

Matematiğin En Prestijli Ödülleri

Fields, Abacus ve Chern Madalyaları Sahiplerini Buldu

İlay Çelik Sezer [TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi

Prof. Dr. Ekin Özman [Boğaziçi Üniversitesi Matematik Bölümü

Uluslararası Matematik Birliği (International Mathematical Union: IMU) tarafından verilen ve alanlarındaki en prestijli ödüller olarak bilinen Fields, Abacus ve Chern Madalyaları bu yılki sahiplerini buldu. Bu ödüller 4 yılda bir düzenlenen Uluslararası Matematik Kongresi'nde takdim ediliyor. Fields ve Abacus Madalyaları 40 yaş altı bilim insanlarına yönelik. Chern Madalyası için ise bir yaş sınırı bulunmuyor.



Fields Madalyası, adayların hem ortaya koydukları çalışmalara hem de gelecek için başarı vaat etmelerine istinaden üstün matematiksel başarıları takdir etmek amacıyla veriliyor. Abacus Madalyası da bilişim bilimine matematiksel yönden üstün katkılarda bulunan matematikçilere veriliyor.

Bu yıl dört matematikçi Fields Madalyası'na layık görüldü. Hugo Duminil-Copin, istatistiksel fizikteki özellikle üç ve dört boyutlu faz geçişlerine ilişkin rastlantısal kurama ait uzun süredir çözüm bekleyen problemleri çözdüğü için; June Huh, Hodge kuramındaki fikirleri kombinatoriğe uyguladığı, geometrik kafesler için Dowling-Wilson kestirimini kanıtladığı, matroidler için Heron-Rota-Welsh kestirimini kanıtladığı, Lorentzian polinomları kuramını geliştirdiği ve güçlü Mason kestirimini kanıtladığı için; James Maynard, analitik sayı kuramına ve asal sayıların yapılarının anlaşılmasına katkılarının yanı sıra Diophantine yakınlıklarında önemli ilerlemeler sağlayan çalışmalarından dolayı; Maryna Viazovska ise E_8 kafesinin özdeş kürelerin 8 boyutlu uzayda en sıkı şekilde istiflenmesini sağladığını kanıtlamasının yanında bununla ilintili uç problemlere ve Fourier analizindeki enterpolasyon problemlerine katkılarından dolayı Fields Madalyası ile ödüllendirildi.

Fields Madalyası Kazanan İkinci Kadın Matematikçi

Bu yılki tören, Fields Madalyası'nın 86 yıllık tarihinde ikinci kez bir kadın matematikçinin ödül almasına sahne oldu. Törende Maryna Viazovska'nın matematikteki pek çok başarısından, özellikle de E_8 olarak adlandırılan kafesin kürelerin 8 boyutlu uzayda en sıkı şekilde istiflenmesini sağladığına ilişkin kanıtından bahsedildi. Viazovska'nın çalışmalarını ve başarılarını takdim etmek üzere davetli olarak bir konuşma yapan matematikçi Henry Cohn, Viazovska'nın pek çok insanın deneyip başaramadığı hiç de bariz olmayan keşifler yaptığından söz etti.

Ukrayna'da doğup büyüyen Viazovska ailesiyle birlikte, her iki ebeveyninin de eğitimi ve iş sahibi olmasına rağmen 1980'li yıllarda Sovyet rejiminde, bağımsızlığının erken yıllarındaki olumsuz ekonomik şartlardan dolayı da Ukrayna'da pek çok aile gibi zorluklar yaşadı.

Viazovska daha ilkököl birinci sınıftayken okuma yazma işlerinden çok matematiği sevdiğini fark etti. "Okumada çok yavaş, yazmada çok dağınıktım. Ama matematikte hayli hızlıydım."



Maryna Viazovska



Mariam Mirzakhani

Viazovska, Fields Madalyası'nın 86 yıllık tarihinde ödül alan ikinci kadın oldu. Fields Madalyası kazanan ilk kadın matematikçi ise 2014'te ödüllendirilen ve 2017'de henüz 40 yaşındayken hayata veda eden Mariam Mirzakhani idi.



Ressam M. C. Escher'in dairesel döşeme desenlerinin bir örneği.

şeklinde açıklıyor bu durumu. Eğitiminin sonraki yıllarında da matematiğe olan yeteneği, ilgisi ve tutkusunu dikkat çekiciydi. Lise eğitimini özel programlı bir okulda aldı. Burada öğrencilerin ileri düzey matematik ve fizik konularını anlaması için büyük gayret gösteren öğretmenleri sayesinde güçlü bir temel edindi. Bu okulda öğrenciyken yıllardır istediği Bilim Olimpiyatları'nın rekabetçi dünyasına daldı. Ancak Olimpiyatlar'da hayal ettiği ölçüde başarılı olamadı. Yine de bu sürecin ona kazanmayı ve kaybetmeyi öğrettiğini düşünüyor.

Viazovska bir matematikçi olarak ilk büyük başarısını 2005'te Kiev Üniversitesinde son sınıf öğrencisi iken matematikte yüksek lisans

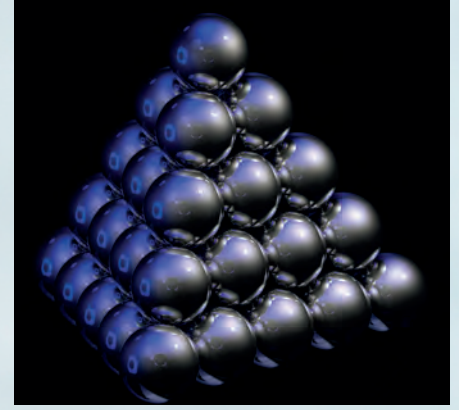
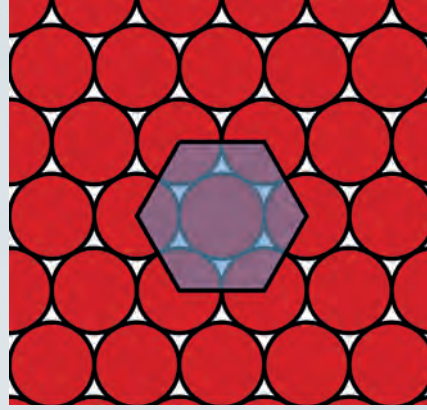
yapan Andrii Bondarenko ile birlikte ilk orijinal araştırma sonuçlarını yayımladığı zaman yaşadı ve bu başarı kendine olan güvenini güçlendirdi. Bu makaleden sonra kendilerine Danylo Radchenko'nun da katılmasıyla iyi bir öğrenci ekibi oldular ve 2011'de en prestijli matematik dergisi sayılan *Annals of Mathematics*'de, matematik dünyasında hayli ses getiren bir çalışma yayımladılar. Çalışmaları, belirli bir noktalar kümesindeki değerlerine bakarak bir fonksiyonun davranışını analiz etme şeklindeki klasik türde bir problemi irdeliyordu.

Lisans yıllarında Viazovska çalışmalarını apayrı alanlar olarak görünen cebir ve analiz (kalkülüsün bir genellemesi)

arasında paylaşarak kendi deyimiyle "ikili" bir hayat yaşıyordu. Ancak sonra doktora çalışmaları için Bonn'a gitti ve burada modüler formlar üzerinde çalışmaya başladı. Modüler formlar, ressam M. C. Escher'in dairesel döşeme desenlerinde görülen cinsten özel simetritlerle ilgili fonksiyonlardır. Modüler formlar çokça analiz içeren bir alan olmasına rağmen bunların simetriterini incelemek için cebir de kullanmak gerekiyor. Viazovska böylece bu alanın iki ayrı tutkusunu bir araya getirdiğini söylüyor.

