Atomlardan Ürünlere... Malzemelerin İzinde Bir Bilim Yolculuğu

Doç. Dr. İlknur Eruçar Fındıkçı ile biyouyumlu metal-organik kafes yapıların enerji ve biyomedikal uygulamaları üzerine...

Dr. Özlem Ak [*TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi*

Enerji ve biyomedikal alanında başarılı çalışmalarıyla dikkat çeken Özyeğin Üniversitesi Mühendislik Temel Bilimleri Bölümü Öğretim Üyesi Doç. Dr. İlknur Eruçar Fındıkçı, 2024 yılı TÜBİTAK Teşvik Ödülü'ne layık görüldü. Biyouyumlu metal-organik kafes (MOF) yapılar üzerine yaptığı uluslararası düzeydeki araştırmaları, kendisine bu ödülü getirdi. Doç. Dr. İlknur Eruçar Fındıkçı ile yaptığımız söyleşide yalnızca akademik başarılarını değil aynı zamanda ilham verici hayat öyküsünü ve genç bilim meraklılarına yönelik önerilerini de dinledik.

Doç. Dr. İlknur Eruçar Fındıkçı'nın kimya bilimine olan tutkusu çocukluğunda başlamış. Mutfakta karışımlar yapmayı, toprakla oynamayı, malzemeleri bir araya getirip kendi küçük deneylerini tasarlamayı çok seviyormuş. Hatta bir gün ilkokul öğretmeni, annesini çağırmış ve "Bu çocuk kimyager olacağım diyor, evde bir kimyacı mı var?" diye sormuş. Aslında yokmuş. Ama belli ki hocamız o zamanlar kararını çoktan vermiş. Bilimsel bir rol modeli olmaksızın yalnızca içsel bir merakla beslenen bu ilgi, Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümünü tercih etmesine neden olmuş. Her ne kadar çevresinden "kimya mühendisleri iş bulamıyor" gibi uyarılar alsa da kararından asla vazgeçmemiş. O yıllarda hem lisans eğitimine devam edip hem üniversitede yürütülen laboratuvar çalışmalarına katılması sayesinde akademisyen olma fikri de içinde iyice filizlenmiş. Bölümdeki hocalarından Prof. Dr. Sabriye Pişkin'in yanında öğrenci asistan olarak başladığı bu yolculuk ile gerçek anlamda bilim kültürüyle tanışmış. Laboratuvarda geçirilen saatler sayesinde araştırma ruhunu ve sorumluluk bilincini o yıllarda kazanmış. Lisans eğitiminin son yılında Erasmus bursuyla Almanya'daki TU Bergakademie Freiberg Teknik Üniversitesine gitmiş ve piroliz denilen oksijensiz yanma ile ilgili bitirme tezini orada yazmış.

"Ben Türkiye'nin Yetiştirdiği Bir Akademisyen Oldum"

Akademisyen olarak orada kalma teklifini ülkesine olan bağlılığı ve aile özlemi nedeniyle kabul etmemiş ve Türkiye'ye dönmüş. Döner dönmez Koç Üniversitesinde Hesaplamalı Bilimler ve Mühendislik Bölümünde yüksek lisans eğitimine başlayan İlknur hocamızın yolu, aynı üniversitede Kimya ve Biyoloji Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Prof. Dr. Seda Keskin Avcı ile kesişmiş ve kendisinin danışmanlığında başladığı yüksek lisans, onu ilk kez hesaplamalı bilimlerle tanıştırmış. İlknur Eruçar Fındıkçı, Seda hocamızın ilk yüksek lisans ve doktora öğrencisi olmasının kendisi için büyük bir gurur olduğunu söylüyor.

Daha önce deneysel çalışmalar yürüten biri olarak programlama ve atomik modelleme konularında zorlansa da kısa sürede bu alana adapte olmuş. Malzeme keşfinde atomik düzeyde simülasyonların etkisini fark ettikçe bu yöntemi araştırmalarının merkezine almış. Bu süreçte özellikle metal-organik kafes (MOF) malzemeler üzerine yoğunlaşmış.

