



# Prof. Dr. Feryal Özel Anlatıyor...

**En Tuhaf Gök Cisminin Hikâyesi**

Karadelikler  
ve Olay Ufku Projesi

Dr. Özlem Ak [ TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi

Bilim ve Teknik Ocak 2020

*Sürekli okuduğu, üç ciltlik bilim ansiklopedisinin en çok atomla ilgili bölümleri ilgisini çekiyordu. Matematik ve özellikle de fizik merakı ilkokulda böyle başladı. O zamandan itibaren “Büyüdüğünde ne olacaksın?” sorularını hep “atom fizikçisi olacağım” diye yanıtladı. Lisede gönlü biraz moleküler biyolojiye kaysa da fizik ağır bastı. Lisans eğitimi Columbia Üniversitesinde fizik ve uygulamalı matematik bölümlerinde çift ana dal yaparak tamamladı. Doktorada çalışacağı konuya karar verirken parçacık fiziği ve astrofizik arasında kaldı. O dönemde astrofizikte çok fazla veri olması ve evrenin çok güzel bir laboratuvar olduğunu düşünmesi kendisini astrofiziğe yöneltti.*

*İyi ki de öyle oldu!*

*İlk karadelik görüntülerini elde eden Olay Ufku Teleskobu Projesi’nde, 347 kişi arasında yer alan ve projenin modelleme ve analiz grubunun liderliğini yürüten Prof. Dr. Feryal Özel üyesi olduğu Bilim Akademisi’nin “Yılın Konferansı 2019: Feryal Özel ile Bir Karadelğin İlk Fotoğrafları” etkinliği için İstanbul’daydı. Yoğun programı arasında Bilim ve Teknik dergisine de zaman ayırdı. Karadelik araştırmasındaki son yirmi yılı, karadeliklerle ilgili pek çok detayı ve Einstein’ı anlattı; bilim meraklılarına önerilerde bulundu.*

Prof. Dr. Feryal Özel son günlerde hep karadelik görüntüsüyle anılsa da aslında başka konularda da araştırmalarına devam ediyor. Doktora döneminde araştırma konusu seçerken fizik kuramlarını en iyi nasıl test edebileceğini düşünmüş ve çalışmalarında enerjinin ve kütle çekiminin en yoğun hâlini temsil eden karadeliklere ve onların “kuzeni” dediği ve maddenin en yoğun hâlini temsil eden nötron yıldızlarına odaklanmaya karar vermiş. Sonrasında bu iki “kuzeni” anlamak üzere araştırmalarına başlamış.

Prof. Dr. Özel, astronomide karadeliklere ilgi duyulmasının nedenini bütün galaksilerin merkezinde yer almalarına ve galaksilerin oluşumunu etkilemelerine, evrenin ilk dönemlerinden bugüne, yıldızların oluşumuyla karadeliklerin oluşumunun hep birbirini izlemesine bağlıyor. Temek fizik açısından ise karadelikler genel görelilik kuramının eksik olduğu bir noktanın bulunup bulunmadığı ve bunu tespit etmenin mümkün olup olmadığı sorularını cevaplayabilmek için önemli.

Karadelikler aslında 1960’larda keşfedildi. O yıllarda karadeliklere çok yaklaşan çevrelerindeki gaz kütleleri ve yıldızları yuttuklarında ortaya çıkan ışımaya gözlenebildi.

Sonraki yıllarda karadelikler hakkında edinilen bilgiler arttı. Prof. Dr. Özel ve arkadaşlarının da dâhil olduğu bilim insanları karadeliklerin çevrelerindeki yıldızların yörüngelerine ve gaz kütlelerine olan etkileri hakkında bilgiler edindi. Son birkaç yıldır yaptıkları gözlemlerde ise bir karadelğin ışığı gerçekten yuttuğu noktayı, yani olay ufku görebildiler.

Karadeliklerle ilgili çalışmalarına 1999 yılında başlayan Prof. Dr. Özel, karadeliklerin görüntüsüyle ve bu görüntüden ne öğrenilebileceğiyle ilgili ilk makalesini 2000 yılında yayımladı. O zaman bir elin parmaklarını geçmeyecek sayıda bilim insanıyla, karadeliklerin ışımaları doğrudan fotoğraflanabilir mi, bu tür bir gözlem yapmak için hangi dalga boyunu kullanmaları gerek, karadelikler gerçekten “kara” bir delik mi, karadelikler neden oluşuyor, Einstein’ın genel görelilik kanunu doğru mu, değilse eksiklikleri nedir gibi sorularla başladıkları yolculuk 20 yılın sonunda bütün dünyada ses getiren bir sonuca ulaştı.