Viazovska, Bondarenko ve Radchenko'yla birlikte üçlü olarak da bir süre çözmeye çalışmış oldukları yüzlerce yıllık bir soruyu yeniden ele alarak modüler formların kürelerin

Dairelerin düzlemde en sıkı şekilde istifleme yolunun petek örüntüsü (solda), kürelerin 3 boyutlu uzayda en sıkı şekilde istiflenme yolunun ise manavlardaki gibi piramit şeklinde (sağda) istiflenme olduğu biliniyordu.



en sıkı şekilde nasıl bir arada istiflenebileceği sorusunu aydınlatıp aydınlatamayacağını araştırmaya başladı. Matematikçiler daireleri düzlemde en sıkı şekilde istifleme yolunun petek örüntüsü, küreleri 3 boyutlu uzayda en sıkı şekilde istifleme yolunun ise manavlardaki gibi piramit şeklinde istifleme olduğunu biliyorlardı. Ancak aynı soru daha yüksek boyutlar için de sorulabilirdi.

Üçten daha fazla boyutlu uzaylarda küreleri en sıkı şekilde istiflemenin yolunu ise kimse bilmiyordu. Ancak iki özel boyut (8 ve 24) için güçlü adaylar vardı. Bunlar E_8 (8 boyutlu için) ve Leech kafesleri (24 boyutlu için) adı verilen, yüksek derecede simetrik ve küreleri matematikçilerin bulabildikleri diğer tüm düzenlemelerden daha sıkı şekilde istifleyebilen iki düzenleme şekliydi.

Harvard Üniversitesinden Noam Elkies, belirli fonksiyonları kullanarak kürelerin ne kadar sıkı istiflenebileceğine ilişkin üst sınırlar hesaplamaya yönelik

bir yöntem geliştirmişti. 8 ve 24 boyutlu uzaylarda bu üst sınırlar E_8 ve Leech'e karşılık gelen yoğunluklarla neredeyse bire bir örtüşüyordu. Matematikçiler bu iki boyutun her birinde, üst sınırı E_8 ve Leech kafesleriyle kusursuz biçimde uyuşan, böylece bunların en sıkı istiflenme düzenleri olduğunu kanıtlayacak "sihirli" fonksiyonlar olması gerektiğinden emindi. Ancak araştırmacıların bu fonksiyonları nerede bulabilecekleri konusunda hiçbir fikri yoktu.

Bondarenko, Viazovska ve Radchenko bir sihirli fonksiyon kurabilme çabasıyla modüler formlara yöneldiler ancak uzun bir süre üzerinde çalışmalarına rağmen çok küçük bir ilerleme kaydedebildiler. Sonunda Bondarenko ve Radchenko dikkatlerini başka problemlere yöneltti. Ama Viazovska kürelerin istiflenmesi konusunu düşünmekten kendini alamıyordu. Kendi deyişiyle problem sanki ona aitti.

Viazovska problem üzerinde birkaç yıl çalıştıktan sonra 8 boyutlu uzay için gereken sihirli fonksiyonu bulmayı başardı. Probleme bulduğu çözüm bir modüler formdan değil, belirli bir "kuazimodüler form"dan (simetrisinde hatalar olan bir form) geldi. Sonuçları açıkladığı makalesi pek çok matematikçi tarafından çok etkileyici bulundu. Cohn da bunlar arasındaydı. Cohn, Viazovska'nın yaklaşımının 24 boyutlu uzayda da geçerli olacağından emin şekilde Viazovska'ya iş birliği teklifinde bulundu. Sonunda Cohn, Viazovska, Radchenko ve iki başka matematikçi bir haftalık yoğun bir çalışma sonucunda Leech kafesinin 24 boyutlu uzayda kürelerin en sıkı şekilde istiflenmesini sağladığını kanıtlamayı başardılar.

Viazovska ve çalışma arkadaşları bunun ardından gözlerini daha da büyük bir hedefe diktiler. Matematikçiler uzunca bir süredir E_8 ve Leech kafeslerinin kürelerin en iyi şekilde istiflenme

şekli olmaktan daha fazlasına sahip olduğunu düşünüyor, bu kafeslerin “evrensel olarak optimal olduklarını”, yani bir sürü kriter (örneğin birbirini karşılıklı iten elektronların boşluktaki ya da kıvrımlı polimerlerin çözelti içindeki en düşük enerjili pozisyonları) için de en iyi düzenlemeyi sağladığı hipotezini savunuyorlardı. Viazovska ve arkadaşları, E_8 ve Leech kafeslerinin tüm bu farklı bağlamlarda enerjiyi minimize ettiğini kanıtlamak üzere çalışmaya başladı ve bir temel oluşturdular. Ancak bu temelin onları kanıtla götürmesi Viazovska'nın bir noktada çok kritik ve cesurca bir kestirimde bulunması sonucunda mümkün oldu. Sonuçta yayımladıkları makale çığır açıcı bir gelişme olarak kabul ediliyor.



Leech kafesinin 24 boyutlu uzayda kürelerin en sıkı şekilde istiflenmesini sağladığını kanıtlamak üzere Viazovska ile iş birliği yapan Henry Cohn, Fields Madalya töreninde de Viazovska'yı takdim konuşmasını üstlendi.

Asal Sayılarla İlgili, Tarifi En Kolay, Çözümü En Zor Problemlerin Fatihi

2022 Fields Madalyası sahiplerinden biri de Oxford Üniversitesi profesörü 35 yaşındaki James Maynard oldu. Maynard resmî Fields açıklamasına göre “analitik sayı kuramına olağanüstü katkılarından dolayı” ödüllendirildi.

Küçüklüğünden beri kendi yolunu çizmeyi seven bir mizaca sahip olan Maynard, eğitim hayatı boyunca bir şekilde hep matematikle daha çok içi içe olacağı seçimler yaptı. Oxford'daki lisansüstü eğitimi sırasında



James Maynard

matematikteki sıra dışı yeteneği görünür hâle geldi. Doktora tez danışmanı Roger Heath-Brown, Maynard'ın doktora sürecinin ikinci yarısından itibaren artık görüşmelerinin bir danışman-danışan buluşmasından çok birlikte çalışma toplantısı gibi geçtiğini belirtiyor.

Maynard, Oxford'dan ayrılıp bir yıllığına doktora sonrası çalışmaları için Montreal Üniversitesine gittiği dönemde, asal sayıların aralıklarını anlamaya yönelik potansiyel bir yaklaşım üzerine kafa yormaya başlamıştı bile. Bir kural olarak asal sayılar sayı doğrusunda ileri gidildikçe daha seyrek bulunmaya başlar. Ancak bazı açılardan da rastgele sayılar koleksiyonu gibi davranırlar, bu yüzden matematikçiler bu sayıların sıklıkla birbirlerine göre ortalamadan daha yakın ya da daha uzak şekilde konumlanmasını bekler. Matematikteki en

ünlü problemlerden biri ikiz asal sayılar kestirimidir. Buna göre aralarındaki fark sadece 2 olan sonsuz sayıda asal sayı çifti vardır.