Bu malzemeler, yüzey alanlarının büyük olması ve gözenek yapılarının ayarlanabilmesi sayesinde gaz karışımlarının ayrılması, ilaç salımı, enerji depolama gibi çok çeşitli alanlarda kullanılabiliyor. Koç Üniversitesi Kimya ve Biyoloji Mühendisliği Bölümündeki doktora eğitimi sürecinde karbondioksit yakalama, hidrojen depolama, gaz ayırma gibi enerji temelli çalışmalara yoğunlaşsa da aynı zamanda biyomedikal alana duyduğu ilgisi de devam etmiş. Hesaplamalı modellemeler yoluyla MOF'ların ilaç molekülleriyle etkileşimlerini analiz etmiş, kontrollü salım mekanizmalarını incelemiş ve hedefe yönelik ilaç taşıyıcı sistemler üzerine yazdığı makaleler, alanında en çok atıf alan yayınlar arasına girmiş.

Doktora yaptığı sırada bir yandan bilimsel çalışmalarını sürdürürken diğer yandan da uluslararası sempozyumlara, toplantılara katılarak Amerika, Avrupa ve Asya'daki pek çok ülkede farklı

bilim insanlarıyla tanışmış ve yaptığı araştırmalarda bakış açısını zenginleştirmiş. Doktorasının son günlerinde Özyeğin Üniversitesi Mühendislik Temel Bilimleri Bölümünden öğretim üyeliği teklifi almış. Buradaki görevine başladıktan bir yıl sonra Cambridge Üniversitesine misafir araştırmacı olarak gitmiş ve Prof. Dr. Tom Bennett ile MOF yapılarını amorflaştırmaya (kristal yapıdan atomların düzensiz konumlandığı amorf yapıya yani camsı faza geçiş) yönelik çalışmalar yürütmüş. Bu iş birliği, MOF'ların camsı faza geçişlerinin hem deneysel hem de hesaplamalı yönlerinin anlaşılmasına katkı sağlamış. Çalışmalarının sonuçları *Chemical Science* ve *Nature Communications* gibi önemli akademik dergilerde yayımlanmış.

Doç. Dr. İlknur Eruçar Fındıkçı, Cambridge Üniversitesinde geçirdiği dönemi kariyerinin dönüm noktalarından biri olarak nitelendiriyor. Türkiye'ye döndükten sonra TÜBİTAK 1001 projesi kapsamında amorf MOF malzemeleri üzerinde, doğalgazın içindeki karbondioksit gibi gazların ayrılmasına yönelik araştırmalara yönelmiş. Bu kapsamda kendi deneysel araştırma laboratuvarını kurmuş, TÜBİTAK Teşvik Ödülü'nün getirdiği para ödülü ile laboratuvar altyapısını oluşturmuş, ekipmanların tasarımlarını kendisi yapmış ve araştırma alanını karbondioksit yakalama ve biyomedikal uygulamalar konularında yoğunlaştırarak hesaplamalı bilimler altyapısını deneysel çalışmalarla bütünleştirmeye başlamış. Bugün Özyeğin Üniversitesinde hem öğretim üyesi olarak çalışıyor hem de araştırma laboratuvarında kendi deneysel projelerini yürütüyor.

Biyouyumlu MOF'lar

Doç. Dr. İlknur Eruçar Fındıkçı, şu an MOF'ların özellikle siklodekstrin gibi şeker türevli ve toksik olmayan organik ligandlarla (kompleks moleküllerde merkez atoma bağlı iyon ya da molekül) sentezlenmesine yönelik çalışmalar yürütüyor. Bu malzemeleri, üremik toksinleri yani vücuttan atılamayan, kan dolaşımında birikerek farklı organlara ulaşan organik bileşik kalıntılarını uzaklaştırmak için geliştirilen taşınabilir diyaliz sistemlerinde ve atmosfere salınan karbondioksitin azaltılması amacıyla tasarlanan karbondioksit yakalama modüllerinde kullanmayı amaçlıyor. Dedesini diyaliz tedavisi sürecinde kaybetmiş olması, bu alana karşı kişisel bir duyarlılık geliştirmesine neden olmuş. Bu zorlayıcı deneyim, onu yeni nesil ayırma teknolojilerine yönlendirmiş. Şu anda diyaliz cihazlarına entegre edilebilecek biyouyumlu,

gözenekli yapıda ve yüksek yüzey alanına sahip MOF türevlerinin geliştirilmesine odaklanmış durumda.

