluyor ve iklim projeksiyonlarını hesaplıyoruz. Bu kapsamda; kuraklık, sel, rüzgâr, sıcak hava dalgası, fırtına olmak üzere 40 indis yani iklim tehlikesinin etkileri üzerine çalışıyoruz. İklim değişikliğinden en fazla etkilenecek sektörleri belirliyor ve risk analizlerini yapıyoruz. Çalışmalarımız sonucunda, sektörel önceliklendirmeye yapacak ve yerel iklim eylem planlarımızı hayata getireceğiz.

- Hocam, İklim Değişikliği Başkanı olarak gaz ayırma membranları ve karbon geri kazanımı konularının iklim değişikliğine ve sürdürülebilirliğe etkisi konusunda neler düşünüyorsunuz?

Gaz ayırma membranları ve karbon geri kazanımı, hem iklim değişikliği ile mü-

on a 3-kilometer scale to our country and calculating these projections. In this context, we are examining the impacts of 40 climate indices—including drought, floods, wind, heatwaves, and storms. We are identifying the sectors most affected by climate change and conducting risk analyses. Based on the results, we will establish sectoral priorities and implement local climate action plans.

- As the Head of the Climate Change Department, what are your thoughts on the impact of gas separation membranes and carbon recovery on climate change and sustainability?

Gas separation membranes and carbon recovery are among the critical technologies for both combating climate change and

cadelede hem de sürdürülebilir bir üretim için kritik öneme sahip teknolojiler arasındadır. Bu teknolojiler, sanayi kaynaklı karbon emisyonlarını azaltmak ve döngüsel ekonomiye geçişi hızlandırmak açısından oldukça etkili çözümler sunmaktadır.

Gaz ayırma membranları, enerji yoğun ayrıştırma süreçlerine düşük maliyetli ve çevre dostu bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Özellikle karbon dioksit (CO₂) ayrıştırma ve saflaştırma işlemlerinde kullanılarak, atmosferik karbon salımını sınırlama potansiyeline sahiptir. Bu süreçte yakalanan karbon, geri kazanılarak ya depolanmakta ya da kimya, enerji ve inşaat sektörlerinde yeniden kullanılmaktadır. Bu da sadece emisyonların azaltılmasına değil, aynı zamanda ekonomik fayda sağlanmasına da olanak tanımaktadır.

İklim değişikliği bağlamında bu teknolojilerin önemi, 2053 net sıfır hedefimizle de örtüşmektedir. Karbon geri kazanımı, fosil yakıtlara bağımlılığı azaltarak yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonunu desteklerken, aynı zamanda sanayi süreçlerinde yeşil dönüşümü hızlandırmaktadır. Bununla birlikte, bu teknolojilerin geniş çaplı uygulanabilirliği için enerji verimliliği, maliyet etkinliği ve teknik altyapının geliştirilmesi gerekmektedir.

Sürdürülebilirlik açısından ise gaz ayırma membranlarının kullanımı, kaynakların daha etkin yönetilmesini ve doğal çevrenin korunmasını sağlamaktadır. Örneğin, atık gazların geri kazanımı ile kaynak tüketimi minimize edilirken, çevresel etki de azaltılmaktadır. Bu anlamda, İklim Değişikliği Başkanlığı olarak karbon yönetimi ve temiz teknolojilere yönelik çalışmalara öncelik veriyor, bu teknolojilerin yaygınlaştırılması için stratejik planlar geliştiriyoruz.

achieving sustainable production. These technologies provide highly effective solutions for reducing industrial carbon emissions and accelerating the transition to a circular economy.

Gas separation membranes stand out as a cost-effective and environmentally friendly alternative to energy-intensive separation processes. They are particularly useful in carbon dioxide (CO₂) separation and purification processes, limiting atmospheric carbon emissions. The captured carbon in this process is either stored or reused in sectors such as chemicals, energy, and construction. This not only reduces emissions but also offers economic benefits.

The significance of these technologies in the context of climate change aligns with our 2053 net-zero target. Carbon recovery supports the integration of renewable energy sources by reducing dependence on fossil fuels while accelerating green transformation in industrial processes. However, for the widespread application of these technologies, advancements in energy efficiency, cost-effectiveness, and technical infrastructure are necessary.

From a sustainability perspective, the use of gas separation membranes ensures more efficient resource management and the preservation of the natural environment. For example, the recovery of waste gases minimizes resource consumption while reducing environmental impacts. In this regard, as the Climate Change Department, we prioritize efforts on carbon management and clean technologies, developing strategic plans to promote the adoption of these technologies.

- Hem Çevre Mühendisliği Bölümü'nün hocası olarak hem de İklim Değişikliği Başkanı olarak sizin ve ekibinizin bu konularda yürüttüğü projelerden bahsedebilir misiniz?

İklim Değişikliği Başkanlığımızın yürüttüğü projeleri, sürdürülebilir kalkınma ve iklim değişikliği ile mücadele hedeflerimize katkı sunacak bir şekilde şekillendirmeye özen gösteriyoruz.

Şimdi bu konulardaki çalışmalarımızdan bahsetmek isterim. İklim Değişikliği Başkanlığı olarak, Türkiye'nin 2021 yılında Paris Anlaşması'nı onaylaması ve 2053 Net Sıfır Emisyon hedefini açıklamasıyla hız kazanan iklim politikalarının uygulanmasında önemli sorumluluklar üstleniyoruz. Bu çerçevede, 2023 yılında Türkiye'nin ilk Güncellenmiş Ulusal Katkı Beyanı (NDC) sunulmuş ve emisyon azaltım hedefi 2030 yılı için referans senaryoya göre %21'den %41'e yükseltilmiştir. Bu ülkemiz için tarihi bir karardır. Bu karar üzerine ülkemizde iklim değişikliğiyle mücadelede daha kararlı bir süreç başlamıştır.

NDC'de belirlenen hedeflere ulaşmak amacıyla, 2024-2030 dönemini kapsayan İklim Değişikliği Azaltım ve Uyum Stratejileri ve Eylem Planları hazırlanmıştır. Azaltım Eylem Planı kapsamında enerji, sanayi, binalar, ulaştırma, atık, tarım ve arazi kullanım değişikliği sektörlerinde 49 strateji ve 260 eylem tanımlanmıştır. Uyum Eylem Planı ise tarım, su yönetimi, biyolojik çeşitlilik, turizm ve halk sağlığı gibi sektörlerde 40 strateji ve 129 eylemi içermektedir.

Ayrıca, Türkiye'nin 2053 Net Sıfır Emisyon hedeflerine ulaşılması için bir yol haritası niteliği taşıyan Uzun Dönemli İklim Stratejisi (LTS) hazırlanmış ve COP29'da uluslararası kamuoyuna duyurulmuştur. Bu strateji, sürdürülebilir kalkınma hedeflerini desteklemek amacıyla finansman, teknoloji transferi, ka-

- As both a professor in the Environmental Engineering Department and the Head of the Climate Change Department, could you share some of the projects you and your team are working on in this area?

We are dedicated to designing the projects led by our Climate Change Department in a way that contributes to our sustainable development and climate change mitigation goals.

Let me share some of our initiatives in this context. As the Climate Change Department, we have taken on significant responsibilities in implementing climate policies that gained momentum with Turkey's ratification of the Paris Agreement in 2021 and the announcement of the 2053 Net Zero Emission target. In this framework, Turkey submitted its first Updated Nationally Determined Contribution (NDC) in 2023, raising the 2030 emission reduction target from 21% to 41% compared to the reference scenario. This decision marks a historic milestone for our country, paving the way for a more resolute approach to combating climate change.

To achieve the targets set in the NDC, Climate Change Mitigation and Adaptation Strategies and Action Plans covering the 2024-2030 period have been developed. The Mitigation Action Plan includes 49 strategies and 260 actions across sectors such as energy, industry, buildings, transportation, waste, agriculture, and land-use change. Meanwhile, the Adaptation Action Plan outlines 40 strategies and 129 actions in sectors such as agriculture, water management, biodiversity, tourism, and public health.

Additionally, a Long-Term Climate Strategy (LTS) has been prepared as a roadmap to achieve Turkey's 2053 Net Zero Emission

pasite geliştirme, eğitim ve adil geçiş gibi kritik unsurları kapsamaktadır. LTS, Türkiye'nin iklim değişikliğiyle mücadelede uzun vadeli vizyonunu ortaya koyarken, hem ulusal düzeyde ekonomik dönüşümü hem de uluslararası iş birliklerini güçlendirecek bir temel oluşturmaktadır.

Türkiye'nin Avrupa Yeşil Mutabakatı ile uyumunu sağlamak adına Yeşil Mutabakat Eylem Planı çerçevesinde yeşil finansman ve yeşil taksonomi alanlarında çalışmalar yürütmekteyiz. Yeşil Taksonomi, yatırımların çevresel sürdürülebilirlik kriterlerine göre sınıflandırılmasını sağlayarak özel sektörün düşük karbonlu projelere yönlendirilmesini amaçlamaktadır. Türkiye, Avrupa Birliği'nin Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması (CBAM) kapsamındaki yükümlülüklerle uyum sağlamak için sanayi sektöründe dönüşüm projeleri geliştirmektedir.

2025 yılında yürürlüğe girmesi hedeflenen Emisyon Ticaret Sistemi (ETS) altyapısını oluşturmak için kapsamlı çalışmalar yapıyoruz. ETS'ye hazırlık sürecinde, Türkiye genelinde sera gazı emisyonlarının etkin izlenmesi ve raporlanması için gerekli kapasite artırımı sağlanmaktadır. Ayrıca, 8 Kasım 2024'te ilk iki yıllık Şeffaflık Raporu (BTR) yayımlanarak Paris Anlaşması kapsamında şeffaflık taahhüdünü güçlendirmiştir.

Başkanlığımızın ve ekibimizin çalışmaları, Türkiye'nin 2053 Net Sıfır Emisyon hedefi doğrultusunda stratejik yol haritalarını belirlerken, aynı zamanda yürütülen çalışmalar bilimsel bir zeminde değerlendirmekte ve uluslararası işbirlikleriyle daha kapsamlı hale gelmektedir. Özellikle Avrupa Birliği uyum projeleri ve uluslararası fon kaynakları ile gerçekleştirilen kapasite geliştirme, teknoloji transferi ve iklim finansmanı projelerinde üniversitelerin katkısını önemsiyoruz. Bu çalışmalarımızla, hem

target. This strategy was presented to the international community at COP29. The LTS incorporates critical elements such as financing, technology transfer, capacity building, education, and a just transition to support sustainable development goals. It provides a long-term vision for Turkey's climate change efforts while fostering both national economic transformation and international cooperation.

To ensure alignment with the European Green Deal, we are conducting studies in areas such as green financing and green taxonomy under the Green Deal Action Plan. Green Taxonomy facilitates the classification of investments based on environmental sustainability criteria, encouraging the private sector to invest in low-carbon projects. Furthermore, Turkey is developing transformation projects in the industrial sector to comply with obligations under the European Union's Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM).

We are also conducting extensive efforts to establish the infrastructure for an Emissions Trading System (ETS), which is expected to come into effect in 2025. During the preparation phase for ETS, we are enhancing capacity across Turkey to monitor and report greenhouse gas emissions effectively. Additionally, on November 8, 2024, we published the first Biennial Transparency Report (BTR), reinforcing our transparency commitments under the Paris Agreement.

The work carried out by our department and team not only defines strategic roadmaps in line with Turkey's 2053 Net Zero Emission target but also ensures that these efforts are evaluated on a scientific basis and enriched through international collaborations. We particularly value the contributions of universities in capacity building, technology transfer, and climate financing projects implemented through EU harmo-

ülkemizin iklim hedeflerine hem de küresel ölçekte iklim değişikliği ile mücadelede katkı sağlamayı hedefliyoruz.

-Gaz ayırma membranlarının mevcut durumdaki performansını ve piyasadaki yerini nasıl değerlendiriyorsunuz?

Gaz ayırma membranları, enerji verimliliği ve çevresel sürdürülebilirlik açısından oldukça umut vadeden teknolojilerdir. Özellikle düşük enerji tüketimi, kompakt tasarımları ve çevre dostu olmaları sayesinde birçok endüstriyel uygulamada kullanım alanı bulmaktadır. Bu membranlar, karbon yakalama, doğal gaz işleme, hidrojen ayrıştırma ve endüstriyel gaz saflaştırma gibi alanlarda kritik bir rol oynamaktadır.

Günümüzde gaz ayırma membranlarının performansı, seçicilik ve geçirgenlik parametreleriyle değerlendirilmektedir. Son yıllarda, polimer bazlı membran teknolojilerinde önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Özellikle polimer nanokompozitmembranlar, yüksek geçirgenlik ve seçicilik sunan bu membranlar, gaz ayırma süreçlerinde verimliliği artırmaktadır. Mikro gözenekli organik polimerler ve metalik-organik iskeletler (MOF) gibi yeni nesil malzemeler, performans açısından geleneksel membranların önüne geçmiştir. Karbon yakalama uygulamalarında, CO_2/N_2 ve CO_2/CH_4 ayrımında daha yüksek verimlilik elde etmek için hibritmembran sistemleri kullanılmaktadır.

Gaz ayırma membranları, hâlâ geleneksel ayırma teknolojileri (örneğin, absorpsiyon, kriyojenik ayırım) ile kıyaslandığında belirli sınırlamalara sahiptir. Ancak bu sınırlamalar hızla aşılmaktadır. Doğal gaz sektöründe membran sistemleri, özellikle su buharı ve CO_2 'nin ayrıştırılmasında büyük bir pazar payına sahiptir. Hidrojen ekonomisi kapsamında yapılan hidrojen saflaştırma ve karbon emisyonlarını azaltma çalışmaları, membranların potansiyelini artırmakta-

nization initiatives and international funding sources. With these efforts, we aim to contribute to both Turkey's climate goals and the global fight against climate change.

- How do you evaluate the current performance and market position of gas separation membranes?

Gas separation membranes are highly promising technologies in terms of energy efficiency and environmental sustainability. Their low energy consumption, compact design, and eco-friendly nature have enabled their use in various industrial applications. These membranes play a critical role in fields such as carbon capture, natural gas processing, hydrogen separation, and industrial gas purification.

Currently, the performance of gas separation membranes is assessed based on selectivity and permeability parameters. In recent years, significant advancements have been made in polymer-based membrane technologies. Notably, polymer nanocomposite membranes, offering high permeability and selectivity, have improved the efficiency of gas separation processes. Next-generation materials, such as microporous organic polymers and metal-organic frameworks (MOFs), have surpassed traditional membranes in performance. Hybrid membrane systems are being utilized in carbon capture applications to achieve higher efficiency in CO_2/N_2 and CO_2/CH_4 separations.

While gas separation membranes still face certain limitations compared to conventional separation technologies (e.g., absorption, cryogenic separation), these challenges are being rapidly addressed. In the natural gas sector, membrane systems hold a significant market share, particularly for separating water vapor and CO_2 . Efforts in hydrogen purification and reducing carbon emissions, especially under the scope



dır.Karbon Yakalama ve Depolama'da (CCS) ise özellikle enerji santralleri ve sanayi tesislerinden CO₂ ayrıştırma süreçlerinde membranlar önemli bir yere sahiptir.

Bununla birlikte, membran teknolojilerinin yaygınlaşması önünde bazı zorluklar bulunmaktadır. Örneğin, membran dayanıklılığı, maliyet etkinliği ve yüksek basınçlı uygulamalarda performans gibi konular üzerinde daha fazla çalışma yapılması gerekmektedir.

Türkiye'de gaz ayırma membranlarının endüstriyel kullanımı hâlâ sınırlıdır, ancak hidrojen ekonomisine yönelik yatırımlar ve karbon emisyonlarının azaltılması hedefleri doğrultusunda bu teknolojilere ilgi artmaktadır. Akademik araştırmalar ve sanayi iş birlikleriyle yerli membran üretimine yönelik çalışmalar yapılmaktadır.

Gaz ayırma membranları, hem ekonomik hem de çevresel faydalarıyla geleceğin önemli teknolojilerinden biri olarak de-

of the hydrogen economy, are further enhancing the potential of these membranes. In Carbon Capture and Storage (CCS), membranes play a vital role in separating CO₂ from power plants and industrial facilities.

However, there are still some obstacles to the widespread adoption of membrane technologies. Issues such as membrane durability, cost-effectiveness, and performance under high-pressure applications require further research and development. In Turkey, the industrial use of gas separation membranes is still limited. However, investments in the hydrogen economy and efforts to reduce carbon emissions are driving increased interest in these technologies. Academic research and industrial collaborations are supporting the development of domestic membrane production.

Gas separation membranes are considered one of the key technologies of the future due to their economic and environmental benefits. Current advancements indicate

ğerlendirilmektedir. Mevcut gelişmeler, bu teknolojinin enerji sektöründen kimya endüstrisine kadar geniş bir yelpazede yaygınlaşacağını göstermektedir. Türkiye'nin de bu alandaki potansiyelini artırmak için Ar-Ge faaliyetlerine ve yerli üretim kapasitesine daha fazla yatırım yapması gerektiğini düşünüyorum.

-Karbon geri kazanımı için en uygun gaz ayırma membranları hangileridir? Malzeme seçimi nasıl olmalıdır? Karbon geri kazanımı için gaz ayırma membranlarının kullanımı yaygınlaşmasını engelleyen faktörler var mıdır?

Karbon geri kazanımı uygulamalarında kullanılan gaz ayırma membranlarının performansı, temel olarak seçicilik ve geçirgenlik özelliklerine dayanır. Karbon dioksit (CO_2) ile diğer gazlar (örneğin, N_2 ve CH_4) arasındaki ayrımı optimize etmek için farklı membran türleri geliştirilmiştir. Bu membranlar, malzeme yapısı ve performans özellikleri açısından birbirinden farklılık gösterir.

Polimer Bazlı Membranlar genellikle karbon ayırma için en yaygın kullanılan seçeneklerdir. Polieterimidler (PEI), polisülfonlar ve poliamid bazlı membranlar, bu alanda sıkça tercih edilen polimerlerdir. Özellikle polyimide gibi yüksek termal ve kimyasal dayanıklılığa sahip polimerler, hem CO_2 geçirgenliği yüksek hem de seçici özellikleriyle öne çıkar.

Kompozit Membranlar, polimer malzemeler ile metal-organik iskeletler (MOF) veya zeolitler gibi malzemelerin birleştirilmesiyle oluşturulur. Bu hibrit membranlar, CO_2/N_2 ve CO_2/CH_4 ayrımında yüksek seçicilik ve mekanik dayanıklılık sunar. Bu nedenle, daha iyi performans arayışında olan karbon yakalama uygulamaları için güçlü bir seçenektir.

İnorganik Membranlar, yüksek sıcaklık ve basınç koşullarında stabil çalışabilme avantajıyla bilinir. Zeolit bazlı membranlar ve karbon moleküler elekler bu

that these technologies will become more prevalent across a wide range of industries, from the energy sector to the chemical industry. I believe that Turkey should increase its investments in R&D activities and domestic production capacity to realize its potential in this field.

- Which gas separation membranes are most suitable for carbon recovery? How should material selection be made? Are there factors hindering the widespread use of gas separation membranes for carbon recovery?

The performance of gas separation membranes used in carbon recovery applications primarily depends on their selectivity and permeability properties. Various types of membranes have been developed to optimize the separation of carbon dioxide (CO_2) from other gases (e.g., N_2 and CH_4). These membranes differ in terms of material structure and performance characteristics.

Polymer-Based Membranes are the most commonly used option for carbon recovery. Polyetherimides (PEI), polysulfones, and polyamide-based membranes are widely preferred polymers in this field. Particularly, polymers like polyimides, which exhibit high thermal and chemical resistance, stand out for their high CO_2 permeability and selectivity.

Composite Membranes, created by combining polymer materials with other materials such as metal-organic frameworks (MOFs) or zeolites, offer high selectivity and mechanical durability for CO_2/N_2 and CO_2/CH_4 separations. These hybrid membranes are a strong option for carbon capture applications seeking improved performance.

Inorganic Membranes are known for their stability under high temperature and pressure conditions. Zeolite-based membranes

gruba dahildir. Ancak, bu membranların üretim maliyetlerinin yüksek olması, kullanım yaygınlığını sınırlayan bir faktördür.

Polimerik Mikro Gözenekli Malzemeler (PIMs), gözenekli yapıları sayesinde CO₂'yi etkin bir şekilde ayırabilir. Bu malzemelerin yüksek geçirgenlik özellikleri, karbon geri kazanımı uygulamalarında önemli avantajlar sağlar.

Karbon geri kazanımı için membran seçimi yapılırken, çeşitli kriterler göz önünde bulundurulur. Gaz geçirgenliği, özellikle CO₂'nin yüksek geçirgenliğinin sağlanması açısından önemlidir. Yüksek geçirgenlik, büyük hacimli gaz akışlarında enerji tasarrufu sağlar. Seçicilik, CO₂'nin diğer gazlardan (örneğin, N₂ ve CH₄) etkin bir şekilde ayrılmasını ifade eder ve polimer yapıya gözeneklilik ve polar gruplar eklenerek artırılabilir. Ayrıca, termal ve kimyasal dayanıklılık, yüksek sıcaklık ve korozyon koşullarında membranların uzun ömürlü olmasını sağlar. Maliyet, hem üretim hem de bakım açısından düşük olmalıdır. Bunun yanı sıra, membranların endüstriyel tesislere kolayca entegre edilebilmesi de önemli bir faktördür.