## Tuhaf Gök Cisimleri Şu Karadelikler!

Prof. Dr. Feryal Özel evrendeki gök cisimleri arasında en tuhafının karadelikler olduğunu belirtiyor ve ardından ekliyor: “Fizik kanunları çerçevesinde yıldızları, gezegenleri, beyaz cüceleri, galaksilerin oluşumunu bilmese bile bu soruların bizi fiziğin bilmediğimiz bir noktaya götürdüğünü düşünmüyorum. Ancak bu karadelikler için geçerli değil. Çünkü karadelikler fiziğin bilmediğimiz bir noktaya gidiyor olabilir. Bir taraftan baktığımızda kütleçekim kanunu ve Einstein’ın genel görelilik teorisi, cisimlerin uzay zamanı büktüğünü söylüyor ama söz konusu karadelikler olunca bu uzay zaman bükülmesi sonsuza gidiyor. Yani hem kütle yoğunluğu hem enerji yoğunluğu sonsuza gidiyor. İşte bu genel görelilik teorisinin kırılma noktası! Diğer taraftan da kuantum mekaniği, yani atomun alt yapısı olan parçacıkları açıkladığımız fizik teorisi açısından bakıyoruz. Kuantum mekaniği ile genel görelilik teorisi birbirine uymuyor.

54

### M87\* Karadeligi ve Gölgesi

EHT ile alınan görüntülerde, karadeligi saran ve sıcaklığı milyarlarca dereceye ulaşan yüksek hızlı parçacıkların yaydığı ışına kendini asimetric bir halka olarak gösteriyor. Yüksek çekim alanı nedeniyle bu bölgeden yayılan ışık eğrisel yol izliyor ve olay ufkunun olduğundan daha büyük görünmesine neden oluyor.

Karadelik etrafında dolanan ve toplanma yapısı oluşturan gaz, olay ufkuna doğru yaklaştıkça ısınarak X ışınlarından radyo dalgalarına kadar farklı enerjilerde ışınım yayar. Olay ufkuna çok yakın olan fotonların bir bölümü, geçici olarak tuzaklanıp “foton halkası” oluştururlar ve son durumda ortaya çıkan gölge ile birlikte “İzmir lokmasına” benzer bir görüntü ortaya çıkar.

Bir tanesinin enerji tanımıyla diğerinin enerji tanımı aynı değil. Birinin yöntemlerini diğerine uygulayamıyoruz. Oysa bilimin test edebildiği koşullarda her ikisi de doğru. Bunların birbiriyle çakıştığı nokta ise karadelikler”.

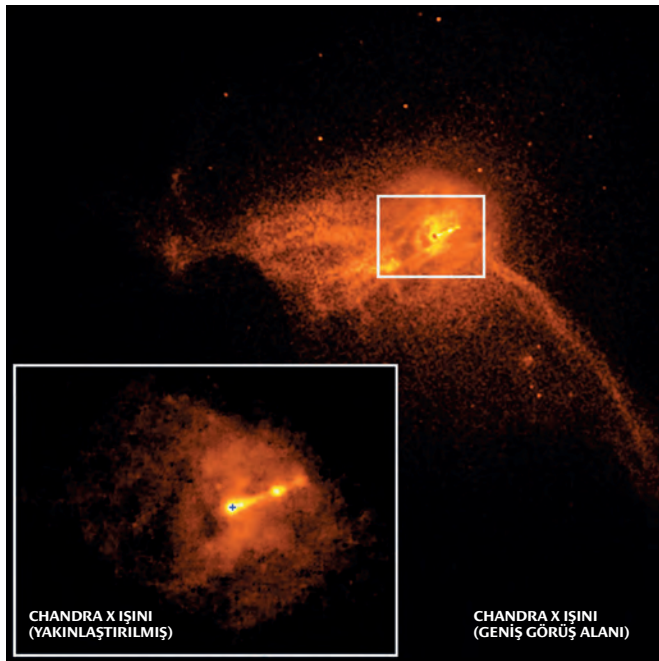
Kendisine çok yakın olan ışık demetini yuttuğu noktaya karadelik gölgesini bırakıyor. Bu nedenle de karadelğin ortasındaki deliğe karadelğin “gölgesi” deniyor. Bu da genel görelilik kanunun çok temel taşlarından biri.

Her Galaksinin Merkezinde Var,  
Bizimkinde de!

## Neden M87?

Aslında her galaksinin merkezinde karadelik bulunuyor. Prof. Dr. Özel, bugüne kadar gözlemledikleri tüm galaksilerin -küçük bir galaksi bile olsa- merkezinde karadelik olduğunu söylüyor. Mesela bizim galaksimizde kütesini bildikleri yaklaşık 35 tane karadelik var. Bir de 10 ila 30 güneş kütleli yani daha küçük olan ve varlığından şüphelendikleri yüz kadar karadelik daha var.

Peki, bilim insanları karadelik gözlemi için neden M87 galaksisinin merkezindeki karadeligi seçtiler? Prof. Dr. Özel bunun birkaç nedeni olduğunu söylüyor. Karadeliklerin kendisi ışımadığı ve onları görmek için çevrelerinden bir ışık kaynağı kullanmak gerektiği için seçecekleri karadelinin çevresinde onu aydınlatacak bir miktar gazın olması önemli kriterlerden biriymiş. Bu kategoriye giren başka karadelikler olmakla birlikte, karadelinin ışık üzerine bıraktığı gölgenin görülmesini engelleyebileceği için bu ışık kaynağının çok da fazla olmaması gerekiyormuş. Işık kaynaklarının fazla olması, ışığın kaybolduğu noktayı, yani karadelinin çevresine bıraktığı gölge denilen görüntüyü almayı önleyebilir.