MOF'lar, amino asit ve peptit gibi biyolojik moleküllerle sentezlenebildikleri için biyomedikal uygulamalar açısından büyük bir potansiyele sahip. Örneğin iki ilacın aynı anda kontrollü şekilde hastaya verilmesi gereken durumlarda MOF'lar, bu ilaçları aynı anda depolayabilir. İlaçların, farklı ligandlara sahip gözenekli yapıdaki taşıyıcı MOF'larla etkileşimleri farklı olduğu için her biri farklı hızlarla salınabilir. Bu sayede birden fazla ilacın kontrollü biçimde vücuda verilmesi mümkün hâle gelebilir. Çoklu ilaç taşıma ve eşzamanlı ilaç salımı özellikleriyle MOF'lar, modern tıbbın önemli yardımcılarından biri olmaya aday. İlknur hocamız aynı zamanda şeker türevli ligandlara sahip MOF'ların sentezinde karşılaşılan, çözünürlük problemleri ve yapısal kararlılığın sağlanması gibi zorluklara çözüm arıyor. Çünkü bu ligandlar suda çözünürken organik çözücülerdeki çözünürlüklerinin düşük olması, kullanımları açısından bazı zorluklar oluşturuyor. Bu nedenle ligandların kimyasal yapısında bulunan hidroksil gruplarını organik çözücülerde çözünmelerini sağlayacak başka kimyasal gruplarla değiştirerek bu yapıları hidrofobik (suyu iten) hâle getirmek ve malzemenin uygulama alanlarını artırmak üzerine deneysel çalışmalarını sürdürüyor.

Ayrıca laboratuvarında karbon tutma modülü de geliştiriliyor. Bu sistem tamamen yerli üretimle tasarlanıyor ve MOF malzemeleriyle entegre çalışacak şekilde geliştiriliyor. Hem biyomedikal hem de enerji uygulamalarına dönük bu çok yönlü yaklaşım, akademik üretimin toplumsal faydaya dönüşmesi açısından dikkat çekici bir örnek sunuyor.

Özellikle kanser ilaçlarının kontrollü salımı gibi biyomedikal uygulamalarda MOF'ların ilaçla etkileşim mekanizmaları ve salım kinetikleri yani ilaçların ne

hızda bırakıldığı üzerine yürüttüğü çalışmalar bu alana önemli katkılar sunuyor. Aynı zamanda genellikle kristal yapıda olan MOF'ların camsı (amorf) fazlarının da sentezlenmesi ve bu yapıların karakterizasyonu yani özelliklerinin analiz edilmesi gibi henüz yeterince araştırılmamış konularda da öncü çalışmalar yürütüyor.

Kendisi aynı zamanda Avrupa Birliği destekli "EU4MOFs" projesinin yürütücülerinden biri. Farklı ülkelerden bilim insanlarıyla fikir alışverişi yapmasına imkân sağlayan proje, MOF teknolojilerinin ilerlemesi için büyük bir katkı sağlamış.

Tüm bu araştırmaların merkezinde MOF'ların esneklik ve çok yönlülük özellikleri yer alıyor. Organik ligandların ve metal tuzlarının tepkimeye girmesi ile sentezlenen bu malzemeler, gözenekli yapıları sayesinde çok farklı uygulama alanlarında kullanılabiliyor. Yüzey alanları çok yüksek olduğundan yapılarında çok miktarda gaz veya ilaç molekülü depolayabiliyorlar. Bu özellikleri sayesinde pek çok gazı ayırmakta (örneğin doğal gazdan ve baca gazından karbondioksidin uzaklaştırılması), ilaçları vücut içinde istenilen hedeflere taşımakta ve karbon yakalama gibi enerji alanındaki sorunlara yönelik yeni nesil çözümlerde kullanılmakta. Doç. Dr. İlknur Eruçar Fındıkçı için bu malzemeleri hem hesaplamalı hem de deneysel olarak çalışmak, onların gerçek hayata uyarlanabilirliğini test etmek büyük bir heyecan.