Maynard on yıl kadar önce yayımlanmış bir makalede açıklanan, asal sayıları filtrelemeye yönelik bir yöntemin asal sayıların aralıklarının anlaşılmasında da ilerleme sağlayabileceğini düşündü. Bilgisayarlı hesaplamalar da yaparak konu üzerinde çalıştıkça bu doğrultuda anlaşılmayı ve keşfedilmeyi bekleyen bir şeyler olduğuna ilişkin işaretlere rastladı. Doktora sonrası danışmanı Andrew Granville ise Maynard'ı bu yolda gitmekten alıkoymaya çalıştı çünkü bundan tatmin edici bir sonuç çıkmayacağını düşünüyordu. Ancak Maynard hiç oralı olmadı ve çalışmasına devam etti.

Maynard bu konu üzerinde çalışmaktayken sayı kuramı dünyasını sallayan bir gelişme oldu. Adı pek duyulmamış Yitang Zhang adlı bir matematikçi, ikiz asal kestiriminin ispatı değilse de ona o zamana kadarki en yakın ispatı yaptı. Zhang, aralarında en fazla 70 milyon fark bulunan sonsuz sayıda asal sayı çifti olduğunu ispatladı. Bu sırada Maynard asal sayıların aralıklarını anlamaya yönelik kendi yaklaşımı üzerinde çalışmaya devam etti. Yaklaşık altı ay sonra, Zhang'inkinden tamamen bağımsız ve daha güçlü bir yaklaşım ortaya çıkardı.



Maynard'ın ispatı, aralarında en fazla 600 fark bulunan sonsuz sayıda asal sayı çifti olduğunu gösteriyordu. Üstelik Maynard'ın yaklaşımı sadece asal sayı çiftleri için değil; üçlüleri, dörtlüleri ve daha büyük koleksiyonlar için de (her biri için farklı bir aralık sınırı vermek şartıyla) geçerliydi. Bu, o kadar iyi bir sonuçtu ki Maynard'ın kendisi bile bir yerde bir hata mı yaptım diye bulgusuna kuşkuyla yaklaşıyordu. Granville, Maynard'ın ispatını en küçük ayrıntısına kadar yazması gerektiği, aksi takdirde kimse tarafından tanınmadığı için hiç

kimsenin ona inanmayacağı konusunda ısrarcı oldu. Sonuçta Maynard mükemmel bir makale ortaya çıkardı.

Öte yandan bu sürecin sonlarına doğru beklenmedik bir gelişme yaşandı. Maynard ve Granville, başka bir matematikçinin, hem de Fields Madalyası sahibi ünlü bir matematikçi olan Terence Tao'nun da aynı sıralar aynı sonucu elde ettiğine ilişkin bir duyum aldı. Zhang'ın 70 milyon üst sınırıyla ilgili ispatı yayımlandıktan sonra matematikçiler bu üst limiti aşağı çekmek üzere büyük bir iş

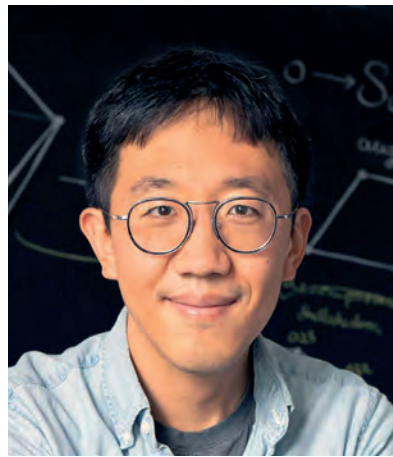
birliği içine girdiği zaman Tao da bu problemle ilgilenmeye başlamıştı. Doğrusu Tao, Maynard'ın sonucunu duyuncaya kadar kendi ispatıyla gurur duyuyordu. Ancak Maynard'ın ispatını okuyunca onun daha net sonuçları olduğunu ve biraz daha güçlü ifadeler kanıtladığını gördü. Bunun zerine büyük bir yüce gönüllülük rneği göstererek bu kadar genç bir matematikçinin başarisını glgelememek adına kendi sonucunu yayımlamaktan vazgeçti. Biliyordu ki Maynard'la ortak bir yayın yapsalar herkes için asıl zor kısmını Tao'nun yaptığını düşünecekti.

Maynard asal sayılar arasındaki kk aralıklarla ilgili ispatını yayınladıktan sonra sayı kuramcıları onun ortaya koyduğu anlayışı hemen başka problemlere de uygulamaya başladı. Ancak bu doğrultuda da en büyük başarı yine bizzat Maynard'dan geldi. Maynard asal sayıların büyük aralıklarının nasıl ele alınması gerektiğini de zerek bu konuda 75 yıldan uzun bir süredir hiçbir ilerleme sağlanamamış tahminleri geliştirdi. Granville, Maynard'ın kendi yöntemini bu yeni senaryoya uygulamasını sayı kuramında gördüğü en akıllıca numaralardan biri olarak niteliyor. Maynard daha sonra yaptığı bu ve benzer çalışmalarla da orijinalliğini ortaya koydu ve sayı kuramı dünyasında büyük bir heyecan uyandırdı.

Matematikte Kendini Bulan Kayıp Ruh: June Huh

Bu yıl Fields Madalyası kazanan matematikçilerden biri olan June Huh belki de en sıra dış hikyelerden birinin kahramanı. Uzattığı niversite hayatının altıncı senesine kadar matematiğe yönelik en kk bir ilgisi olmayan Huh, bugün kombinatorik ve geometri alanları arasında bağlantılar kurarak ortaya koyduğu st düzey keşifler sayesinde 39 yaşında Fields Madalyası sahibi oldu.

Huh'ın matematiksel olarak en önemli özelliği, matematiğin farklı alanlarında "gezerek" tam da doğru nesnelere bulma yeteneği. Huh, görünürde birbirinden uzak alanlar olan geometri ve kombinatoriği birbiriyle diyaloga geçirmek için tam da gereken



June Huh

nesnelere belirlemeyi başardı. Lisansüstü eğitim döneminden itibaren matematiğin diğer dallarına uğrayıp dolambaçlı yollar katederek her bir ispatın kalbine ulaşmak suretiyle kombinatorikteki birkaç önemli problemi zvmeyi başardı.

Aslında bu anlamda Huh'ın hayat hikyesinin de matematik yapma şekline benzediği söylenbilir. Gençken matematiğe yönelik herhangi bir tutkusu olmayan ve aslında neyle ilgilendiğini, neye yetenekli olduğunu ve ne yapmak istediğini bile bilmeyen Huh; bir tesadüf sonucunda matematiği sevebileceğini anlamış.

Huh herhangi bir günde sadece üç saatliğine odaklanarak alışıyor. Ancak bu sürede çalıştığı şey bir matematik problemi olabildiği gibi bir derse hazırlanmak ya da oğluna doktor randevusu ayarlamak gibi rutin bir iş de olabiliyor. Hatta genellikle neye odaklanmak istediği üzerinde pek fazla kontrolü olmadığını kendisi de itiraf ediyor. Sevdiği bir şey bile olsa, kendisini bir şey yapmaya zorlamanın ve belirli planlar yapmanın asla işe yaramadığını da belirtiyor. Ayrıca dikkatini bir şeyden başka bir şeye geçirmekte de zorlanan bir yapısı var.