Prof. Dr. Özel karadelinin gökyüzünde büyük bir açıya sahip olmasının da önemli bir kriter olduğunu söylüyor ve “büyük” derken bunun göreceli bir kavram olduğunu, aslında son derece küçük bir cisimden söz ettiklerini belirtiyor. Gözlemledikleri karadelinin 40 mikro yay saniyelik bir açıyı kapsadığı bilgisini vererek astronomide bu birimin nasıl kullanıldığını açıklıyor: “Ay’ın gökyüzünde kapladığı açıya yarım derece deniyor. 1 derece 60 yay dakikaya, 1 yay dakika 60 yay saniyeye, 1 yay saniye de 1000 mili yay saniyeye eşit. 1 mili yay saniye 1000’e bölündüğünde ise 1 mikro yay saniye elde ediliyor”.

Bir de “jet” kriteri var. Bir galakside bulunan jet denilen oluşumlar genellikle karadelinin varlığıyla ilişkilendiriliyor. Galaksinin merkezinde gerçekleşen ve güçlü ışınım ortaya çıkaran yüksek enerjili bir olaya sebep olan jetler, söz konusu galaksinin merkezinde karadelik olabileceğini gösteriyor.

Bilim insanları bu kriterleri göz önünde bulundurarak elli beş milyon ışık yılı uzaklıkta ama kütesi büyük olduğu için varlığından şüphe duydukları karadelikler içinde ikinci sıradaki M87 galaksisinin merkezindeki karadeligi (M87\*) görüntülemek üzere seçiyorlar. Seçtikleri bir diğer karadelik bizim galaksimizin merkezindeki Sagittarius A\* (Sgr A\*). Teleskop açını kurduktan sonra bu ikisini gözlemlemeye başlamışlar. Ancak Sgr A\*nun kütesi biraz daha küçük olduğu için çevresinde dönme hızı daha fazla ve birtakım özellikleri daha fazla değişkenlik gösteriyor. Dolayısıyla elde edilen verilerin analizi biraz daha uzun sürmüş ve önce M87\*nin görüntüsü ortaya çıkarılmış.

**NASA’nın Chandra uydusu ile (EHT ile eş zamanlı olarak) Nisan 2017’de yapılan X ışını gözlemleriyle oluşturulan M87’nin karadelinin bulunduğu merkezi bölgesinin geniş alan görüntüsü.**

Merkezde görülen jet akıntılarının, süper kütleli karadelinin toplanma diskindeki karmaşık yapıdaki manyetik alandan kaynaklandığı düşünülüyor. Işık hızına yakın hızlara ulaşan parçacıklar barındıran jet akıntıları, karadelinin bulunduğu gökada merkezinden birkaç bin ışık yılı uzağa kadar yayılabiliyor.

# Dünya Bir Teleskop Olursa...

M87 karadeliği dünyanın çeşitli yerlerine yerleştirilen radyo teleskoplarıyla, interferometri denilen yöntemle gözlemlendi. Bu yöntemde, atomik saatler yardımıyla aynı anda gözlem yapan tüm teleskoplara gelen ışığın dalga boyundaki her türlü dalgalanma, dalgaların ulaştığı saatler ve her türlü sinyalin kaydedildiği veriler bilgisayarlarda birleştirildi. Böylece uzaktaki bir cisme dünya büyüklüğünde bir teleskopla bakılmış gibi bir çözünürlük elde edildi.

Prof. Dr. Feryal Özel'e karadeliği gözlemlemek için neden dünyanın farklı yerlerine teleskoplar kurulduğunu ve böyle bir ağ oluşturulduğunu sorduğumuzda, karadeliği görüntülemek için dünya çapında bir teleskop

gerektiğini ve dünya çapında bir teleskop inşa etmek yerine fiziğin yardımlarıyla dünyayı teleskop hâline getirdiklerini söylüyor. Bir teleskop ne kadar büyük olursa çözünürlüğü de o kadar artar ve çok uzaktaki çok küçük gök cisimlerini bile görme imkânı sağlar.

2017'de ilk gözlemler yapılmaya başlandığında teleskop sayısı 8 iken bugün 10'a ulaşmış ancak Prof. Dr. Özel teleskop sayısını daha da artırmak istediklerini belirtiyor. Tabii ki teleskopların bulunduğu coğrafi konumlar da hayli önemli. Bir mm dalga boyunda gözlem yapıldığı için atmosferdeki nem oranı önemli bir kriter çünkü nem alınan sinyalin kalitesini düşürüyor. Teleskopların dağların tepesine kurulma nedeni de bu.

Prof. Dr. Feryal Özel 2015 yılında Amerikan Fizik Derneği onur üyeliğine seçilmiş.