Gaz ayırma membranlarının karbon geri kazanımında yaygınlaşmasının önündeki en önemli engellerden biri maliyet etkinliğidir. Polimer ve hibritmembranların üretim maliyetleri, geleneksel teknolojilere (örneğin, absorpsiyon veya kriyojenik ayırma) kıyasla daha yüksektir. Ayrıca, membranların düzenli bakım ve yenilenmesi ek maliyetler yaratabilir. Bir diğer sınırlayıcı faktör, membranların performans sınırlamalarıdır. Mevcut membranlar, yüksek basınç altında veya çoklu gaz karışımlarında sınırlı performans gösterebilmektedir. Yüksek geçirgenlik ve seçicilik arasında denge sağlama, hâlâ tasarım açısından çözülmesi gereken bir problemdir.

Operasyonel dayanıklılık, endüstriyel

and carbon molecular sieves fall into this category. However, the high production costs of these membranes limit their widespread use.

Polymeric Microporous Materials (PIMs), with their porous structures, effectively separate CO₂. Their high permeability properties provide significant advantages in carbon recovery applications.

When selecting a membrane for carbon recovery, several criteria must be considered: Gas Permeability: High CO₂ permeability is essential for large-scale gas flows to save energy.

Selectivity: The effective separation of CO₂ from other gases (e.g., N₂ and CH₄) is critical and can be enhanced by adding porosity and polar groups to the polymer structure.

Thermal and Chemical Durability: Ensuring long membrane life under high-temperature and corrosive conditions.

Cost: Both production and maintenance costs should be minimized.

Ease of Integration: The membranes must be easily adaptable to industrial facilities. The primary barrier to the widespread use of gas separation membranes in carbon recovery is cost-effectiveness. The production costs of polymer and hybrid membranes are higher compared to traditional technologies (e.g., absorption or cryogenic separation). Additionally, the need for regular maintenance and replacement of membranes adds extra costs.

Another limiting factor is the performance limitations of membranes. Current membranes may exhibit restricted performance under high pressure or with complex gas mixtures. Balancing high permeability and selectivity remains a design challenge that needs to be addressed.

Operational durability is another challenge

uygulamalarda karşılaşılan bir diğer zorluktur. Özellikle, CO₂ ile birlikte gelen kirleticiler (örneğin, su buharı, kükürt vb.) membranların bozulmasına neden olabilir. Teknolojiye geçiş süreci, mevcut karbon yakalamayöntemlerinden membran teknolojilerine geçişi zorlaştıran başka bir etkidir. Bu süreç, zaman ve yatırım gerektirir.

Son olarak, birçok ülkede yasal ve regülasyon desteğinin eksikliği, karbon yakalama ve depolama projelerine yönelik teşviklerin yetersiz kalması nedeniyle membran teknolojilerinin yaygınlaşmasını zorlaştırmaktadır.

Gaz ayırma membranları, karbon geri kazanımı teknolojileri arasında enerji verimliliği ve çevre dostu özellikleriyle öne çıkmaktadır. Ancak, teknolojinin yaygınlaşması için maliyetlerin düşürülmesi, performansın optimize edilmesi ve endüstriyel dayanıklılığın artırılması gerekmektedir. Bunun yanı sıra, devlet teşvikleri ve Ar-Ge yatırımları, bu teknolojinin potansiyelini tam anlamıyla ortaya çıkarmada kritik bir rol oynayacaktır.

-Uzun vadede membran proseslerin kullanılmasıyla iklim değişikliği konusunda ne gibi farklılıklar gözlemlenebilir?

Membran proseslerinin karbon yakalama ve geri kazanımında uzun vadede yaygın kullanımı, iklim değişikliğiyle mücadelede önemli katkılar sağlayabilir. Bu teknolojiler, enerji santralleri, çimento fabrikaları ve petrokimya tesisleri gibi büyük emisyon kaynaklarından karbon dioksiti etkin bir şekilde ayrıştırarak atmosferdeki CO₂ konsantrasyonunun artışı yavaşlatabilir. Bu durum, iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini hafifletme potansiyeline sahiptir.

Karbon geri kazanımı teknolojileri, doğal gaz ve diğer fosil yakıtların daha sürdürülebilir kullanımını mümkün kılabilir. Ayrıca, biyokütle bazlı enerji sistemleri ile kombine edildiğinde karbon

in industrial applications. Contaminants that accompany CO₂ (e.g., water vapor, sulfur compounds) can degrade membranes over time. Transitioning from existing carbon capture methods to membrane technologies also poses difficulties due to the required time and investment.

Finally, in many countries, the lack of legal and regulatory support, along with insufficient incentives for carbon capture and storage projects, makes it difficult for membrane technologies to gain traction.

Gas separation membranes stand out among carbon recovery technologies due to their energy efficiency and environmentally friendly characteristics. However, for the technology to become widespread, it is crucial to reduce costs, optimize performance, and enhance industrial durability. In addition, government incentives and R&D investments will play a critical role in fully realizing the potential of this technology.

- What long-term differences can be observed in combating climate change through the use of membrane processes?

The widespread long-term use of membrane processes in carbon capture and recovery could significantly contribute to combating climate change. These technologies can effectively separate carbon dioxide from major emission sources such as power plants, cement factories, and petrochemical facilities, slowing the increase in atmospheric CO₂ concentrations. This has the potential to mitigate the adverse effects of climate change.

Carbon recovery technologies can enable the more sustainable use of natural gas and other fossil fuels. Additionally, when combined with biomass-based energy systems, they can achieve carbon-negative energy production. This helps the energy sector reach carbon-neutral or even negative levels, allowing fossil fuels to serve as

negatif enerji üretimi sağlanabilir. Bu, enerji sektörünün karbon nötr veya negatif bir seviyeye ulaşmasına yardımcı olur. Böylece fosil yakıtlar, yenilenebilir enerji sistemlerine geçiş sürecinde köprü bir teknoloji olarak kullanılabilir.

Sanayi sektöründe karbon dioksitin geri kazanımı, sürdürülebilir üretim süreçlerini destekler. Yakalanan karbon, sentetik yakıtlar, kimyasallar veya polimerler gibi ürünlerin üretiminde kullanılabilir. Bu yaklaşım, karbon döngüsünü kapatarak daha az atık ve daha çevreci bir sanayi modeli oluşturur. Aynı zamanda, endüstriyel uygulamalarda karbon yakalama membranlarının kullanımı, döngüsel ekonomi hedefleri doğrultusunda önemli bir adım olarak görülmektedir.

Atmosfere salınan karbon miktarının azaltılması, sera gazı etkisini sınırlayarak küresel sıcaklık artışını kontrol altına alabilir. Bilimsel modellere göre, karbon emisyonlarının azaltılması, aşırı hava olaylarının sıklığını ve şiddetini azaltabilir, deniz seviyesindeki yükselmeyi yavaşlatabilir ve biyoçeşitlilik kaybını önleyebilir. Bu bağlamda, membran teknolojileri, iklim değişikliğinin etkilerinin azaltılmasında kritik bir rol oynar.

Membran prosesleri, diğer karbon yakalama yöntemlerine kıyasla enerji açısından daha verimlidir. Daha az enerji tüketimi, hem karbon ayak izini azaltır hem de ekonomik açıdan avantajlar sunar. Enerji yoğun sektörlerde enerji verimliliğini artırarak düşük karbonlu üretim modellerine geçişi kolaylaştırabilir. Bu durum, uzun vadede hem çevresel hem de ekonomik sürdürülebilirliği destekler. Sonuç olarak, membran proseslerinin karbon yakalama ve geri kazanımında yaygın kullanımı, küresel iklim değişikliğiyle mücadelede etkili bir çözüm olarak öne çıkmaktadır. Uzun vadede bu teknolojilerin benimsenmesi, karbon emisyonlarının azaltılmasını, yenilenebilir enerji sistemlerinin desteklenmesini ve sürdürülebilir üretim süreçlerinin teşvik edilmesini sağlar. Ancak bu potansiyelelin hayata geçirilmesi, teknolojinin ma-

a bridging technology during the transition to renewable energy systems.

In the industrial sector, carbon dioxide recovery supports sustainable production processes. Captured carbon can be used to produce synthetic fuels, chemicals, or polymers. This approach closes the carbon cycle, creating less waste and fostering a more environmentally friendly industrial model. Furthermore, the use of carbon capture membranes in industrial applications is considered a significant step toward achieving circular economy goals.

Reducing the amount of carbon released into the atmosphere limits the greenhouse effect, potentially controlling global temperature increases. According to scientific models, reducing carbon emissions can lower the frequency and intensity of extreme weather events, slow sea-level rise, and prevent biodiversity loss. In this context, membrane technologies play a critical role in mitigating the effects of climate change.

Membrane processes are more energy-efficient compared to other carbon capture methods. Reduced energy consumption not only lowers the carbon footprint but also offers economic advantages. By improving energy efficiency in energy-intensive industries, these technologies facilitate the transition to low-carbon production models. In the long term, this supports both environmental and economic sustainability.

In conclusion, the widespread adoption of membrane processes for carbon capture and recovery emerges as an effective solution for combating global climate change. In the long term, these technologies can help reduce carbon emissions, support renewable energy systems, and promote sustainable production processes. However, realizing this potential will require making the technology cost-effective, enhancing its durability, and strengthening international collaboration.

liyet etkin hale gelmesi, dayanıklılığının artırılması ve devletler arası iş birliğinin güçlendirilmesi ile mümkün olacaktır.

-Gelecekte membranların kullanımının yaygınlaşacağını düşündüğünüz yeni alanlar var mı? Karbon geri kazanımına yönelik yatırımlar için ne gibi teşvikler mevcut?

Membran teknolojilerinin kullanım alanları, karbon geri kazanımı dışındaki uygulamalara doğru genişlemektedir. Gelecekte hidrojen enerjisinin önem kazanmasıyla birlikte, membranlar hidrojen üretimi ve saflaştırma süreçlerinde kritik bir role sahip olabilir. Özellikle, mavi ve yeşil hidrojen üretiminde karbon yakalama ile entegre sistemler, sürdürülebilir enerji hedeflerini destekleyecek şekilde membranların kullanılmasını sağlayabilir.

Biyogaz saflaştırma, membran teknolojilerinin gelecekteki önemli bir kullanım alanıdır. Biyogazın metan ve karbondioksit gibi bileşenlerine ayrılması, doğal gaz kalitesinde yakıt elde edilmesine imkan tanır. Bu durum, yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin şekilde kullanılmasını destekler.

- Are there any new areas where the use of membranes could become widespread in the future? What incentives are available for investments in carbon recovery?

The application areas of membrane technologies are expanding beyond carbon recovery. In the future, with the increasing importance of hydrogen energy, membranes are expected to play a critical role in hydrogen production and purification processes. Particularly in blue and green hydrogen production, integrated systems with carbon capture could enable membranes to support sustainable energy goals.

Biogas upgrading is another significant area for the future use of membrane technologies. Separating the components of biogas, such as methane and carbon dioxide, allows for the production of fuel-grade natural gas. This supports the efficient utilization of renewable energy resources.

Industrial gas separation is another area where membranes could become more widely used. In sectors such as steel, chemical, and petrochemical industries, membranes can offer advantages in puri-

“

Biyogaz saflaştırma, membran teknolojilerinin gelecekteki önemli bir kullanım alanıdır. Biyogazın metan ve karbondioksit gibi bileşenlerine ayrılması, doğal gaz kalitesinde yakıt elde edilmesine imkan tanır. Bu durum, yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin şekilde kullanılmasını destekler.

— — —

Biogas upgrading is another significant area for the future use of membrane technologies. Separating the components of biogas, such as methane and carbon dioxide, allows for the production of fuel-grade natural gas. This supports the efficient utilization of renewable energy resources.

”

Endüstriyel gaz ayrımı da membranların yaygınlaşabileceği bir alandır. Çelik, kimya ve petrokimya gibi sektörlerde azot, oksijen ve argon gibi gazların saflaştırılmasında membranlar, düşük enerji tüketimi ve maliyet avantajı sunarak öne çıkabilir. Ayrıca, yenilenebilir enerji kaynaklarından karbon nötr amonyak ve metanol üretiminde membranların kullanımı, bu kimyasalların karbon döngüsüne entegre edilmesini sağlayabilir. Karbon yakalama ve depolama (CCS) süreçlerine entegre edilen membran sistemleri, özellikle yüksek performans ve düşük maliyet gerektiren uygulamalarda önemli bir potansiyel taşır. Bu tür teknolojiler, deniz altı karbon depolama projelerinde ve enerji üretim tesislerinde karbon yönetimini daha verimli hale getirebilir. Ayrıca, membranlar deniz suyundan karbondioksit yakalama ve su arıtımı gibi yenilikçi uygulamalarda kullanılabilir.

Karbon geri kazanımını teşvik etmek için birçok hükümet ve uluslararası kuruluş çeşitli destek mekanizmaları geliştirmiştir. Vergi indirimleri ve karbon kredileri, bu teşviklerin başında gelir. Örneğin, ABD'deki 45Q Vergi Kredisi, belirli miktarda karbon yakalayan şirketlere mali kolaylık sağlar. Bu tür mekanizmalar, karbon yakalama teknolojilerinin ekonomik fizibilitesini artırmada etkili olmaktadır.

Hibe ve düşük faizli krediler, karbon yakalama projelerinin finansmanında önemli bir rol oynar. Avrupa Birliği'nin InnovFin Enerji ve İklim Projeleri gibi programları, düşük karbonlu teknolojilere yatırım yapan şirketleri destekler. Benzer şekilde, Dünya Bankası ve Asya Kalkınma Bankası gibi uluslararası kuruluşlar, karbon yakalama ve geri kazanım teknolojilerine özel finansman sağlamaktadır.

Karbon piyasaları ve emisyon ticareti, karbon geri kazanımını teşvik eden bir başka mekanizmadır. Avrupa Emisyon

fighting gases like nitrogen, oxygen, and argon due to their low energy consumption and cost-effectiveness. Additionally, membranes could be utilized in the production of carbon-neutral ammonia and methanol from renewable energy sources, integrating these chemicals into the carbon cycle.

Membrane systems integrated into carbon capture and storage (CCS) processes hold significant potential, especially in applications requiring high performance at low costs. Such technologies can improve carbon management in subsea carbon storage projects and energy production facilities. Moreover, membranes could be used in innovative applications like capturing carbon dioxide from seawater and water purification.

To promote carbon recovery, many governments and international organizations have developed various support mechanisms. Tax credits and carbon credits are among the primary incentives. For example, the 45Q Tax Credit in the United States provides financial benefits to companies that capture a specific amount of carbon. Such mechanisms are effective in improving the economic feasibility of carbon capture technologies.

Grants and low-interest loans also play a critical role in financing carbon capture projects. Programs like the European Union's InnovFin Energy and Climate Projects provide support to companies investing in low-carbon technologies. Similarly, international organizations such as the World Bank and the Asian Development Bank offer dedicated financing for carbon capture and recovery technologies.

Carbon markets and emissions trading systems are additional mechanisms that incentivize carbon recovery. Systems like the European Emission Trading System (EU ETS) provide an effective tool for limiting carbon emissions and supporting carbon reduction projects. Companies can

Ticaret Sistemi (EU ETS) gibi sistemler, karbon salımını sınırlamak ve karbon azaltımı projelerini desteklemek için etkin bir araç sunar. Şirketler, yakaladıkları karbon için kredi kazanarak ekonomik avantaj elde edebilir.

Araştırma ve geliştirme desteği, karbon yakalama teknolojilerinin ilerlemesinde kritik bir rol oynar. Devletler, üniversiteler ve özel sektör iş birliğiyle geliştirilen Ar-Ge projeleri, membranların performansını ve dayanıklılığını artırarak daha geniş uygulama alanları bulmasını sağlar. Örneğin, ABD Enerji Bakanlığı düzenli olarak karbon yakalama ve ayırma teknolojilerini destekleyen projelere fon ayırmaktadır.

Yenilenebilir enerji entegrasyonuna yönelik destekler, karbon yakalama teknolojilerinin benimsenmesini hızlandırabilir. Özellikle hidrojen üretimi veya enerji depolama gibi yenilikçi uygulamalarda membran sistemleri önemli bir potansiyele sahiptir. Gelecekte membran teknolojilerinin kullanımının yaygınlaşması, hem enerji hem de sanayi sektörlerinde sürdürülebilirlik hedeflerini destekleyecek şekilde çeşitlenebilir. Ancak bu teknolojilerin geliştirilmesi ve uygulanması, teşvik mekanizmalarının etkinliğine, maliyetlerin düşürülmesine ve uluslararası iş birliğinin güçlendirilmesine bağlıdır. Membran proseslerinin daha geniş alanlarda kullanılması, iklim değişikliğiyle mücadelede etkili bir çözüm sunabilir.

gain credits for the carbon they capture, offering economic advantages.

Research and development (R&D) support is crucial for advancing carbon capture technologies. Collaborative R&D projects involving governments, universities, and the private sector enhance the performance and durability of membranes, enabling their application in a wider range of fields. For example, the U.S. Department of Energy regularly allocates funding to projects supporting carbon capture and separation technologies.

Support for renewable energy integration could accelerate the adoption of carbon capture technologies. In innovative applications such as hydrogen production or energy storage, membrane systems hold significant potential. The widespread use of membrane technologies in the future could diversify in ways that support sustainability goals in both the energy and industrial sectors. However, the development and implementation of these technologies depend on the effectiveness of incentive mechanisms, cost reduction, and strengthened international cooperation. The broader application of membrane processes could provide an effective solution for combating climate change.

Röportaj

Interview

Prof. Dr. Seda Keskin Avcı
Koç Üniversitesi Kimya ve
Biyoloji Mühendisliği

Prof. Seda Keskin Avcı
Koç University,
Chemical and
Biological Engineering



Yazarlar / Authors: Öğr. Gör. Dr. Başak Keskin, Arş. Gör. Berk Esenli, Öznur Vurgun

- Sayın hocam biraz kendinizden bahseder misiniz? Membran prosesler ve döngüsellik, sürdürülebilirlik ile tanışma hikâyeniz nedir?

İsmim Seda KESKİN AVCI. Koç Üniversitesi Kimya ve Biyoloji Mühendisliği bölümünde profesör olarak görev yapıyorum. Boğaziçi Üniversitesi Kimya Mühendisliği bölümünden lisans ve yüksek lisans derecelerimi aldım. Ardından doktoramı Carnegie Mellon'da başlayıp Georgia Tech'te tamamladım. Doktora tezim gözenekli malzemeler olan metal organik yapıların membran olarak atomik düzeyde modellenmesi ve karbon-dioksit-metan karışımının ayrılması için çalışılması üzerineydi. 2009 yılında doktoramı aldıktan hemen sonra Türkiye'ye Koç Üniversitesi'ne döndüm. Yaptığımız işi bir cümle ile tanımlamak gerekirse "hem membran hem de adsorbent olarak kullanılabilecek gözenekli malzemeler olan metal organik yapıların atomik düzeyde modellenmesi, simülasyonu ve makine öğrenmesi algoritmalarının son

- Dear Seda KESKİN AVCI, can you tell us a little about yourself? What is your story of meeting membrane processes, circularity and sustainability?

My name is Seda Keskin Avcı. I am a professor in the Chemical and Biological Engineering Department at Koç University. I received my bachelor's and master's degrees in Chemical Engineering from Boğaziçi University. Afterwards, I started my PhD at Carnegie Mellon University and completed it at Georgia Tech. My doctoral thesis focused on modeling porous materials, specifically metal-organic frameworks (MOFs), at an atomic level for membrane applications and separation of carbon dioxide-methane mixtures. After completing my PhD in 2009, I returned to Turkey and joined Koç University. If I were to summarize our work in one sentence, it would be "the atomic-level modeling, simulation, and application-oriented selection of porous materials that can be used as both membranes and adsorbents, es-

yıllarda eklenmesi ile birlikte uygulamaya yönelik en akıllı ve en iyi malzemenin seçimi” olarak özetleyebilirim.

-Gaz ayırma membranlarının mevcut durumdaki performansını ve piyasadaki yerini nasıl değerlendiriyorsunuz?