Aslında bu durum Huh'ın kklğnden beri böyleydi. Okula gitmek onun için işkence gibiydi. Aslında ğrenmeyi seviyordu ama sınıf düzeni içinde

bir şeye odaklanmayı ya da dersten bir şeyler kapmayı başaramıyordu. Bunun yerine kendi kendine kitap okumayı ve evlerinin yakınındaki bir dağda yürüyüşe çıkmayı yeğliyordu.

Matematikten kaçınmak için elinden geleni yaptı. İstatistik hocası olan babası bir keresinde ona bir çalışma kitabından sorular çözdürmeye çalıştı. Ama o cevapları arkadan kopyalamayı tercih etti. Lise yıllarında şair olma tutkusuyla okulu bırakmayı düşündü. Ancak sonra bunun kendisi için o kadar da tatmin edici bir uğraş olmadığını fark etti. 2002’de Seul Ulusal Üniversitesine girdiğinde kendini tamamen yönsüz ve amaçsız hissediyordu. Bir



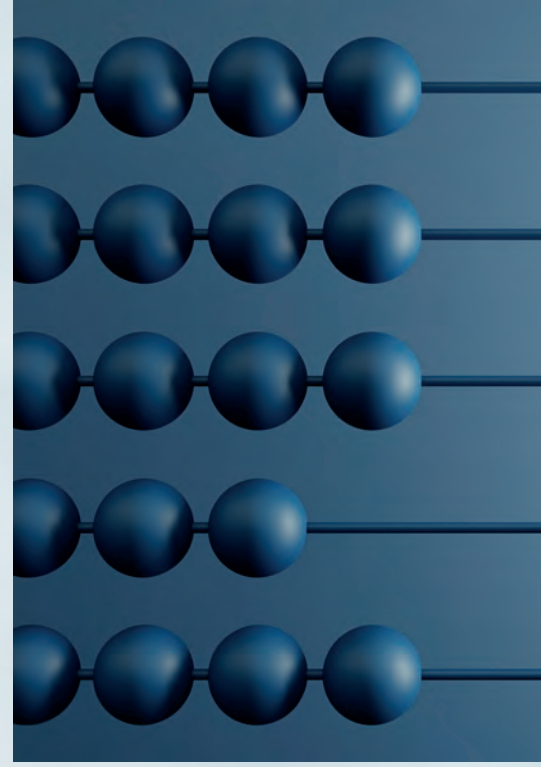
The Heidelberg Laureate Forum

1970’te Fields Madalyası kazanan Heisuke Hironaka, Huh’ın hem matematiğin büyüdü dünyasına girmesine vesile oldu hem de hayli geç dâhil olduğu matematik alanında açıklarını kısa sürede kapatmasına âdeta bir usta-çırak ilişkisi içinde yardım etti.

ara bilim yazarı olmayı düşünüp astronomi ve fizik okumaya karar verdi. Ancak sıklıkla dersleri kaçırıyor ve bazı dersleri tekrar almak zorunda kalıyordu. O dönemi, “Genellikle kaybolmuş hissediyordum. Ne yapmak istediğimi, neye iyi olduğumu bilmiyordum.” şeklinde betimliyor Huh.

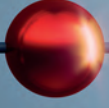
Altı senelik üniversite hayatının son yılındayken, 1970’te Fields Madalyası kazanmış ünlü bir matematikçi olan Heisuke Hironaka’nın verdiği bir derse kaydoldu. Huh çabucak karizmatik bir hoca olan Hironaka’nın etkisinde kaldı. Ama onu ilk günden itibaren büyüleyen şey yalnızca hocanın karizması değil, aynı zamanda matematiğin kendisi oldu. “Cebirsel Geometriye Giriş” olarak sunulan derste, normalde cebirsel denklemlerin çözümleri ve bunların geometrik özelliklerinin işlenmesi gerekirken Hironaka belirli tiplerdeki uzaylara odaklanan bir alan olan tekillik kuramı adlı bir alanda kendi yaptığı çalışmalardan söz ediyordu. İki yüz kişiyle başlayan sınıf mevcudu hızla azaldı ve derste kala kala Huh dâhil beş öğrenci kaldı.

Huh hayatında ilk defa matematiksel bir araştırmaya gerçek zamanlı olarak tanıklık ediyordu. Hironaka’nın dersleri diğer lisans dersleri gibi yapılandırılmış, soruları önceden cevaplandırılmış dersler değildi.



İşte tam da bu belirsizlik, hiç kimsenin nasıl yapıldığını bilmediği bir şeyi yapmaya çalışmak, bilinmezliğin verdiği özgürlük ve böyle bir durumda mümkün olabilecek sürprizler Huh’ın hoşuna gitti.

Hironaka belki de bunu fark ederek Huh’la daha fazla ilgilenmeye başladı. Huh mezun olup Seul Ulusal Üniversitesinde bir yüksek lisans programına başladıktan sonra Hironaka ile bol bol zaman geçirdi. Tatillerde Japonya’ya onunla birlikte gidiyor, Tokyo ve Kyoto’da onunla kalarak matematik konuşmaya devam ediyordu.



Pek parlak olmayan lisans deneyimi yüzünden ABD’de başvurduğu bir düzine doktora programının biri hariç hepsinden red aldı. 2009’da University of Illinois, Urbana-Champaign’de doktora başladı. Başka bir ülkede yaşamaktan kaynaklanan zorluklara rağmen doktora sırasındaki deneyimleri çok değerliydi. Kendini tamamen matematiğe verebilmişti ve matematiği en başta kendisine çekici kılan keşif özgürlüğünün tadına varabilmişti.

Kısa sürede sivrilmeyi başardı. Henüz Illinois’de doktora öğrencisi iken graf (çizge) kuramındaki 40 yıllık bir problem olan “Read’s kestirimi”ni ispatlamayı başardı. Ortaya koyduğu çözüm matematik

camiasını şaşırttı. Daha önce doktora başvurusunu reddeden Michigan Üniversitesi Huh’ı davet ederek doktora programına aldı. Huh matematikçileri davranışlarıyla da etkiledi. Huh’ın konuşmaları ve konferansları anlaşılır ve somuttu. Onunla konuşulduğunda üzerinde çalıştığı kavramlar hakkında hem derin hem de geniş bir biçimde düşündüğü açıkça görülüyordu. Bir lisansüstü öğrencisi için şaşırtıcı derecede olgun görünüyordu. Çalışma arkadaşları Huh’ın aynı zamanda son derece mütevazı biri olduğunu da vurguluyor.

Huh daha sonra Eric Katz ile birlikte çalışarak matroid adı verilen nesnelere ilgili önemli bir ispat daha yaptı. İkili tüm matroidler için log dışbükeyliğini ispatlayarak “rota kestirimi” adı verilen problemi çözdü. Hodge kuramındaki fikirleri kombinatoriğe getirmesi, geometrik kafesler için Dowling-Wilson kestirimini kanıtlaması, Lorentzian polinomları kuramını geliştirmesi ve güçlü Mason kestirimini kanıtlaması da Huh’ın diğer önemli başarıları arasında yer alıyor.