Kurduğu araştırma grubunda her öğrenci bir projeye dâhil. Kimisi karbon yakalama üzerine çalışıyor kimisi sanayiyle iş birliği içinde polimer modellemeleri yapıyor. Bu sistem hem eğitim hem de üretim açısından öğrencilere çok yönlü bir gelişim imkânı sağlıyor. Doç. Dr. Fındıkçı öğrencileri için "Onlar olmasa bu projeleri yürütmek mümkün değil." diyor.

Enerjide de Öne Çıkıyorlar

MOF'lar, günümüzde elektrikli araçlardan taşınabilir elektronik cihazlara kadar birçok ürünün kritik bileşeni olan pil teknolojilerinde özellikle anot malzemesi olarak kullanılma potansiyelleri nedeniyle de araştırmaların odağında. Geniş yüzey alanları sayesinde enerji depolama kapasiteleri açısından dikkat çekiyor. Henüz bu alandaki araştırmalar

başlangıç aşamasında olsa da MOF'ların enerji teknolojilerinde de gelecekte önemli rol oynaması bekleniyor.

Özellikle iklim değişikliğiyle mücadelede karbondioksit yakalama teknolojileri kritik bir öneme sahip. MOF'lar, fosil yakıtların yanması sonucu açığa çıkan baca gazlarından ya da doğal gaz kaynaklarından karbondioksidi seçici olarak ayırma potansiyeline sahip. Bu alanda sanayide kullanılacak MOF bazlı sistemler üzerine çok sayıda çalışma yürütülüyor.

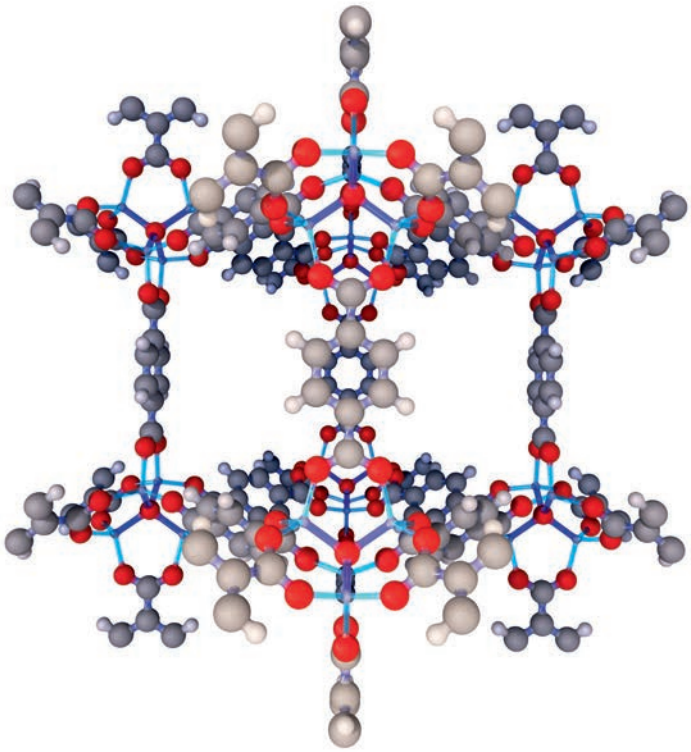
Bir diğer heyecan verici alan ise hidrojen depolama. Hidrojen, geleceğin temiz enerji taşıyıcısı olarak görülüyor. Ancak depolanması oldukça zor. MOF'lar gelişmiş gözenek yapıları sayesinde hidrojen moleküllerini oda sıcaklığı ve basıncında bile yapılarında tutabiliyor. Bu da onları enerji maliyeti düşük hidrojen depolama sistemleri için cazip hâle getiriyor.