Membranlar gaz ayırma teknolojilerinin en önemli elemanları ve çok uzun bir geçmişleri var. Aslında biz membran dendiğinde hep uzun yıllardır kullanılmakta olan, ticarileşmiş ve piyasada yer almış polimer membranlarını düşünüyoruz. Ama artık bu polimer membranların içine koyulan ve bizim de çalıştığımız metal organik yapılar gibi yeni nesil ve nano gözenekli malzemelerle birlikte polimer membranların performansı son derece arttırıldı. Örneğin, karbondioksit – metan gibi bir gaz karışımını ayırmak için kullanılan bir karışık yataklı bir membran ile hem karbondioksit seçiciliğini hem de geçirgenliğini iyileştirmek polimerin içine katılan metal organik yapılar sayesinde mümkün. Bilindiği üzere yüz binlerce malzeme sentezleniyor ve yüzlerce de polimer mevcut bu durum göz önüne alındığında elimizde milyonlarca metal organik yapı - polimer kombinasyonu mevcut olmuş oluyor. Bizim de aslında yapmaya çalıştığımız şey “bu büyük dünya içerisinde hangi MOF ile hangi polimeri bir araya getirirsek daha iyi bir gaz ayırma membranı buluruz” bu sorunun cevabını bulmaya çalışıyoruz.

-Karbon geri kazanımı için en uygun gaz ayırma membranları hangileridir? Malzeme seçimi nasıl olmalıdır? Karbon geri kazanımı için gaz ayırma membranlarının kullanımı yaygınlaşmasını engelleyen faktörler var mıdır?

Bizim çalıştığımız MOF dolgulu polimer membranlarda malzemeyi seçerken dikkat etmemiz gereken birçok faktör var. Burada sadece performans yani seçicilik ve geçirgenlik değerlendirmesi yapmak yetmiyor. Seçilecek MOF malzemesinin o polimerle uyumlu olması,

pecially with the recent addition of machine learning algorithms.”

- How do you evaluate the current performance of gas separation membranes and their place in the market?

Membranes are crucial elements in gas separation technologies and have a long history. When we think of membranes, we think of the polymer membranes that have been commercialized and established in the market for many years. However, the performance of these polymer membranes has been significantly enhanced by incorporating new-generation and nano-porous materials such as metal-organic frameworks (MOFs). For example, improving both the selectivity and permeability of a mixed-matrix membrane used to separate carbon dioxide-methane is made possible by adding MOFs into the polymer matrix. Considering the hundreds of polymers and the hundreds of thousands of materials synthesized, there are millions of MOF-polymer combinations available. What we are trying to do is to find the answer to the question “which MOF combined with which polymer will yield a better gas separation membrane” within this vast world.

- Which gas separation membranes are most suitable for carbon recovery? How should material selection be? Are there any factors that prevent the widespread use of gas separation membranes for carbon recovery?

In our MOF-loaded polymer membranes, there are many factors to consider when choosing the material. Simply evaluating performance in terms of selectivity and permeability is not enough. It is crucial that the selected MOF material is compatible with the polymer, uniformly distributed within it, and does not adversely affect the structural and chemical durability of

malzemenin polimerin içerisinde homojen bir şekilde dağılması, polimerin yapısal ve kimyasal dayanıklılık özelliklerini kötü anlamda etkilememesi gibi faktörlerde çok önemli. Ayrıca yapılan MOF içerikli polimer membranların uzun süre ve tekrar tekrar kullanılabilir olması ve karbon geri kazanımı söz konusu olduğunda nem gibi ya da daha zor kimyasal koşullarda örneğin yüksek basınç ve yüksek sıcaklıkta bozunmadan çalışan membran olması çok önemli. Bütün bu faktörleri göz önüne alarak seçim yapmamız gerekiyor. Genelde literatürde sadece yüksek seçiciliği ve geçirgenliği olan malzemelere odaklanılıyor ama bu malzemelerin az önce bahsettiğim zor kimyasal koşullar altında dayanıklılık özellikleri ve tekrar tekrar kullanılabilir olmaları hem maliyet için hem de sürdürülebilirlik için oldukça önemli.

-Uzun vadede karbon geri kazanımının sürdürülebilirliğe katkıları nelerdir?

Genelde membranlar ile çalıştığımız iki önemli gaz ayırma işlemi var. Bunlardan bir tanesi karbondioksit-metan ki biz karbondioksiti ayırdığımızda doğalgazı saflaştırmış oluyoruz. Yani aslında temiz bir enerji kaynağının daha temiz daha verimli olmasını ve karbondioksitten arınmış olmasını sağlıyoruz. Diğer çalıştığımız ayırma işlemi ise karbondioksit – nitrojen ayırma işlemi ki bunun da önemi baca gazı olarak bilinmesi. Endüstride ve üretim yapılan her yerde bu baca gazı dışarı salınmış oluyor, nitrojen havaya verilebilir tabi ki ama karbondioksitin hele ki şimdi Avrupa Birliği'nin ve bizim ülkemizin de getirdiği kurallar gereği küresel ısınma ile mücadele etmek için karbondioksitin bacadan dışarı direkt salınmaması ve ayrılması gerekiyor. Bütün bu çalışmalarda membranlar çok büyük önem taşıyor.

-Gelecekte membranların kullanımının yaygınlaşacağını düşündüğünüz yeni alanlar var mı?

the polymer. Additionally, it is important that the MOF-containing polymer membranes can be used for long periods and under challenging chemical conditions, such as high pressure and temperature, without degradation. Taking all these factors into account, we need to make our selection. Typically, the literature focuses only on materials with high selectivity and permeability, but the durability properties of these materials under challenging chemical conditions and their ability to be reused multiple times, especially for carbon recovery, are crucial for both cost-effectiveness and sustainability.

-What are the contributions of carbon recovery to sustainability in the long term?

Typically, we work with two important gas separation processes with membranes. One of these is carbon dioxide-methane separation, where separating carbon dioxide means purifying natural gas. This ensures that a clean energy source becomes cleaner and more efficient, free from carbon dioxide. The other process is carbon dioxide-nitrogen separation, which is important as it pertains to flue gas. In industry and production facilities, this flue gas is released into the atmosphere. Nitrogen can be released into the air, but due to regulations from the European Union and our country, combating global warming requires that carbon dioxide should not be released directly into the atmosphere and should be separated. Membranes play a crucial role in all these studies.

-Are there any new areas where you think the use of these membranes will become widespread in the future?

Actually, until now, we have only discussed applications where membranes are used to separate carbon dioxide from natural gas, flue gas, or other gas-

Aslında şu ana dek hep membranların karbondioksitin doğalgazdan, baca gazından ya da başka gazlardan arındırılması için kullanıldığı uygulamalardan bahsettik. Ama tabii ki bu membranların sadece gaz ayırma işlemlerinde de-

es. However, membranes have a significant importance not only in gas separation processes but also in many diverse biological, chemical, and environmental processes. As your work in MEM-TEK Research Center, membranes are need-

“

Burada yaptığımız şey şu aslında teorik olarak hesaplanması oldukça zor olan bazı özellikleri kendimiz simülasyonlarla hesaplıyoruz.

What we are actually doing here is calculating some properties that are theoretically very difficult to compute by using simulations ourselves.

”

ğil çok daha çeşitli birçok biyolojik, kimyasal ve çevresel işlemlerde de önemi var. MEM-TEK Araştırma Merkezi'nde çalışıldığı gibi su ve atıksu arıtımında da membran gerekiyor.

Ben genelde ayırma işlemleri dersini verdiğim zamanlarda öğrencilerime vücudumuzu da bir membran gibi düşünün derim. Böbreğimizin kanı temizleme işlemini düşündüğümüzde ya da akciğerlerimizde oksijenin, karbondioksitin nasıl hareket ettiğini düşündüğümüzde bunların hepsinin birer membran gibi çalıştığını söyleyebiliriz. Zaten yapay böbrekler ve yapay solunum cihazları bir nevi membran mekanizmasını taklit ederek çalışan cihazlardır. Bunların tıp dünyasında ve biyomedikal dünya da büyük yeri var bundan dolayı membranları düşündüğümüzde sadece gaz ayırma işlemleri olarak değil de çevreye, insan sağlığına ve doğaya katkı sunan çok önemli teknolojik cihazlar olarak düşünmek gerekiyor.

-Avrupa Birliği ve ulusal anlamda da destekli çok sayıda projeniz var. Membran malzemeleri konusundaki projelerinizin detaylarını bizlerle paylaşır mısınız?

ed in water and wastewater treatment as well.

When I teach separation processes, I often tell my students to think of our bodies as membranes. When we think about how our kidneys cleanse blood or how oxygen and carbon dioxide move through our lungs, we can say that all of these work like membranes. Indeed, artificial kidneys and artificial respiratory devices operate like as the mechanism of membranes.. These have a significant place in the medical and biomedical world, so when we think about membranes, we should consider them not only as gas separation processes but also as very important technological devices contributing to the environment, human health, and nature.

-You have many projects supported by the European Union and nationally. Could you share with us the details of your projects on membrane materials?

Currently, our main focus is, as I mentioned before, to use artificial intelligence techniques to understand which of the thousands of MOF materials will be better for a specific target applica-

Bizim şu anda ağırlıklı üzerinde durduğumuz konu az önce bahsettiğim gibi yüz binlerce MOF malzemesi arasından hangisinin belirli bir hedef uygulamada daha iyi olacağını anlamak için yapay zeka tekniklerini kullanarak bir arama yapmak. Bunu şöyle basitçe düşünebiliriz. Samanlıkta iğne aramak dediğimiz bir iş. Yani düşünün ki elinizde yüz binlerce MOF var. Bunlardan membran yapabilirsiniz veya bunları polimer membranlara bir dolgu malzemesi olarak ekleyebilirsiniz. Ama hangi polimere hangi MOF'u koyduğunuzda daha iyi bir performans elde edeceğinizi bilemiyorsunuz. Hakikaten yüz binlerce aday olduğu için bu samanlıkta iğne aramak gibi zor bir problem. Bu noktada biz şu an ki projemizde yapay zekayı, teoriyi ve deneyleri birleştiren bir yaklaşım geliştiriyoruz. Burada yaptığımız şey şu aslında teorik olarak hesaplanması oldukça zor olan bazı özellikleri kendimiz simülasyonlarla hesaplıyoruz. Fakat bunu belirli sayıda malzeme grubu için yapıyoruz. Sonrasında buradan elde ettiğimiz sonuçları makine öğrenmesi tekniği kullanarak makineye öğretiyoruz ve makine bize daha önce bizim teorik olarak hesaplarını yapmadığımız MOF'lar için de tahminler sunuyor. O MOF'ların nasıl bir geçirgenliği olacağını tahmin edebiliyoruz. Diyelim ki 1000 malzeme için hesap yaptık. Geri kalan 90 bin küsur malzeme içinde makineye tahmin yaptırdık. Bütün bu 100 bin küsur malzemenin verisine bakıp hangi malzeme bize daha iyi bir karbondioksit geçirgenliği ya da seçiciliği sunuyor bunu gözlemleyebiliyoruz. Sonrasında laboratuvar ortamında deneyler yardımıyla bunları test ediyoruz. Bu benim çok sevdiğim bir konu çünkü hem içinde deneyin hem teorinin hem de veri biliminin olduğu bu üç tekniğin buluştuğu ve işleri aslında hızlandırmaya yönelik kurgulanmış bir proje. Birazcık bunu akıllı malzeme tasarımı ve seçimi olarak düşünüyoruz. Membran dünyasında çok malzeme olması her ne kadar büyük bir

tion. We can think of it simply as looking for a needle in a haystack. Imagine having hundreds of thousands of MOFs. You can make membranes by using them or add them as a filling material to polymer membranes. But we don't know which MOF to put with which polymer to get better performance. Because there are hundreds of thousands of candidates, this is a difficult problem like looking for a needle in a haystack. At this point, we are developing an approach that combines theory and experiments using artificial intelligence. What we do here is actually calculate some properties that are quite difficult to calculate theoretically with simulations. However, we do this for a limited number of material groups. Later, we teach the machine by using machine learning techniques and the data we obtained. The machine gives us predictions for MOFs that we haven't calculated theoretically before. We can predict how permeable those MOFs will be. Suppose we have calculated for 1000 materials. We had the machine predict for the remaining 90 thousand materials. We can observe which material among all these over 100 thousand materials offers better carbon dioxide permeability or selectivity. Then we test them in the laboratory environment with the help of experiments. This is a topic that I love because it is a project that is designed to accelerate the work by combining experiments, theory, and data science. We think a little bit of it as smart material design and selection. Although having many materials in the membrane world seems like a big advantage, finding the right material is quite difficult. It is a long and difficult process to do this job with simulations alone and experimentally test each material in the laboratory. That's why we try to speed up the process by adding machine learning, artificial intelligence techniques, and data science to these steps.



avantaj gibi görülse de doğru malzemeyi bulmak oldukça zordur. Tek başına simülasyonlarla da bu işi yapmak ve deneysel olarak da tek tek her bir malzemeyi laboratuvar ortamında test etmek uzun ve zor bir süreç olduğu için bu adımlara makine öğrenmesini, yapay zeka tekniklerini ve veri bilimini de koyarak süreci hızlandırmaya çalışıyoruz.

- Son olarak, 2017 yılında COSMOS ile Türkiye’de mühendislik alanında ERC Başlangıç Desteği alan ilk kadın araştırmacı oldunuz. Aynı zamanda da gene ERC kapsamında da ilk konsolidatör projemizi de ülkemizde siz aldınız. Genç bilim insanlarına ne tavsiye edersiniz?

Öncelikle ben herkesin ERC kapsamında mutlaka şansını bir kere denemesi gerektiğini düşünüyorum. Başvuran araştırmacı ERC desteğini aldığı takdirde oynadığı ligi değiştirmesine yardımcı olan yani bir üst lige çıkmasına sebep olan, Avrupa’da da Amerika Birleşik

- Finally, in 2017, you became the first female researcher to receive ERC Start-up Support in the field of engineering in Turkey with COSMOS. At the same time, you took over our first consolidator project in our country, also within the scope of ERC. What advice would you give to young scientists?

First of all, I think everyone should definitely try their luck once under the ERC. If the researcher applying for the ERC support wins, it is a very nice funding mechanism that helps them change their league, helping them move up to the top league, a funding mechanism that is very respected in the United States, Europe, and many places where many Nobel-winning scientists have come from. It would be beneficial to try this out. Since there are starting consolidator and advanced levels, I think it is very useful for everyone to write their project idea and apply at their own level and age. Besides, I believe that because the number of ERCs coming from

“

Dolayısıyla hiç vazgeçmeden başarısızlıklarda olsa onları da kabul ederek moralimizi bozmadan kendimizi daha tekrar tekrar daha iyisi için çalışıp başarıya giden yolda azimle ilerlememiz gerekiyor.

Often times, we have to make a lot of revisions in articles and projects, we need to work again and again, we need to work for the best without giving up and working hard to succeed on the path to success.

”

Devletleri'ne de Uzak Doğu'da da çok saygı duyulan ve birçok Nobel'li bilim insanının da daha önce aldığı çok güzel bir fon mekanizması. Mutlaka ki denemekte fayda var. Zaten başlangıç konsolidatör ve ileri seviyeleri olduğu için herkesin kendi seviyesinde, kendi yaşı geldiğinde proje fikrini yazarak başvurmasının çok faydalı olduğunu düşünüyorum. Ayrıca bizim ülkemizde de ERC sayısı gittikçe arttığı için artık Türkiye'den gelen başvurulara daha olumlu bakıldığına da inanıyorum. Benim konum açıkçası çok yeni bir konu olduğu ve uygulama alanları da çok geniş olduğu için ERC'de bu anlamda da şansım oldu diye düşünüyorum.

Genel olarak genç bilim insanlarına tavsiyem ulusal, uluslararası tüm fon mekanizmalarını, yayınlar için en prestijli dergileri denemeleri gerektiği olacak. Burada denemek diye kullanıyorum çünkü her yolladığımız makale malesef kabul olmuyor. Dışarıdan belki böyle bir izlenim var ama bu kesinlikle doğru değil. Her başvurduğumuz proje de kabul edilmiyor. Çoğu zaman makalelerde olsun projelerde olsun çok fazla revizyon yapmamız tekrar tekrar çalışmamız gerekiyor. Dolayısıyla hiç vazgeçmeden başarısızlıklarda olsa onları da kabul ederek moralimizi bozmadan kendimizi daha tekrar tekrar daha iyisi için çalışıp başarıya giden yolda azimle ilerlememiz gerekiyor.

Turkey is increasing, it is believed that the applications from Turkey are now looked upon more positively. I think my position is very new and because it has very wide applications, I think I have been lucky in ERC.

In general, my advice to young scientists will be to try all national and international funding mechanisms and try the most prestigious journals for publications. I use the word "try" here because unfortunately not every article we send is accepted. There is no such thing as every article we send is accepted. Often times, we have to make a lot of revisions in articles and projects, we need to work again and again, we need to work for the best without giving up and working hard to succeed on the path to success.

Röportaj

Interview

Dr. Ing. Oana Cristina David,
Enerji ve Çevre
Bölümü, Tecnalia

Dr. Ing. Oana Cristina David,
Energy and Environmental
Division, Tecnalia



Dr. Miren Etxeberria,
Enerji ve Çevre Bölümü,
Tecnalia

Dr. Miren Etxeberria,
Energy and
Environmental
Division, Tecnalia



- Sayın hocam biraz kendinizden bahsederek misiniz? Membran prosesler ve döngüsellik, sürdürülebilirlik ile tanışma hikâyeniz nedir?

İçi boş fiber (çapı 0,5 mm'den küçük) geometriye sahip membran geliştiriyoruz. Bu geometri, süreci yoğunlaştıran, onu daha modüler ve herhangi bir besleme akışı boyutuna uyarlanabilir (ölçeklenebilir) hale getiren yüksek membran paketlenme yoğunluğuna olanak tanır. Ayrıca içi boş fiber membranlar adsorpsiyon proseslerine göre çok daha az yer kaplar. Bu çok önemlidir, çünkü endüstrideki üretim süreçlerinde,

-What is your story of meeting membrane processes, circularity and sustainability?

We are developing membrane with a hollow fiber (diameter lower than 0.5 mm) geometry. This geometry allows for a high membrane packing density that intensifies the process, makes it more modular and adaptable to any feed flow size (scalable). Also, hollow fiber membranes occupy much less space than adsorption processes. This is very important, because the production processes in industry have limited space to give away for an adjacent

CO₂'yi yakalamak için bitişik teknolojiye ayrılacak alan sınırlıdır.

Ayrıca monolitik, içi boş bir fiber membran da yapıyoruz. Bu, membranın tamamının aynı malzemeden, yani ömrünün sonunda başlangıç monomerlerine geri dönüştürülebilen bir polimerden yapıldığı anlamına gelir.

-Gaz ayırma membranlarının endüstri-deki önemi ve güncel durumu hakkında ne düşünüyorsunuz? Bu membranların karbondioksit ayırma verimliliği hakkında neler söyleyebilirsiniz?

Membranlarla gaz ayırma, biyo-gazın iyileştirilmesi, sentez gazı oranının ayarlanması, hava ayırma vb. için uzun süredir uygulanan bir süreçtir. CO₂'nin N₂'den ayrılması durumunda (karbon yakalama) ise membran teknolojisi çoğunlukla daha az bilinen bir süreçtir çünkü şimdiye kadar daha düşük bir endüstriyel talep görülmüş ve alternatifler yöntemleri endüstride daha iyi bilinmektedir. Bununla birlikte, şu anda çok iyi verimliliklerle pilot ölçekli çözümlere ulaşan iki şirketin olduğu söylenebilir. Pazar büyüklüğü katlanarak arttığından dolayı, yeni şirketlerin birleşebileceği büyük bir alan var.

-Gaz ayırma membranları enerji verimliliğine nasıl katkıda bulunuyor?

Faz değişimiyle yönlendirilen rakip teknolojilerle karşılaştırıldığında, membran prosesler ile gaz ayırma daha az enerji tüketir. Daha enerji verimli bir süreç de daha ucuzdur. Bu nedenle, membranlarla gaz ayırmanın maliyeti, hükümet yasalarının zorunlu kıldığı karbon emisyon maliyetleriyle eşleşebilir ve karbon yakalamayı endüstri için ilgi çekici hale getirebilir.

-Karbon geri kazanımı ekonomik açıdan niçin önemlidir?

Sera gazı emisyonlarının mahsullere, insan sağlığına, sıcak hava dalgalarına ve

technology to capture CO₂.

We also make a monolithic hollow fiber membrane. This means that the entire membrane is made from the same material, a polymer, that at the end of life can be recycled back into the starting monomers.

-What do you think about the importance and current situation of gas separation membranes in industry? What can you say about the carbon dioxide separation efficiency of these membranes?

Gas separation with membranes is a mature process for bio-gas upgrading, syngas ratio adjustment, air separation, etc. In the case of CO₂ separation from N₂ (carbon capture) membrane technology is less established mostly because, until now, there was a lower industrial demand, and the alternatives are better known in industry. Nevertheless, there are two companies reaching pilot scale solutions with very good efficiencies.

The market size is increasing exponentially and there is a big room for new companies to merge in.

-How do gas separation membranes contribute to energy efficiency?

In comparison with the competing technologies, that are driven by a phase change, gas separation with membranes consumes less energy. A more energy efficient process is cheaper. Therefore, the cost of gas separation with membranes can match carbon emission costs imposed by governmental laws and make carbon capture interesting for industry.

-Why is carbon recovery economically important?