Matematiğe Sportif Yaklaşımıyla Hugo Duminil-Copin

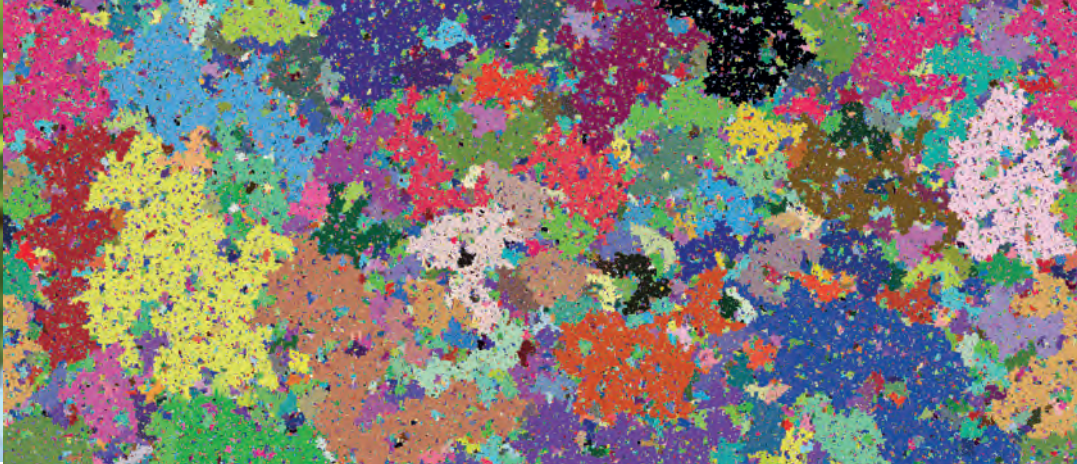
2022 Fields Madalyası sahiplerinden Hugo Duminil-Copin, gerek matematiğe yaklaşımı gerekse kişiliği ile matematikçilerle ilgili kimi klişeleri ya da ön yargıları yıkıyor. Örneğin matematiğin genellikle bireysel bir uğraş olduğu düşüncesinin aksine, Duminil-Copin çalışmalarının her aşamasında paylaşımı, tartışmayı ve konuşmayı seviyor. Yine matematikçilerin genellikle içe dönük yapıda olduğu düşüncesinin aksine, onun dışa dönük ve sosyal bir kişiliği var.

Duminil-Copin’in karmaşık ağların akışla ilgili özelliklerine ilişkin geliştirdiği anlayışlar ona bu yıl Fields Madalyası kazandırdı. Sportif bir insan olan Duminil-Copin yürüyüş yapıyor, bisiklet sürüyor, yüzüyor, turmanıyor ve sıklıkla da bu etkinlikleri sırasında matematiksel aydınlanmalar yaşıyor. Farklı etkinliklere olan ilgisi matematiğine de yansımış durumda. Matematikçilerin faz geçişlerine ilişkin anlayışını dönüştürmeye yönelik devam eden çabaları kapsamında matematiğin çeşitli alanlarından araçlar topluyor.

Duminil-Copin, matematik ve fizik arasındaki sınırda gezinerek



Hugo Duminil-Copin



Perkolasyon araştırmalarında model simülasyonları sonucunda elde edilen bir grafik örneği.

sıvıların gözenekli bir ortamda, örneğin suyun kahve tanecikleri arasındaki akışına ilişkin modelleri inceliyor. Rastlantısal ağlarda bağlantılı kümeler oluşmasını da içeren bu tür modeller bir hastalığın yayılması, bir haberin dolaşımı ve bir orman yangınınun ilerlemesi gibi olguları da betimleyebiliyor.

Duminil-Copin'den önce bu modellerle ilgili perkolasyon kuramı adı altındaki çalışmalar biraz tıkanmış hâldeydi. Görece basit tipte bir perkolasyon modeli bile ancak 1990'larda etraflıca anlaşılabilmişti. Fakat çoğu model anlaşılmaktan uzaktı. Duminil-Copin bu daha karmaşık olan modelleri aydınlatarak daha genel bir perkolasyon kuramı inşa etti.

Çalışma arkadaşları tarafından son derece enerjik, tutkulu ve iyimser biri olarak tarif edilen Duminil-Copin'in hep aktif bir hayatı oldu. Paris'in bir banliyösünde büyüyen Duminil-Copin zamanını gitar çalarak, arkadaşlarıyla vakit geçirerek ve ailesiyle kamp, yürüyüş ve kayak

gibi sporlar yaparak geçiriyordu. En çok da sporla uğraşmayı seviyordu ve hentbol oynuyordu. Matematik, tek olmak bir yana, birincil ilgi alanı bile değildi. Hatta hangi koleje gideceğine karar verme aşamasında bilim ve spor arasında kararsız kalmıştı. Fakat sonra matematik ve fen ağırlıklı bir okula girdi. Burada sınıfın en zayıf öğrencilerinden biri olarak başlayıp en tepeye çıktı. Hiçbir zaman cesaretini yitirmediğini, her zaman pozitif olduğunu ve en azından yaptığı şeyden keyif almaya çalıştığını belirten Duminil-Copin'in bu tutumu Fransa'da lise sonrası, üniversite giriş sınavlarına hazırlandığı süreçte, stresini kontrol etmesinde çok işe yaradı. Sonuçta Fransa'nın en iyi üniversitelerinden biri olan Paris'teki École Normale Supérieure'e girdi.

Duminil-Copin o zamana kadar fizik mi matematik mi okumak istediğinden tam da emin değildi. Bir yandan dünyayı anlamak istiyor, bir yandan da net ve kendi kendine yeten açıklamalara ihtiyaç duyuyordu. İlki fiziğin, ikincisi ise

matematiğin sağlayabileceği şeylerdi. Sonuçta Duminil-Copin matematiğin fiziğe çok yakın olan ve tamamen fiziksel süreçlerden yola çıkılan bir alanına, perkolasyona odaklandı. Cenevre Üniversitesinde yaptığı doktora çalışmasında elde ettiği bulgular matematik alanındaki en prestijli dergi sayılan *Annals of Mathematics*'te yayımlandı. Duminil-Copin doktorasını bitirdiği gün Cenevre Üniversitesinden teklif aldı ve 2 yıl sonra 2014'te, henüz 29 yaşındayken profesör oldu. O zamandan bugüne kadar da perkolasyon alanında pek çok çıkır açıcı keşif yaptı ve hatta bu alanı yeniden şekillendirdi. Swiss Federal Institute of Technology Zurich'ten (ETH Zurich) Wendelin Werner, Duminil-Copin'in alanda yanıt bekleyen soruların aslında yarısını çözdüğünü belirtiyor.