Bugün birçok girişimci şirket ve büyük sanayi firması MOF'lara yatırım yapıyor. Bu malzemeler, önümüzdeki yıllarda hem çevresel sorunların çözümünde hem de yeni teknolojilerin geliştirilmesinde kilit roller üstlenebilir.

"Olmuyorsa da Yazılmalı"

Doç. Dr. İlknur Eruçar Fındıkçı'nın özellikle dikkat çektiği bir diğer önemli konu ise bilimde başarısızlığın yeri. Deneylerin olumsuz ya da beklenmedik sonuçlarının da yayımlanmasının büyük bir önem taşıdığını düşünüyor. Ona göre bilimde her önermenin başarıyla sonuçlandığını varsaymak, gerçekleri yansıtan bir yaklaşım değil. "Deney sonuçları tekrarlanamadı, denedik ama olmadı." gibi bildirimlerin, bilimsel sürecin şeffaflığı açısından çok değerli olduğuna inanıyor. Zira kimi zaman bir yöntemin işe yaramadığını ortaya koymak bile başlı başına yol gösterici bir katkı sunabiliyor.

Kendi araştırmalarında da bu tür zorluklarla karşılaştığını belirtiyor. Özellikle MOF'ların sentezleme sürecinde tekrarlanabilirlik, karşılaştığı en büyük sorunlardan biri olmuş. Aynı koşullarda yapılan sentezlerin sonucunda farklı kristal yapıların elde edilmesi, bilimsel güvenilirlik açısından ciddi bir sorun teşkil ediyor. Bu nedenle şu sıralar bu sorunu ele alan ayrı bir yayın hazırladığını söylüyor. İlknur Hoca'ya göre bilimsel ilerleme sadece başarılı sonuçların değil, başarısızların da doğru şekilde yayımlanmasıyla mümkün olabilir.



Bilim Merakla Başlar: Gençlere Tavsiyeler

Doç. Dr. İlknur Eruçar Fındıkçı ile gençler ve gençlere tavsiyeleriyle ilgili konuşmaya başladığımızda "Gençleri sevgiyle kucaklamak gerekiyor." diyerek başlıyor sözlerine. Nesiller arasındaki farkı net bir şekilde gözlemlediğini ama bunun bir sorun değil yalnızca farklı bir anlayışla yönetilmesi gereken bir

gerçek olduğunu vurguluyor. Günümüz gençleri, onun deyimiyle "daha esnek koşullarda ve daha açık bir iletişim ortamında" yetişiyor. Bu nedenle pozitif geri bildirim ve yapıcı bir yaklaşıma her zamankinden daha fazla ihtiyaç duyduklarını düşünüyor.

Gençler için en büyük tavsiyesi ise net: "Kendinize bir rol model seçin ve merakınızı diri tutun." Sosyal medya çağında örnek alınacak insanlara ulaşmanın daha kolay hâle geldiğini söylüyor ama asıl önemli olanın içsel motivasyonu korumak olduğunun altını çiziyor. Ona göre bilimsel çalışmanın temelinde iki duygu var: umut ve merak. "Her şeyden önce bu duyguları kaybetmemek gerek." diyor.

Özellikle lise çağındaki öğrencilerin mutlaka bir üniversite laboratuvarını ziyaret etmesini öneriyor. Bir akademisyenin yanında zaman geçirmenin, bilimin nasıl üretildiğini ve bilim insanı olmanın doğasını anlamak açısından büyük fırsatlar sunduğunu düşünüyor. "Neyi seviyorum? Neye yeteneğim var?" gibi sorulara gerçek yanıtların ancak bu tür deneyimlerle bulunabileceğini düşünüyor.