## Aldığı ödüller:

Amerikan Fizik Derneği Maria Goeppert Mayer Ödülü, Harvard Radcliffe Enstitüsü Ödülü, California Berkeley Üniversitesi Miller Enstitüsü Onursal Profesörlüğü, Guggenheim Fellow Ödülü, ODTÜ Üstün Hizmet Ödülü, Amerikan Ulusal Bilim Kurulu Elmas Başarı Ödülü ve Breakthrough Ödülü.

Prof. Dr. Feryal Özel, NASA Astrofizik Komitesi Başkanlığı, NASA Lynx Uzay Teleskobu Bilim ve Teknoloji Danışmanlık Ekibi Başkanlığı ve Olay Ufku Teleskobu Bilim Konseyi ile Modelleme ve Analiz Çalışma Grubu Başkanlığı görevlerini sürdürüyor.

**Prof. Dr. Feryal Özel  
Yanıtıyor:**



Feryal Özel - Özlem Ak



## Beş Gecede Beş Petabayt Veri

Gözlem yapabilmek ve sağlıklı veri alabilmek için teleskopların bulunduğu her bir noktada hava koşullarının iyi olması gerekiyor. Bu koşul ancak 2017 yılının Nisan ayında sağlanabilmiş. Beş gece gözlem yapan ekip her gece 1 petabayt (1024 TB) veri kaydetmiş. Toplamda kaydedilen 5 petabayt büyüklüğündeki veriyi internet yoluyla bir merkezde toplamak mümkün olmadığı için yarım tonluk hard disklerde kayıtlı bu veriler kurye ile Massachusetts Teknoloji Enstitüsündeki bir merkeze gönderilmiş ki bu da yaklaşık altı ay kadar bir zaman almış. Burada veriler birleştirildiğinde veri miktarı binde bir oranında azaltılmış ve veri büyüklüğü 5 terabayta inmiş. Süper bilgisayarlar kullanılarak yürütülen ve

Kasım ayından Ocak'a kadar süren veri küçültme işleminden sonra verilerin analizi aşaması başlamış. Prof. Dr. Özel her bir teleskoptan elde edilen verilerin görüntünün bir parçasını oluşturduğunu ve tüm parçaları birleştirdiklerinde tek bir görüntü elde ettiklerini belirtiyor. 2018 yılının Ağustos ayında elde edilen görüntü, son kontroller yapıldıktan, analizlerden emin olunduktan ve 300'den fazla sayfadan oluşan 6 akademik makale yayımlandıktan sonra 2019 yılının Nisan ayında tüm dünyaya duyuruldu.



### Gelecekte dedektörlerin gelişmesiyle, çekimsel dalgaları kullanarak karadeliklerin hangi bilinmeyenlerine cevap bulabiliriz?

“Çekimsel dalgalar karadeliklere bakmanın farklı bir yolu. Biz elektromanyetik gözlemler yapıyoruz. Doğrudan karadeliğin çevresindeki ışımayı ve karadeliğin ışımaya etkisini ölçebiliyoruz. Lazer İnterferometre Kütle Çekim Dalga Gözlemevi (LIGO) ve VIRGO gibi çekimsel dalgaları ölçen dedektörler de var. Bunlarla birden fazla karadeliğin ya da karadeliğin nötron yıldızı çiftlerinin, birbirleri etrafında dönerek birbirlerine yaklaşmaları sırasında gerçekleşen uzay zaman bükülmesini inceleniyor. Gelecekte bizim kullandığımız tekniklerle, LIGO'nun hatta Lazer İnterferometre Uzay Anteni'nin (LISA) çok güzel bir sinerjisi olacak. Böylece karadeliklerin kendi eksenleri etrafındaki dönüş hızını ve tüm karadeliklerin kütlelerini öğrenmek mümkün olabilir.”

### Karadeliklerin yakınındaki devasa sıcak jetler nasıl oluşuyor?

“Tam olarak bilmemekle beraber manyetik alanların ve karadeliklerin kendi eksenleri etrafındaki dönüşünün rol oynadığını düşünüyoruz. Karadeliklerin kendi eksenleri etrafında döndükleri sırada çevrelerindeki manyetik alanları sarmal hâle getirdiklerini, böylece karadeliklere doğru akan maddelerin bir kısmının sarılı manyetik alanlar içinde hizalandığını ve sarmal manyetik alanları takip ederek uzak mesafelere büyük bir enerjiyle atıldığını düşünüyoruz. Olay Ufku Teleskobu'nun amaçlarından biri de karadeliğin çok yakınına bakıp bu jetlerin nasıl oluştuğunu ve manyetik alan olduğu zaman ışığın polarizasyonu da farklılaştığı için bu polarizasyonu anlamak.”

# 20 Yıl...

Görüntüsü elde edilen M87\* 6,5 milyar güneş kütleli ama boyut olarak çok küçük ve gökyüzünde minicik bir yer kaplıyor. Dolayısıyla M87\*yi gözlemleyebilmek için “dünya çapında bir teleskop” gerekiyordu. İşte bu yüzden 20 yıllık çalışmanın 15 yılını teleskopları farklı noktalara kurmak aldı. Tabii gözlemlemek için doğru karadeliği bulmak da önemliydi. Çünkü güçlü kütle çekimleri nedeniyle çevrelerindeki her şeyi yutan ve hiçbir ışına yapmayan karadelikler sadece çevreleriyle etkileşimleri sayesinde gözlemlenebiliyor. Örneğin, çevresinde dolaşan gazların karadeliğe doğru giderken yaptığı ışına gözlemlenebiliyor. Uygun bir karadelik bulmak için de uygun bir teleskop gerekiyor.