It is worldwide acknowledged that the environmental impact of greenhouse gas emissions, such as damage to the

kuraklığa zarar vermesi, su baskını ve deniz seviyesinin yükselmesi nedeniyle mal kaybı gibi çevresel etkilerinin uzun vadede önemli ekonomik dezavantajlara neden olabileceği dünya çapında kabul edilmektedir. Bu nedenle karbon geri kazanımı oldukça önem taşımaktadır. Ayrıca yakalanan CO₂ başlı başına değerli bir ürün haline gelebilir ve CO₂ yakalamayı daha karlı hale getirebilir. CO₂ için halihazırda kullanılan uygulamalar mevcuttur (seralar, betonda karbon mineralizasyonu ve geliştirilmekte olan yeni uygulamalar; sentetik yakıtlar, kimyasallar). Sıfır emisyonlu bir endüstri oluşturmak için yakalanan büyük miktardaki CO₂'yi kullanabilir.

-Ekibinizin yürüttüğü Ar-Ge projelerinizden birkaç iyi uygulama örneği verebilir misiniz?

Bu projelere ait birkaç bağlantı gönderiyorum. Proje web sayfasında, insanlar okuyabilecekleri bültenleri bulabilirler

<https://cordis.europa.eu/project/id/608490>

<https://member-CO2.com/content/home>

<https://biocomem.eu>

<https://cumeri.eu/>

crops, human health, heat waves and droughts, and loss of property from flooding and sea level rise, can induce on the long run important economic drawbacks to the society.

In addition, captured CO₂ can become a valuable product by itself and make CO₂ capture more profitable. There are already established applications for CO₂ (greenhouses, carbon mineralization in concrete) and the new applications under development (synthetic fuels, chemicals) can use the huge amount of captured CO₂ to create a zero-emitting industry.

-Can you give best practice examples on your R&D projects carried out by your team?

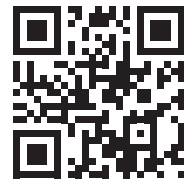
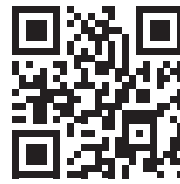
I send a few links to these projects. On project webpage people can find the bulletins to read.

<https://cordis.europa.eu/project/id/608490>

<https://member-CO2.com/content/home>

<https://biocomem.eu>

<https://cumeri.eu/>



- Karbon geri kazanımının çevresel etkilerini nasıl değerlendiriyorsunuz? Karbon geri kazanımı uzun vadede sürdürülebilirliği nasıl katkıda bulunur?

Enerji kullanılmadan endüstriyel prosesler mümkün olmamaktadır. Bu neden-

-How do you assess the environmental impacts of carbon recovery? How does carbon recovery contribute to sustainability in the long term?

There is no industrial process without the use of energy. Therefore, carbon

le karbon yakalama teknolojileri ancak kullanılan enerjinin yenilenebilir kaynaklardan sağlanması durumunda anlam kazanmaktadır.

Dolayısıyla uzun vadede insanlığın sürdürülebilirliği ancak çözümlerin bir kombinasyonunun uygulanmasıyla mümkün olacaktır.

-Gelecekte bu teknolojinin gelişmesiyle ilgili beklentileriniz nelerdir? Karbon geri kazanımına yönelik yatırımlar için ne gibi teşvikler mevcut?

Teknik fizibilite nedeniyle, emisyon maliyetlerinin çok yüksek olması ve dünya çapında uygulanması durumunda bu teknolojinin yakın gelecekte tam olarak geliştirileceğini tahmin ediyorum. Emisyon maliyetleri, karbon geri kazanımına yatırım için en önemli teşviktir. Bu nedenle, hükümet yasaları ve politikaları en önemli rolü oynamaktadır.

Buna ek olarak, CO₂'nin yeni kimyasal sentez rotalarında besleme olarak kullanılması, değerli bir ürün olarak görülecek olan CO₂'ye bakış açısını değiştirecektir.

Dr. Ing. Oana Cristina David

Tecnalia, İspanya, Hidrojen, Malzemeler ve Süreçler Bölümü, Membran Teknolojisi Araştırma Grubu'nda Kıdemli Araştırmacı.

Eylül 2007'de Dr. Ing. Oana Cristina David, Romanya Bükreş Politeknik Üniversitesi Uygulamalı Kimya ve Malzeme Bilimi Fakültesi'nden Kimya Mühendisi olarak mezun oldu. Temmuz 2012'de İspanya Universidad de Cantabria'da Kimya ve Proses Mühendisliği alanında doktorasını tamamladı. Daha sonra Almanya'nın Aachen kentindeki RWTH Üniversitesi'nde 2 buçuk yıl doktora sonrası çalışmalarını yaptı. Artık kimya mühendisliğinde, özellikle membran teknolojisi alanında deneyimli bir araştırmacıdır.

capture technologies make sense only if the used energy would be provided from renewable sources.

Therefore, in the long term, humanity sustainability will be possible only if a combination of solutions will be applied.

-What are your expectations for the development of this technology in the future? What incentives are available for investments in carbon recovery?

Because of technical feasibility, I expect that this technology will become fully developed in the near future, if the emission costs become extremely high and implemented worldwide. The emission costs are the most important incentive for investment in carbon recovery. So, governmental laws and politics play the most important role.

Added to this, the use of CO₂ as feed to new chemical synthesis routes will change the perspective over CO₂ that will be seen as a valuable product.

Dr. Ing. Oana Cristina David

Senior Researcher at Tecnalia, Spain, Division of Hydrogen, Materials and Processes, Membrane Technology Research Group.

In September 2007, Dr. Ing. Oana Cristina David graduated as Chemical Engineer from Faculty of Applied Chemistry and Materials Science, Polytechnic University of Bucharest, Romania. In July 2012 she finished the PhD in Chemical and Process Engineering, Universidad de Cantabria, Spain. Later she performed a 2.5 years and half post-doctoral studies in RWTH University Aachen, Germany. Now she is an experienced researcher in chemical engineering, particularly in the field of membrane technology.

Dr. Miren Etxeberria

Miren Etxeberria Benavides, 2008 yılında Basque Country Üniversitesi'nde (UPV-EHU) Makromoleküller uzmanlığı ile Kimya diplomasını aldı. 2013 yılında aynı üniversitede Uygulamalı Kimya ve Polimerik Malzemeler alanında yüksek lisans derecesi aldı. 2021 yılında Hollanda'nın TU Delft Kataliz Mühendisliği grubunda "CO₂ yakalama için yüksek verimli içi boş fiber membranlar" başlıklı Kimya Mühendisliği doktorasını tamamladı.

2008 yılından bu yana Tecnia (İspanya), Enerji Malzemeleri Bölümü, Membran Teknolojisi Araştırma Grubu'nda araştırmacı olarak çalışmaktadır. Çalışmaları gaz ayırma için polimerik ve karışık matris membranlar üzerine odaklanmıştır. Faz inversiyon tekniği ile polimer sentezi ve düz ve içi boş fiber membran hazırlama konusunda deneyime sahiptir.

Dr. Miren Etxeberria

In 2008 Miren Etxeberria Benavides obtained her Degree in Chemistry with the specialization in Macromolecules at the University of the Basque Country (UPV-EHU). In 2013 she obtained a Master degree in Applied Chemistry and Polymeric Materials at the same university. In 2021 she finished the PhD in Chemical Engineering entitled "high productivity hollow fiber membranes for CO₂ capture" in the group of Catalysis Engineering of TU Delft, The Netherlands.

Since 2008 she works as a researcher at Tecnia (Spain), Division of Materials for Energy, Membrane Technology Research Group. Her work is focused on polymeric and mixed matrix membranes for gas separation. She has experience in polymer synthesis and flat and hollow fiber membrane preparation by phase inversion technique.

MEM-TEK'te gerçekleştirilen çalışmalar

Studies Conducted at MEM-TEK

Yazarlar / Authors: Arş. Gör. Muhammed Furkan Aras, Arş. Gör. Sümeyye Yaşar

Hava Ayrımı için Siloksan Yapılı Polibenzoksazin ile İçi Boş Fiber Membranların Geliştirilmesi

MEM-TEK Araştırma Merkezi ekibimizden Prof. Dr. Vahid Vatanpour Sarghein yürütücülüğünde gerçekleştirilen “Hava Ayrımı için Siloksan Yapılı Polibenzoksazin ile İçi Boş Fiber Membranların Geliştirilmesi” projesi Disiplinler Arası Araştırma Projesi (DAP) olarak desteklenmeye hak kazanmıştır. Proje ekibinde araştırmacı olarak MEM-TEK Merkez Müdürü Prof. Dr. İsmail Koyuncu, Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü'nden Prof. Dr. Barış Kışkan, Kimya-Metalurji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nden Prof. Dr. Bihter Zeytuncu Gökoğlu ve doktora öğrencisi Oğuz Orhun Teber yer almaktadır.

Son yıllarda, membran teknolojisiyle gaz ayırma hızla ilerlemiştir. Bu teknoloji, kullanım kolaylığı, düşük enerji tüketimi ve ekonomik olması nedeniyle tercih edilmektedir. Gaz ayırma süreçlerinde en yaygın olarak polimerik membranlar kullanılmaktadır. Havacılık sektöründe ise yakıt depolarının güvenliği için hafif ve etkili bir çözüm olarak içi boş fiber membranlar kullanılmaktadır.

Development of Hollow Fiber Membranes with Siloxane-Structured Polybenzoxazine for Air Separation

Our project titled “Development of Hollow Fiber Membranes with Siloxane-Structured Polybenzoxazine for Air Separation,” led by Prof. Dr. Vahid Vatanpour Sarghein from the MEM-TEK Research Center team, has been awarded support as an Interdisciplinary Research Project (DAP). The project team includes MEM-TEK Center Director Prof. Dr. İsmail Koyuncu, Prof. Dr. Barış Kışkan from the Chemistry Department of the Faculty of Science and Letters, Prof. Dr. Bihter Zeytuncu Gökoğlu from the Metallurgical and Materials Engineering Department of the Faculty of Chemistry and Metallurgy, and PhD student Oğuz Orhun Teber.

In recent years, gas separation technology using membranes has advanced rapidly. This technology is preferred due to its ease of use, low energy consumption, and cost-effectiveness. Polymeric membranes are the most commonly used in gas separation processes. In the aviation sector, hollow fiber membranes are used as a lightweight and effective solution for the safety of fuel tanks.

Bu projede, polisülfon ile gaz ayırma membranı üretilecek ve optimizasyon çalışmaları sonrası, membranlar yenilikçi siloksan yapılı polibenzoksazin ile kaplanacaktır. Hedef, hem tekli gaz hem de hava kullanarak yüksek geçirgenlik elde etmektir. Performansın artırılması için zeolitlerle karışık matrisli membranlar test edilecektir. Üretilen membranların karakterizasyonu ve performansına göre çözelti, üretim ve kütleme koşulları değiştirilecektir.

Sonuç olarak 24 ay sürmesi planlanan bu projede potansiyeli görülen yenilikçi kaplama ile yeni nesil membran üretimi hedeflenmektedir.

In this project, gas separation membranes will be produced with polysulfone, and after optimization studies, the membranes will be coated with innovative siloxane-structured polybenzoxazine. The aim is to achieve high permeability using both single gases and air. Mixed matrix membranes with zeolites will be tested to enhance performance. The solution, production, and curing conditions will be modified based on the characterization and performance of the produced membranes.

As a result, this 24-month project aims to produce a new generation of membranes with innovative coating that shows potential.

Otomotiv Uyumlu PEM Tipi Yakıt Pili Modül ve Sistem Bileşenlerinin Geliştirilmesi ve Entegrasyonu

Enerji Enstitüsü'nden Prof. Dr. Nilgün Karatepe Yavuz yürütücülüğünde gerçekleştirilen "Otomotiv Uyumlu PEM Tipi Yakıt Pili Modül ve Sistem Bileşenlerinin Geliştirilmesi ve Entegrasyonu" konulu "Çevreye Uyumlu Sürdürülebilir İleri Araç Teknolojileri" projesi TÜBİTAK 1004 programı kapsamında desteklenmeye hak kazanmıştır. Proje ekibinde araştırmacı olarak MEM-TEK Merkez Müdürü Prof. Dr. İsmail Koyuncu, Çevre Mühendisliği Bölümü'nden Prof. Dr. Vahid Vatanpour Sarghein, Doç. Dr. Börte Köse Mutlu, Kimya Bölümü'nden Prof. Dr. Nilgün Kızılcan ve Doç. Dr. Nesrin Köken yer almaktadır.

PEM yakıt hücreleri, yüksek enerji yoğunluğuna ve verimliliğe sahip olduklarından elektrikli araçlarda menzil artırıcı olarak kullanılan en ideal sistemlerdir. Bu projede, 1 kW (300 mW/cm²) çıkış gücüne sahip, ölçeklendirilebilir bir PEM yakıt hücresinin tasarımı ve THS 6 seviyesinde bir prototip ürün geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Proje kapsamında; karbon destekli (grafen gibi) Pt'li ve Pt'siz katalizörlerin üretilmesi, grafen oksit katkılı sülfonlanmış polisülfon membranların sentezlenmesi, karbon/iyonomer oranının belirlenmesi, mürekkep hazırlama ve membran ön-şartlandırma gibi aşamalar sonrasında membran elektrot üniteleri (MEÜ) geliştirilecektir.

Özgün bipolar plaka tasarımı kullanı-

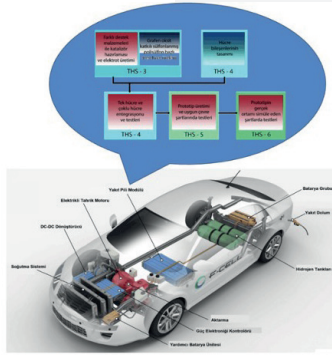
Development and Integration of Automotive - Compatible PEM Fuel Cell Module and System Components

The project titled "Development and Integration of Automotive-Compatible PEM Fuel Cell Module and System Components," led by Prof. Dr. Nilgün Karatepe Yavuz from the Energy Institute, has been awarded support under the TU-BITAK 1004 program for "Environmentally Friendly Sustainable Advanced Vehicle Technologies."

The project team includes MEM-TEK Center Director Prof. Dr. İsmail Koyuncu, Prof. Dr. Vahid Vatanpour Sarghein from the Environmental Engineering Department, Assoc. Prof. Dr. Börte Köse Mutlu, Prof. Dr. Nilgün Kızılcan from the Chemistry Department, and Assoc. Prof. Dr. Nesrin Köken as researchers.

PEM fuel cells, with their high energy density and efficiency, are considered the most ideal systems for range extension in electric vehicles. This project aims to design a scalable PEM fuel cell with an output power of 1 kW (300 mW/cm²) and develop a prototype product at TRL 6 level. The project will involve the production of Pt and non-Pt catalysts supported by carbon (such as graphene), synthesis of sulfonated polysulfone membranes with graphene oxide, determination of carbon/ionomer ratio, ink preparation, and membrane pre-conditioning to develop membrane electrode assemblies (MEAs).

The process will include stack prepa-



larak üretilecek plakalardan oluşacak yığın hazırlama süreci, MEÜ ve hücre yıpranma modellerinin oluşturulması, sızdırmazlık sağlayan conta sistemleri ve yüksek performanslı yığın üretimi çalışmaları içerecektir. Son olarak, yığın entegrasyonu ile otomotive uyumlu bir sistem oluşturulacaktır. Bu projeden elde edilecek sonuçlar ile, ülkemizin bu alandaki ticari potansiyelinin ve rekabet gücünün artırılması hedeflenmektedir.

ration using uniquely designed bipolar plates, development of MEA and cell degradation models, sealing systems to ensure impermeability, and production of high-performance stacks. Finally, an automotive-compatible system will be developed through stack integration. The results of this project aim to enhance the commercial potential and competitiveness of our country in this field.

DÜNYADAKİ VE TÜRKİYE'DEKİ GÜNCEL UYGULAMALAR/HABERLER

Current applications/news in the world and in Türkiye

Yazarlar / Authors: Öğr. Gör. Bahriye Eryıldız-Yesir

Hızlı sanayileşme ve ekonomik büyüme, son yıllarda insanlığın faaliyetlerini geliştirmiş ancak aynı zamanda çevresel bozulmaya ve doğal kaynakların küresel olarak tükenmesine de katkıda bulunmuştur. Hava kirliliği insan sağlığını, çevreyi, iklimi ve ekonomiyi tehlikeye sokan önemli bir küresel tehlikedir. Endüstriyel faaliyetler, ulaşım, tarım ve enerji üretimi de dahil olmak üzere atmosfere salınan kirleticiler başlıca nedenlerdir. Hava kirliliğini azaltmak için potansiyel bir yöntem, kirleticili emilimi ve sürdürülebilir enerji üretimi için benzersiz alternatifler sunan membran teknolojisi. Bu kapsamda gaz ayırma membranları, işletme maliyetlerini düşürmeye ve verimliliği artırmaya odaklanan mühendislik alanında uzun süredir merkezi bir süreç olmuştur. Bültenin bu kısmında Türkiye ve Dünya'da gaz ayırma membranları ve karbon geri kazanımı kapsamında yenilikçi ve geleceğe ışık tutabilecek çalışmaları derledik.

Rapid industrialization and economic growth in recent years have advanced human activities but have also contributed to environmental degradation and the global depletion of natural resources. Air pollution is a significant global threat that endangers human health, the environment, the climate, and the economy. The primary causes are pollutants released into the atmosphere from industrial activities, transportation, agriculture, and energy production. A potential method to reduce air pollution is membrane technology, which offers unique alternatives for pollutant absorption and sustainable energy production. In this context, gas separation membranes have long been a central process in engineering, focusing on reducing operating costs and increasing efficiency. In this section of the bulletin, we have compiled innovative and forward-looking studies on gas separation membranes and carbon recovery in Türkiye and around the world.

Yenilikçi Membran Platformu, 'Bir Avuç Dolusu Gaz Atomuna Kadar' Analiz Yapılmasını Sağlıyor

Northwestern Üniversitesi araştırmacıları, gaz moleküllerini gerçek zamanlı olarak analiz ederken barındıran yeni bir yöntem geliştirdi. Bu yöntemde, doğada bulunan petek yapılarından ilham alarak örneği kaplayan ultra ince seramik bir membran kullanıldı.

Gaz atomlarının özgün bağları aracılığıyla imzalarını çıkarmanın yanı sıra, bu kapsülleme stratejisi yüksek vakumlu geçirimli elektron mikroskopları içinde katı nanoyapıların görüntülenmesini artırmak için çalışmaktadır. Bu araçlar, temel araştırmalar yapan ulusal laboratuvarlardan, pratik uygulamalar yaratan yenilikçi girişimlere kadar geniş bir yelpazede kullanılabilmektedir.

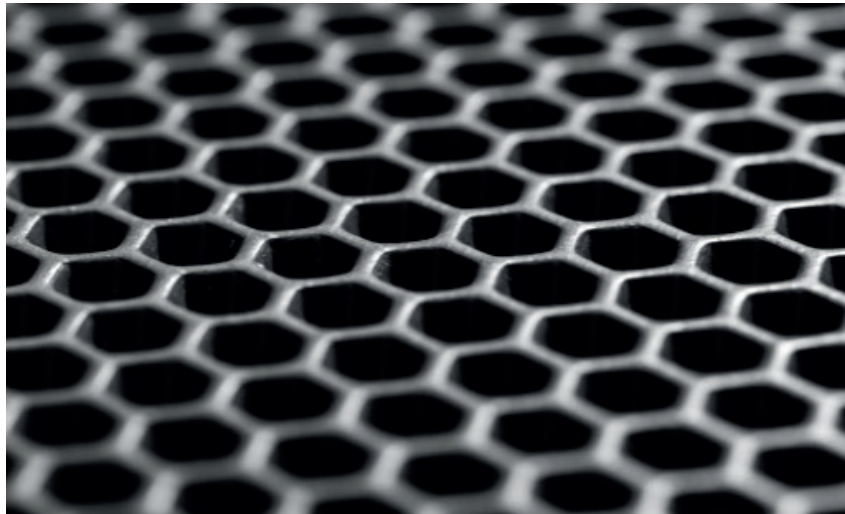
Elektronlar bir örnekten geçerken orijinal yollarından saptığı anda, görüntü çözünürlüğü ve kontrastı bozulmaktadır. Northwestern'daki bir malzeme bilim-

The Innovative Membrane Platform Enables Analysis 'Down to a Handful of Gas Atoms'

Researchers at Northwestern University have developed a new method for real-time analysis of gas molecules. This method involves using an ultra-thin ceramic membrane, inspired by naturally occurring honeycomb structures, to encapsulate the sample.