Duminil-Copin'in bilimsel dehasının yanında en öne çıkan özelliği ise başkaları için, toplum için sorumluluk duyması. Duminil-Copin gerek konuşurken gerek öğretirken ve gerekse yazarken başkalarını nasıl

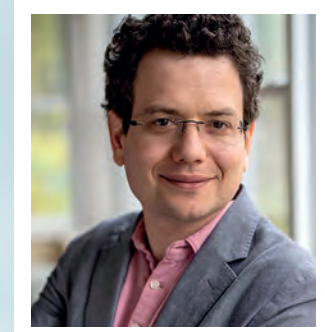
etkileyeceği konusunda çok dikkatli davranan biri. ETH Zurich'ten birlikte çalışma da yaptıkları yakın arkadaşı Vincent Tassion, Duminil-Copin'in aşırı derecede cömert biri olduğunu, birlikte çalışma yaparken karşısındakine bir alan tanıdığını, karşısındakinin kendini zeki hissetmesini sağladığını ve bunun çok motive edici olduğunu belirtiyor. Duminil-Copin için elde ettiği sonuçları olabildiğince genel ve iyi bir şekilde yazmak bile bir saygı meselesi. Gerek zamanını harcayarak makaleyi okuyacak matematikçilere gerekse onun sonuçlarına binaen çalışmalar yapacak araştırmacılara karşı bu sorumluluğu hissediyor. Bu, bir ispatı rafine edip özüne indirmek ve gereksiz ya da kafa karıştırıcı parçaları çıkarmak üzere yıllar harcaması anlamına bile gelebiliyor. Önemli çalışmalarının birinde var olan ispatını, alana yeni başlayan öğrencilerin daha kolay anlayabilmesi için basitleştirdiği biliniyor. Fields Ödülü töreninde Duminil-Copin'i takdim konuşmasını yapan, Imperial College London'dan Martin Harier onun birtakım şeyleri ilk kez ispatlayan kişi olmaktan ziyade, bir şeyleri başkaları için gerçekten anlaşılır kılmayı içtenlikle önemseydiğini belirtiyor. Duminil-Copin, Fields Madalyası'nı kazandıktan sonra artık matematikte araştırmanın ne olduğunu ve neden önemli olduğunu doğru şekilde gösteren bir nevi elçi rolü de oynaması gerektiğini hissediyor.

İletişimi Anlamaya Yönelik Yeni Bir Yol Geliştiren Bilim İnsanına Abacus Madalyası

2022 Abacus Madalyası bilişim karmaşıklık kuramını geliştiren çığır açıcı araştırmalarından dolayı Mark Braverman'a verildi. Bilişim karmaşıklık kuramı, bilişim kuramını kullanarak iletişim protokolleri ile ilgili mantık yürütmeyi sağlayan bir çerçeve sunuyor. Braverman'ın çalışmaları amortize iletişimde daha düşük sınırlar veren doğrudan-toplama kuramlarının, dahiyane protokol sıkıştırma yöntemlerinin ve gürültüye dirençli yeni etkileşimli iletişim protokollerinin yolunu açtı.

38 yaşındaki Braverman 10 yıldan uzun bir süredir, yaklaşık 80 yıl önce Claude Shannon'ın başlattığı öncü çalışmaları genişletip zenginleştirerek etkileşimli iletişimin yeni ve dönüştürücü bir kuramını geliştirmekle uğraştı. Braverman'ın büyümekte olan çerçevesi araştırmacıların "bilgi" gibi soyut kavramları kesin matematiksel terimlere çevirebilmesini sağlıyor. Böylece zor problemleri daha kesin ifadeler hâlinde yeniden ortaya koyabiliyorlar. Braverman'ın

programı, hesaplamının sınırlılıklarına ilişkin yeni anlayışların yolunu açıyor ve insanların çevrim içi etkileşim biçimine doğrudan değiniyor.



Mark Braverman

Lance Murphey

IMU'nun ödüle ilişkin açıklamasında Braverman'ın bilgi karmaşıklığı kuramına katkılarının, iki taraf birbiriyle iletişim kurduğu zaman ortaya çıkan bilgi maliyetinin farklı şekillerde ölçülmesine ilişkin daha derin bir anlayışa olanak sağladığı belirtiliyor. Braverman'ın çalışmaları, iletim hatalarına daha dayanıklı yeni kodlama stratejileri ile veri iletimi ve veri üzerindeki değişiklikler sırasında veriyi sıkıştırmaya yönelik yeni yaklaşımlar geliştirilmesinin yolunu açtı.

Braverman; 1984 yılında, Rusya'da Ural Dağları'nın batı eteklerinde yer alan bir endüstri şehri olan Perm'de, matematikçi bir anne ile fizikçi bir babanın oğlu olarak dünyaya geldi. Sovyetler Birliği'nin yıkılmasını ve ortaya çıkan istikrarsızlığı takiben aile 1992'de İsrail'in Hayfa şehrine göç etti. On yedi yaşına kadar üç farklı ülkede yaşayıp üç farklı dil öğrenen, dolayısıyla tam anlamıyla bir memleketi olmayan Mark

IMU Abacus Madalyası

Uluslararası Matematik Birliği (IMU) Abacus Madalyası dört yılda bir düzenlenen Uluslararası Matematikçiler Kongresi'nde bilişim bilimine matematiksel yönden üstün katkılarda bulunan matematikçilere veriliyor. Karmaşıklık kuramı, programlama dillerinin mantığı, algoritmaların analizi, kriptografi, bilgisayarla görüş, örüntü algılama, bilgi işleme ve zekânın modellenmesi gibi alanlar da dâhil olmak üzere bilgisayar biliminin tüm matematiksel yönlerinin yanı sıra bilimsel hesaplama ve nümerik analiz, optimizasyon ve kontrol kuramının hesaplamalı yönleri ve bilgisayar cebiri gibi bilişim biliminin matematiksel tarafında kalan pek çok alan Abacus Madalyası'nın kapsamına giriyor.

IMU Abacus Madalyası Komitesi, IMU Yürütme Kurulu tarafından seçiliyor. Komitenin başkanı kamuoyuna açıklanırken komite üyelerinin isimleri, madalya kongre sırasında verileceğe kadar gizli tutuluyor. Madalya adayının, madalyanın verileceği kongre yılının 1 Ocak'ı itibarıyla 40 yaşını doldurmamış olması gerekiyor.

Abacus Madalyası, "Matematikçilerin Abacus Kuşu" adlı tematik motifi taşıyan bir altın madalya ile 10.000 avro değerinde nakitten oluşuyor. Ödül Helsinki Üniversitesi ile Simons Derneği tarafından fonlanıyor.

İlk kez bu yıl Abacus Madalyası adıyla verilen ödül, 1982'den 2018'e kadar Rolf Nevannlinna Ödülü adıyla verilmişti ancak 2018'de, ödülün adının Abacus Madalyası olarak değiştirilmesine karar verildi.

Braverman kuramsal bilgisayar bilimini evi kabul ederek şöyle diyor: "Kuramsal bilgisayar bilimi nerede olmasını istiyorsanız oradadır".

Braverman kendini matematik ve bilgisayar kodlamasına hep yakın buldu ama belirttiğine göre ebeveynleri onu hiçbir zaman zorlamadı. Braverman ebeveynlerinin onu, sadece kendisini matematikte rahat hissedeceği bir noktaya getirdiklerini belirtiyor. Braverman ayrıca bu iki konuda yetenekli olduğunun göstergesi olarak 1998, 1999 ve 2000 yıllarında Uluslararası Matematik Olimpiyatı'nda iki bronz ve bir altın madalya kazandı. 2001 yılının baharında Hayfa'daki Technion'dan (İsrail Teknoloji Enstitüsü) matematik ve bilgisayar bilimi alanlarında çift ana dal diploması aldı. Daha sonra aynı yıl içinde ailesiyle birlikte, annesinin öğretim görevlisi olarak iş bulduğu Kanada'ya taşındı. Toronto Üniversitesinde bilgisayar bilimi alanında lisansüstü eğitime başladığı o kış henüz 17 yaşındaydı.