Prof. Dr. Özel’in de yer aldığı projede önce teleskoplar kurulmuş, sonra uygun karadeliğe karar verilmiş, gözlemlerle analizler yapılmış ve sonunda bir görüntü elde edilmiş... Tam 20 yılda!

## **Karadelikler hangi oranda çiftler hâlinde bulunuyorlar? Karadeliklerin birleşme oranlarındaki değişimin evrenin yapısı ve gelişimine etkisi ne olabilir?**

“Hangi oranda çiftler hâlinde bulduklarını bilmiyoruz. Örneğin yıldızlara baktığımız zaman yüksek kütleli yıldızların çoğu çiftler hâlinde. Yıldızların kütlesi ne kadar büyük olursa çift olma durumları da o kadar artıyor. Karadelikler de genellikle yüksek kütleli yıldızlardan oluştuğu için onların da çift olma oranı çok yüksek olabilir. Şu anda mesela LIGO aracılığıyla gözlediğimiz birçok karadelik çifti var. Ayrıca tek olarak gözlemlediğimiz ya da çevresinde normal bir yıldız ya da beyaz cüce olan karadelikler de var. Dolayısıyla kaynak sayımız arttıkça buna daha net cevap verebileceğiz. Örneğin büyük karadelikler, galaksilerin merkezindeki karadelikler ve galaksiler birleştiğinde birleşiyorlar.

Çok kısa bir süreyi çift olarak geçiren karadelikler sonrasında birbirlerine yaklaşıp birleşerek tek bir karadelik hâline geliyorlar. Ama bunu da doğrudan gözlemleyebilmek için LISA uydusunu beklememiz gerekiyor.”

## **Kuantum hesaplama veya bilgi teknolojilerinin gelişimiyle beraber karadeliklerle ilgili hangi bilinmeyenlere ulaşılabilir?**

“Kuantum hesaplama gerçekleştiği noktada büyük ihtimalle bizim hesap yapma hızımızı ve hatta şeklini değiştirecek. Zaten her zaman yeni teknolojilerden yararlanıyoruz. Örneğin bundan 10 yıl önce karadeliklerin çevresini modellemek için GPU (Graphic Processing Unit, Grafik İşleme Birimi) kullanmaya başladık. Bu da bir yenilikti ve aslında astrofizik alanında bunları kullanarak hesapları

# Bir Sonraki Aşama: Uzaydan Karadelikleri Gözlemlemek

Prof. Dr. Feryal Özel bundan sonraki aşamada daha fazla karadeligi gözlemlemeyi amaçladıklarını belirtiyor. Gözlemlenecek karadelikler arasında ilk sırada ise bizim galaksimizin merkezindeki Sgr A\* yer alıyor.

2017'de her iki karadelik de gözlenmeye başladı. Ancak Sgr A\*'nın kütlesi biraz daha küçük olduğu için çevresinde dönme hızı daha fazla ve birtakım özellikleri daha fazla değişkenlik gösteriyor. Dolayısıyla elde edilen verilerin analizi biraz daha uzun sürmüş ve önce M87'nin görüntüsü ortaya çıkarıldı. Yani önümüzdeki 6 ay içinde yeni bir karadelik görüntüsüyle karşılaşabiliriz. Prof. Dr. Özel, görüntülenen ikinci karadelik de aynı karakteri gösterirse, bunun uyguladıkları yöntemin başka karadelikleri gözlemlemek için de kullanılabilceği anlamına geleceğini ve bundan da son derece mutlu olacaklarını belirtiyor.

Bu arada önemli planlarından bir diğeri, uzun vadede hâlihazırdaki teleskop ağına başka teleskoplar da ekleyip görüntünün kalitesini artırmaya çalışmak. Teleskopların çözünürlüğünü çok daha fazla artırıp başka karadelikleri gözlemlemek için ise uzaya gitmek gerekiyor. Olay Ufku Projesi'nin devamında yatan asıl hedef ise milimetre dalga boyunda gözlem yapabilen bir ya da birkaç teleskobu yörüngeye yerleştirip benzer bir teleskop ağını uzayda kurmak ve uygun çözünürlüğe ulaşmak. Böylece 20 kadar karadeligi daha gözlemlemek mümkün olacak.

**Karadelikler ışığı bile yutan kuvvette kütleçekime sahip, çok fazla miktarda maddenin ve enerjinin neredeyse sıfır hacimde toplandığı, Einstein'ın genel görelilik teorisinin öngördüğü cisimler.**

hayli hızlandırdık. Tek tek modellemek yerine mesela seri hâlinde gaz kütlelerin hareketini ve ışımalarını izleyebildiğimiz filmler yapmaya başladık. Bu 10 yıl öncesinden başladığımız bir şey. Her zaman modellemeyi geliştirebilecek farklı teknolojiler arıyoruz. Ama kuantum hesaplamalar için daha epey vakit var.