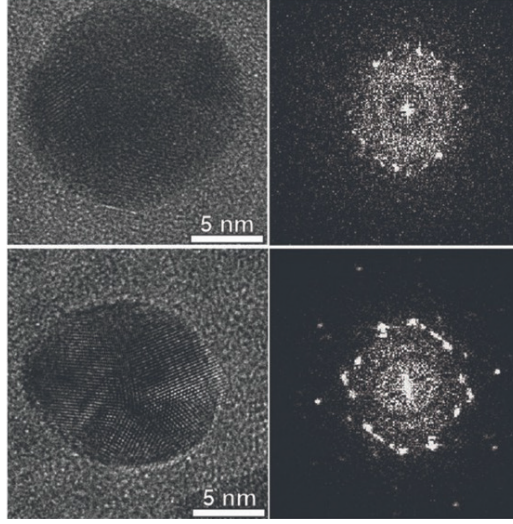
Besides extracting signatures of gas atoms through their unique bonds, this encapsulation strategy enhances the imaging of solid nanostructures within high-vacuum transmission electron microscopes. These tools are employed in a wide range of applications, from fundamental research in national laboratories to innovative ventures creating practical applications.

When electrons deviate from their original paths while passing through a sample, the image resolution and contrast are compromised. The resulting silicon



Bilim insanları, her iki tarafında membran bulunan bir hücre sağlamak için petek yapı üzerine ultra ince bir silikon nitrür filmi sabitlediler.

Scientists have affixed an ultra-thin silicon nitride film onto a honeycomb structure to create a cell with a membrane on each side.



Şekil 1. Kapsülleme öncesi (üstte) ve sonrası (altta) Au nanopartiküllerinin yüksek çözünürlüklü geçirimli elektron mikroskobu görüntüleri

Figure 1. High-resolution transmission electron microscope images of Au nanoparticles before (top) and after (bottom) encapsulation.

ciler ekibi tarafından tasarlanan sonuçta ortaya çıkan silikon nitrür mikroçipi, arka plan saçılmasını minimize etmiştir.

“Ekibimiz, elektronların nanoreaktörden minimum sapma ile geçebileceği kadar ince bir membran geliştirdi,” ifadelerini kullanan malzeme bilimci Vinayak Dravid, “Petek yapımıza ultra ince silikon nitrür filmi sabitledik ve bu bize her iki tarafında da zar bulunan bir hücre sağladı.” şeklinde ekledi.

“Geleneksel zarların kalınlığı, mikroskopun yarattığı son derece yüksek vakum altında mekanik bütünlüğü korumak için genellikle çok büyük olur,” dedi Dravid. “Çok kalın gözlüklerim olması ve bu nedenle çok fazla ışık emmesi gerektiğini hayal edin, sonuç olarak pek bir şey göremem. Bizim icadımızla ürettiğimiz görüntüler, sanki gözlükleri buğusuz hale getirmiş gibi görünüyor.”

Dravid, bu farkı, daha önce görünmeyen cisimlerin odaklandığı James Webb Uzay Teleskobu’na benzetti. Önemli olarak, membran, ekibin “bir avuç gaz atomuna” kadar bir analiz yapabilmek için spektroskopiyi kullanmasına olanak tanıdı — örneğin, karbon dioksit ve karbon monoksit gibi, daha önce aynı görünen moleküller arasındaki farkı ayırt

nitride microchip, designed by a team of materials scientists at Northwestern, minimizes background scattering.

“Our team developed a membrane thin enough for electrons to pass through the nanoreactor with minimal deviation,” explained materials scientist Vinayak Dravid. “We affixed an ultra-thin silicon nitride film to our honeycomb structure, which provided us with a cell that has a membrane on each side.”

“The traditional membranes are typically too thick to maintain mechanical integrity under the extremely high vacuum created by the microscope,” said Dravid. “Imagine having very thick glasses that absorb a lot of light, resulting in seeing very little. The images produced with our invention look like the glasses have been defogged.”

Dravid compared this difference to the James Webb Space Telescope, which brought previously unseen objects into focus. Importantly, the membrane allowed the team to use spectroscopy to analyze “down to a handful of gas atoms”—distinguishing between molecules that previously appeared identical, such as carbon dioxide and carbon monoxide, which is critical in emerging

ederek, bu da gelişmekte olan temiz enerji teknolojilerinde kritiktir.

Spektroskopi, araştırmacıların gördükleri atomlarla elektronların nasıl etkileşime girdiğini görmelerini sağlar, nasıl enerji absorbe ettiğini, yansıttığını veya yaydığını gösterir ve benzersiz bir spektroskopik parmak izi ortaya çıkarır.

Zaman, basınç ve sıcaklıkla birlikte nasıl değişiklikler olduğunu analiz etme yöntemi geliştirmek ve sıvıların nanopartiküllerle nasıl etkileşime girdiğini görmek, moleküler düzeyde gelişmekte olan temiz enerji ve pil teknolojileri için kritiktir. Bu yeni ilerleme ile, fotovoltailer ve katalitik enerji sistemleri gibi uygulamalı teknolojiler, nano ve elektronik uzunluk ölçeklerinde daha iyi analiz edilebilir.

“Ultra ince seramik membran, yalnızca elektron mikroskopisi ile sınırlı kalmayarak daha geniş bir disipline uygulanabilir,” dedi Hu. “Örneğin, ışık veya X-ışını karakterizasyonları için daha iyi sonuçlar beklenmektedir. Ve strateji, düşük kalınlık ama yüksek mekanik dayanıklılık gerektiren diyaframlar ve mekanik bileşenler için geniş ölçüde uygulanabilir.”

Yeni teknikle, araştırmacılar önceki deneylere kıyasla yaklaşık 2.36 angstromdan yaklaşık 1.02 angstrom çözünürlüğe kadar görebilmektedir. Ekip, bugüne kadar kendi alanlarında kaydedilen en yüksek mekansal çözünürlük ve spektral görünürlüğe ulaştıklarını söyledi.

Mikroskopların ötesinde, ekip platform teknolojilerini diğer sorunlara uygulamayı umuyor, çünkü kapsülleme tekniği herhangi bir mikroçip veya optik tabanlı tekniğe uygulanabilir.

“Her alanda, daha ince daha iyidir çünkü kalın kaptan alınan bilgi, içerideki nesneden alınan bilgiye göre daha azdır,” dedi Koo.

clean energy technologies.

Spectroscopy enables researchers to see how electrons interact with the atoms they are imaging, showing how they absorb, reflect, or emit energy, and revealing a unique spectroscopic fingerprint.

Developing methods to analyze how these interactions change with time, pressure, and temperature, and seeing how liquids interact with nanoparticles at the molecular level, is crucial for emerging clean energy and battery technologies. With this new advancement, applied technologies like photovoltaics and catalytic energy systems can be better analyzed at nano and electronic length scales.

“The ultra-thin ceramic membrane is not limited to electron microscopy but can be applied across a broader range of disciplines,” said Hu. “For instance, better results are expected for light or X-ray characterizations. The strategy can be widely applied to diaphragms and mechanical components that require low thickness but high mechanical durability.”

With the new technique, researchers can achieve resolutions of approximately 1.02 angstroms compared to around 2.36 angstroms in previous experiments. The team stated that they have reached the highest spatial resolution and spectral visibility recorded in their field to date.

Beyond microscopes, the team hopes to apply their platform technologies to other problems, as the encapsulation technique can be applied to any microchip or optics-based technique.

“In every field, thinner is better because the information obtained from a thick container is less than the information from the object inside,” said Koo.

Evonik, SEPURAN Green membranları kullanarak 1.000'inci biyogaz yükseltme tesisi kurulumunu kutluyor

Evonik'in SEPURAN Green membranlarıyla biyogaz yükseltme için 1.000'inci referans tesisi, Almanya'nın Kuzey Ren-Vestfalya eyaletindeki Heek'te inşa ediliyor.

The "PurePac" biyogaz yükseltme projesi, Hollandalı tesis inşaatçısı Bright Renewables tarafından üç yerel çiftlik sahibi adına Heek, Kuzey Ren-Vestfalya, Almanya'da gerçekleştiriliyor. Başlıca gübrelerden oluşan organik kütlesi, biyogaz üretimi için kullanılacaktır. Biyokütle, Evonik'in Sepuran Green içi boş fiber membranları kullanılarak yüksek

Evonik celebrates the installation of its 1,000th biogas upgrading plant using SEPURAN Green membranes

Evonik's 1,000th reference plant for biogas upgrading using SEPURAN Green membranes is being constructed in Heek, North Rhine-Westphalia, Germany.

The "PurePac" biogas upgrading project, undertaken by Dutch facility builder Bright Renewables on behalf of three local farm owners in Heek, North Rhine-Westphalia, Germany, is set to utilize organic mass primarily consisting of major fertilizers for biogas production. Biomass will be processed to



Şekil 2. SEPURAN Green membranı
Figure 2. SEPURAN Green membrane.

saflıkta biyometan ve 1.200 kg/saat Biyokarbondioksit üretecek şekilde 1.600 Nm³/saat ham biyogaz üretecektir.

Yüksek konsantre biyometan yerel doğal gaz şebekesine verilecektir. Gıda sınıfı Biyokarbondioksit tesis içinde üretilen ve örneğin bölgesel içecek endüstrisi için başka bir yenilenebilir hammadde kaynağı olarak kullanılacaktır.

generate 1,600 Nm³/h of raw biogas, producing high-purity biomethane and 1,200 kg/h of food-grade bio-CO₂ using Evonik's SEPURAN Green hollow fiber membranes.

The high-concentration biomethane will be fed into the local natural gas grid, while food-grade bio-CO₂ will be produced on-site, serving as a renewable

“Sepuran Green membranlarıyla ilk biyogaz test tesisi arasında sadece on iki yıl var,” diyor Evonik’in Zarlar İnovasyon Büyüme Alanı başkanı Dr. Goetz Baumgarten. “Zar işimizin pazar başarısı, Evonik’in polimer uzmanlığından kaynaklanan yenilikçilik gücüne dayanmaktadır.” Sepuran 2011’de piyasaya sürüldüğünden beri, Evonik seçilmiş ortaklarla birlikte zar teknolojisini biyogaz yükseltmede yeni bir kalite standardına dönüştürmek için çalışmıştır.

Almanya’da yılda yaklaşık 95 teravat saat (TWh) biyogaz üreten yaklaşık 10.000 biyogaz tesisi bulunmaktadır. Bunun yaklaşık 85 TWh’si yerinde elektrik ve ısıya dönüştürülmektedir. Membranlar kullanılarak biyogaz yükseltme, yenilenebilir enerji kaynağını yüksek saflıkta bileşenler biyometan ve biyokarbondioksit olarak verimli bir şekilde kullanmanın başka bir yoludur.

Sepuran Green membranları, Evonik’in Avusturya’nın Schörfling şehrindeki tesisinde üretilmektedir. Temel malzeme olan yüksek performanslı bir polimer ise komşu Lenzing’de üretilmektedir.

feedstock source for regional beverage industries, among others.

“There are just twelve years between the first biogas pilot plant with SEPURAN Green membranes,” says Dr. Goetz Baumgarten, Head of Membranes Innovation Growth Field at Evonik. “The success of our membrane business reflects the innovative power stemming from Evonik’s polymer expertise.”

Since its launch in 2011, SEPURAN has been a cornerstone technology for Evonik and its selected partners in setting a new quality standard for biogas upgrading. In Germany alone, there are approximately 10,000 biogas plants producing around 95 terawatt-hours (TWh) of biogas annually. About 85 TWh of this biogas is converted into onsite electricity and heat. Using membranes for biogas upgrading offers an efficient way to utilize renewable energy sources in the form of high-purity components like biomethane and bio-CO₂.

SEPURAN Green membranes are manufactured at Evonik’s facility in Schörfling, Austria. The base material—a high-performance polymer—is produced nearby in Lenzing. This integration ensures quality control and supports Evonik’s commitment to sustainable and efficient biogas upgrading solutions.

Karbondiyoksit salınımını engellleyen membran geliştirildi

Gebze Teknik Üniversitesi (GTÜ) Nanoteknoloji Enstitüsü bilim insanları, verimli ve ekonomik enerji üretimi için karbondioksitin havaya salımını engelleyen membran geliştirdi.

Gebze Teknik Üniversitesi (GTÜ) Nanoteknoloji Enstitüsü bilim insanları, verimli ve ekonomik enerji üretimi için karbondioksitin havaya salımını engelleyen membran geliştirdi. TÜBİTAK tarafından desteklenen projede Dr. Öğretim Üyesi Sadiye Velioğlu ve ekibince iklim değişikliğine çözüm olarak sera gazı emisyonlarını sıfıra indirmek için geliştirilen membranların, çeşitli gazlardan karbondioksidi ayırtırmada kullanılacağı belirtildi.

İklim değişikliğinin tüm canlıları tehdit eden kıtlık, kuraklık, yangın ve sel baskını gibi ciddi sonuçlara neden olduğunu belirten GTÜ Nanoteknoloji Enstitüsü Dr. Öğretim Üyesi Sadiye Velioğlu, membran teknolojilerinin mevcut kullanılan teknolojilere göre çok fazla avantajının bulunduğunu belirtti.

A membrane that prevents carbon dioxide emissions has been developed

Gebze Technical University (GTU) Nanotechnology Institute scientists have developed a membrane that prevents the release of carbon dioxide into the atmosphere, aiming for efficient and cost-effective energy production. Supported by TÜBİTAK (The Scientific and Technological Research Council of Türkiye), the project led by Dr. Assistant Professor Sadiye Velioğlu and her team focuses on developing membranes to zero out greenhouse gas emissions as a solution to climate change. These membranes are designed to separate carbon dioxide from various gases.

Dr. Assistant Professor Sadiye Velioğlu from GTU Nanotechnology Institute emphasized the severe consequences of climate change, such as scarcity, droughts, wildfires, and floods threatening all life forms. She highlighted the significant advantages of membrane technologies over currently used methods.



Yeni membran tabanı, gaz arıtma maliyetlerini dokuz kat azaltacak

A.V. Topchiyev Petrokimya Sentezi Enstitüsü'ndeki Rusya Bilimler Akademisi (RAS) bilim insanları, doğal gazdan ağır hidrokarbonların uzaklaştırılması için kullanılan zarlar için yeni bir taban geliştirdi. Bu taban, kükürt içeren bir polimer olan polisülfon'dan yapılmış olup, gaz ayırma için kullanılan enerjiyi dokuz kat azaltacak ve gaz arıtma sürecinin hızını ikiye katlayacak. Araştırmanın sonuçları Separation and Purification Technology dergisinde yayımlandı.

Ağır hidrokarbonları (üç veya daha fazla karbon atomu içeren) doğal gazdan uzaklaştırmanın en verimli yolu, silisli polimerlerin bazında yapılan gaz ayırma membran ünitelerini kullanmaktır. Bu tür ünitelerdeki membranlar, yoğun bir ayırma tabakası ve gözenekli bir taban içerir. Ayırma, doğal gaz bileşenlerinin farklı geçirgenliği sayesinde yapılır: ağır hidrokarbonlar (etan, propan, butan), metandan onlarca kez daha hızlı bir şekilde geçirgen bir tabaka olan ayırma katmanından geçer. Ayırma tabakasından sonra, metan/etan/propan/butan karışımı gözenekli tabandan geçer ve bu, metandan yabancı kirleticilerin uzaklaştırılmasına yol açar.

İdeal olarak, taban gaz hareketi için herhangi bir engel oluşturmamalıdır. Bu, ağır hidrokarbonların ayırma katmanından hızlı bir şekilde geçmesi ve metandan kirleticilerin daha hızlı uzaklaştırılması için gereklidir. Bu nedenle, gaz ayırma membranların verimliliği, tabanın geçirgenliğine bağlıdır ve bu da direncin ters orantısında bulunur.

New membrane base will reduce gas treatment costs by ninefold

Russian Academy of Sciences (RAS) scientists at the A.V. Topchiev Institute of Petrochemical Synthesis have developed a new base for membranes used in the removal of heavy hydrocarbons from natural gas. This base, made from a sulfur-containing polymer called polysulfone, is set to reduce the energy used in gas separation by nine times and double the speed of the gas purification process. The research results were published in the journal Separation and Purification Technology.

The most efficient method for removing heavy hydrocarbons (containing three or more carbon atoms) from natural gas involves using gas separation membrane units based on silica polymers. These units consist of membranes with a dense separation layer and a porous base. Separation occurs due to the different permeabilities of natural gas components: heavy hydrocarbons (ethane, propane, butane) pass through a separation layer that is orders of magnitude more permeable than methane. After passing through the separation layer, the methane/ethane/propane/butane mixture passes through the porous base, which removes impurities from methane.

Ideally, the base should not pose any obstacles to gas movement. This is necessary for the rapid passage of heavy hydrocarbons through the separation layer and the faster removal of impurities from methane. Therefore, the efficiency of gas separation membranes depends on the permeability of the

Rusya Bilimler Akademisi Petrokimyasal Sentez Enstitüsü'ndeki bilim insanları, duvar kalınlığı 300 mikrometre (μm) olan kükürt içeren fiber polimer (polisülfon) taban geliştirdiler, bu da yaklaşık olarak tek bir insan teline göre 10 kat daha incedir. Zarın maksimum direncini sağlamak için, geliştiriciler, bazın içinde doymuş hidrokarbonları (pentan, heksen, heptan) taşıyan fiberlerin yüzey yapısını değiştirdiler. Bu, tabanın gaz geçirgenliğini daha önce bilinen tüm gözenekli içi boş fiber analoglarından 10 kat daha yüksek hale getirdi. Böylelikle, bu gelişme kompozit membranların geçirgenliğini ikiye katlayabilir ve gaz ayırma enerji maliyetlerini dokuzdan fazla azaltabilir.

“Şu anda laboratuvarımız, gaz ayırma membranlarının ayırma tabakaları için sadece tabanları değil, yeni malzemeler de geliştiriyor. Şu anda oldukça kalın ayırma katmanları kullanılıyor - yaklaşık olarak 3 bin nanometre. Onları daha ince yapmanın ve kompozit membranların geçirgenliğini daha da artırmanın bir yolunu bulmaya çalışıyoruz,” Rus Bilimler Vakfı'nın araştırmacının yazarlarından biri olan Dmitry Matveyev'i, RAS Petrokimyasal Sentez Enstitüsü polimer zarlar laboratuvarı mühendisi olarak alıntılıyor.

base, which inversely correlates with resistance.

Scientists at the RAS Institute of Petrochemical Synthesis have developed a sulfur-containing fiber polymer (poly-sulfone) base with a wall thickness of 300 micrometers (μm), which is approximately 10 times thinner than a single human hair. To maximize the membrane's resistance, developers altered the surface structure of fibers carrying saturated hydrocarbons (pentane, hexane, heptane) within the base. This increased the gas permeability of the base to be 10 times higher than all previously known porous hollow fiber analogs. Consequently, this development could potentially double the permeability of composite membranes and reduce gas separation energy costs by more than nine times.

“At our laboratory, we are not only developing bases for the separation layers of gas separation membranes, but also new materials. Currently, quite thick separation layers are used—approximately 3,000 nanometers. We are trying to find ways to make them thinner and further increase the permeability of composite membranes,” quoted Dmitry Matveyev, an engineer at the RAS Institute of Petrochemical Synthesis polymer membranes laboratory and one of the authors of the research, from the Russian Science Foundation.

Wyoming'deki kömür santralinde membran tabanlı CO₂ yakalama pilotu şu anda inşa edilmektedir

Membrane-based CO₂ capture pilot at coal power plant in Wyoming currently



2024 yılında işletmeye geçtiğinde, MTR Karbon Yakalama projesinin, dünyadaki temiz membran teknolojisine dayalı en büyük yakalama tesisi olacağını söylüyor.

Membrane Technology and Research (MTR) Carbon Capture, Basin Electric Power Cooperative'nin Dry Fork kömürle çalışan elektrik santralinden CO₂ yakalamak için bir pilot proje inşaatına başladı.

MTR Carbon Capture, Gillette, Wyoming'deki Dry Fork tesisinde bulunan bir karbon yakalama ve kullanımı test tesisi olan Wyoming Entegre Test Merkezi'nden faaliyet gösterecek. Test tesisi, CO₂ yakalama teknolojisi şirketlerine, aksi takdirde tesisin atık gazından salınacak olan egzoz gazına erişim imkanı sağlar.

under construction

In 2024, when operational, the MTR Carbon Capture project claims it will be the world's largest carbon capture facility based on clean membrane technology. Membrane Technology and Research (MTR) Carbon Capture has begun construction on a pilot project to capture CO₂ from Basin Electric Power Cooperative's Dry Fork coal-fired power plant.

MTR Carbon Capture will operate from the Wyoming Integrated Test Center, a carbon capture and utilization test facility located at the Dry Fork facility in Gillette, Wyoming. The test facility provides access to exhaust gas otherwise emitted from the plant for carbon capture technology companies.

MTR Carbon Capture will utilize the

MTR Carbon Capture, Dry Fork Santralı'nda günlük 150 metrik ton CO₂ 'den fazlasını yakalamak için özel Polaris polimerik membranı kullanacak. Şirketin Karbon Yakalama Direktörü Brice Freeman'a göre, pilot proje "yüzde 90'a kadar ve ötesinde bir yakalama oranıyla" işletilecek.