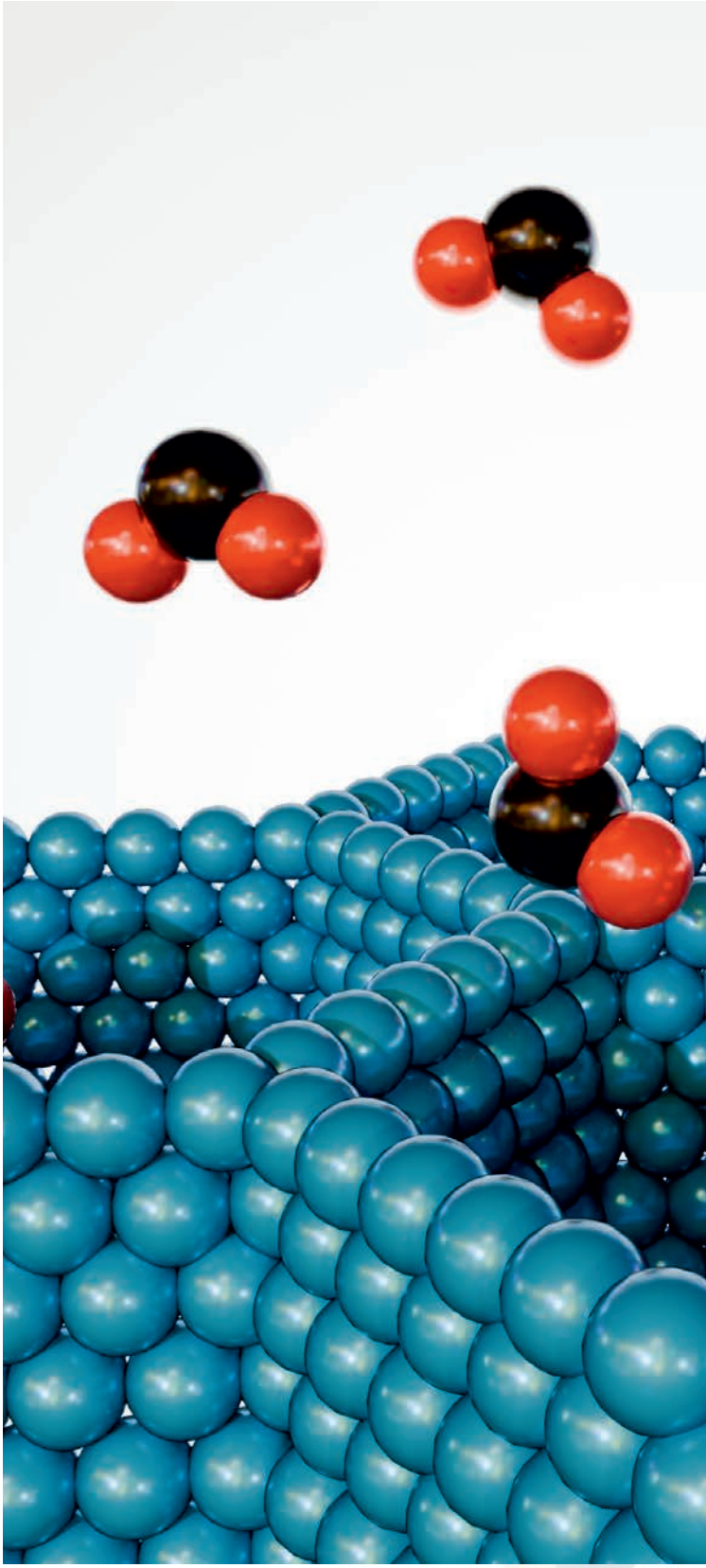
Üniversite öğrencilerine de benzer bir çağrısı var: "Mutlaka bir araştırma projesine katılın. Özellikle yapay zekâ ve dijital kimya çağında girişimcilik ruhu ve merak duygusu her zamankinden daha değerli. Sentezleri artık robotlara yaptırmanın konuşulduğu bir dönemdeyiz." diyerek bu dönüşümde gençlerin aktif rol üstlenmesi gerektiğini hatırlatıyor. Araştırma gruplarına katılmak, farklı projelerde yer almak ve TÜBİTAK gibi kurumların sunduğu burs ve destek programlarından yararlanmak, onun gözünde bu yolculukta önemli birer kilometre taşı.