**Şu ana kadar belirlenen en uzaktaki kuazarlarda bulunan süper kütleli karadelikler, evrenin erken dönemlerinde bu kadar büyük kütleyle (örneğin  $10^{10}$  Güneş kütlesi) nasıl ulaştılar?**

“Kesin bir yanıt vermek için yeterince gözlemimiz yok. Evrenin erken dönemlerine baktıkça o dönemde oluşmuş ve büyüyerek gerçekten milyar güneş kütlesine ulaşmış

karadelikler görüyoruz. Yani evrenin ilk 200 milyon yılı içinde -çok uzun gibi görünse de aslında hiç değil- evren soğuyacak, yıldızlar oluşacak, yıldızlardan ya da yıldız kümelerinden bebek karadelikler oluşacak, çevrelerindeki gazları yutarak ya da birbirleriyle birleşerek büyüyecekler, milyar ya da 10 milyar güneş kütlesi hâline gelecekler. Bir sonraki jenerasyon teleskopların cevap vermeye çalışacağı sorulardan biri bu. Şu anda benim NASA'da yürüttüğüm bir çalışma var: 15-20 yıl içinde uzaya fırlatılması planlanan *NASA Lynx Uzay Teleskobu*. Bu teleskobun cevabını arayacağı ana sorular arasında da en erken oluşmuş karadelikleri bulabilir miyiz, onların kütlelerini ölçebilir miyiz, onların çevrelerindeki gazları ve yıldızları yutarken büyüme evrelerini yakalayabilir miyiz soruları olacak. Şu anda söyleyebileceğimiz şey kesinlikle böyle bir dönemden geçtikleri ve çok büyük bir hızla büyüdükleri. Bunda başka karadeliklerle birleşmelerinin de etkisi olabilir. Ama nasıl o kadar hızlı olduğunu henüz bilmiyoruz.“



# Einstein Karadelikleri Sevmiyordu, Keşke Görebilseydi!

**E**instein'ın hayatı boyunca karadeliklerden nefret ettiğini ve hiçbir zaman karadelikler üzerine çalışmadığını Prof. Dr. Feryal Özel'den öğreniyoruz. Prof. Dr. Özel, karadeliklerin varlığını hiçbir zaman kabul etmeyen Einstein'ın kütle çekimini tamamen başka bir açıdan görmemizi sağlayan genel görelilik kuramına göre, karadeliklerin ne olması gerektiği, çevrelerine etkileri, görüntülerinin nasıl olabileceği, kütleçekim dalgaları ve onlarla ilgili hesapların hep 1970'lerde ve sonrasında yapıldığını belirtiyor. Ancak Prof. Dr. Özel karadeliğin görüntülenmesiyle Einstein'ın genel görelilik kuramını doğrulayan iki nokta olduğunu söylüyor:

“Kuram doğruysa ortası karanlık olan karadeliğin çevresinde bir ışık halkası olmalıydı. Karadeliğin kütlesine bağlı olarak bu ışık halkasının büyüklüğüyle ilgili bir tahminimiz vardı. Buradan ölçtüğümüz kütleyle, çevresindeki yıldızların hareketinden yani olay ufkundan çok daha uzakta olan ve karadeliğin çevresinde dolanan yıldızların hareketleriyle ölçtüğümüz kütle birbiriyle uyuyor. İkincisi eğer bu kuram doğruysa yine karadeliğin çevresinde dairesel bir ışık halkası olmasını ve daireden sapmamasını bekliyorduk”. Prof. Dr. Özel'e göre, şu andaki görüntünün çözünürlüğü çok iyi olmasa da daireden sapmanın %10'dan daha fazla olmadığını gösteriyor. Bu da zaten teoriyi doğrulayan bir nokta.

## **Hawking ışıması yapan karadeliklerin, bu ışıma yardımıyla gözlenemeyen bölgelerine ilişkin bilgi elde edilebilir mi?**

“Hawking ışıması çok zayıf, olay ufkunda olan bir ışıma yani olay ufkundaki kuantum etkileri nedeniyle gerçekleşebilecek bir ışıma. Yani karadeliğin gözlenemeyen bölgesinde değil. Bizim yaptığımız gözlemler de aşağı yukarı aynı yere bakıyor. Ama tabii ki fizik olayı olarak çok farklı bir noktaya odaklanıyor. Hawking ışımasıyla ise kuantum etkileri görülebilir ancak ne yazık ki çok zayıf bir ışıma. Dolayısıyla onu görmek için nasıl bir teleskop yapmamız gerektiği ya da nasıl bir teknoloji gerektiği henüz netleştirdiğimiz şeyler değil. Bir gün onu doğrudan görebilsek kuantum etkilerini de görebiliriz.”