Bu tür pilotların çoğunda olduğu gibi, bu çabaya destek veren ödül depolamayı içermemektedir, ancak Freeman, "MTR Carbon Capture'ın, yüksek saflıkta, taşıma için hazır CO₂ sağlama konusunda ilgilenen alıcılarına açık olduğunu" belirtti.

proprietary Polaris polymeric membrane to capture more than 150 metric tons of CO₂ daily at the Dry Fork Power Station. According to Brice Freeman, Director of Carbon Capture at the company, the pilot project will operate with "capture rates of up to and exceeding 90 percent."

Similar to many such pilots, this effort does not include carbon storage, but Freeman noted that "MTR Carbon Capture is open to potential buyers interested in high-purity, transport-ready CO₂ supply."

Kaynaklar / References

Northwestern (17 Ocak, 2024). Yenilikçi Membran Platformu, 'Bir Avuç Dolusu Gaz Atomuna Kadar' Analiz Yapılmasını Sağlıyor. Erişim Tarihi: 28 Mayıs 2024, <https://news.northwestern.edu/stories/2024/01/innovative-membrane-platform-gas-atoms-analysis/>

Filtration and Separation (28 Eylül 2023). Evonik, SEPURAN Green membranları kullanarak 1.000'inci biyogaz yükseltme tesisi kurulumunu kutluyor. Erişim Tarihi: 28 Mayıs 2024. <https://www.filtsep.com/content/news/evonik-celebrates-1-000th-biogas-upgrading-plant-using-sepuran-green-membranes>

Global Energy (17 Kasım 2023). Yeni membran tabanlı, gaz arıtma maliyetlerini dokuz kat azaltacak. Erişim Tarihi: 28 Mayıs 2024. <https://globalenergyprize.org/en/2023/11/17/new-membrane-base-to-reduce-the-gas-purification-costs-nine-times/>

Power Engineering (9 Temmuz 2023). Wyoming'deki kömür santralinde membran tabanlı CO₂ yakalama pilotu şu anda inşa edilmektedir. Erişim Tarihi: 28 Mayıs 2024. <https://www.power-eng.com/news/membrane-based-CO2-capture-pilot-now-under-construction-at-wyoming-coal-plant/#gref>

MEM-TEK'TEN HABERLER

NEWS FROM MEM-TEK

Profesörlük

Professorship

MEM-TEK Araştırma Grubumuzdan Prof. Dr. Bihter ZEYTUNCU GÖKOĞLU, Prof. Dr. Hale ÖZGÜN ERŞAHİN, Prof. Dr. Mahmut ALTINBAŞ ve Prof. Dr. Mustafa Evren ERŞAHİN hocalarımız 2024 yılında Profesör ünvanlarını almışlardır.

Prof. Bihter ZEYTUNCU GÖKOĞLU, Prof. Hale ÖZGÜN ERŞAHİN, Prof. Mahmut ALTINBAŞ ve Prof. Mustafa Evren ERŞAHİN from our MEM-TEK Research Group received the title of Professor on 2024.



Mezuniyet

Graduation

Dr. MEHMET EMİN PAŞAOĞLU,
Rwth Aachen Üniversitesi'nde
Doktora Sonrası Çalışmalarını
Tamamladı

DR. MEHMET EMİN PASAOGLU
Completed His Post-Doctoral
Studies At Rwth
Aachen University



Merkez Müdür Yardımcımız Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Emin Paşaoğlu Nisan 2023'te 1 yıl süreyle Almanya'nın Aachen şehrinde bulunan RWTH Aachen Üniversitesi'nde "Biobased Fabrication and Fate Carboxymethyl Chitosan-Oxalic Acid- Hydrogel (CMCS-OA-NaAlg) with Bio-Graphane Polyelectrolyte Tubular NF Membrane" isimli araştırma projesini Prof. Dr. Matthias Wessling danışmanlığında Center for Next Generation Processes and Products (NGP²) (AVT-Aachener Verfahrenstechnik) Kimyasal Proses Mühendisliği Bölümü'nde başarıyla tamamlamıştır. Çalışma kapsamında polimerik malzemelerden üretilen membranların kullanımı sonucunda ömürlerinin tükenmesiyle doğada yarattığı kirliliğin önlenmesi amacıyla tamamıyla biyolojik olarak parçalanabilir malzemelerden tübüler nanofiltrasyon membranı üretimi alanında çalışmalar yapmıştır.

Our Center Deputy Director Dr. Lecturer Member Mehmet Emin Paşaoğlu successfully completed his research project named "Biobased Fabrication and Fate Carboxymethyl Chitosan-Oxalic Acid-Hydrogel (CMCS-OA-NaAlg) with Bio-Graphane Polyelectrolyte Tubular NF Membrane" Chemical Process Engineering Department at the Center for Next Generation Processes and Products (NGP²) (AVT-Aachener Verfahrenstechnik) under the supervision of Prof. Matthias Wessling at RWTH Aachen University in Aachen, Germany, for 1 year in April 2023. Within the scope of the study, he carried out studies on the production of tubular nanofiltration membranes from completely biodegradable materials in order to prevent the pollution caused in nature by the end of their life as a result of the use of membranes produced from polymeric materials.

ÖYKÜ MUTLU SALMANLI, MEM-TEK'TE Gerçekleştirdiği Çalışmalar ile Doktora Tezini Tamamladı

**ÖYKÜ MUTLU SALMANLI
Completed Her PhD Thesis
With Her Studies At MEM-TEK**



2015 yılından beri MEM-TEK'te doktora çalışmalarını yürüten Öykü MUTLU SALMANLI, Prof. Dr. İsmail KOYUNCU danışmanlığında yürüttüğü “Concentrate Treatment via Membrane Distillation/Crystallization Method” başlıklı tez çalışmasını Ağustos 2023'de savunarak doktorasını başarıyla tamamlamıştır.

Tez kapsamında membran distilasyonu (MD) prosesi kullanılarak bor giderimi ve bor geri kazanım teknikleri incelenmiştir. Membran distilasyonu kısmında hem hava boşluklu (AGMD) hem de vakum destekli hava boşluklu (VAGMD) olmak üzere 2 farklı MD konfigürasyonu, 3 farklı vakum basıncı, 3 farklı polimer türünde ve 2 farklı por çapına sahip olmak üzere toplamda 6 farklı membran ve 3 farklı besleme suyu kullanılmıştır. VAGMD işleminden sonra elde edilen konsantreye kristalizasyon işlemi uygulanmıştır.

Öykü MUTLU SALMANLI, who has been carrying out her doctoral studies at MEM-TEK since 2015, successfully completed her doctorate by defending her thesis titled “Concentrate Treatment via Membrane Distillation/Crystallization Method”, which she carried out under the supervision of Prof. İsmail KOYUNCU, in August 2023.

Within the scope of the thesis, boron removal and recovery techniques using membrane distillation (MD) processes were examined. In the membrane distillation section, a total of 6 different membranes and 3 different feed waters are used, including 2 different MD configurations, both air gap (AGMD) and vacuum assisted air gap (VAGMD), 3 different vacuum pressures, 3 different polymer types and 2 different pore diameters. Crystallization process was applied to the concentrate obtained after the VAGMD process.

BAŞAK KESKİN, MEM-TEK'te Gerçekleştirdiği Çalışmalar ile Doktora Tezini Tamamladı

BAŞAK KESKİN Completed Her PhD Thesis With Her Studies At MEM-TEK



2018 yılından beri MEM-TEK'te doktora çalışmalarını yürüten Öğr. Gör. Başak KESKİN, Prof. Dr. İsmail KOYUNCU danışmanlığında yürüttüğü “Kıymetli metal içeren endüstriyel atıksulardan kaynak geri kazanımı için polimer içeren membran (PIM) üretimi ve uygulanması” başlıklı tez çalışmasını Mart 2024 tarihinde savunarak doktorasını başarıyla tamamlamıştır.

Tez kapsamında yenilikçi membran prosesi olan polimer içeren membranlar (PIM) prosesi kullanılarak altın, paladyum ve boyar maddenin adsorpsiyon ve ekstraksiyon yöntemleri kullanılarak geri kazanım teknikleri incelenmiştir. PIM membranları üretilirken 3 farklı baz polimeri 2 farklı taşıyıcı ve plastikleştirici kullanılmıştır. Adsorpsiyon deneyleri sonrası optimum membran seçilerek ekstraksiyon deneyleri tamamlanmıştır.

Lecturer Başak KESKİN who has been carrying out her doctoral studies at MEM-TEK since 2018, successfully completed her doctorate by defending her thesis titled “Production and application of polymer inclusion membrane (PIM) for resource recovery from industrial wastewater containing precious metals”, which she carried out under the supervision of Prof. İsmail KOYUNCU, in March 2024.

Within the scope of the thesis, recovery techniques of gold, palladium and dye-stuffs using adsorption and extraction methods were examined using the polymer inclusion membranes (PIM) process, which is an innovative membrane process. While producing PIM membranes, 3 different base polymers, 2 different carriers and plasticizers were used. After the adsorption experiments, the optimum membrane was selected and the extraction experiments were completed.

BAHRİYE ERYILDIZ YESİR, MEM-TEK'TE Gerçekleştirdiği Çalışmalar İle Doktora Tezini Tamamladı

BAHRİYE ERYILDIZ YESİR Completes Her Doctoral Thesis With Research Conducted At MEM-TEK

2017 yılından beri MEM-TEK'te doktora çalışmalarını yürüten Öğr. Gör. Bahriye ERYILDIZ YESİR, Prof. Dr. İsmail KOYUNCU danışmanlığında yürüttüğü "Fate, Environmental Impact And Treatability of Favipiravir and Surveillance of SARS-CoV-2 RNA: Comparison with COVID-19 Cases" başlıklı tez çalışmasını Ekim 2024 tarihinde savunarak doktoraasını başarıyla tamamlamıştır.

Tez kapsamında İstanbul'daki iki atık su arıtma tesisinde favipiravir ve SARS-CoV-2 RNA'nın uzun vadeli varlığı, giriş, çıkış atık suları ve çamur örneklerinde araştırılmıştır. Ayrıca, favipiravirin potansiyel çevresel riskleri iki model organizma kullanılarak değerlendirilmiştir. AAT'lerde tam olarak giderilemeyen favipiravir için ileri oksidasyon ve membran prosesleri ile arıtımı çeşitli işletim parametrelerine bağlı olarak araştırılmıştır.



Since 2017, Lecturer Bahriye Eryıldız Yesir has been pursuing her doctoral studies at MEM-TEK. Under the supervision of Prof. Dr. İsmail Koyuncu, she successfully defended her thesis titled "Fate, Environmental Impact and Treatability of Favipiravir and Surveillance of SARS-CoV-2 RNA: Comparison with COVID-19 Cases" in October 2024, thereby completing her

The thesis investigated the long-term presence of favipiravir and SARS-CoV-2 RNA in influent, effluent, and sludge samples from two wastewater treatment plants in Istanbul. Additionally, the potential environmental risks of favipiravir were evaluated using two model organisms. The removal of favipiravir, which could not be fully eliminated by conventional wastewater treatment processes (WWTPs), was investigated through advanced oxidation process and membrane processes, depending on various operational parameters.

MEHMET ZAHİD DEMİR , Gerçekleştirdiği Çalışmalar ile Doktora Tezini Tamamladı

Mehmet Zahid Demir Completed His PhD Thesis With His Studies



Doktora çalışmalarını yürüten Mehmet Zahid DEMİR, Prof. Dr. İsmail KOYUNCU danışmanlığında yürüttüğü “Life Cycle Assessment of Package and Ultra-filtration Systems and Four Disinfection Technologies for a Full Scale Water Treatment Plant” başlıklı tez çalışmasını savunarak doktorasını başarıyla tamamlamıştır.

Mehmet Zahid DEMİR who has been carrying out his doctoral studies, successfully completed his doctorate by defending his thesis titled “Life Cycle Assessment of Package and Ultrafiltration Systems and Four Disinfection Technologies for a Full Scale Water Treatment Plant”, which he carried out under the supervision of Prof. İsmail KOYUNCU, in 2024.

TUĞÇE AKÇA GÜLER, MEM-TEK'te Gerçekleştirdiği Çalışmalar İle Yüksek Lisansını Tamamladı

**Tuğçe Akça Güler Completed
Her Master's Degree With Her
Studies At MEM-TEK**



2021 yılından beri MEM-TEK'te yüksek lisans çalışmalarını yürüten Araş Gör. Tuğçe AKÇA GÜLER, Prof. Dr. İsmail KOYUNCU danışmanlığında yürüttüğü "Innovative membrane with recovered carbon black (rCB)" başlıklı tez çalışmasını Şubat 2024'te savunarak yüksek lisansını başarıyla tamamlamıştır.

Tez kapsamında yüksek iletkenliğe ve olağanüstü mekanik dayanıklılığa sahip bir düz plaka iletken membrane üretilmiştir. Yüksek iletkenlik sağlaması için karbon siyahı malzemesi kullanılarak poliviniliden florür (PVDF), polietersül-fon (PES), poliakrilonitril (PAN) ve polisül-fon (PSf) gibi polimerler incelenmiş ve iki farklı tip membran üretim yöntemi uygulanmıştır. Bu benzersiz membran daha sonra, en son teknolojiyi birleştirmenin yeni bir yolu olan bir elektrod-pozisyon prosesi kullanılarak metal geri kazanılmasını sağlamıştır.

Research Assistant Tuğçe AKÇA GÜLER, who has been carrying out her master's degree studies at MEM-TEK since 2021, successfully completed her master's degree by defending her thesis titled "Innovative membrane with recovered carbon black (rCB)", which he carried out under the supervision of Prof. İsmail KOYUNCU, in February 2024.

Within the scope of the thesis, a flat plate conductive membrane with high conductivity and extraordinary mechanical durability was produced. Polymers such as polyvinylidene fluoride (PVDF), polyethersulfone (PES), polyacrylonitrile (PAN) and polysulfone (PSf) were examined using carbon black material to provide high conductivity, and two different types of membrane production methods were applied. This unique membrane then enabled metal recovery using an electrodeposition process, a new way of combining state-of-the-art technology.

SEMANUR SOYLU, MEM-TEK'TE Gerçekleştirdiği Çalışmalar İle Yüksek Lisansını Tamamladı

SEMANUR SOYLU Completed Her Master's Degree With Her Studies At MEM-TEK



2021 yılından beri MEM-TEK'te yüksek lisans çalışmalarını yürüten Semanur SOYLU, Doç. Dr. Börte KÖSE MUTLU danışmanlığında yürüttüğü “Quorum quenching membran biyoreaktörlerde kullanılan immobilizasyon medyalarında malzeme tercihinin etkisinin incelenmesi” başlıklı tez çalışmasını Aralık 2023'te savunarak yüksek lisansını başarıyla tamamlamıştır.

Tez kapsamında sinyal moleküllerinin degradasyonu sağlanarak QQ mekanizması gerçekleştirilmiştir. QQ aktivitesine sahip bir bakteri türü olan *Rhodococcus* sp. BH4 kullanılmıştır. Bakteri çoğaltılarak farklı medyalara immobilize edilmiştir. Üretilen medya çeşitleri optimize edildikten sonra çeşitli analizlerden geçirilmiştir. Bu analizler ile medyanın dayanımı, fiziksel yapısı, kimyasal yapısı gibi konular ön plana çıkarılmıştır. Yapılan çalışmalar neticesinde avantaj sağlayan immobilizasyon medyasının bulunması gelecek projeler açısından önem taşımaktadır.

Semanur SOYLU, who has been carrying out her master's degree studies at MEM-TEK since 2021, successfully completed her master's degree by defending her thesis titled “Examination of the effect of material choice in immobilization media used in Quorum quenching membrane bioreactors”, which she carried out under the supervision of Assoc. Prof. Börte KÖSE MUTLU, in December 2023.

Within the scope of the thesis, the QQ mechanism was realized by ensuring the degradation of signal molecules. *Rhodococcus* sp., a bacterial species with QQ activity. BH4 was used. The bacteria were propagated and immobilized on different media. After the media types produced were optimized, they were subjected to various analyses. With these analyses, issues such as the strength, physical structure and chemical structure of the media were brought to the fore. As a result of the studies carried out, finding advantageous immobilization media is important for future projects.

ELİF CEREN ESEN, MEM-TEK'TE Gerçekleştirdiği Çalışmalar İle Yüksek Lisansını Tamamladı

ELİF CEREN ESEN Completed Her Master's Degree With Her Studies At MEM-TEK

MEM-TEK'te yüksek lisans çalışmalarını yürüten Elif Ceren ESEN, Dr. Öğretim Üyesi Türker TÜRKEN danışmanlığında yürüttüğü "Performance tests of hybrid membrane bioreactor (IFAS MBR) system in different sludge and hydraulic retention time" başlıklı tez çalışmasını Temmuz 2024 tarihinde savunarak yüksek lisansını başarıyla tamamlamıştır.



Elif Ceren ESEN, who has been carrying out her master's degree studies at MEM-TEK, successfully completed her master's degree by defending her thesis titled "Performance tests of hybrid membrane bioreactor (IFAS MBR) system in different sludge and hydraulic retention time", which she carried out under the supervision of Assist. Prof. Türker TÜRKEN, in 2024.

RABİA ARDIÇ, MEM-TEK’TE Gerçekleştirdiği Çalışmalar ile Yüksek Lisansını Tamamladı

RABİA ARDIÇ Completed Her Master’s Degree With Her Studies At MEM-TEK

MEM-TEK’te yüksek lisans çalışmalarını yürüten Rabia ARDIÇ, Prof. Dr. İsmail KOYUNCU danışmanlığında yürüttüğü “Tuzluluk, sülfat ve kurşun içeren kent-sel atıksuların membran biyoreaktör-lerde arıtımında Quorum Quenching mekanizmasının incelenmesi” başlıklı tez çalışmasını Temmuz 2024 tarihinde savunarak yüksek lisansını başarıyla tamamlamıştır.



Rabia ARDIÇ, who has been carrying out her master’s degree studies at MEM-TEK, successfully completed her master’s degree by defending her thesis titled “Investigation of Quorum Quenching mechanism in the treatment of urban wastewater containing salinity, sulfate and lead in membrane bioreactors”, which she carried out under the supervision of Assoc. Prof. Börte KÖSE MUTLU, in 2024.

MUHAMMED AHMET DEMİRBİLEKLİ, MEM-TEK'te Gerçekleştirdiği Çalışmalar İle Yüksek Lisansını Tamamladı

MUHAMMED AHMET DEMİRBİLEKLİ Completed His Master's Degree With The Studies He Carried Out At MEM-TEK.

MEM-TEK'te yüksek lisans çalışmalarını yürüten Muhammed Ahmet DEMİRBİLEKLİ, Prof. Dr. İsmail KOYUNCU danışmanlığında yürüttüğü "Comparison Between Membrane Bioreactor and Hybrid Membrane Bioreactor (IFAS MBR) Systems: A Pilot Scale Study" başlıklı tez çalışmasını Kasım 2024 tarihinde savunarak yüksek lisansını başarıyla tamamlamıştır.



Muhammed Ahmet DEMİRBİLEKLİ, who has been carrying out his master's degree studies at MEM-TEK, successfully completed his master's degree by defending his thesis titled "Comparison Between Membrane Bioreactor and Hybrid Membrane Bioreactor (IFAS MBR) Systems: A Pilot Scale Study", which he carried out under the supervision of Prof. Dr. İsmail KOYUNCU, in November 2024.

MEM-TEK 2023 Sempozyumu Düzenlendi

MEM-TEK 2023 Symposium Was Organized

7.si düzenlenen MEM-TEK Uluslararası Membran Teknolojileri ve Uygulamaları Sempozyumu (MEM-TEK2023) İstanbul Teknik Üniversitesi, MEM-TEK ve Gebze Teknik Üniversitesi işbirliğiyle organize edilmiştir. İTÜ Süleyman Demirel Kültür Merkezinde 17-19 Ekim 2023 tarihlerinde gerçekleşmiştir. İki yılda bir düzenlenen MEM-TEK sempozyumları Türkiye’de membran teknolojileri ve uygulamaları alanında geleneksel hale gelmiştir ve bu alanda öne çıkan bilim insanlarını bir araya getirmekte, bilgi ve fikir alışverişi için güzel bir ortam sağlamaktadır. Bu yıl, 17 farklı ülkeden 310’un üzerinde araştırmacı sözlü ve poster bildirileri ile sempozyuma zenginlik katmıştır. Sunum programında genel başlıklar geri kazanım ve konsantre yönetimi, seramik membranlar, yenilikçi membran üretimi ve modelleme, ileri osmoz, ters osmoz ve gaz ayırma membranları şeklinde gruplandırılmıştır. Sürdürülebilir bir dünya için her katılımcımız ve sponsorlarımız adına İTÜ 250. yıl Hatıra Ormanında fidan dikilmiş ve fidan sertifikaları kendilerine verilmiştir.