Braverman özellikle, kompütasyonun farklı taraflar arasında bilgi alışverişi gerektirdiği zamanlarda, "belirli bir kompütasyonel görevi gerçekleştirmek için ne kadar kaynak gerektiği" sorusunu soran iletişim karmaşıklığı konusu üzerine çalıştı. Bu çalışmalarını bilgi kuramının kurucusu Claude Shannon'un ortaya koymuş olduğu temel üzerinde geliştirdi. Shannon bilgisayarların kullandığı temel veri birimleri olan 1'ler ve 0'lardan oluşan bir dizinin ne kadar bilgi içerdiğini matematiksel olarak tanımlamıştı. Bu da verinin ne kadar sıkıştırılabileceğine ve iletim sırasındaki hatalara yönelik düzeltmelerin nasıl uygulanabileceğine yönelik bir anlayış sağlamıştı.

Shannon'un bilgi kuramı tek yönlü iletişimi tanımlarken Braverman karşılıklı iletişimle ilgilendi. Kendi deyişiyle, "Birlikte kompütasyon yapan iki taraf var" idi. Bunun basit bir örneği şöyle: Elinde birer isim listesi bulunan iki insan var ve her iki listede de olan bir isim var mı bilmek istiyorlar. "Bu soruyu cevaplamak için ne kadar bilgi alışverişi yapmamız gerekir diye sorabilirsiniz." diyor Braverman. Braverman böyle bir durumda her bir tarafın bildikleri hakkında açıklaması gereken bilgiyi en aza indirgeyen bir protokol tasarladı. Braverman'ın en büyük katkısı etkileşimli iletişimin sınırlarını tanımlayan büyük ve genel kuralları ifade eden geniş bir çerçeveye inşa etmiş olması. Bu kurallar, veriler algoritmalarla çevrim içi olarak gönderilirken verileri sıkıştırmaya ve korumaya yönelik yeni stratejilerin yolunu açıyor. Daha önce araştırmacılar, özellikle bir insanın hiçbir şey bilmediği ya da iki insanın birbiriyle örtüşen bilgilere sahip olmadığı durumda, iki insanın nasıl karşılıklı bilgi gönderebileceği üzerinde çalışmıştı. 1970'lerde bilgisayar



bilimciler, iki insanın birbirine örtüşen bir miktar bilgiye sahip olması durumunda neler yaşanabileceğine ilişkin senaryoları incelemiş ve çözmüştü. Ancak Braverman ve çalışma arkadaşları bu alışverişlerin veri iletim işleri olmaktan çok, kompütasyonel işler olduğunu ilk kez gösteren bilim insanları oldu.

Bilgi kuramı ile kompütasyonel karmaşıklık arasında kurduğu bağlantılar Braverman'ı iki ya da daha fazla kişi tarafından paylaşıldığı zaman veriyi sıkıştırmak (ki çevrim içi iletişimin tam merkezindeki bir konu) için yeni yollar arama konusunda motive etti. 2011-2020 yılları arasında Braverman ve çalışma arkadaşları iki ya da daha fazla kişi arasında paylaşılan bilgiyi sıkıştırmaya yönelik matematiksel kurallar tanımladı. Bu iş de yeni soruları tetikledi. Örneğin Braverman öğrencileri ve çalışma arkadaşlarıyla birlikte konuşmanın çeşidinin iletişim maliyetini nasıl etkilediğini araştırdı.

Ancak Braverman sadece bu tür sorulara yanıt bulmakla kalmadı. O, araştırmacıların bu tür soruları önce ifadeye döküp sonra da bunları matematiğin resmi diline çevirmelerini sağlayan yeni bir bakış açısı ortaya koydu. Braverman'ın kuramı bu soruların araştırılabilirliği ve geleceğin teknolojilerinde görülebilecek yeni iletişim protokollerinin tanımlanabilmesi için bir zemin hazırladı.



Chern Madalyası Matematik Camiasının Vazgeçilmez İsmi Barry Mazur'un Oldu

Tıpkı Fields ve Abacus madalyaları gibi Uluslararası Matematik Birliği (International Mathematical Union: IMU) tarafından dört senede bir verilen Chern Madalyasını bu sene Harvard Üniversitesinden matematikçi Barry Mazur kazandı. 2010'dan bu yana verilen Chern Madalyası, matematikteki üstün başarılarının en yüksek düzeyde takdir edilmesi gerektiği düşünülen matematikçilere verilen ve herhangi bir yaş sınırı bulunmayan bir ödül. Bu yılki ödülün Mazur'a verilmesinin nedeni "topoloji, aritmetik

geometri ve sayı teorisindeki derin keşifleri ve yeni nesil matematikçileri yetiştirmedeki liderliği ve cömertliği" olarak duyuruldu. Uluslararası matematik camiasında eşsiz bir figür olan 84 yaşındaki matematikçi, günümüzde az rastlanan şekilde, matematiğin çok farklı alanlarında çığır açan sonuçlar ortaya koydu. Bir alandan diğerine geçme yeteneği zaten olağan dışı olan Mazur'u benzersiz kılan özelliği bambaşka alanlar arasındaki derin analogileri algılaması. Bu analogiler, yalnızca öne çıkan sorunlara çözümler getirmekle kalmadı, aynı zamanda yeni araştırma alanlarının gelişmesini de sağladı.

Mazur birçok yönden çok somut bir matematikçi. Üzerinde çalışacağı problemi belirliyor ve bu problemi çözmek için kendine has teknikler üretiyor. Bunu yaparken daha yüksek genellemelere ve soyut bir bakış açısına geçme yeteneğine de sahip. Bu özelliği, fikirlerini

paylaşmak konusundaki cömertliği ile birleştiğinde, Mazur’u matematiği birçok farklı seviyede tartışabilecek, alışılmadık derecede etkili bir muhatap yapıyor. Bu nedenle çevresindeki öğrencileri, genç araştırmacıları ve meslektaşlarını âdeta bir mıknatıs gibi kendine çeken Mazur, matematik topluluğunun vazgeçilmez bir üyesi konumunda.

Aktif araştırma hayatına çok önemli yayınlar yaparak devam eden Mazur’un doktora tezi topoloji alanında. Kendisini bir matematikçiden çok bir filozof olarak tanımlayan Mazur, sadece matematiğin farklı alanlarında değil; felsefe, edebiyat, hukuk ve fizik gibi pek çok başka alandaki derin bilgisi nedeniyle, hâlen aktif olarak ders verdiği Harvard Üniversitesinde matematik dışında da dersler verebileceği özel bir pozisyona sahip.

Mazur ayrıca, danışmanlık yaptığı yaklaşık 60 doktora öğrencisi de dâhil olmak üzere,



kariyerlerine yeni başlayan insanlara gösterdiği rehberlikle de ünlü. Gençlerle çalışmaktan neden zevk aldığı sorulduğunda: “Çoğu zaman benim onlara öğrettiğimden daha fazlasını onlar bana öğretiyorlar.” cevabını veriyor.

İşte Mazur’un çığır açan sonuçlarından bazıları...

Mazur Hilesi: Doktora çalışmalarını topoloji alanında yürüten Mazur, tezinde “Jordan Eğrisi Kuramı” olarak bilinen kuramın tüm boyutlarda geçerli olacak bir versiyonunu kanıtladı.