## **Beyaz deliklerin karadeliklerden farkı nedir? Beyaz delikler sadece bir teorik olgu mu?**

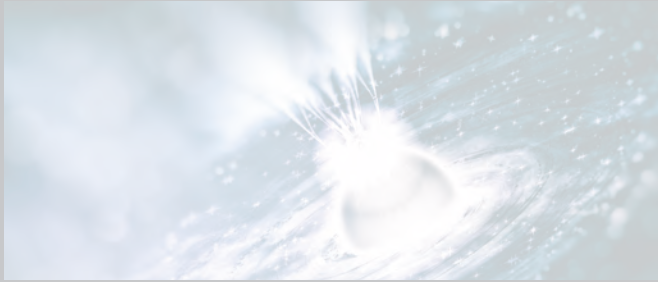
“Beyaz delikler tamamen matematiksel bir olgu. Genel görelilik kuramının matematiksel çözümlerinden biri. Ama bazen denklemleri yazdığımız zaman ve onların çözümünü bulduğumuz zaman bu fizik kanunlarına uygun mu diye tekrar elemeyen geçiriyoruz. Örneğin, zaman makinesinin fiziksel olarak gerçek olamayacağını ve bunun mantıksal bir zincirden geçmediğini düşünüyoruz. Beyaz delikler de matematiksel olarak mümkün ama evrende olduğunu düşünmediğimiz şeyler. Yine de biz açık fikirli davranıyoruz ve aramaya devam ediyoruz.”

Prof. Dr. Özel teleskop ağına daha fazla teleskop eklediklerinde daha iyisini yapabileceklerini ve %10'luk hata payını da ortadan kaldıracabileceklerini, hatta ileride gerçekten tam bir daire diyebilecekleri bir görüntü elde edebileceklerini söylüyor ve ekliyor: “Genel görelilik kuramı karadeliğin merkezinden itibaren belirli özel yerler olduğunu söylüyor. Örneğin bir noktaya kadar madde dairesel yörüngelerde dolanabilirken, bir noktadan sonra bunu yapamıyor ve içeri doğru düşmeye başlıyor, bu özel mesafeyi karadeliğin kütesine bağlı olarak tanımlayabiliyoruz. Ondan sonra ışığın çizdiği dairesel yörünge, yani olay ufku geliyor. Olay ufkunu biraz daha net görebilmeye; görüntü tam bir daire mi yoksa daireden sapmalar var mı öğrenmeye çalışıyoruz”.



### **Bir gün laboratuvar ortamında karadelik üretilebilir mi?**

“Belirli enerji yoğunluğuna ulaşırsanız karadelik üretebilirsiniz. Bir an için madde ve enerjiyi çok küçük bir hacme koyup geçici bir karadelik oluşturulabilir. Olay maddeyi belirli bir hacimden daha küçük hâle getirip oraya sıkıştırarak. Laboratuvarda bunu nasıl yapabiliriz tabii ki bilmiyoruz. Teorik olarak bu mümkün.”



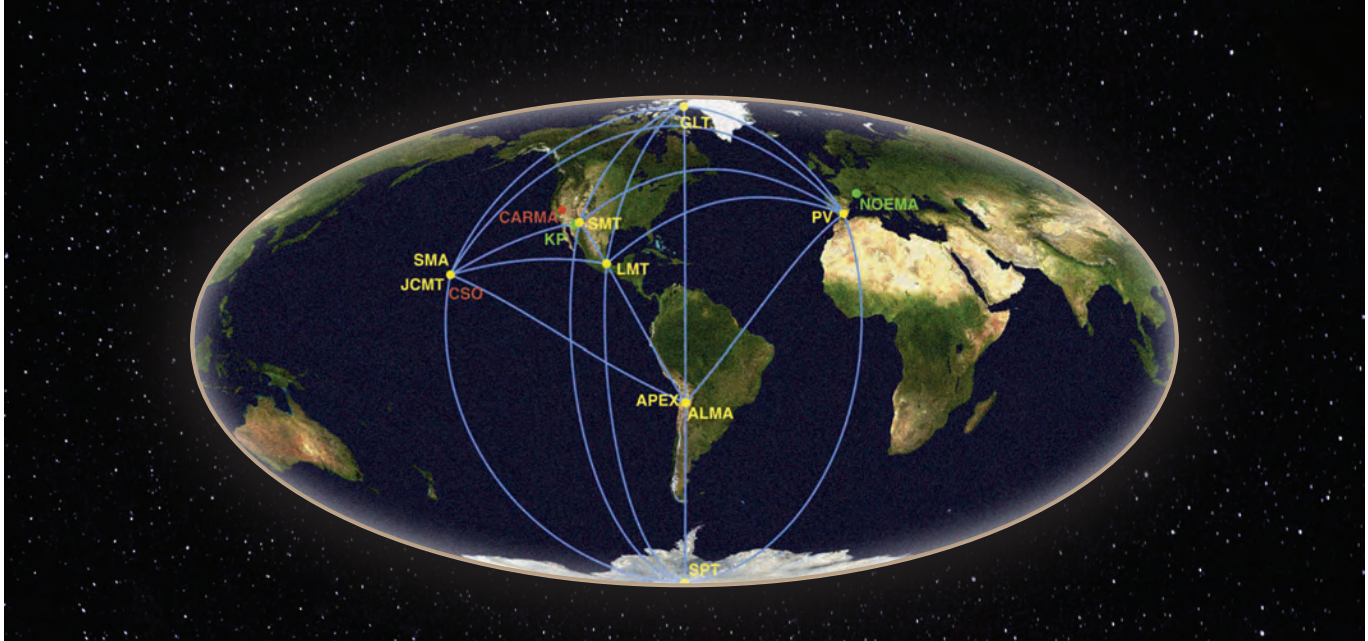
### **Bilim Sever Gençler Feryal Özel'e Kulak Verin!**