İlknur hocamız için bilim yalnızca sayılarla sınırlı değil. Sanatı da bilimsel üretimin bir parçası olarak görüyor. MOF'ların camsı yapısını, annesinin ilgilendiği ebru sanatına benzetiyor. Renklerin dağılması, yapının şekillenişi... Hepsi bilimdeki estetik boyuta işaret ediyor. Amatör olarak rölyef çalışmaları yapıyor: Eski Türk evlerinin maketlerini atık malzemelerle yeniden inşa ediyor. Sanat ve sporun gençlerin hayatında mutlaka yer alması gerektiğini düşünüyor. "Aktif yapmak zorunda değiller ama mutlaka bir yerinden tutmalılar." diyor. Çünkü bu alanlar, bilimin beslendiği duygusal ve zihinsel kaynakları oluşturuyor.

Bilim ve Teknik İçin Ne Dedi?

Küçüklüğünde ailesinin evine düzenli giren *Bilim ve Teknik* dergisi, bilimle kurduğu bağı pekiştirmiş. Şimdi bu geleneği kendi kızıyla sürdürüyor. *Meraklı Minik* ve *Bilim Çocuk* dergilerine abone. Bu yayınların yalnızca bilgi vermekle kalmayıp bilimin topluma ulaşmasında

bir köprü görevi gördüğünü vurguluyor. Ona göre fiyatlarının erişilebilir olması, içeriklerin güncel ve anlaşılır biçimde sunulması da bilim iletişiminin ne kadar özenli yapıldığını gösteriyor. *Bilim ve Teknik*'in onun kariyer seçiminde doğrudan belirleyici olup olmadığını sorduğumuzda "Belki doğrudan değil ama enerji ve malzeme gibi alanların önemini fark etmemi sağladı." cevabını veriyor. Derginin özellikle dünyadaki bilimsel gelişmeleri takip etmeye olanak tanıdığını ve bu sayede araştırma gündemini şekillendiren konulara yönelmesinde etkili olduğunu anlatıyor.

Doç. Dr. İlknur Eruçar Fındıkçı'nın gelecek planları arasında yurt dışı iş birliklerini artırmak, disiplinler arası projelerde yer almak ve laboratuvarında daha fazla öğrenciyi desteklemek var. Ayrıca sentezledikleri malzemeleri endüstriyel ölçekte üretilebilir hâle getirmek için de çalışmalar yürütüyor. Ülkemizde de bu alanda önemli adımlar atıldığını, TÜBİTAK ve TÜBA gibi kurumların destekleriyle bilimsel altyapının güçlendiğini belirtiyor. En büyük hayali ise akademide yaptığı çalışmaları toplumsal fayda sağlayan ürünlere dönüştürmek. Kimi zaman bir hastaya umut kimi zaman çevreye katkı sunmak istiyor. Bu amaçla hem hesaplamalı hem de deneysel olarak çalışıyor. Laboratuvarında yürüttüğü projelerde, gelecekte ticarileşebilecek ürünlerin temellerini atıyor. Bu yaklaşımıyla bilimin sadece makalelerde kalmaması gerektiğini vurguluyor.

İlknur Eruçar Fındıkçı'nın hikâyesi, bilimle kurulan uzun soluklu bir ilişkinin, tutkuyla yapılan çalışmaların ve hayata dokunma arzusunun bir örneği. Onun akademik yolculuğu, genç bilim insanlarına ilham vermekle kalmıyor aynı zamanda bilimsel emeğin toplumsal faydaya dönüşmesinin de güçlü bir kanıtı olarak önümüzde duruyor.
Bu güzel söyleşimizin sonunda *Bilim ve Teknik* dergisi ekibi olarak Doç. Dr. İlknur Eruçar Fındıkçı'yı başarılarından dolayı kutluyor, nicelerini diliyor ve bize vakit ayırdığı için çok teşekkür ediyoruz. ■