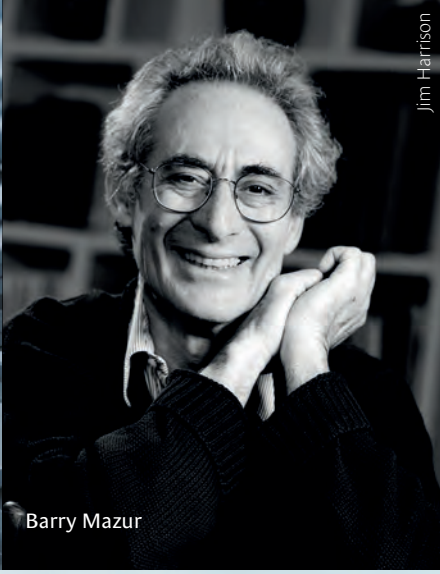
Bir kâğıt üzerine çizilen kapalı bir eğriyi düşünelim. Jordan eğrisi kuramı, bu eğrinin üzerinde bulunduğu kağıdı “eğrinin içi” ve “eğrinin dışı” olarak adlandırabileceğimiz iki kısma ayırdığını söyler. Dahası, eğri ne kadar karmaşık olursa olsun, iç kısmını bir diske dönüştürmenin, daha matematiksel ifade edecek olursak, iç kısmın bir diske homeomorfik olmasının mümkün olduğunu söyler.

Schoenflies problemi, benzer bir durumun daha yüksek boyutlarda geçerli olup olmayacağını sorar. İşte, Mazur, doktora tezinde bu problemi çözdü. Bunu yapabilmek için literatürde “Mazur Hilesi” adı verilen bir yöntem geliştirdi. Görünüşte büyümlü ama titiz ve dikkatli bir çalışmanın ürünü



olan bu teknik, ortaya çıkan zorlukları sonsuza “iterek” gözden kaldırmaya dayanır. Ünlü topolog Valentin Poenaru bu durumu şu şekilde açıklar: “Barry’nin tüm boyutları aynı anda ele alan çalışması âdeta bir şimşek gibi geldi. Bu çalışma, yüksek boyutlu topolojide bundan sonra gelenler için psikolojik bir devrimdir.”

Aslında topolojideki bir sonuç olsa da Jordan eğrisi kuramı düğüm teorisinde sıkça kullanılan bir yaklaşımı beraberinde getirir: Bir düğümün kendisine bakmak yerine, düğümün içinde olduğu hayal edilen uzayın, içinden düğümün çıkarılmış olduğu hâline bakmak. Düğümün olmadığı bu alan size düğümün kendisi hakkında çok şey söyleyebilir. İlginç bir şekilde, bu yaklaşım Mazur’u düğümlerle hiçbir ilgisi olmayan bir alana daha götürür: sayı kuramı!



Gönülçelen Çiçekler: Sayı kuramı, ifadesi yalın ve basit olmakla birlikte, ispatı çok zor ve yüksek teknik beceri gerektiren problemler içermesiyle ünlüdür. Bu tür problemlerden en bilineni ispatı 300 yıldan fazla süren Fermat'ın son kuramıdır. Bu durum sayı kuramının çekici yanlarından biri olarak da görülebilir. Mazur, 1991 tarihli bir makalesinde bunu şöyle ifade eder: "Sayı kuramı, çok da çaba sarf etmeden, tatlı ve masum bir şekilde sayısız problem üretir; bunlar gönülçelen çiçekler gibidir. Ama aynı sayı kuramı, baştan çıkardığı çiçek severleri ısırmayı bekleyen böceklerle doludur. Kişi bir kere ısırıldı mı artık kendini bu yola adamaya hevesli hâle gelir."

Aslında Mazur'u cezbeden çiçek basit bir denklem ya da kolay bir ifade değil, düğüm kuramıyla sayı kuramı arasında bulunduğu bir

benzetmeydi. Mazur, asal sayılar düğümlere, diğer tam sayılar da düğümü çevreleyen uzaya benzer olarak kabul edildiğinde, düğüm kuramının güçlü fikirlerinin sayı kuramına da uyarlanabileceğini fark etti. Bu durumu, "Düğümde kullandığımız kelime dağarcığını sayılarla ilgili kelime dağarcığına aktarma fikri ilgi çekiciydi. Sadece çok eğlenceli değil, aynı zamanda sayı kuramında sezgiye dayanan iyi bir yoldu." diye ifade ediyor. Bu yaklaşımın bir sonucu, Mazur'un 1984'te, Andrew Wiles ile ortak çalışması olan Iwasawa ana sanısının bir kanıtıydı. Bu sanı, çok genel olarak, farklı bir ortamda çalışan Riemann hipotezinin bir benzeri olarak görülebilir. Iwasawa ana sanısının ispatı, Mazur'u pek çok farklı önemli sonuca götürdü ve en önemlisi sayılar kuramında yeni yönler belirledi.

Wiles, Mazur ile ortak yaptıkları bu çalışmadan sonra yine Mazur'un 1977 yılında yazdığı ve Steele Ödülü'ne layık görülen çığır açıcı bir başka makalesindeki

fikirlerden esinlenerek Fermat'ın son teoreminin ispatına giden yola girdi. Mazur'un 1977'deki makalesi, 70 yıldan uzun süredir çözülmemeyen bir soruyu cevaplıyordu. Ancak belki de daha önemlisi, Alexander Grothendieck'in cebirsel geometrideki devrim niteliğindeki çalışmalarının tamamen sayı kuramıyla ilgili bir probleme uygulanabileceğinin ilk örneği olmasıydı. Yayınlandığı ilk andan itibaren dikkat çeken bu makalenin gerçek değeri, yıllar geçtikçe başka araştırmacıların bu makaleyi âdeta bir sıçrama tahtası gibi kullanarak elde ettikleri sonuçları gördükçe daha iyi anlaşılır. Mazur bu makaledeki fikirlere dayanarak sonraki birkaç yıl içinde rasyonel sayılar üzerindeki eliptik eğrilerin torsiyon gruplarının sınıflandırmasını bitirdi, yani rasyonel eliptik eğriler için torsiyon sanısını çözdü. Mazur'un teoreminin tüm kuvvetiyle daha yüksek mertebeli sayı cisimleri için ispatı ise henüz yapılamadı. ■

Kaynaklar

- <https://www.mathunion.org/imu-awards/fields-medal/fields-medals-2022>
- <https://www.mathunion.org/imu-awards/imu-abacus-medal/abacus-medal-2022>
- <https://www.quantamagazine.org/ukrainian-mathematician-maryna-viazovska-wins-fields-medal-20220705/>
- <https://www.quantamagazine.org/number-theorist-james-maynard-wins-the-fields-medal-20220705/>
- <https://www.quantamagazine.org/june-huh-high-school-dropout-wins-the-fields-medal-20220705/>
- <https://plus.maths.org/content/bm>
- <https://www.mathunion.org/fileadmin/IMU/Prizes/Chern/mazur-final.pdf>
- <https://www.quantamagazine.org/hugo-duminil-copin-wins-the-fields-medal-20220705/>
- <https://www.quantamagazine.org/mark-braverman-wins-the-imu-abacus-medal-20220705/>
- <https://www.nytimes.com/live/2022/07/05/science/fields-medal-math>