Prof. Dr. Feryal Özel büyük başarısıyla özellikle gençler için önemli bir rol model. Kendisi bilimin cinsiyetinin de yaşının da olmadığını; bilimin meraklı olan, yaşadığımız dünyayı ve evreni anlamaya çalışan herkes için olduğunu altını önemle çiziyor. Bu yolda kararlı ve sabırlı olmak gerektiğinin en önemli şey olduğunu söylüyor: “Bilim bugünden yarına sonuç alınacak bir şey değil; önlerine engeller çıkacak, çıkabilir demiyorum, kesinlikle çıkacak! Onları aşmak için ellerinden geleni yapsınlar. Yılmadan devam etmek gerek. Çevrelerindeki kişilerden yardım alarak ancak kendi akıllarını kullanarak yılmadan ve vazgeçmeden yollarına devam etsinler”. Prof. Dr. Özel kariyer tercihi konusunda ise gençlere gerçekten ilgi duydukları, emek vermek istedikleri, üzerinde uzun zaman zevkle çalışabilecekleri konuyu ya da mesleği düşünüp ona göre karar vermelerini öneriyor.



Birkaç trilyon yıldız içerdđi tahmin edilen dev eliptik gökada M87'nin optik görüntüsü (ESO, VLT teleskobu ile alındı).





Çok sayıda radyo teleskoptan oluşan ve uluslararası işbirliği ile geliştirilen gezegen-ölçeğindeki *Olay Ufku Teleskobu (EHT)* karadelik gözlemleri için tasarlandı. Gözlem programına katılan tekil teleskop ve gözlemevlerinin yerleri temsili olarak gösterilmiştir (üstte).

SMA (8 tane 6 metrelik Milimetre->Altı Dizgesi)  
 JCMT (15 metrelik James Clerk Maxwell Teleskobu)  
 SPT (10 metrelik Güney Kutbu Teleskobu)  
 ALMA (54 tane 12 metrelik ve 12 tane 7 metrelik Atacama Büyük Milimetre/Milimetre-Altı Dizgesi)  
 APEX (12 metrelik Atacama Keşif Deneyi Teleskobu)

LMT (50 metrelik Büyük Milimetre Teleskobu)  
 SMT (10 metrelik Milimetre-Altı Teleskobu)  
 KP (12 metrelik Kitt Tepesi Teleskobu)  
 CARMA (8 tane 10,4 ve 6,1 metrelik Milimetre-Dalga Astronomi Araştırmaları için Birleşik Dizgesi)  
 GLT (12 metrelik Grönland Teleskobu)

PV (30 metrelik Piko Veleta Teleskobu)  
 NOEMA (12 tane 15 metrelik Kuzey Genişletilmiş Milimetre Dizgesi)  
 CSO (10 metrelik California Teknoloji Enstitüsü Milimetre-Altı Teleskobu)

Prof. Dr. Feryal Özel, elde ettikleri görüntünün yıllarca büyük bilgisayarlar kullanarak oluşturdukları modellerin sonucuna çok benzediğini gördüklerinde sonuçtan emin olmak için defalarca doğruluğunu kontrol ettiklerini anlatıyor. Emin olduktan sonra ise o kadar zaman verilen emeğin karşılığını görmekten, nihayet kendi modellerine çok benzeyen bir karadelik görüntüsü elde etmekten ve tahminlerinin yüksek derecede doğrulanmasından dolayı çok büyük mutluluk yaşamışlar.

Biz de hem bu mutluluktan payımızı aldık hem de Prof. Dr. Feryal Özel ile tanışmanın ve söyleşi yapmanın onurunu yaşadık. Kendisiyle en kısa sürede, bir başka başarısını konuşmak üzere bir araya gelmeyi umut ederek yanından ayrıldık. ■

*Bilim ve Teknik'e zaman ayırdığınız için teşekkürler Feryal hocam...*

#### **Ortaokul ve lise yıllarında Bilim ve Teknik okuduğunu belirten Prof. Dr. Feryal Özel'in dergimizle ilgili düşünceleri:**

"Kurumsallaşmış, sürekliliği olan, nesillere bilimi sevdirmiş, çok güzel bir dergi. Bu tür araçları kullanarak bilimi yeni kuşaklara sevdirmek; kafalarında sorular oluşturmak; merak duygusunu beslemek; dünyada fizik, tıp ve diğer bilim alanlarında yapılan araştırmalardaki gelişmeleri topluma aktarmak çok önemli. Devam etmesini gönülden dilerim."