Açılış oturumu Her biri alanının yetkin ismi olan davetli konuşmacılarımız Prof. Dr. Harsha RATNAWEERA (Norwegian University of Life Sciences, Norveç),



The 7th MEM-TEK International Membrane Technologies and Applications Symposium (MEM-TEK2023) was organized in cooperation with Istanbul Technical University, MEM-TEK and Gebze Technical University. It took place at ITU Süleyman Demirel Cultural Center on 17-19 October 2023. MEM-TEK symposiums, held every two years, have become a tradition in the field of membrane technologies

and applications in Turkey and bring together prominent scientists in this field and provide a good environment for the exchange of information and ideas. This year, more than 310 researchers from 17 different countries enriched the symposium with oral and poster presentations. General topics in the presentation program are grouped as recovery and concentrate management, ceramic membranes, innovative membrane production and modeling, forward osmosis, reverse osmosis and gas separation membranes. For a sustainable world, saplings were planted in the ITU 250th Anniversary Memorial Forest on behalf of each of our participants and sponsors and sapling certificates were given to them.

The opening session was attended by our invited speakers, each of whom is an expert in his field, Prof. Harsha RATNAWEERA (Norwegian University of Life Sciences, Norway), Prof. How Yong



Prof. Dr. How Yong NG (National University of Singapore, Singapur), Prof. Dr. İzzet ÖZTÜRK (İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye), Prof. Dr. Mihail BARBOIU (Institut Européen des Membranes, University of Montpellier, Fransa), Prof. Dr. Volodymyr V. TARABARA (Michigan State University, ABD) bir birinden farklı ve güncel çalışmalara değinmiştir. Sektörde bir çığır açan membran teknolojilerinde dijital araçların kullanımı üzerine yapılan konuşmanın ardından MBRlerin kirlenme kontrolünde hem titreşim hem quorum quenching (QQ) tekniğinin kullanılması literatüre kazandırılmış yeni bir proses olarak sunulmuştur. Bir konuşmacımız membran prosesler ile atıksularda virüs yakalama ve giderme üzerine sunum yaptıktan sonra bir diğer konuşma peptitleri yapay su kanalları olarak membranda kullanma ve seçiciliği artırma üzerine olmuştur. Son olarak zorlu atıksu tiplerinden olan çöp depolama sahası sızıntı sularında membran proseslerin kullanımının öneminden bahsedilmiştir. Davetli konuşmacılarımıza İTÜ ve GTÜ amblemleri özel hediye takdimi yanında



NG (National University of Singapore, Singapore), Prof. İzzet ÖZTÜRK (İstanbul Technical University, Türkiye), Prof. Mihail BARBOIU (Institut Européen des Membranes, University of Montpellier, France), Prof. Volodymyr V. TARABARA (Michigan State University, USA) touched upon different and current studies. Following the speech on the use of digital tools in membrane technologies that broke new ground in the sector, the use of both vibration and quorum quenching (QQ) techniques in the contamination control of MBRs was presented as a new process introduced to the literature. After one of our speakers gave a presentation on capturing and removing viruses in wastewater



with membrane processes, another talk was about using peptides in membranes as artificial water channels and increasing selectivity. Finally, the importance of using membrane processes in landfill



plaket ve İTÜ 250. yıl Hatıra Ormanında dikilmek üzere fidan sertifikası sunulmuştur.

Sempozyumun üçüncü gününde iki tesis teknik gezi düzenlenmiştir. Bunların ilki membran biyoreaktör (MBR) çıkışı na nanofiltrasyon (NF) prosesi uygulayan Kömürcüoda Düzenli Depolama Sahası Sızıntı Suyu Arıtma Tesisidir. Sızıntı suyu atıksuyunun arıtılması için birincil çöktürme, MBR (nitrifikasyon denitrifikasyon-UF membranları), NF ünitesi ve çamur susuzlaştırma ünitelerinden oluşan arıtma tesisi kurulmuştur. İkinci ziyaret noktası ise Ağva İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisidir ve Türkiye'nin ilk ulusal MBR modülü uygulaması olan Türk patentli MBR sistemine sahiptir.

Sempozyum kapanış oturumunda en başarılı 3 sözlü bildiri ve en başarılı 3 poster bildirisi ödüllendirilmiştir. Gebze Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. Bülent KESKİNLER hocamızın emekli olması hasebiyle öğrencileri ve çalışma arkadaşlarının hazırladığı ve çeşitli hatıralara dair fotoğraflardan oluşan bir nostalji sunumu yapılmıştır. Ardından Merkez Müdürümüz Prof. Dr. İsmail KOYUNCU özel bir konuşma yapmış ve kendisine bir armağan takdim etmiştir. MEM-TEK ekibinin özveri ile hazırlandığı bir sempozyum daha başarı ile sona ermiştir.

leachate, which is one of the difficult wastewater types, was mentioned. In addition to a special gift with the ITU and GTU emblems, our invited speakers were presented with a plaque and a sapling certificate to be planted in the ITU 250th Anniversary Memorial Forest.

On the third day of the symposium, a technical visit was organized to two facilities. The first of these is the Kömürcüoda Sanitary Landfill Leachate Treatment Plant, which applies the nanofiltration (NF) process to the membrane bioreactor (MBR) outlet. A treatment plant consisting of primary sedimentation, MBR (nitrification-denitrification-UF membranes), NF unit and sludge dewatering units was established to treat leachate wastewater. The second visit point is Ağva Advanced Biological Wastewater Treatment Facility and it has the Turkish patented MBR system, which is Turkey's first national MBR module application.

At the closing session of the symposium, the 3 most successful oral presentations and the 3 most successful poster presentations were awarded. On the occasion of the retirement of Gebze Technical University Environmental Engineering Department Head Prof. Bülent KESKİNLER, a nostalgia presentation consisting of photographs of various memories prepared by his students and colleagues was made. Then our Center Director Prof. İsmail KOYUNCU made a special speech and presented him with a gift. Another symposium prepared by the MEM-TEK team with dedication has ended successfully.

At the closing session of the symposium, the 3 most successful oral presentations and the 3 most successful poster presentations were awarded. On the occasion of the retirement of Gebze Technical University Environmental Engineering Department Head Prof. Bülent KESKİNLER, a nostalgia presentation consisting of photographs of various memories prepared by his students and colleagues was made. Then our Center Director Prof. İsmail KOYUNCU made a special speech and presented him with a gift. Another symposium prepared by the MEM-TEK team with dedication has ended successfully.

IWA AD18 SEMPOZYUMU YOĞUN KATILIMA SAHNE OLDU

IWA AD18 SYMPOSIUM WAS THE STAGE OF INTENSIVE PARTICIPATION



IWA AD18 Konferansı, anaerobik teknolojiler konusunda en son gelişmelerin paylaşıldığı önemli uluslararası etkinliklerden biridir. İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ), MEM-TEK Ulusal Membran Teknolojileri Uygulama ve Araştırma Merkezi ile Uluslararası Su Birliği (IWA) işbirliğiyle düzenlenen 18. Dünya Anaerobik Çürütme Konferansı, 2-6 Haziran 2024 tarihleri arasında, “anaerobik çürütme aracılığıyla atığı değere dönüştürmek” temasıyla bu yıl İstanbul’da ilk kez gerçekleştirildi.

IWA AD18 Conference is one of the important international events where the latest developments in anaerobic technologies are shared. The 18th World Anaerobic Digestion Conference, organized in cooperation with Istanbul Technical University (ITU), MEM-TEK National Membrane Technologies Application and Research Center and the International Water Association (IWA), will be held between 2-6 June 2024, with the theme of “converting waste into value through anaerobic diges-



Anaerobik çürütme teknolojileri, atık arıtımı için düşük maliyetli bir yöntem olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır ve atık su arıtma stratejisinin ötesine geçerek atıktan kaynağa geri kazanıma yönelik entegre bir yönetime geçmiştir. Daha sürdürülebilir bir gezegen yaratmak için anaerobik teknolojiyi geliştirmenin hayati önem taşıdığını ciddi olarak düşünüyoruz. Sempozyumun teması “anaerobik çürütme yoluyla atıkları değere dönüştürmek” olarak belirlenerek anaerobik çürütmenin sürdürülebilirlikteki rolünü vurgulamak hedeflenmiştir. 43 farklı ülkeden dünya akademisyenlerini buluşturan konferansın açılış oturumunda, gelecek nesillere yeşil bir gelecek bırakmanın ekolojiyle uyumlu bir mühendislik ve sanayi anlayışını geliştirmekle mümkün olduğuna dikkat çeken Rektörümüz ve Merkez Müdürümüz Prof. Dr. İsmail Koyuncu, konuşmasında şu cümlelere yer verdi:

“Türkiye’nin en köklü mühendislik eğitimi kurumu olan İstanbul Teknik Üniversitesi olarak, çevre dostu mühendislik alanında dünya genelinde yürütülen bilimsel çalışmaları yakından takip ediyor, doğayla barışık bir gelecek ideali için

tion”. It was held for the first time in Istanbul this year.

Anaerobic digestion technologies are widely used as a low-cost method for waste treatment and have moved beyond the wastewater treatment strategy to an integrated method of waste-to-source recovery. We seriously believe that developing anaerobic technology is vital to create a more sustainable planet. The theme of the symposium was determined as “converting waste into value through anaerobic digestion” and it was aimed to emphasize the role of anaerobic digestion in sustainability. In the opening session of the conference, which brought together world academics from 43 different countries, our Rector and Center Director Prof. İsmail KOYUNCU pointed out that leaving a green future to future generations is possible by developing an understanding of engineering and industry compatible with ecology and included the following sentences in his speech:

“As Istanbul Technical University, Turkey’s most established engineering education institution, we closely follow the



elimizi taşın altına koyuyoruz. Dünya çapında en sürdürülebilir kampüs alanlarına sahip yüksek öğretim kurumlarından biri olması yönüyle dikkatleri üzerine çeken üniversitemiz, destek verdiği çevre dostu teknoloji çalışmalarıyla da küresel bilim birikimine katkı sağlamaktadır.”

Doç.Dr. Hale Özgün ve Doç.Dr. Mustafa Evren Erşahin hocalarımızın organizasyonluğunu yaptığı uluslararası konferansta; anaerobik süreçlerde mikrobiyal çeşitlilikten; endüstriyel ve tarımsal atıkların arıtımına; anaerobik süreçlerin modelleme, optimizasyon, enstrümantasyon ve kontrolünden, kaynak kısıtlı topluluklarda su, sanitasyon ve hijyen konularına kadar birçok alanda bilimsel sunumlara yer verildi.

scientific studies carried out worldwide in the field of environmentally friendly engineering and take responsibility for the ideal of a future in peace with nature. Our university, which attracts attention as one of the higher education institutions with the most sustainable campus areas in the world, also contributes to the global scientific knowledge with the environmentally friendly technology studies it supports.”

At the international conference organized by Assoc. Prof. Hale Özgün and Assoc.Prof. Mustafa Evren Erşahin; scientific presentations were included in many areas, from modelling, optimization, microbial diversity in anaerobic processes, treatment of industrial and agricultural wastes, instrumentation and control of anaerobic processes to water, sanitation and hygiene in resource-limited communities.

WMCC 2024 SEMPOZYUMUNA KATILDIK

WE PARTICIPATED IN WMCC 2024 SYMPOSIUM

3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON WATER MANAGEMENT IN CHANGING CONDITIONS

Co-organizers:



14-15 May 2024 in Munich

Almanya'nın Münih şehrinde 14-15 Mayıs 2024 tarihinde düzenlenen International Water Association (IWA) ve European Water Association (EWA) işbirliğiyle yürütülen "3rd International Conference on Water Management in Changing Conditions (WMCC2024)" sempozyumunda Merkez Müdürümüz Prof. Dr. İsmail KOYUNCU oturum başkanlığı yaptı.

Our Center Director Prof. Dr. İsmail KOYUNCU chaired the session at the "3rd International Conference on Water Management in Changing Conditions (WMCC2024)" symposium held in Munich, Germany, on 14-15 May 2024, in cooperation with the International Water Association (IWA) and the European Water Association (EWA),

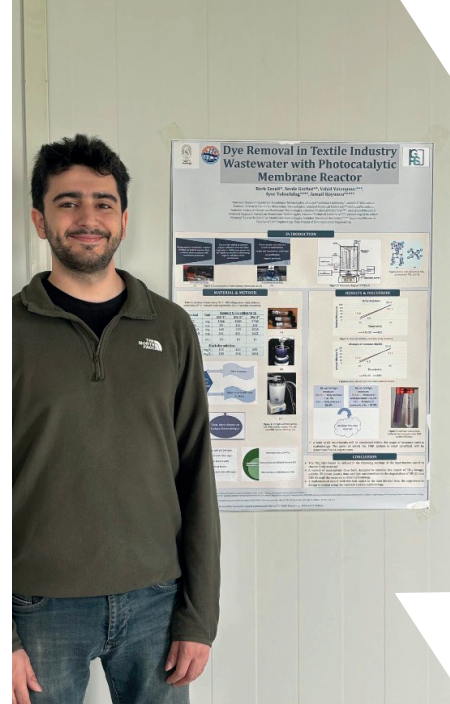


Öğr. Gör. Bahriye ERYILDIZ YESİR “Global Pandemic Effect on Wastewater Treatment with Focus of Virus and Antiviral Drug Load” başlıklı sunumunuyla doktora çalışmalarından bazı sonuçları paylaşıırken Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Emin PAŞAOĞLU “The Digital Future of Water Management” konusunda güncel ve yenilikçi gelişmeleri aktarmıştır.

Lecturer Bahriye ERYILDIZ YESİR shared some results of her doctoral studies with her presentation titled “Global Pandemic Effect on Wastewater Treatment with Focus of Virus and Antiviral Drug Load”, Asst. Prof. Mehmet Emin PAŞAOĞLU conveyed the current and innovative developments on “The Digital Future of Water Management”.

IGRS'24 SEMPOZYUMUNA KATILDIK

WE PARTICIPATED IN THE IGRS'24 SYMPOSIUM



İTÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tarafından 8-10 Mayıs 2024 tarihlerinde düzenlenen “3. Uluslararası Lisansüstü Araştırmalar Sempozyumu (IGRS’24)”nda yüksek lisans çalışmalarında ürettikleri bilgiyi Muhammed Ahmet DEMİRBİLEKLİ ve Araş. Gör. Berk ESENLİ poster sunumu ile Araş. Gör. Sümeyye YAŞAR ve Duygu OSMAN ise sözlü bildiri olarak sempozyumda paylaşmıştır.

Muhammed Ahmet DEMİRBİLEKLİ and Res. Asst. Berk ESENLİ with his poster presentation Res. Asst. Sümeyye YAŞAR and Duygu OSMAN shared their oral presentations at the “3. International Graduate Research Symposium (IGRS’24)” organized by ITU Graduate Education Institute on 8-10 May 2024.

Çevre Festivali

Environmental Festival





Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'na düzenlenen ve Başkent Millet Bahçesi'nde "Hepimizin Bir Dünyası Var" temasıyla kapılarını açan ve 6-9 Haziran arasında gerçekleşen festivalde İTÜ olarak Çevre, Sıfır Atık ve Yenilenebilir Enerji projeleriyle öne çıkan üniversiteler arasında yer aldık.

Her yaştan katılımcının yer aldığı festival kapsamında MEM-TEK'te üretilen membranlar ile ziyaretçilerimizle hem membran prosesler ile ilgili hem de sürdürülebilirlik ile ilgili bilgilerimizi paylaştık.

As ITU, we were among the universities that stood out with their Environment, Zero Waste and Renewable Energy projects in the festival organized by the Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change, which opened its doors in the Capital National Garden with the theme "We All Have a World" and took place between 6-9 June.

Within the scope of the festival, which included participants of all ages, we shared our knowledge about membrane processes and sustainability with our visitors, using the membranes produced at MEM-TEK.

Ziyaretler

Visits



Üç yıldır devam eden ve 2024 yılı Nisan ayında tamamlanmış olan uluslararası CONCERT-Japan Joint Call hibeli “Removal of obstacles in widespread application of membrane technology: Toward smart water management in future cities (RealMethod)” projesinin partnerlerinden olan Almanya Karlsruhe Institute of Technology üniversitesi öğretim üyesi Prof. Dr. Andrea Iris Schäfer 16 Ekim 2023 günü MEM-TEK’e ziyarette bulundu.

25 Ekim 2023 tarihinde Cibuti Yükseköğretim ve Araştırma Bakanı Nabil Mohamed Ahmed ve beraberindeki heyet MEM-TEK’i ziyaret etti. Ziyaret esnasında ticarileşmiş ürünlerimiz, AR&GE faaliyetlerimiz ve yürüyen iş birliklerimiz hakkında konuşuldu. Ziyarete rektör hocamızın yanında rektör yardımcılarımız ve inşaat fakültesi dekanımız eşlik etti.

Nadir Toprak Elementleri Araştırma Enstitüsü (NATEN) ve MEM-TEK iş birliği ile üç yıldır başarılı bir şekilde yü-

The faculty of Karlsruhe Institute of Technology, Germany, which is one of the partners of the international CONCERT-Japan Joint Call grant “Removal of obstacles in widespread application of membrane technology: Toward smart water management in future cities (RealMethod)” project, which has been going on for three years and was completed in April 2024 member Prof. Dr. Andrea Iris Schäfer visited MEM-TEK on October 16, 2023.

On October 25, 2023, Djibouti Minister of Higher Education and Research Nabil Mohamed Ahmed and his accompanying delegation visited MEM-TEK. During the visit, our commercialized products, R&D activities and ongoing collaborations were discussed. In addition to our rector, our vice rectors and the dean of the faculty of construction accompanied the visit.

Officials from NATEN one of the partners of the “Gain of Rare Earth



rütülen “Kömür Küllerinden ve Kömür Yıkama Atıklarından Nadir Toprak Elementlerinin Kazanımı” projesinin partnerlerinden NATEN ve Türkiye Kömür İşletmeleri yetkilileri 29 Mart 2024 tarihinde MEM-TEK’e yaptıkları ziyarette aynı projenin doktora çalışanı Gizem TUNCAY ve proje araştırmacısı Dr. Öğr. Üyesi Ayşe YÜKSEKDAĞ tarafından ağırlandı. Gizem TUNCAY doktora tezi olarak yürüttüğü çalışmalarını; tübüler seramik membran deney setini, kömür küllerinden liç üretim işlemlerini ve test süreçlerini uygulamalı olarak sundu.

23-24 Nisan 2024 tarihlerinde Bosna Hersek Federasyonu Federal Eğitim ve Bilim Bakanı Prof. Dr. Jasna Durakovic ve yanında gelen Saraybosna Bakanları Heyeti MEM-TEK’e ziyarette bulundu. MEM-TEK’te yapılan mevcut çalışmalarımızı ve projelerimizi kendileriyle paylaştık.

Elements from Coal Ashes and Coal Washing Waste” project, which has been carried out successfully for three years in cooperation with the Rare Earth Elements Research Institute (NATEN) and MEM-TEK, and and Turkish Coal Enterprises visited MEM-TEK on March 29, 2024. It was hosted by PhD student Gizem TUNCAY and project researcher Asst. Prof. Ayşe YÜKSEKDAĞ. Gizem TUNCAY carried out her studies as a doctoral thesis; she presented the tubular ceramic membrane experiment set, coal ash leaching production processes and testing processes in practice.

On 23-24 April 2024, Federal Minister of Education and Science of the Federation of Bosnia and Herzegovina Prof. Dr. Jasna Durakovic and the Sarajevo Ministerial Delegation accompanying her visited MEM-TEK. We shared our current work and projects at MEM-TEK with them.

Ödüller

Awards





Prof. Dr. Vahid Vatanpour Sarghein, 8 Mart 2024 tarihinde İstanbul Teknik Üniversitesi 2023 yılı Genç Akademisyen Ödülü'ne layık görülmüştür.

İstanbul Teknik Üniversitesi 2024 yılı Akademik Performans Ödül Töreni'nde MEM-TEK Merkez Müdürümüz Prof. Dr. İsmail Koyuncu, araştırma grubumuzdan Prof. Dr. Vahid Vatanpour Sarghein, Doç. Dr. Mahmut Altınbaş, Doç. Dr. Hale Özgün ve Doç. Dr. Mustafa Evren Erşahin, "2021-2023 Yılları Arası Yüksek Akademik Performans Ödülü" ve "2023 Yılı Yayın Ödülü" olmak üzere iki farklı kategoride ödüle layık görülmüştür.

Prof. Vahid Vatanpour Sarghein was deemed worthy of the Istanbul Technical University 2023 Young Academician Award on March 8, 2024.

Our MEM-TEK Center Director Prof. İsmail Koyuncu, from our research group. Prof. Vahid Vatanpour Sarghein, Assoc. Prof. Mahmut Altınbaş, Assoc. Prof. Hale Özgün and Assoc. Prof. Mustafa Evren Erşahin was deemed worthy of awards in two different categories: "High Academic Performance Award between 2021-2023" and "2023 Publication Award" at the Istanbul Technical University 2024 Academic Performance Award Ceremony,

Projelerimizde Güncel Durum

Current Status in Our Projects

2024 yılı itibariyle halen yürümekte olan ulusal ve uluslararası projelerimiz aşağıda listelenmiştir. Bunların yanında yeni bir TÜBİTAK 1004, TÜBİTAK 2247, ERA-min ve bir Avrupa Birliği projesine başvuru yapılmıştır.

- Digitalization of Water Industry By Innovative Graduate Water Education (DIGIWATER), Avrupa Birliği Erasmus+ KA2 (Call: EAC/A02/2019), (Türkiye, Almanya, Belçika, Romanya, Kıbrıs, Norveç, Avrupa Su Birliği (EWA)), 2021-2024.
- Kentsel Atıksuların MBR ile Arıtımında Quorum Quenching Mekanizmasının Pilot Ölçekte Uygulanabilirliğinin Araştırılması (TÜBİTAK 1001), Araştırmacı, 2021 - Devam ediyor.
- Kömür Küllerinden ve Kömür Yıkama Atıklarından Nadir Toprak Elementlerinin Kazanımı - Membran Prosesler ile Seçici Ayrım ve Konsantrasyon, TENMAK - Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu, 2021 - Devam ediyor.
- Ters Osmoz Membranlarında Biyotıkanma Kontrolü Amacıyla Biyokatalitik Membran Üretimi (TÜBİTAK 1001), 2022 - Devam ediyor.

Our national and international projects that are still ongoing as of 2024 are listed below. In addition, applications have been made for a new TUBITAK 1004, TUBITAK 2247, ERA-min and a European Union project.

- Digitalization of Water Industry By Innovative Graduate Water Education (DIGIWATER), European Union Erasmus+ KA2 (Call: EAC/A02/2019), (Turkey, Germany, Belgium, Romania, Cyprus, Norway, European Water Association (EWA)), 2021- 2024.
- Investigation of the Applicability of the Quorum Quenching Mechanism at Pilot Scale in the Treatment of Urban Wastewater with MBR (TÜBİTAK 1001), Researcher, 2021 - Ongoing.
- Recovery of Rare Earth Elements from Coal Ashes and Coal Washing Wastes - Selective Separation and Concentration by Using Membrane Processes, TENMAK - Turkish Energy, Nuclear and Mining Research Council, 2021 - Ongoing.
- Biocatalytic Membrane Production for Bioclogging Control in Reverse Osmosis Membranes (TÜBİTAK 1001), 2022 - Ongoing.

- Gübre Tahrikli İleri Osmoz Sayesinde Fonksiyonlandırılmış Hidrojellerin Ekolojik ve Akıllı Tarımda Uygulanabilirliğinin Araştırılması (TÜBİTAK 1001), 2022 - Devam ediyor.
- Tekstil Endüstrisi Atıksularında Sıfır Deşarjlı Hibrid Membran Sistemi ile Su ve Kimyasal Geri Kazanımının Araştırılması (YÖK&İTÜ BAP destekli Yetkin Alan Projesi-YAP), 2022 - Devam Ediyor.
- Ufuk Avrupa Programı Küme 4 Endüstri Alanı “Hedef 1: İklim nötr, döngüsel ve dijital üretim” ve “Hedef 2: Dayanıklı endüstri için kilit stratejik değer zincirlerinde artan özerklik”, HORIZON-CL4-2022-RESILIENCE-01 çağrısı, CUMERİ: Yeşil ve dayanıklı endüstriler için özelleştirilmiş membranlar, (Türkiye, İspanya, Hollanda, Fransa, Belçika), 2023 - Devam Ediyor.
- Otomotiv Uyumlu PEM Tipi Yakıt Pili Modül ve Sistem Bileşenlerinin Geliştirilmesi ve Entegrasyonu (TÜBİTAK 1004), 2023 - Devam ediyor.
- Döngüsel Ekonomi Konseptinde Kentsel Atıksu Arıtma Tesislerinde Enerji ve Amonyum Geri Kazanımı (TÜBİTAK 1001), 2023 - Devam ediyor.
- Hava Ayrımı için Siloksan Yapılı Polibenzoksazin ile İçi Boş Fiber Membranların Geliştirilmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi, 2024 - Devam ediyor.
- Lityum-İyon Bataryalarda Yüksek Performanslı Seperatör Tasarımı: Modifiye Kil Katkılı Poliimid Kompozitlerin Potansiyeli (TÜBİTAK 1001), 2024 - Devam ediyor.

- Investigation of the Applicability of Functionalized Hydrogels Through Fertilizer-Induced Forward Osmosis in Ecological and Smart Agriculture (TÜBİTAK 1001), 2022 - Ongoing.
- Research on Water and Chemical Recovery with Zero Discharge Hybrid Membrane System in Textile Industry Wastewater (YÖK&İTÜ BAP supported Competent Area Project-YAP), 2022 - Ongoing.
- Horizon Europe Program Cluster 4 Industry Area “Goal 1: Climate neutral, circular and digital production” and “Goal 2: Increased autonomy in key strategic value chains for resilient industry”, HORIZON-CL4-2022-RESILIENCE-01 call, CUMERİ: Green and customized membranes for durable industries, (Turkey, Spain, Netherlands, France, Belgium), 2023 - Ongoing.
- Development and Integration of Automotive Compatible PEM Type Fuel Cell Module and System Components (TÜBİTAK 1004), 2023 - Ongoing.
- Energy and Ammonium Recovery in Urban Wastewater Treatment Facilities in the Circular Economy Concept (TÜBİTAK 1001), 2023 - Ongoing.
- Development of Hollow Fiber Membranes with Siloxane Structured Polybenzoxazine for Air Separation, Istanbul Technical University, Scientific Research Projects Unit, 2024 - Ongoing.
- High-Performance Separator Design in Lithium-Ion Batteries: Potential of Modified Clay-Reinforced Polyimide Composites (TÜBİTAK 1001), 2024 - Ongoing.

Yayınlarımızda Güncel Durum

Current Status in Our Publications

Hem projelerimizin bir ürünü hem de lisansüstü öğrencilerimizin tez çalışmalarının çıktısı olarak 2024 yılının ilk 6 ayında aşağıdaki makaleler yayınlanmıştır.

The following articles were published in the first 6 months of 2024, both as a product of our projects and as the output of our graduate students' thesis studies.

- Keskin, B., Zeytuncu, B., & Koyuncu, I. (2024). Efficient Separation and Recovery of Precious Metal Ions by Polymer Inclusion Membranes (PIMs): A Mini Review. Solvent Extraction and Ion Exchange, 1-23.
- Keskin, B., Teber, O.O., Zeytuncu, B., Koyuncu, I., (2024), Effects of membrane content, feed phase, and stripping phase for palladium solution extraction by using a polymer inclusion membrane, Water Science and Technology.
- Vatanpour, V., Soylu, S., Osman, D., Tuncay, G., Mobaraki, A., Marjani, Z., Halimehjani, A.Z., Koyuncu, I., (2024), Improvement in dye and lead removal efficiency of PES membranes by blending sulfur containing adsorbent nanomaterials, Journal of Environmental Chemical Engineering, Volume 12, Issue 5, 113308, ISSN 2213-3437.
- Al-Shaeli, M., Benkhaya, S., Al-Juboori, R.A., Koyuncu, I., Vatanpour, V., (2024), pH-responsive membranes: Mechanisms, fabrications, and applications, Science of The Total Environment, Volume 946, 173865, ISSN 0048-9697.
- Tuncay, G., Yuksekdog, A., Kose Mutlu, B., Koyuncu, I., (2024), A review of greener approaches for rare earth elements recovery from mineral wastes, Environmental Pollution, Volume 357, 124379, ISSN 0269-7491.
- Vatanpour, V., Mehrabani, S.A.N., Dehqan, A., Arefi-Oskoui, S., Orooji, Y., Khataee, A., Koyuncu, I., (2024). Performance improvement of polyethersulfone membranes with Ti3AlCN MAX phase in the treatment of organic and inorganic pollutants, Chemosphere, Volume 362, 142583, ISSN 0045-6535.

- Al-Shaeli, M., Teber, O. O., Al-Juboori, R. A., Khataee, A., Koyuncu, I., & Vatanpour, V. (2024). Inorganic layered polymeric membranes: Highly-ordered porous ceramics for surface engineering of polymeric membranes. *Separation and Purification Technology*, 127925.
- Vatanpour, V., Camadan, I., Kara, N., Mehrabani, S. A. N., Feizpoor, S., Habibi-Yangjeh, A., & Koyuncu, I. (2024). TiO₂/AgBr nanocomposite as a novel hydrophilic and photocatalytic modifier in the fabrication of polyethersulfone membrane for wastewater treatment. *Separation and Purification Technology*, 127905.
- Abdelrahman, A. M., Tebyani, S., Talabazar, F. R., Tabar, S. A., Berenji, N. R., Aghdam, A. S., Koyuncu, I. ... & Ozgun, H. (2024). The flow pattern effects of hydrodynamic cavitation on waste activated sludge digestibility. *Chemosphere*, 357, 141949.
- Arahman, N., Rosnelly, C. M., Aulia, M. P., Haikal, R. D. U., Ambarita, A. C., Gunawan, P., Koyuncu, I.... & Takagi, R. (2024). Exploring the effect of CNTs and Pluronic on Characteristics and Stability of Polyethersulfone (PES) and Polyvinylidene Fluoride (PVDF) Membranes. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 100777.
- Vatanpour, V., Ardic, R., Esenli, B., Eryildiz-Yesir, B., Pazoki, P. Y., Jarahiyan, A., ... & Koyuncu, I. (2024). Defected Ag/Cu-MOF as a modifier of polyethersulfone membranes for enhancing permeability, antifouling properties and heavy metal and dye pollutant removal. *Separation and Purification Technology*, 345, 127336.
- Gulhan, H., Dizaji, R. F., Hamidi, M. N., Abdelrahman, A. M., Basa, S., Cingoz, S., ... & Ozturk, I. (2024). Modelling of high-rate activated sludge process: Assessment of model parameters by sensitivity and uncertainty analyses. *Science of The Total Environment*, 915, 170102.
- Gul, B. Y., Teber, O. O., Tuncay, G., Pekgenc, E., Arabi, N., Hemmati-Eslamlu, P., ... & Koyuncu, I. (2024). Modification of PAN electrospun nanofiber membranes with g-C₃N₄ nanotubes/carbon dots to enhance MBR performance. *Chemosphere*, 349, 140866.
- Yilmaz, M., Guven, H., Ozgun, H., Ersahin, M. E., & Koyuncu, I. (2023). The application of Life Cycle Assessment (LCA) to anaerobic technologies for the treatment of municipal wastewater: A review. *Process Safety and Environmental Protection*.
- Tuncay, G., Türken, T., & Koyuncu, İ. (2024). Investigation of different molecular weight Polyvinylidene Fluoride (PVDF) polymer for the fabrication and performance of braid hollow fiber membranes. *Environmental Technology*, 45(3), 404-417.

- “Electrospinning of nanocellulose”, Elastomeric Nanocellulose Composites Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering
- Korkut, S., Ormanci-Acar, T., Keskin, B., Ağtaş, M., Karahan, Ö., Demir, T. U., ... & Koyuncu, I. (2024). Effect of Photocatalytic Pretreatment on the Membrane Performance in Nanofiltration of Textile Wastewater. *Water, Air, & Soil Pollution*, 235(5), 266.
- Ambarita, A. C., Mulyati, S., Arahman, N., Bilad, M. R., Gül, B. Y., Korkut, S., & Koyuncu, İ. (2024). Chemical Stability and Additive Leach Out in Polyethersulfone Membranes Blended with Dragon Blood Resin: An Investigative Study. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 1-11.
- Teber, O. O., Altınay, A. D., Naziri Mehrabani, S. A., Zeytuncu, B., Ateş-Gence- li, E., Dulekgurgen, E., ... & Koyuncu, İ. (2024). Characterization and comparative evaluation of polysulfone and polypropylene hollow fiber membranes for blood oxygenators. *Journal of Applied Polymer Science*, 141(12), e55121.
- Gül, B. Y., & Koyuncu, İ. Sıyırıcı Olarak Kullanılan Polimer Boncuklarının ve Farklı Havalandırma Yoğunluklarının Membran Tıkanması Üzerine Sinerjistik Etkisi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 25(75), 585-596.
- Haikal, R. D. U., Marom, A. Z., Aulia, M. P., Ambarita, A. C., Azwar, A., Fahrina, A., Koyuncu, I.... & Arahman, N. (2023). Morphology and characteristics of polyethersulfone membrane modified with polyethylene glycol hexadecyl ether and nanocarbon. *Applied Chemical Engineering*, 7(1).

Sosyal Etkinliklerimiz

Social Activities



Yoğun çalışma dönemlerinin ardından MEM-TEK araştırmacılarının da ihtiyacı olan sosyalleşmek ve rahatlatıcı zamanlar geçirmek için çeşitli organizasyonlar gerçekleştirdik. Yıl başında yapılan yemek organizasyonu 2024 yılına girerken hepimize umut ve enerji verdi. Ekibimizin yanı sıra İTÜ rektör yardımcılarımız, genel sekreterimiz, çevre mühendisliği bölüm başkanımız ve En3Lab üyeleri de aramızdaydı. Enfes İstanbul Sarıyer manzarasına çok yakıştı :)

Nisan ayında ailelerimiz ile beraber katıldığımız bizi bir araya getiren geleneksel iftarımız ise uzun ve kalabalık bir masa ile hafızalara kazındı. İnanması zor ama herkes o karenin içinde :)

We organized various organizations to socialize and have relaxing times, which MEM-TEK researchers also need after intense working periods. The dinner organization held at the beginning of the year gave us all hope and energy as we entered 2024. In addition to our team, our ITU vice rectors, general secretary, environmental engineering department head and En3Lab members were among us. We suit the exquisite Istanbul Sarıyer view very well :)

Our traditional iftar, which we attended with our families in April and brought us together, was etched in memory with a long and crowded table. It's hard to believe, but everyone is in that frame :)



Yeşil Dönüşüm ve Sürdürülebilirlik

Green Transformation and Sustainability

21-23 | 11 | 2024 | ISTANBUL
Istanbul Technical University / SYMPOSIUM

İTÜ



250
YIL



SAKARYA
UNIVERSITY



Düzenleyen Kuruluşlar



The International Symposium on the Environment and Morals (ISEM) will convene on Nov. 21-23 2024 in İstanbul Technical University under the main theme of “Green Transformation and Sustainability”.

Abstract Submission	June 07, 2024
Full-Text Submission	Sept 20, 2024
Early Registration Date	Oct 18, 2024
Symposium Dates	Nov 21-23, 2024

Visit our website <https://www.i-sem.info> for more info.

“Don’t forget to share the symposium with your colleagues.”

Prof. Dr. İSMAİL KOYUNCU
Symposium Chair



Organizing Institutes

Uluslararası Çevre ve Ahlak Sempozyumu (ISEM24)

International Symposium on Environment and Morality (ISEM24)

Uluslararası Çevre ve Ahlak Sempozyumu (ISEM- International Symposium on the Environment and Morals) bu yıla kadar muhtelif şehir ve ülkelerde 6 kez düzenlenmiş bir akademik etkinlik olup çevre konusunda disiplinler arası çalışmalar yapan akademisyenleri periyodik olarak bir araya getirmeyi amaçlamaktadır. Çevre Vakfı tarafından organize edilen İSEM 2024, bu yıl 21-23 Kasım'da İstanbul Teknik Üniversitesi'nin ev sahipliğinde, Çevre Kuruluşları Dayanışma Derneği (ÇEKUD), Sakarya Üniversitesi ve Akademik Platform'un ortaklığı ile gerçekleştirilecektir ve ana teması "Yeşil Dönüşüm ve Sürdürülebilirlik" olarak belirlenmiştir.

The International Symposium on Environment and Morality (ISEM - International Symposium on the Environment and Morals) has been held six times in various cities and countries until this year. It is an academic event aimed at periodically bringing together scholars engaged in interdisciplinary studies on environmental issues. Organized by the Environment Foundation, ISEM 2024 will take place on November 21-23 this year, hosted by Istanbul Technical University in partnership with the Association for the Solidarity of Environmental Organizations (ÇEKUD), Sakarya University, and the Academic Platform. The main theme of the symposium has been set as "Green Transition and Sustainability".

MEM-TEK 2025'e bekliyoruz!

Welcome to MEM-TEK 2025!



The poster for MEM-TEK 2025 features a light blue background with a silhouette of a city skyline on the left and a palm tree on the right. At the top, logos for MEM-TEK, İTÜ, ZEC, GEBZE, and ATILIM UNİVERSİTESİ are displayed. The main text reads "MEMTEK 2025 8th International Symposium on Membrane Technologies and Applications" in bold blue letters. Below this, the dates "November 12-14, 2025" and the location "Wyndham Grand Izmir Ozdilek, İzmir-Türkiye" are listed, along with the website "www.memtek2025.org". A QR code is located in the bottom right corner. The bottom of the poster is decorated with five small images: a classical building, a coastal view, a modern building, a city at night, and a clock tower.

MEM-TEK 2025 Organizasyon Komitesi olarak sizleri 12-14 Kasım 2025'de İzmir, Türkiye'de düzenlenecek olan 8. Uluslararası Membran Teknolojileri ve Uygulamaları Sempozyumu MEM-TEK 2025'e davet etmekten mutluluk duyarız.

MEM-TEK Uluslararası Sempozyumları İstanbul Teknik Üniversitesi'nde bulunmakta olan Prof. Dr. DincerTopacık Ulusal Membran Teknolojileri UYG-AR Merkezi (MEM-TEK) tarafından başlatılmış olup, Türkiye'de membran üretimi ve

It is a great honor for us to invite you to the International Scientific Symposium MEM-TEK 2025, the 8th International Symposium on Membrane Technologies and Applications, between November 12-14, 2025, in Izmir, Türkiye.

The MEM-TEK international membrane symposiums were initiated by MEM-TEK (National Research Center on Membrane Technologies, Istanbul Technical University, Türkiye), and MEM-TEK has become the only symposium organized

karakterizasyonu, ayırma özelliklerinin değerlendirilmesi, membranların çeşitli amaçlarla kullanımı ve çevreyi korumaya yönelik yeni teknolojik yöntemlerin tanıtılması alanlarında Türkiye’de düzenlenen tek sempozyumdur.

MEM-TEK sempozyumları çeşitli araştırma ve uygulama uzmanlarını bir araya getirerek deneyim alışverişinde bulunmak ve yeni fikirler yaratmak için birçok fırsat sunmaktadır. MEM-TEK 2025 sempozyumu da endüstri ve akademi arasında bağlantı kurulmasına fırsat sunacak ve ayrıca endüstrinin bilimle buluştuğu bir platform oluşturacaktır. MEM-TEK 2025 ayrıca membran prosesleri alanında endüstriyel ve yenilikçi şirketlerin ürünlerini sergilemesi ve bu ürünlerin ilgili kitleye ulaşması için gerekli ortamı sağlayacaktır.

MEM-TEK 2025 vizyonu; öğrenciler ve genç araştırmacılar tarafından gerçekleştirilen araştırma çalışmalarının sunumu için uygun bir akademik alan sağlamaktır.

Sizler ile MEM-TEK 2025'te İzmir’de buluşmak için sabırsızlanıyoruz.

in Türkiye in the fields of membrane preparation and production, assessment of their separation properties, utilization of membranes for various purposes, and introduction of new technological procedures to protect the environment.

This meeting, MEM-TEK 2025, will bring together experts from various research and application areas and will offer many opportunities to exchange experiences and create new ideas. Moreover, this symposium will present a connection between industry and academia. Also, it will establish a platform where industry meets science. MEM-TEK 2025 will also offer opportunities for exhibition and presentation of industrial and innovative companies in the field of membrane processes.

Our vision is to provide sufficient space for the presentation of research work performed by students and young researchers as well.

We look forward to receiving your contributions at MEM-TEK 2025 and meeting you in Izmir.



İTÜ



İTÜ



MEM-TEK
Prof.Dr. Dincer Topacık
ULUSAL MEMBRAN TEKNOLOJİLERİ UYG-AR MERKEZİ
NATIONAL RESEARCH CENTER ON MEMBRANE TECHNOLOGIES

Vizyonumuz

Su ve atıksu uygulamalarında membran üretimi, modül imalatı ve proses geliştirilmesi üzerine dünya çapında lider bir araştırma merkezi haline gelmektir.

Misyonumuz

- Araştırma ve Geliştirme: MEM-TEK mevcut teknolojileri geliştirmek ve yeni teknolojiler üretmek amacıyla araştırmalar yapacaktır.
- Sanayiye destek: MEM-TEK sanayinin bütün alanlarına membran teknolojileri üzerine ihtiyaç duydukları teknik bilgi birikimini ve altyapıyı sağlayacaktır.
- Araştırmacıların ve bilim insanlarının yetiştirilmesi: En son teknolojiler araştırmacılara sunulacaktır.

Prof. Dr. Dincer Topacık Ulusal Membran
Teknolojileri Uyg-Ar Merkezi (**MEM-TEK**)

İleri Teknolojiler Merkezi, 34469
Maslak/İstanbul

Telefon: +90 (212) 285-3473

Fax: +90 (212) 285-6667

E-posta: memtek@itu.edu.tr

Web: www.memtek.org